

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE VE AZERBAJCAN'DAKİ BAZI DOĞAL VE MADEN
ŞİŞE SULARINDA TRİTYUM DÜZEYLERİ

ORKHAN MUKHTARLI

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ SERDAR DİZMAN

TEZ JÜRİLERİ

PROF. DR. FİLİZ KORKMAZ GÖRÜR

DR. ÖĞR. ÜYESİ NİLÜFER AS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE-2018

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE VE AZERBAYCAN'DAKİ BAZI DOĞAL VE MADEN ŞİŞE
SULARINDA TRİTYUM DÜZEYLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Serdar DİZMAN danışmanlığında, Orkhan MUKHTARLI tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 06/08/2018 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Dr. Öğr. Üyesi Serdar DİZMAN
Üye	: Prof. Dr. Filiz KORKMAZ GÖRÜR
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Nilüfer AS

İmzası



Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



ÖNSÖZ

“Türkiye ve Azerbaycan’daki Bazı Doğal ve Maden Şişe Sularında Tritiyum Düzeyleri” başlıklı bu çalışma, 2017-2018 eğitim-öğretim yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanması ve ölçümleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarım boyunca bilgi, öneri ve yardımlarıyla beni destekleyen ve daima yanımda olan saygı değer danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Serdar DİZMAN’a en içten teşekkürlerimi sunarım. Yine değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Fizik Bölümü öğretim üyelerinden sayın Doç. Dr. Recep KESER’e de ayrıca teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim ve bu günlere gelmemde çok büyük emekleri olan babam Enver ABDULLAYEV’e, annem Gülnaz ABDULLAYEVA’ya ve kız kardeşim Nergiz’e en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

Orkhan MUKHTARLI

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Türkiye ve Azerbaycan’daki Bazı Doğal ve Maden Şişe Sularında Trityum Düzeyleri” başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim.
06/08/2018



Orkhan MUKHTARLI

Uyarı: *Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

ÖZET

TÜRKİYE VE AZERBAYCAN'DAKİ BAZI DOĞAL VE MADEN ŞİŞE SULARINDA TRİTYUM DÜZEYLERİ

Orkhan MUKHTARLI

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Serdar DİZMAN**

Bu çalışmada, Türkiye ve Azerbaycan'da ticari olarak satılan doğal ve maden şişe sularında trityum düzeyleri belirlendi. Su örnekleri, ASTM D4107-08 yöntemi kullanılarak incelendi. Deneysel çalışmalar, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda yapıldı. Trityum ölçümleri Perkin Elmer Tri Carb 2910 TR sıvı sintilasyon cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Çalışmada, Türkiye'de ticari olarak satılan 16 doğal ve 11 maden suyu ile Azerbaycan'da ticari olarak satılan 7 doğal ve 8 maden suyu (toplam 42 örnek) incelendi. Kullanılan yöntem için Minimum Dedekte edilebilir Aktivite değeri (MDA) 1,69 Bq/L olarak tespit edildi. Toplamda doğal su örneklerinin 7 tanesi, maden suyu örneklerinin ise 8 tanesi MDA değerinin altında kaldı. Türkiye'den alınan doğal ve maden suyu örneklerinde ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla $2,23 \pm 0,90$ Bq/L ve $2,51 \pm 0,90$ Bq/L olarak, Azerbaycan'dan alınan doğal ve maden suyu örneklerinde ise sırasıyla $2,69 \pm 0,91$ Bq/L ve $2,43 \pm 0,89$ Bq/L olarak belirlendi. Ayrıca, su örnekleri için bazı radyolojik parametreler (bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riski) hesaplandı. Hesaplanan bu radyolojik parametreler uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen değerlerle karşılaştırıldı ve elde edilen sonuçlara göre bu suların tüketilmesinin trityum açısından herhangi bir sağlık riski oluşturmayacağı belirlendi.

2018, 74 sayfa

Anahtar Kelimeler: Trityum, Doğal su, Maden suyu, Türkiye, Azerbaycan

ABSTRACT

TRITIUM LEVELS IN SOME NATURAL AND MINERAL BOTTLE WATERS IN TURKEY AND AZERBAIJAN

Orkhan MUKHTARLI

**Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Master Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Serdar DİZMAN**

In this study, tritium levels in commercially sold bottled natural and mineral waters in Turkey and Azerbaijan were determined. The water samples were examined using ASTM D4107-08 method. Experimental studies were carried out at Recep Tayyip Erdoğan University Sciences and Arts Faculty Physics Department Nuclear Physics Research Laboratory. Tritium measurements were performed using Liquid Scintillation Counter (Perkin Elmer Tri Carb 2910 TR). 8 natural and 11 mineral water commercially sold in Turkey and 6 natural and 5 mineral water commercially sold in Azerbaijan (42 samples in total) were analyzed. The Minimum Detectable Activity (MDA) value for the used method was found as 1.69 Bq/L. In total, 7 of the natural water samples and 8 of the mineral water samples were found to be below the MDA value. The average activity concentrations in natural and mineral water samples taken from Turkey were respectively 2.23 ± 0.90 Bq/L and 2.51 ± 0.90 Bq/L, while the natural and mineral water samples taken from Azerbaijan were determined as 2.69 ± 0.91 Bq/L and 2.43 ± 0.89 Bq/L, respectively. In addition, some radiological parameters (daily intake of radionuclides, annual effective dose equivalent and lifetime cancer risk) for the water samples were calculated. These radiological parameters were compared with the values recommended by international organizations, and according to the obtained results, it was determined that consumption by humans of these waters would not constitute any health risks in terms of tritium.

2018, 74 pages

Keywords: Tritium, Natural water, Mineral water, Turkey, Azerbaijan

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Radyasyonun Tanımı ve Türleri	3
1.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyon	5
1.2.1.1. Alfa (α) Parçacıkları.....	6
1.2.1.2. Beta (β) Parçacıkları	8
1.2.1.3. Gama (γ) Işınları	9
1.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon.....	10
1.2.3. Radyasyon Dozu ve Birimleri.....	10
1.2.3.1. Radyasyon Dozu	10
1.2.3.2. Radyasyon Birimleri	11
1.2.3.2.1. Aktivite Birimi	11
1.2.3.2.2. Işınlanma Birimi	12
1.2.3.2.3. Soğrulan Doz Birimi	12
1.2.3.2.4. Eşdeğer Doz Birimi.....	12
1.2.4. Radyasyon Kaynakları	13
1.2.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	14
1.2.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	16
1.2.5. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri	17
1.2.6. Sularda Radyoaktivite	19
1.2.7. İçme Sularında Radyoaktivite Limitleri.....	21
1.3. Tritiyum.....	21
1.3.1. Çevresel Tritiyum ve Özellikleri.....	23
1.3.2. Tritiyumun Kullanım Alanları	26

1.3.3.	Trityumun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	26
1.3.4.	Trityumun Ölçülmesi	28
1.4.	Sıvı Sintilasyon Sayacı (LSC)	28
1.4.1.	Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT)	30
1.4.2.	Sayım Kapları (Vialler).....	32
1.4.3.	LSC’de Dedeksiyon Sistemi	33
1.4.4.	LSC’de Sönüm (Quench) Etkisi	34
1.4.5.	Background	36
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	37
2.1.	Çalışma Yöntemi.....	37
2.2.	Laboratuar Çalışmaları.....	37
2.2.1.	Numunelerin Hazırlanması	37
2.2.2.	Destilasyon.....	37
2.2.3.	Sertifikalı Trityum Çözeltisi	39
2.2.4.	Ana Stok Çözeltisi	39
2.2.5.	Laboratuar Standardı (DWS)	40
2.2.6.	Spike (RWS)	41
2.3.	Sistemin Sayıma Hazırlanması	42
2.3.1.	Sayım.....	43
2.3.2.	Sayım Sonuçlarının Değerlendirilmesi	44
2.4.	Hesaplamalar.....	44
2.4.1.	MDA Hesabı	44
2.4.2.	Trityum Aktivite Konsantrasyonu	45
2.4.3.	Sayım Verimi	45
2.4.4.	Geri Kazanım Düzeltme Faktörü	46
2.4.5.	Belirsizlik Hesabı.....	46
2.4.6.	Bireyler Tarafından Alınan Günlük Radyonüklit Miktarı	47
2.4.7.	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri	47
2.4.8.	Yaşam Boyu Kanser Riski	48
3.	BULGULAR.....	49
3.1.	Numune ve Standartlara Ait Sayım Değerleri	49
3.2.	Trityum Konsantrasyonları	51
3.3.	Radyolojik Parametreler	53

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	58
5. ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	74



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Elektromanyetik spektrum	4
Şekil 2.	Radyasyon çeşitleri.....	5
Şekil 3.	Pozitif yüklü iyon oluşumu	6
Şekil 4.	Negatif yüklü iyon oluşumu	6
Şekil 5.	Gama bozunum şeması.....	10
Şekil 6.	Radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları.....	14
Şekil 7.	Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	15
Şekil 8.	Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	17
Şekil 9.	Döteryum-Döteryum füzyon reaksiyonu.....	21
Şekil 10.	Hidrojen atomunun izotopları	22
Şekil 11.	Tritiyumun radyoaktif bozunması	22
Şekil 12.	Tritiyumun beta bozunumu	23
Şekil 13.	Tritiyumun doğal döngüsü	24
Şekil 14.	Kuzey yarımkürede tritiyum konsantrasyonunun yıllara göre değişimi	26
Şekil 15.	Sıvı sintilasyon cihazı (LSC).....	30
Şekil 16.	Fotoçoğaltıcı tüpün şematik yapısı.....	31
Şekil 17.	Cam (a) ve plastik (b) vialler.....	32
Şekil 18.	LSC’de çakışma ve toplama devreleri şeması.....	34
Şekil 19.	Enerji spekturumu üzerinde sönümün etkisi	34
Şekil 20.	Enerji transfer işlemindeki sönüm.....	35
Şekil 21.	Kimyasal ve renk sönüm ajanları için puls yükseklik dağılımlarının karşılaştırılması	36
Şekil 22.	Destilasyon ünitesi	38
Şekil 23.	Hazırlanan numunelerin sayım kasetine konulması.....	43
Şekil 24.	Sayım kasetlerinin cihaza yerleştirilmesi	43
Şekil 25.	Doğal şişe sularının örnek koduna göre tritiyum aktivite konsantrasyon dağılımları	60
Şekil 26.	Maden sularının örnek koduna göre tritiyum aktivite konsantrasyon dağılımları	60
Şekil 27.	Azerbaycan doğal şişe sularının tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları	61

Şekil 28.	Azerbaycan maden sularının tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları	61
Şekil 29.	Türkiye doğal şişe sularının tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları	62
Şekil 30.	Türkiye maden sularının tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları	62
Şekil 31.	Azerbaycan doğal şişe sularının bireyler tarafından tüketilmesiyle yıllık alınabilecek etkin doz değerleri	63
Şekil 32.	Azerbaycan maden sularının bireyler tarafından tüketilmesiyle yıllık alınabilecek etkin doz değerleri	63
Şekil 33.	Türkiye doğal şişe sularının bireyler tarafından tüketilmesiyle yıllık alınabilecek etkin doz değerleri	64
Şekil 34.	Türkiye maden sularının bireyler tarafından tüketilmesiyle yıllık alınabilecek etkin doz değerleri	64
Şekil 35.	Azerbaycan doğal şişe sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranları	65
Şekil 36.	Azerbaycan maden sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranları	65
Şekil 37.	Türkiye doğal şişe sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranları	66
Şekil 38.	Türkiye maden sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranları	66

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.	Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki.....	11
Tablo 2.	Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri	16
Tablo 3.	Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.....	16
Tablo 4.	Sulardaki radyolojik parametreler ve limitleri.....	21
Tablo 5.	Beta ışını yayan radyoaktif maddeler	27
Tablo 6.	Sertifikalı trityum çözeltisi	39
Tablo 7.	Ana stok çözeltisi.....	40
Tablo 8.	Laboratuvar standardı (DWS).....	40
Tablo 9.	DWS'ye ait sayım değerleri.....	41
Tablo 10.	Spike (RWS).....	41
Tablo 11.	RWS'ye ait sayım değerleri	42
Tablo 12.	ASS- 3 örneğine ait veri setine Chauvenet Kriterinin uygulanması.....	44
Tablo 13.	MDA altındaki aktivite konsantrasyon değerleri.....	49
Tablo 14.	Azerbaycan'da satılan doğal şişe suyu örneklerine ait sayım değerleri	49
Tablo 15.	Azerbaycan'da satılan maden suyu örneklerine ait sayım değerleri.....	50
Tablo 16.	Türkiye'de satılan doğal şişe suyu örneklerine ait sayım değerleri.....	50
Tablo 17.	Türkiye'de satılan maden suyu örneklerine ait sayım değerleri	51
Tablo 18.	Azerbaycan'da satılan doğal şişe sularında trityum aktivite konsantrasyonları.....	51
Tablo 19.	Azerbaycan'da satılan maden sularında trityum aktivite konsantrasyonları.....	52
Tablo 20.	Türkiye'de satılan doğal şişe sularında trityum aktivite konsantrasyonları	52
Tablo 21.	Türkiye'de satılan maden sularında trityum aktivite konsantrasyonları....	53
Tablo 22.	Azerbaycan doğal şişe sularının tüketimine bağlı olarak günlük radyonüklit alım miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser riski değerleri	54
Tablo 23.	Azerbaycan maden sularının tüketimine bağlı olarak günlük radyonüklit alım miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser riski değerleri	55
Tablo 24.	Türkiye doğal şişe sularının tüketimine bağlı olarak günlük radyonüklit alım miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser riski değerleri	56

Tablo 25.	Türkiye maden sularının tüketimine bağlı olarak günlük radyonüklit alım miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser riski değerleri.....	57
Tablo 26.	Bu çalışma ve farklı ülkelerde rapor edilmiş trityum konsantrasyon değerleri.....	59



SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Aktivite
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
IAEA	Uluslararası Atom Enerji Ajansı
LSC	Sıvı Sintilasyon Sayacı
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu
Ci	Curie
Bq	Becquerel
Rad	Radyasyon Dozu
Gy	Gray (Soğurulmuş doz birimi)
kg	Kilogram
LET	Lineer Enerji Transferi
Sv	Sivert
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
c	Işık hızı
α	Alfa Parçacığı
β	Beta Parçacığı
γ	Gama Işını
ϵ	Verim
μ	Sönüm Katsayısı
λ	Dalga Boyu
τ	Ortalama Ömür
$t_{1/2}$	Yarılanma Süresi
n	Nötron
p	Proton
e	Elektron
h	Plank Sabiti
DNA	Deoksiribonükleik Asit
H	Trityum
NaI	Sodyum İyodür
CsI	Sezyum İyodür

Tl	Talyum
keV	Kilo Elektronvolt
MeV	Milyon Elektronvolt
¹⁴ C	Karbon-14
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
E	Enerji
cpm	Dakikadaki Sayım (Count per minute)
PMT	Fotoçoğaltıcı Tüp (Photo multiplier tube)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TGD	Toplam Gösterge Dozu
DW	Ölü Su (Dead water, blank)
TU	Tritiyum Birimi
N	Normal
M	Molar
KMnO ₄	Potasyum Permanganat
NaOH	Sodyum Hidroksit
ml	Mililitre
MDA	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite
DWS	Seyreltilmiş Laboratuar Standardı
RWS	Spike
V	Hacim
RSD	Relatif Standart Sapma Değeri
R	Röntgen
Rem	Radiation Equivalent Man
f	Frekans
UNSCEAR	Radyasyonun Etkileri Üzerine Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi
D _{int}	Bireyler Tarafından Alınan Günlük Radyonüklit Miktarı
AED	Yıllık Doz Etkin Değeri
LCR	Yaşam Boyu Kanser Riski
ASS	Azerbaycan Şişe Suyu
AMS	Azerbaycan Maden Suyu
TSS	Türkiye Şişe Suyu
TMS	Türkiye Maden Suyu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyanın varoluşundan beri doğada yerini alan uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif çekirdekler yaşadığımız ortamda normal olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Doğal radyasyonlar, uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar'dan (toprak, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklar) ileri gelmektedir. Radyasyon dozu değerlendirmelerinde doğal kaynaklar oldukça önemli yer tutar. Çünkü insanlar hayatları boyunca doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyonlardan küçümsenmeyecek oranlarda doz almaktadırlar.

Doğal radyasyon seviyesini belirleyen iki ana faktör vardır. Bunlardan birincisi; dünya atmosferine gelen yüksek enerjiye sahip kozmik ışınlar, diğeri ise çevremizde, dünya kabuğunda hatta insan vücudunda bile olan radyoaktif elementlerdir. İnsanlar bu farklı radyasyon kaynakları sebebiyle hem iç ve hem de dış radyasyona maruz kalmaktadırlar. Kozmik ışınlar ile havada ve yer kabuğunda doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar dış ışınlamalara sebep olurken, hava ve gıda maddelerinden solunum ve sindirim yolu ile vücuda alınan doğal radyoaktif atomlar iç ışınlamaya sebep olmaktadır (UNSCEAR, 2000). Kozmik ışınların şiddeti ekvatorlardan kutuplara doğru ve deniz seviyesinden yükseklerle doğru gidildikçe artmaktadır (Eisenbud, 1987).

Bilindiği üzere insanların ve diğer bütün canlıların yaşamlarını sürdürme bilmesi için gerekli olan en önemli elemanlardan biri sudur. Sulardaki radyoaktivitenin büyük kısmı su içerisindeki radyum ve radon konsantrasyonu nedeniyle oluşur. Dünyamızın %70'ini kaplayan su, bedenimizin de en önemli kısmını oluşturmaktadır. Su içerisinde bulunan radyonüklitlerden biri de trityumdur. Hidrojenin üç izotopundan biri olan trityum çekirdeğindeki nötron fazlalığından dolayı radyoaktif özellik gösterir ve bir beta parçacığı yayınlamaya bozunur. Trityum, atmosferin üst tabakalarında ki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak, termonükleer denemeler ve reaktör kazaları sonucu ise yapay olarak oluşur. Trityumun neden olduğu yıllık etkin doz eşdeğerinin 0,01 mSv olduğu tahmin edilmektedir (TAEK, 2009).

Dünyanın farklı bölgelerinde içme suyu, deniz suyu, doğal kaynak suyu ve şişe suyu gibi çeşitli su örneklerinde trityum düzeyinin belirlenmesine yönelik yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Yugoslavya'da 1976-1990 yılları arasında Tuna havzasında yapılan ölçümler neticesinde çalışılan suların trityum içerdiği gözlenmiştir. Mevsimsel değişimlerle birlikte yağış, birikinti suları ve nehir suların da ortalama trityum konsantrasyonunun 2,4-15,9 Bq/L aralığında olduğu tespit edilmiştir (Hadzisehovic vd., 1992).

1990 yılında Japonya'nın Kuzey ve Güney adalarında nehir sularının trityum konsantrasyonlarını incelemek amaçlı çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda Kuzeydeki Hokkaido adasının 29 nehir suyunun ortalama trityum konsantrasyonu $2,42 \pm 0,81$ Bq/L olup, en yüksek trityum konsantrasyonu ($5,59 \pm 0,35$ Bq/L) Kushiro Nehrin'de gözlenmiştir. Güneyde ise Kyushu adasının ortalama trityum konsantrasyon değeri $1,00 \pm 0,18$ Bq/L olarak bulunmuş olup en yüksek trityum aktivitesi ($1,71 \pm 0,18$ Bq/L) Chikugo nehrin'de gözlenmiştir. Hokkaido adasının daha yüksek trityum konsantrasyonuna sahip olmasının nedeninin, Kyushu adasına göre daha fazla yağmur almasından ileri geldiği savunuldu (Momoshima vd., 1991).

İspanya'nın Catalonia bölgesinde 2007'de yapılan çalışma ile çevresel sularda trityum aktivitesi sıvı sintilasyon sayacı (LSC) kullanılarak ölçülmüştür. Ebro ırmağından alınan su örneklerinde trityum aktivitesi $3,6 \pm 0,6$ Bq/L olarak bulunmuştur. (Paloma vd., 2007).

2010 Aralık'ta Macar-Sırp sınırından Romanya-Sırbistan sınırına kadar, Sırbistan boyunca uzanan Tuna'dan su örnekleri toplanmış ve ortalama trityum aktivite konsantrasyonu 18,7 TU ($2,21$ Bq/L) olarak tespit edilmiştir. Romanya yakınındaki Tuna'dan ölçülen ortalama değer ise $16,2 \pm 2,2$ TU ($1,91$ Bq/L) olarak bulunmuştur. Sularda bulunan bu trityum konsantrasyon değerlerinin kozmik radyasyonunun yanında Macaristan'daki Paks Nükleer Enerji Santrali'nden de kaynaklanabileceği savunulmuştur (Forkapic vd., 2011).

2011 yılında Hindistan'da Varahi ve Markandeya nehir havzasında çevresel trityum üzerine bir çalışma yapılmış ve çalışma sonucunda Varahi nehir havzasında toplanan örneklerin çevresel trityum aktivite değerlerinin $1,95 \pm 0,25$ TU' dan $11,35 \pm 0,44$ TU ya değiştiğini ve ortalamalarının $4,34 \pm 0,34$ TU olduğunu, benzer şekilde' Markandeya nehir havzasında ise değerlerin $1,49 \pm 0,75$ TU ile $9,17 \pm 1,13$ TU arasında değiştiğini ve ortalamalarının $5,61 \pm 0,84$ TU olduğunu belirtmişlerdir (Ravikumar ve Somashekar, 2011).

2011 yılında Finlandiya'da yapılan bir çalışmada Baltık Denizi havzasındaki, sularda çevresel trityum değerleri incelenmiş ve deniz suyu ve nehir suyu örneklerinin ortalama trityum konsantrasyonları sırasıyla $0,92$ Bq/L ($7,8$ TU) $0,60$ Bq/L ($5,1$ TU) olarak tespit edilmiştir (Marianna ve Alena, 2011).

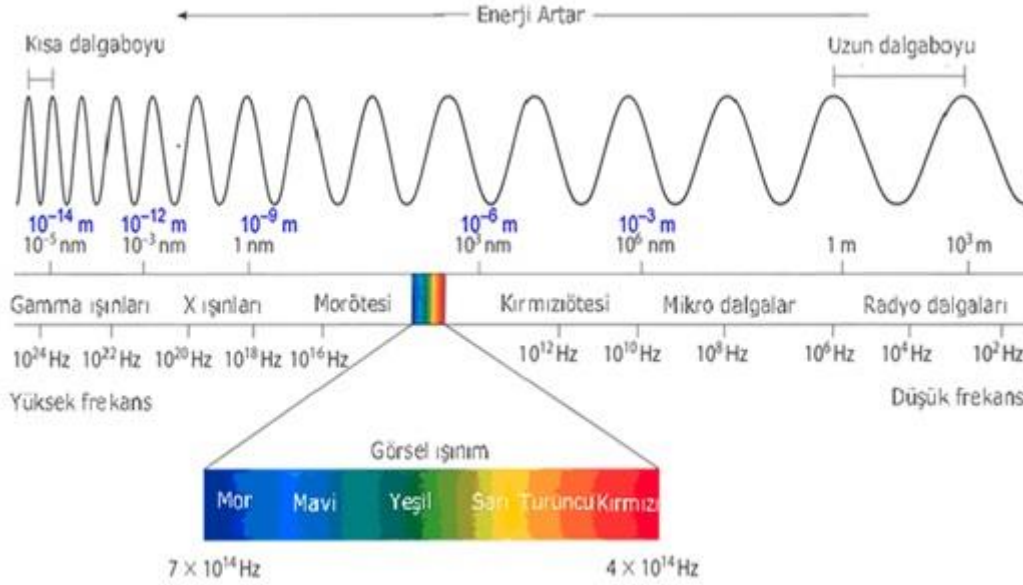
2016 yılında Kuzey Almanya'nın Hannover kenti yakınlarındaki Fuhrberger Feld su koruma alanında doğal su örneklerinde trityum (^3H), radyokarbon (^{14}C) ve iyot-129 (^{129}I) aktivite düzeyleri araştırılmıştır ve yağışlardaki ortalama trityum düzeyinin ($8,8 \pm 3,4$ TU) Almanyanın yağış verilerindeki düzeyleri ile karşılaştırılabilir olduğu bulunmuştur.

2018 yılında Hindistan'da, Muson öncesi ve muson sonrası yeraltı çökelti ve maden ocaklarının suyundaki trityum konsantrasyonları belirlenmiş ve tüm yüzey ve yüzey altı hidrosferdeki ortalama trityum konsantrasyonu $2,5 \pm 0,6$ TU olarak bulunmuştur. Nehir yeraltı maden ocakları ve yağmur suyundaki ortalama trityum konsantrasyonları ise sırasıyla $2,9 \pm 0,5$ TU, $1,95 \pm 0,5$ TU, $2,5 \pm 0,3$ TU ve $3,1 \pm 0,1$ TU olarak tespit edilmiştir.

1.2. Radyasyonun Tanımı ve Türleri

Elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımı radyasyon veya ışınım olarak adlandırılır. Kararsız atom çekirdekleri nötron, alfa, beta gibi parçacıklar veya gama gibi ışınlar yayarak parçalanmaktadırlar. Bu şekilde çevresine ışın saçarak parçalanan maddelere radyoaktif madde ("ışınımsal madde") denir. Elektromanyetik dalgaların enerji düzeylerine ve dalga boylarına göre

sıralandığı tabloya elektromanyetik spektrum adı verilmektedir. Elektromanyetik spektrum Şekil 1’de gösterilmektedir.

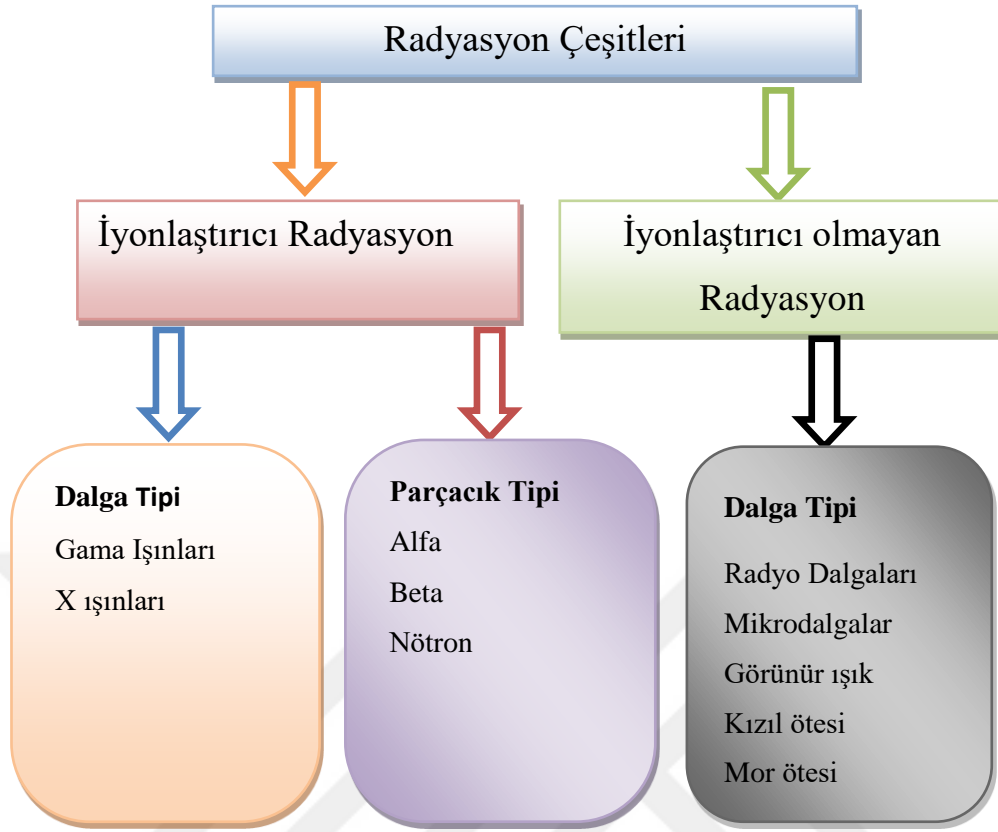


Şekil 1. Elektromanyetik spektrum

Maddeyle yaptığı etkileşme bakımından radyasyonu temel olarak iki ana grupta sınıflandırmak mümkündür. Bunlar iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. (Şekil 2) Radyasyonlar tabiatına göre ise “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyonlar olmak üzere iki guruba ayrılır.

Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden atom altı parçacıkları ifade eder. Yüksek enerjiye sahiptirler. Radyoaktif bir elementten yüksek hızlarda yayımlanırlar. Parçacık radyasyonu nötron, alfa, ve beta parçacıklarını kapsar. α ve β ışınlarının iç ışımalardaki etkileri oldukça fazladır.

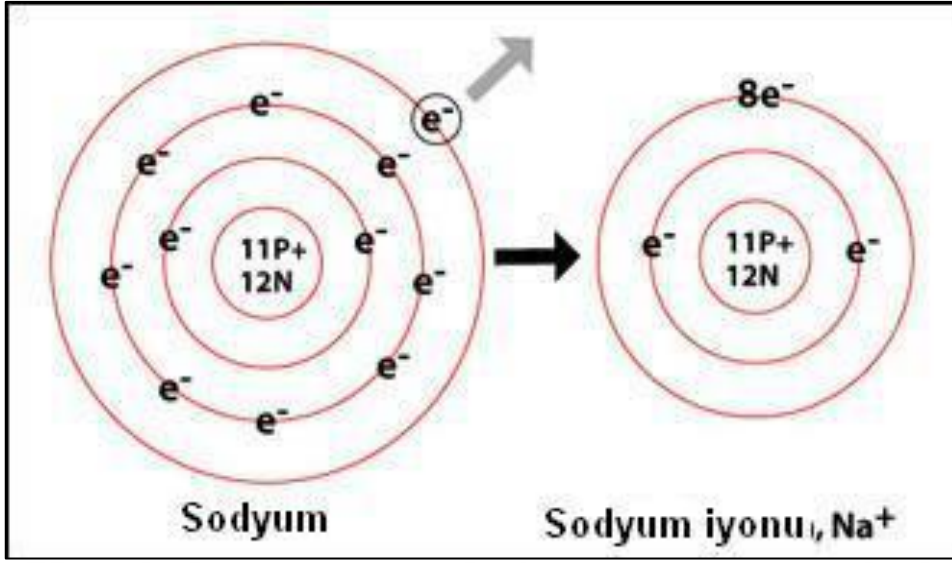
Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip fakat kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektromanyetik dalgalardır. Vakumda ve havada ışık hızıyla ilerleyen dalga tipi radyasyonun, insan vücudunda hızları daha düşüktür. Kozmik ışınlar, X-ışınları ve gama ışınları bu guruba ait olup dış ışınlamalarda çok önemli yer tutarlar. Dalga boyları küçük fakat enerjileri ise yüksektir.



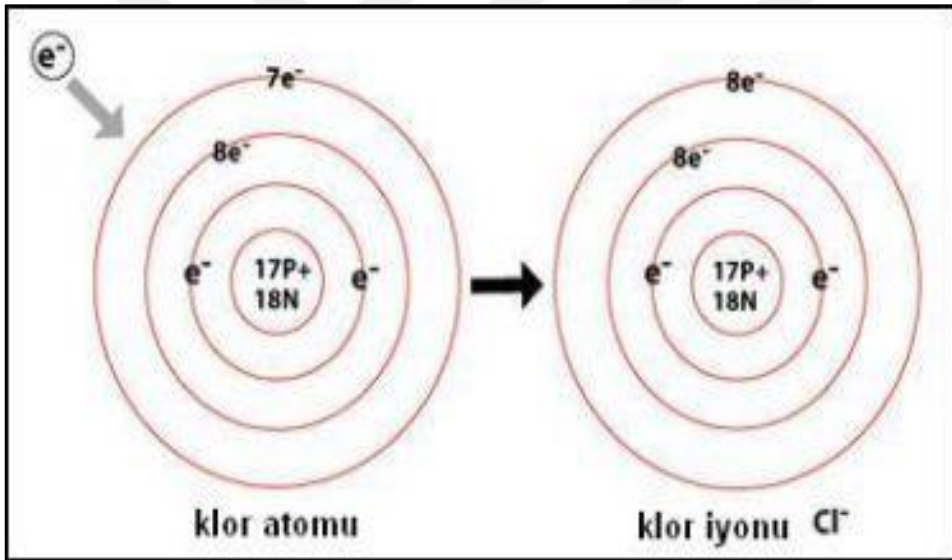
Şekil 2. Radyasyon çeşitleri

1.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, bir maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyonlaştırıcı radyasyon atomları iyonlaştıracak düzeyde enerjiye sahiptir. İyonizasyon atom yörüngesinden bir elektronun koparılmasıyla oluşur. Bu durumda atom pozitif yüklü iyon şeklinde kalır (Şekil 3). Atom yörüngesine bir elektronun eklenmesiyle iyon oluşur. Bunlar negatif iyon olarak tanımlanır (Şekil 4). İyonlaşma hücreye ve DNA yapısına zarar verebileceğinden, kanser oluşma olasılığı vardır. Bunun riski maruz kalınan iyonize radyasyon türüne ve dozuna göre değişir. Alfa ve beta parçacıkları ile gama, X ve kozmik ışınlar atomları iyonlaştırabilecek enerjiye sahip olan radyasyon türleridir. Serbest nötronlarda iyonize radyasyon olarak tanımlanır.



Şekil 3. Pozitif yüklü iyon oluşumu



Şekil 4. Negatif yüklü iyon oluşumu

1.2.1.1. Alfa (α) Parçacıkları

Rutherford ve Royd yaptıkları araştırmalar sonucunda alfa parçacığının ${}^4_2\text{He}$ çekirdeklerinden oluştuğunu bulmuşlardır. +2 pozitif yük taşıyan alfa parçacıkları iki proton ve iki nötrondan oluşmaktadır. Toryum, radyum, uranyum gibi atom ağırlıkları büyük olan kararsız izotoplar tarafından yayınlanmasının yanı sıra parçacık hızlandırıcılarında da oluşturulabilirler.

Tipik bir α parçacığının kendiliğinden yayınlanması denklem 1 ile gösterilmektedir.



Burada A; çekirdeğin kütle numarasını, Z; atom numarasını, X; ana çekirdeği ve Y ise ürün çekirdeği göstermektedir. Alfa bozunumuna bir örnek, denklem 2'de verilmektedir.



E_i ve E_s sistemin bozunmadan önceki ve sonraki toplam enerjileri olsun. Enerjinin korunumu yasasından, $E_i = E_s$ olmalıdır.

Buradan sistemin bozunma enerjisi (Q),

$$Q = (M_X - M_{X'} - M_\alpha)c^2 \quad (3)$$

şeklinde yazılır. Burada M_X bozunan, $M_{X'}$ ürün çekirdeğin, M_α ise α parçacığının kütlesidir. Bozunma yalnız $Q > 0$ ise kendiliğinden gerçekleşir. Ayrıca Q değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan 3 numaralı denklem,

$$Q = T_{X'} + T_\alpha \quad (4)$$

Şeklinde yazılabilir. Enerji ve momentum korunumundan yola çıkarak A; ana çekirdeğin, A-4, ürün çekirdeğin kütle numaraları olmak üzere α -parçacıklarının kinetik enerjileri için denklem 5 yazılabilir.

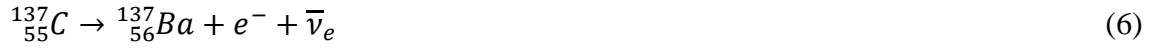
$$T_\alpha = \frac{Q}{(1+m_\alpha/m_{X'})} \quad (5)$$

Yazılabilir (denklem 5). Doğal radyoaktif maddeler tarafından yayınlanan ışımlar içinde giriciliği en zayıf olan α parçacıklarıdır. Doğal radyoaktif seri üyeleri ve birçok ağır çekirdek, α yayınlayarak bozunurlar. α yayınlanması bir Coulomb itmesi olayıdır. Bu durum ağır çekirdekler için gittikçe artan bir öneme sahiptir. Büyük

elektrik yüklerine sahip olan alfa parçacıkları herhangi bir madde içerisinde geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirdiklerinden enerjilerini çabucak kaybederler. Bu yüzden menzilleri çok kısadır. Enerjilerine göre havada 2,8 ile 8,6 cm uzaklığa kadar gidebilirler. Alfa parçaları ince bir kâğıt parçası veya 0,5 mm kalınlığında ince bir alüminyum varakla durdurulabilir. Alfa ışınlarını zırlamada cilt, laboratuvar önlüğü ve giysilerde kullanılabilir. Bu nedenle dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Fakat solunum yolu ile vücuda girdiklerinde büyük hasarlar meydana getirebilirler. Alfa parçacıklarının enerjisi 4–8 MeV arasında değişir.

1.2.1.2. Beta (β) Parçacıkları

Beta parçacıklarının yük ve kütleleri elektronun yük ve külesine eşittir. çekirdek civarında, $E = mc^2$ eşitliğiyle açıklanabilen, bir kütle oluşturan çekirdekteki enerji fazlalığıdır. Bu kütle çekirdekteki fazla yükü alır ve dışarıya bir beta ışını olarak yayınlar. Bunlar pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Bu parçacıkların salınması çekirdekteki nötronların ve protonların kararlılığına göre gerçekleşir. Tipik bir beta bozunumu Denklem 6'daki gibidir.



Çekirdekteki nötron fazlalığından dolayı salınan parçacıklar negatif yüklüdür ve bu tür bozunuma “beta-negatif bozunumu” adı verilir. Negatif yüklü bu parçacıklar β^{-} şeklinde temsil edilir ve “negatron” olarak isimlendirilir



Çekirdekten negatif betalarla beraber yüksüz ve ağırlığı ihmal edilebilir nötrino yayınlanır. Nötrinolar yüksüz olduklarından maddeyle etkileşmezler.

“Pozitif-beta bozunumu” adı verilen olay ise çekirdekteki proton fazlalığından ileri gelen bir beta yayınlanmasından kaynaklanır. Bu durumda parçacık pozitif yüklüdür. Pozitif yüklü bu parçacıklar β^{+} şeklinde temsil edilir ve “pozitron” olarak isimlendirilir.



Beta parçacıkları sürekli bir spektrumda enerji dağılımına sahiptirler.

Beta ışınları alfa ışınlarından daha giricidir, oluşturdukları iyonlaşma ise alfa parçacıklarına göre daha azdır. Hızları alfa ışınlarından daha fazladır ve 1 MeV enerjili beta ışınları havada 3 m yol alabilir. Cilt ve giysiler beta ışınlarını zırlamada yetersiz kalır. Beta parçacıklarının enerjileri 0,5 ile 5 MeV arasında değişir. 4 MeV enerjili betaların ancak %9'u pamuklu kumaş tarafından tutulabilir. Alüminyum, beta ışınları için ideal bir zırh maddesidir. Kauçuk, plastik, cam, perspeks gibi maddeler de beta ışınlarının zırhlanmasında kullanılan maddelerdir.

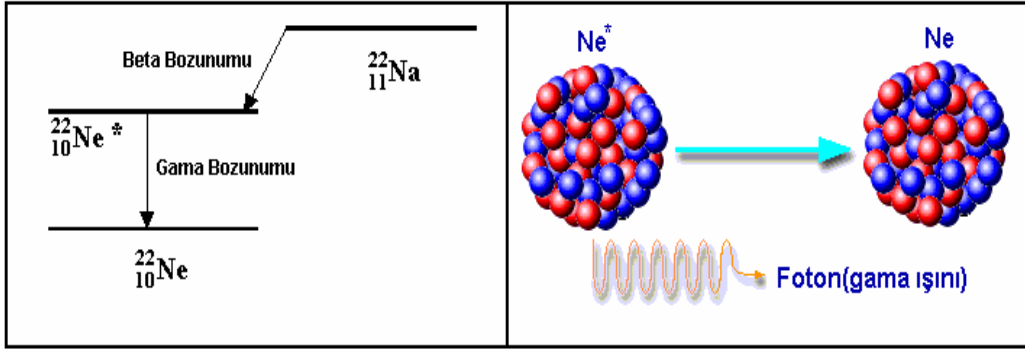
1.2.1.3. Gama (γ) Işınları

Çekirdek, bir alfa veya beta yayınladıktan sonra hala kararsız durumdaysa üzerindeki fazla enerjiyi gama radyasyonu şeklinde yayınlayarak kararlı duruma gelmeye çalışır. Çekirdek yüksek enerji düzeyinde uyarılmış olarak ne kadar kalmışsa, çıkacak gama radyasyonu da o kadar yüksek enerjiye sahip olacaktır. Kaynağı atomun çekirdeği olan gama ışınları atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Gama ışınları madde içerisinden geçerken maddenin elektronlarını uyararak serbest kalmalarına yol açar ve böylelikle iyonizasyon oluştururlar. Gama ışınlarının madde içerisine nüfuz etme kabiliyeti çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır.

Çekirdek yüksek bir enerji durumundan (E_i), daha düşük bir enerji durumuna; (E_f) geçerken yayınlanan gama radyasyonunun enerjisi denklem 9 ile gösterilebilir.

$$E = h\nu = E_i - E_f \quad (9)$$

Şekil 5'te sodyum'un (Na), beta bozunumu yaparak Neon'a (Ne) dönüşmesi ve uyarılmış halde bulunan Neon çekirdeğinin gama bozunumu ile temel enerji seviyesine geçerken yayınladığı gama ışınının şematik diyagramı gösterilmiştir (Akkoyun, 2006).



Şekil 5. Gama bozunum şeması

1.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, iyonlaşma meydana getiren x-ışını ve gama ışınının enerjisinden daha düşük enerjiye sahip ve dalga boyları 100 nm' den daha büyük olan ve madde içerisinden geçerken maddeyi iyonize etmeyen radyasyon çeşididir. Bu tür radyasyona mikrodalga, görünür ışık, kızıl ötesi ışınlar, mor ötesi ışınlar örnek olarak gösterilebilir.

1.2.3. Radyasyon Dozu ve Birimleri

1.2.3.1. Radyasyon Dozu

Belli bir zaman dilimi içerisinde kullanılan ya da tüketilen herhangi bir madde miktarına doz denmektedir. Radyasyon dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir zaman içerisinde soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Bütün zararlı maddeler çoğu zaman vücutta birçok biyolojik hasarlar ortaya çıkarır. Bu hasarların büyüklüğü ise, vücuda alınan maddenin cinsine, vücuda alınış şekline, miktarına ve süresine bağlı olarak değişir. Belirli bir süre içerisinde belirli bir miktarın (kabul edilebilir sınırların) üzerinde radyasyon enerjisi alan yani radyasyon dozu alan canlılarda bazı zararlı etkilerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Ancak radyasyonun çeşidi, soğuruma hızı ve soğurulan radyasyonun miktarı bilindiği zaman bu etkinin büyüklüğünü belirlemek mümkündür. Radyasyonun, canlı veya cansız bütün varlıklar üzerinde bırakacağı etkiyi kolayca belirleyebilmek için bütün bu faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir.

1.2.3.2. Radyasyon Birimleri

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) yapılan radyasyon çalışmalarında radyasyon etkilerini ve aktiviteyi belirlemek için özel birimler tanımlamıştır. Bu çalışmalarda kullanılan kavramlar olan aktivite, ışınlama dozu, soğurulma dozu ve doz eşdeğeri için özel birimler tanımlamıştır. Bu birimler sırasıyla; Curie (Ci), Röntgen (R), rad ve rem'dir. 1986 yılından itibaren kullanımdan çıkartılmaya başlanmış olan bu özel birimlerin yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile MKS sistemini esas alan "Uluslararası Birimler Sistemi (SI)" kullanılmaktadır. SI birimleri aynı kavramlar için sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg, Gray (Gy) ve Sievert (Sv) olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de doz hesaplamalarında kullanılan özel birimler ve radyasyon terimleri ile SI birimleri arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 1. Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki

Büyüklik	Birimi		Dönüşüm
	Eski	Yeni	
Aktivite	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci=3,7×10 ¹⁰ Bq
Işınlanma	Röntgen (R)	Coulomb/kilogram (C/kg)	1 C/kg = 3876 R
Soğurulmuş Doz	Rad (rad)	Gray (Gy)	1 Gy=100 rad
Eşdeğer Doz	Rem (rem)	Sievert (Sv)	Sv=100 rem

1.2.3.2.1. Aktivite Birimi

Birim zamanda bozunan atomların sayısına aktivite denir. Aktivitenin SI birimi Becquerel olarak adlandırılır ve kısaca Bq ile sembolize edilir. Eski birim sisteminde Curie olarak kullanılan radyoaktivite birimi (Ci), bir gram radyumun saniyede uğradığı bozunma sayısı (3,7×10¹⁰ bozunma/saniye) olarak tanımlanmış ve bu sayıda aktivite gösteren tüm diğer radyoaktif maddelerin aktivitesi 1 Curie olarak belirtilmiştir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq (bozunma/saniye)} \quad (10)$$

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci} \quad (11)$$

1.2.3.2.2. Işınlanma Birimi

γ ışını veya X ışını tarafından havada oluşturulan iyonizasyon miktarı, ışınlanma birimi olarak tanımlanır. Işınlanma birimi röntgen'dir (R). Ve röntgen normal şartlarda (0° C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk pozitif veya negatif elektrik yüklü iyonlar meydana getiren radyasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır.

$$1 \text{Coulomb/kg} = 3876 \text{ R veya } 1 \text{R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad (12)$$

1.2.3.2.3. Soğurulan Doz Birimi

Soğurulan doz; radyasyon enerjisinin ortamda iyonizasyon nedeniyle enerji olarak depolandığı miktardır. Özel birimi Rad SI birimi Gray (Gy)'dir.

Işınlanan maddenin 1 kg'na 10^{-4} joule'lük enerji veren radyasyon miktarı Rad birimi ile, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1joule'lük enerji veren radyasyon miktarı ise Gray birimi ile ifade edilir. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir.

$$1 \text{Rad} = 10^{-4} \text{ joule} \quad (13)$$

$$1 \text{Gy} = 100 \text{ Rad} \quad (14)$$

1.2.3.2.4. Eşdeğer Doz Birimi

Özel birimi Rem, SI birimi Sievert (Sv)'dir. Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir.

$$\text{Rem} = \text{Rad} \times W_R$$

$$\text{Sivert} = \text{Gray} \times W_R$$

W_R : radyasyon etkinlik faktörüdür. α parçacıkları protonlardan 4 kez daha zararlıdır. Soğurulan aynı miktardaki doz için parçacığın yükü arttıkça verdiği zarar da artmaktadır.

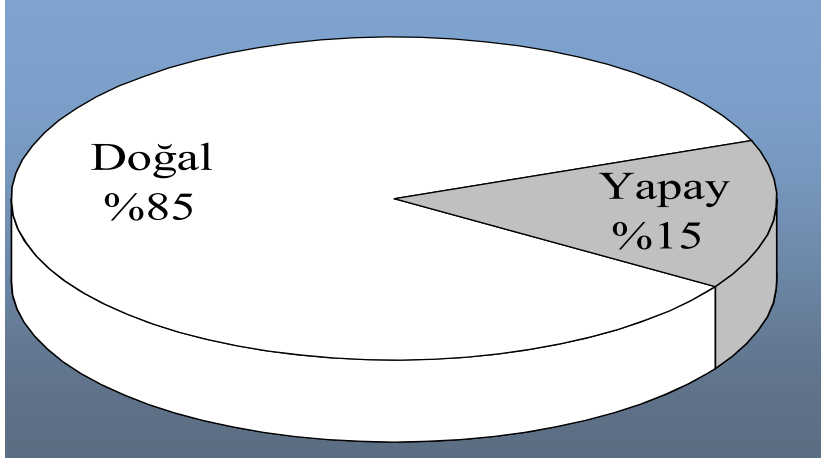
$$1\text{Rem} = 10^{-2}\text{Sv} \quad 1\text{Sv} = 100\text{Rem} = 1\text{J/kg} \quad (15)$$

İyonlaştırıcı radyasyonların oluşturduğu biyolojik zararlar, geçtikleri ortamın yolu boyunca kaybettikleri enerji miktarına (Lineer Enerji Transferi, LET) bağlıdır. Biyolojik etki LET değerine bağlıdır ve LET değeri arttıkça biyolojik etki de artmaktadır. Böylece eşdeğer doz birimi, iyonlaştırıcı radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmaktadır (Krane, 1998; Merdanoğlu, 2004).

1.2.4. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu ve diğer tüm canlılar varoluşlarından beri daima radyasyona maruz kalmıştır ve kalmaktadır. Çevremizde, dünyamızın ve evrenimizin tüm kısımlarında radyasyon ve radyoaktif maddeler (doğal ve yapay) bulunur, hatta her insanın vücudu hafif derecede radyoaktiftir. Radyasyon milyonlarca yıldan beri var olmasına rağmen, yalnızca yüz yıldan biraz uzun bir süre önce keşfedilmiş ve bazı uygulamalar için faydalı olduğu bulunarak kullanılmaya başlanmıştır.

Radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere iki çeşittir. İnsanların bu doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından aldıkları yıllık etkin doz değerine en büyük katkı, doğal kaynaklardan oluşan iyonize radyasyondan gelmektedir (Şekil 6) (NCRP, 1987; Bennett, 1997; UNSCEAR, 2000)



Şekil 6. Radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları

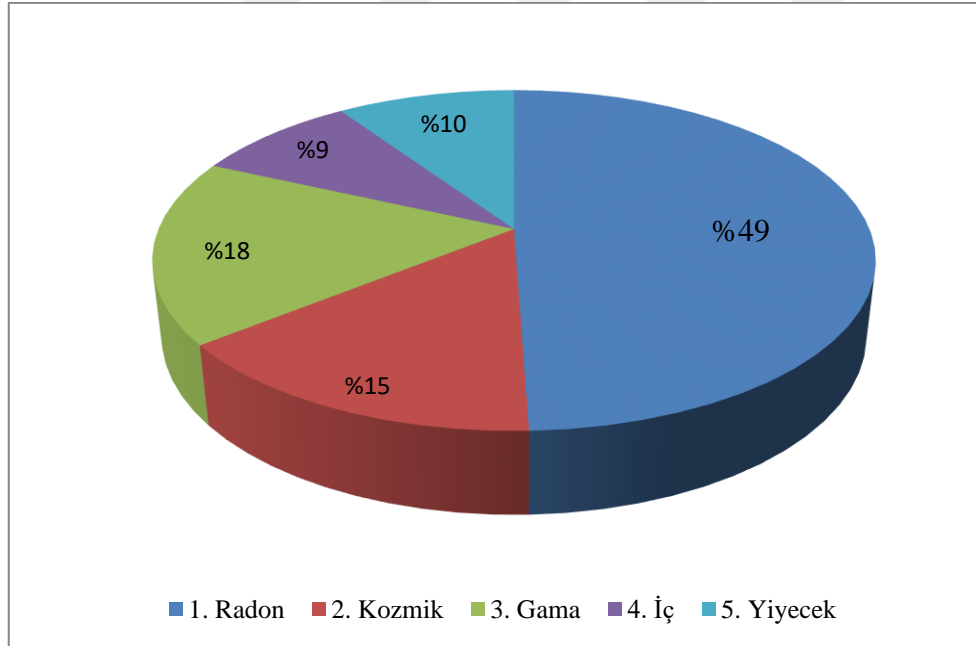
1.2.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Radyoaktif materyaller toprakta, suda ve besinlerde de bulunmaktadır. Uranyum, toryum ve bunların bozunum ürünleri hemen hemen her yerdedir. Toprakta maruz kaldığımız ve doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıl'dır (URL-3).

Dünya oluşumu sırasında birçok radyoaktif madde meydana gelmiştir. Bu andan itibaren kısa yarı ömürlü olanlar tükenirken oldukça uzun yarı ömürlü olanlar kalmıştır. Dünyamızda yer kabuğunda yaygın ve fazla miktarda bulunan radyoaktif elementlerden birisi de radon (Ra^{226}) elementidir. Ra^{226} elementinin bozunması sırasında salınan "radon gazı" doğal radyasyon düzeyini artıran en önemli sebeplerden biridir. Radon gazı dünya atmosferinin doğal parçasıdır. Radon gazı birikiminin zararlı etkilerinin önlenmesi için binaların iyice havalandırılması gerekmektedir. Binalarda ısı yalıtımı için kullanılan malzemeler nedeniyle binalardaki radon yoğunluğu bina dışına göre yüksek olabilmektedir. Radon bozunum ürünleri nedeniyle maruz kalınan yıllık ortalama etkin dozun yaklaşık olarak dünya genelinde 1,2 mSv olduğu tahmin edilmektedir (TAEK, 2009). Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu ve Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu tarafından dünya genelinde radon gazı nedeniyle alınan doz düzeyinin düşürülmesi maksatlı enlem düzeylerinin (Bq/m^3) kullanılması tavsiye edilmiştir (TAEK, 2009). Bu enlem düzeyleri genellikle evlerdeki radon

değişiminin ortalama değerinin on katı olan 200-600 Bq/m³ aralığında olmalıdır (TAEK, 2009).

İnsan, vücudunda bulunan radyoaktif elementlerden biri olan potasyum-40 nedeniyle belli bir radyasyon dozuna maruz kalmaktadır. Bu şekilde bir yıl boyunca maruz kaldığımız iç (dahili) radyasyon dozunun dünya ortalaması yaklaşık 0,23 mSv kadardır (URL-3). Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0,25 mSv/yıl'dır. Diğer yiyeceklere oranla özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktivite içerirler (URL-3). Doğal radyasyon kaynaklarından toplam maruz kalınan ortalama yıllık etkin doz yaklaşık 2,4 mSv'dir (TAEK, 2009). Şekil 7'de doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir. Tablo 2'de ise bazı bölgelerde ki doğal radyasyon doz düzeyleri verilmektedir. Tablo 3'de de doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri verilmektedir (UNSCEAR, 2000).



Şekil 7. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri

Tablo 2. Bazı bölgelerde ki doğal radyasyon doz düzeyleri

Bölge	Radyasyon doz düzeyleri (mSv/yıl)
Mersin (Akkuyu)	0,53
Ankara	0,44
Iğdır	0,88
Çanakkale	1,23
Kars	1,580
Hindistan (Kerela)	15,80
İran (Ramsar)	148,00
Brezilya	788,40

Tablo 3. Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

Kaynak	Dünya ortalaması (mSv)	Doz aralığı (mSv)
Kozmik radyasyon	0,4	0,3- 10
Gama radyasyonu	0,5	0,3- 0,6
Radon solunumu	1,2	0,2- 10
İç ışınlanma	0,3	0,2- 0,8
Toplam	2,4	1,0- 10

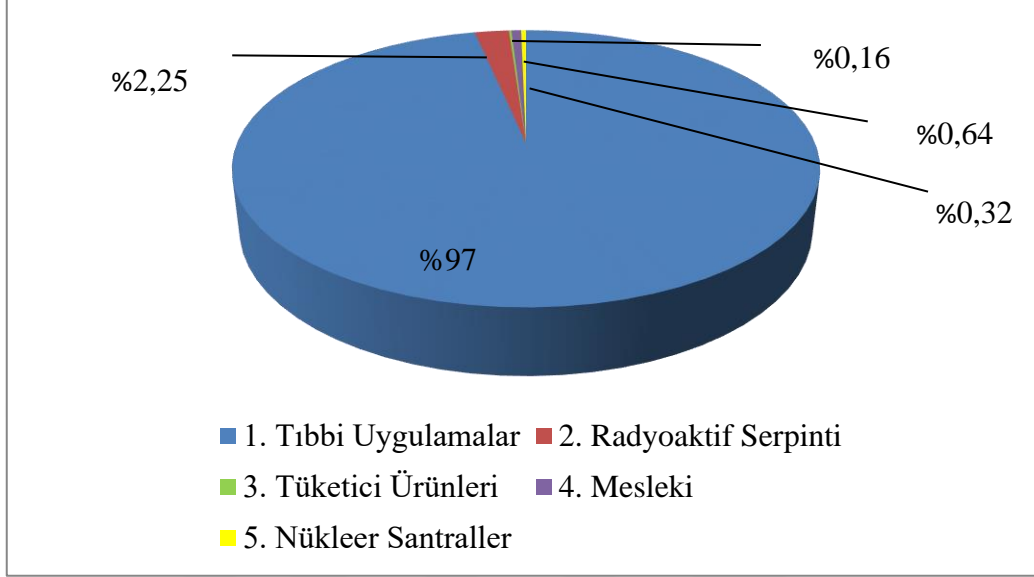
1.2.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu, teknolojik gelişmelerle birlikte bazı radyasyon kaynaklarını yapay olarak üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar'ın üretilmesiyle birçok işin daha kaliteli, daha basit, daha hızlı daha ucuz yapılmasına olanak sağlanmıştır. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir.

Yapay radyasyon kaynakları doğal radyasyon kaynakları gibi belli bir miktarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Fakat bu doz miktarları, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan dozla karşılaştırdığımızda daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol edilebilirler. Kısaca yapay radyasyon kaynaklarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Tıbbi kaynaklar
- Nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler
- Nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler
- Tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler

Şekil 8’de yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir.



Şekil 8. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri

İnsanlar tarafından üretilen yapay radyasyon, radyoaktif izotopların kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu radyasyon kaynakları radyoterapide, teşhis amaçlı olarak ise röntgen, tomografi ve sintigrafi çekimlerinde tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu radyasyon kaynakları bunların yanı sıra endüstride kalite kontrol, gıda sektöründe ürünlerin raf ömrünü uzatmak için sterilizasyonda ve nükleer reaktörlerde enerji üretiminde kullanılmaktadır (Tüysüz vd., 2004).

1.2.5. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

İnsanlar ve diğer tüm canlılar radyasyona, dış ışınlamalarla maruz kaldığı gibi bunun yanı sıra solunum ve sindirim yoluyla vücuda alarak iç ışınlamalarla da maruz kalmaktadırlar. Radyasyona dışarıdan maruz kalınmışsa buna dış ışınlama, içeriden maruz kalınmışsa iç ışınlama denir. Gama ve betalar dış ışınlamalarla, alfalar ise iç ışınlamalarla daha çok zarar verirler (Taşkın, 2006).

İyonlaştırıcı radyasyonun canlı üzerinde biyolojik bir hasar oluşturabilmesi için enerjisinin hücre tarafından soğurulması gerekir. Enerjinin hücre tarafından soğurulması sonucunda moleküllerde iyonlaşma ve uyarılmalar meydana gelir. Bu iyonlaşmalar, oluşması DNA zincirlerinde kırılmalara ve hücre içerisinde kimyasal toksinlerin üremesine neden olurlar. Kırılmaların hemen ardından hücre kendini onarım faaliyetine başlar. Kırılmalar sonucunda DNA’da oluşan hasar çok büyük değilse meydana gelen kırılmalar onarılabilir. Fakat bu onarım sırasında hatalar oluşabilir veya yanlış şifre bilgiler içeren kromozomlar meydana gelebilir. DNA düzgün onarılmadığı takdirde, hücre ya bozuk bir metabolizma ile sağ kalacak ya da ölecektir (IAEA, 1994). Hasarlı hücre sayısı çok büyük olduğunda organ veya dokularda, gözlenebilir hasarlar meydana gelir. (Çelebi, 1995).

Radyasyonun verdiği hasar sonucunda hücre ölmüyor sadece değişikliğe uğruyorsa bu durumda hücredeki hasar genellikle onarılır. Onarım mükemmel olarak gerçekleşmediği takdirde değişim yavru hücrelere aktarılacak ve er geç ışınlanan kişinin organ veya dokularında kanser oluşumuna yol açacaktır. Kişinin kendisinde veya çocuklarında meydana gelen bu tür etkilere “stokastik” (tesadüfi) etkiler adı verilir. Vücudun bazı bölgeleri diğerlerine nazaran daha meyilli olsa da, radyasyon hemen hemen her doku ve organda kansere yol açabilir (Radyasyon güvenliği, 1996.).

“Birleşmiş Milletlerin radyasyonun etkileriyle ilgili çalışmalar yapan bir kuruluşu olan United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili mevcut verilere dayanarak radyasyon kaynaklı kanser için bazı risk tahminleri türetmiştir”. Bu tahminlere göre, 1 Sv’lik akut doza maruz kalmış her yaştan ve her cinsiyetten insanların oluşturduğu bir grup için, kanserden dolayı ölüm riskinin erkeklerde %9, kadınlarda %13 olduğu öne sürülmektedir. Çocuk grupları arasında 0-5 yaşındakiler, 10-14 yaşındakilere göre beş kat daha duyarlıdır (IAEA, 1994).

1.2.6. Sularda Radyoaktivite

Sulardaki radyoaktivite, ya doğaldır veya insanların bu suların bulunduğu yöredeki etkinliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu doğal radyoaktivite, ortam sayması olarak o yörenin karakteristiğidir.

Genellikle yüzeysel sular için doğal radyoaktivite alfa aktivitelerinde 1 pCi/L'den, beta aktifliklerinde ise 20–50 pCi/L'den küçüktür. Bu alfa ve beta aktifliklerine gama aktiflikleri de eşlik edebilir.

Su içinde, pozitif yüklü iyonlar (katyonlar) ve negatif yüklü iyon (anyonlar) erimiş tuzlar halinde bulunmaktadır. Erimiş en yaygın katyonlar, sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{+2}), magnezyum (Mg^{+2}) ve potasyum (K^+)'dur. Klorür (Cl^-), bikarbonat (HCO_3^-) ve sülfat (SO_4^{-2}) ise yaygın olarak bilinen anyonlardır (Taşkın, 2006).

Yeraltı sularında birçok radyoaktif kirletici element bulunmaktadır. Fakat, bu radyoaktif elementler radyasyon sağlığı açısından tehlikeli sayılabilecek konsantrasyon düzeyine sahip değildirler. Yeraltı suları, diğer bir ismi ile derin dolaşım sular, alt tabakalarda çokça bulunan volkanik ve granit kayalarıyla etkileşirler. Genellikle volkanik tabakalar içinden geçen sulardaki radyoaktivite konsantrasyon düzeyleri, tortul tabakalar içinden geçen suların konsantrasyon düzeylerine nispeten daha yüksektir. Bu yüzden yeraltı suları yüzey sularına oranla daha fazla radyoaktiftir (Johnson ve Tuitah, 1983).

Sularda en fazla uranyum ailesi elemanlarından olan radyum ve radon bulunmaktadır. Radyum suda kolayca eridiğinden yeraltı sularına geçerek toprak tarafından çok hızlı bir şekilde soğurulur. Bu nedenle yeraltı sularında radyum konsantrasyonu, ^{222}Rn konsantrasyonuna oranla çok daha azdır (Dawis ve Watson, 1990). Radyum vücuda alındığında kemiklerde birikerek omuriliği sürekli ışınlamaktadır (Lucas, 1991). Radon, toprak ve kayalardan yayılma ile suya karışmaktadır. Bu nedenle suda ölçülen radon, sadece suyun içerisinde bulunan radyumdan kaynaklanmamakta, aynı zamanda suyun geçtiği yerlerdeki toprak ve kayalarda bulunan radyumdan da ileri gelmektedir (Çelebi ve Yaşar, 1998). Yapılan

araştırmalarla 370 Bq/L radon konsantrasyonuna sahip bir suyun ev için radon konsantrasyonuna katkısının 37 mBq/L olduğu ortaya konmuştur (Watson vd., 1993). Suyun sıcaklığı arttıka ortama verilen radon miktarı doğru orantılı olarak artar (Hammond vd., 1981). Evdeki duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radon salınmasına neden olur (Çelebi ve Yaşar, 1998).

Sularda sadece uranyum ailesi elemanları değil de bundan başka, toryum ailesi elemanlarından olan toryumun kendisi ^{232}Th ve ^{228}Ra de bulunur. Diğer bozunma ürünlerinin yarı ömürleri çok kısa olduğundan insan sağlığına etkileri önemsizdir. Yine doğal olarak toprakta bulunan ^{40}K ve ^{87}Rb 'de yayımlandıkları beta ışınlarıyla, suların toplam beta radyoaktivite konsantrasyonuna katkıda bulunur (Çelebi ve Yaşar, 1998).

1945–1980 yılları arasında atmosferde yapılan nükleer silah denemeleri ve reaktör kazaları sonucu havaya salınan radyoaktif maddeler havada gaz, organik bileşimler ve inorganik aerosollar (örn. toz parçacıkları) halinde bulunur. Bu maddeler kuru serpinti ve yağışlarla, yavaş yavaş yer yüzüne inerek çevre kirliliğine bunun sonucunda ise su kirliliğine neden olmaktadır. Toprak üzerinde yapılan çalışmalarda, farklı bölgelerde farklı miktarlarda ^{137}Cs ve ^{90}Sr radyoizotopları ölçülmüştür. Çernobil reaktör kazası sonucunda toprakta biriken ^{137}Cs miktarı nükleer bomba denemeleri sonucu biriken miktarın 5 katı, ^{90}Sr miktarı ise %10'u düzeyinde kalmıştır. Çernobil kazası sonrası yapılan çalışmalar havada ve alınan yağmur örneklerin de ^{131}I , ^{137}Cs , ^{132}Te , ^{132}I , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{103}Ru , ^{90}Sr gibi radyoizotopların varlığını ortaya koymuştur. Sularda ve toprakta yapılan çalışmalarda, sulardaki radyonüklit konsantrasyon düzeylerinin toprak yüzeylerinde konsantrasyon düzeylerinden çok daha az olduğu, suların içilmesi ve sularda yaşayan balık vs. canlıların yenmesiyle alınacak dozların solunum yoluyla alınacak dozlardan çok daha az olduğu bulunmuştur (ASTM, 1987). Nükleer denemelerin 1980'li yılların başından itibaren yasaklanmasıyla radyoaktif yağışların etkinliği de oldukça azalmıştır (Çelebi ve Yaşar, 1998).

1.2.7. İçme Sularında Radyoaktivite Limitleri

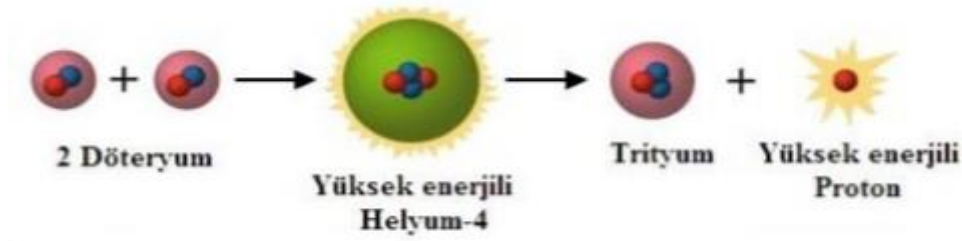
İçme sularındaki radyoaktivite limitleri için Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 17/02/2005 tarih ve 25730 sayılı resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren ‘İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik’ geçerli olup ilgili yönetmelikte verilen radyolojik parametre ve sınır değerler Tablo 4’de verilmiştir (TAEK Raporu, 2009).

Tablo 4. Sulardaki radyolojik parametreler ve limitleri

Parametre	Parametrik Değer	Birim
Tritiyum (^3H)	≤ 100	Bq/L
Toplam Gösterge Doz (TGD)	$\leq 0,10$	mSv/yıl
Alfa yayınlayıcılar (α)	$\leq 0,1$	Bq/L
Beta yayınlayıcılar (β)	≤ 1	Bq/L

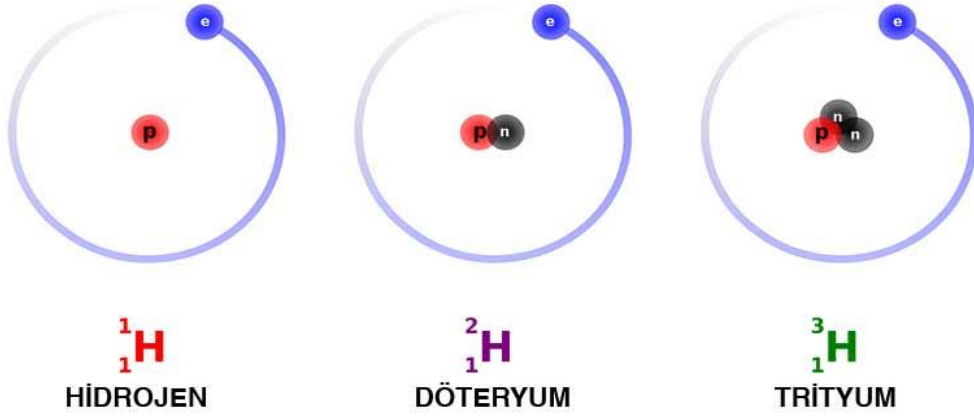
1.3. Tritiyum

Tritiyum; fizikçiler Ernest Rutherford, M. L. Oliphant ve Paul Harteck’in 1934 yılında yapmış oldukları döteryum - döteryum füzyon reaksiyonu (Şekil 9) sonucunda nükleer trans mutasyon ürünü olarak keşfedilmiştir. Tritiyum düşük enerjili beta parçacıkları yayan radyoaktif bir izotoptur. Tritiyum, hidrojenin radyoaktif bir izotopu olduğundan dolayı fiziksel ve kimyasal özellikleri hidrojeninki ile aynıdır (Altay ve Çifter, 1996).



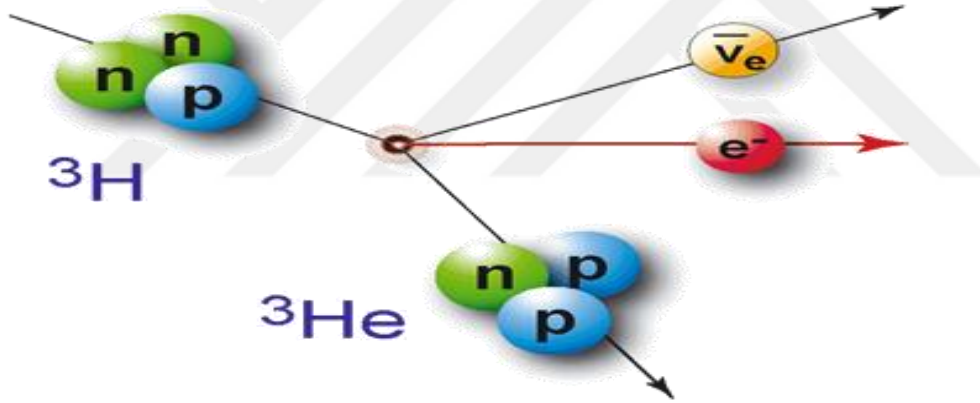
Şekil 9. Döteryum-Döteryum füzyon reaksiyonu

Bir elementin atom numarası aynı fakat kütle numarası farklı atomlarına “izotop” denir. Şekil 10’da gösterildiği gibi hidrojen atomunun üç izotopu vardır.



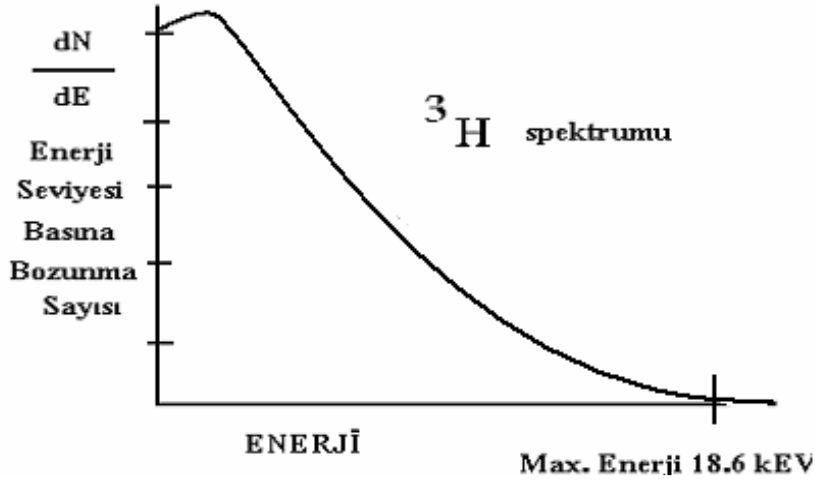
Şekil 10. Hidrojen atomunun izotopları

Hidrojen atomunun üçüncü izotopu olan trityum, çekirdeğindeki nötron fazlalığı nedeniyle radyoaktif özellik gösterir ve şekil 11’de gösterildiği gibi, bir beta parçacığı ile bir antinötrino ($\bar{\nu}$) yayınlayarak kararlı ${}^3\text{He}$ atomuna dönüşür.



Şekil 11. Tritiyumun radyoaktif bozunması

Tritiyumun yarı ömrü 12,32 yıldır (UNSCEAR, 1982). Tritiyum çekirdeğinden yayınlanan enerjinin maksimum değeri 18,6 keV olup, beta parçacığı ile nötrino arasında rastgele bölüşülür. Bu nedenle beta parçacıklarının enerjisi 0 – 18,6 keV arasında herhangi bir değere sahip olabilir (şekil 12). Dolayısıyla beta spektrumu süreklilik gösterir (Altay ve Çifter, 1996; Portakal vd., 1998).



Şekil 12. Tritiyumun beta bozunumu

Tritiyumun en yaygın formu tritiyum gazı (HT) ve tritiyumlu su olarak adlandırılan tritiyum oksittir (HTO). Suyun kimyasal formu H₂O'dur. Bir tritiyum atomu suda bulunan hidrojen atomlarından biriyle yer değiştirir ve böylece suyun kimyasal formu H₂O'dan HTO'ya değişir. Tritiyum, nükleer reaktörlerde uranyum fisyonunun yan ürünü olarak üretilir. Tritiyum, döteryumla tepkimeye girerek füzyon reaksiyonu oluşturur. Döteryum ve tritiyum gibi hafif hidrojen radyoizotoplarının yüksek sıcaklıklarda kaynaşarak, çok daha ağır atomlara sahip helyuma dönüşmesiyle büyük miktarda enerji açığa çıkar.

1.3.1. Çevresel Tritiyum ve Özellikleri

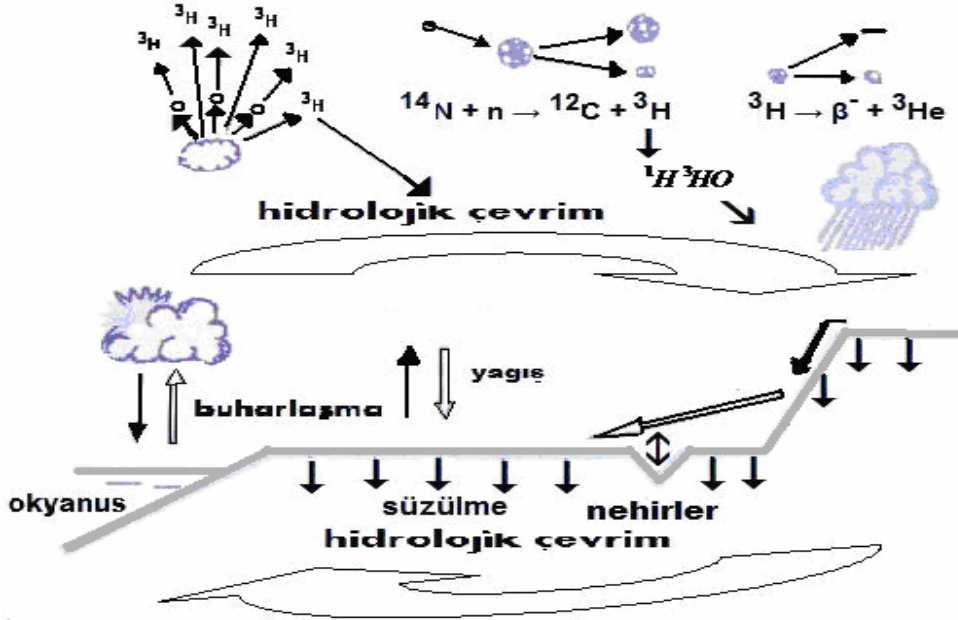
Tritiyum yağışlara iki kaynaktan girerek hidrolojik çevrimde yerini alır ve "çevresel tritiyum" olarak adlandırılır. Tritiyumun bu doğal döngüsü Şekil 13'de gösterilmektedir.

1. Tritiyum, atmosferin üst tabakalarındaki azot ve oksijen atomlarının kozmik nötronlarla etkileşime girmesinden doğal olarak oluşur. Bu oluşum reaksiyonları denklem 16 ve 17'de verilmektedir.





Trityum, hidrolojik çevrime Şekil 11’de gösterildiği gibi $1\text{H}_3\text{HO}$ şekline yükseltgendikten sonra girer (Mook, 2002).



Şekil 13. Trityumun doğal döngüsü

Trityumun atmosferde kalış süresi kısa olduğundan doğal olarak oluşum hızı da çok küçüktür. Trityumun atmosferde ki bu doğal oluşum hızının $0,25 \text{ atom/cm}^2\text{s}$ olduğu tahmin edilmektedir (Altay ve Çifter, 1996). Bu yüzden trityum konsantrasyonu, coğrafi konuma bağlı olarak 5–20 TU (trityum birimi) civarındadır. Yağışlara karışarak yeraltına geçen trityum uzun yıllar yeraltında bekler ve daha sonra başka bir yeni suyla karışmazsa konsantrasyonu zamanla azalır (Altay ve Çifter, 1996; DSİ TAKK, 2003).

Sulardaki doğal trityum konsantrasyonu Bq/L ya da TU (trityum birimi) olarak verilir. Trityum konsantrasyonunun Bq-TU ilişkisi $1 \text{ TU} = 1 \text{ Trityum atomu}/1 \times 10^{18} \text{ hidrojen atomu} = 3,19 \text{ pCi/L} = 0,118 \text{ Bq/L}$ olarak verilmektedir. Yani, 1×10^{18} hidrojen atomuna karşı bir trityum atomunun bulunması “1 trityum birimi (TU)” olarak tanımlanır (Watson vd., 1993).

2. Trityum nükleer çalışmalar sonucunda da yapay olarak oluşur.

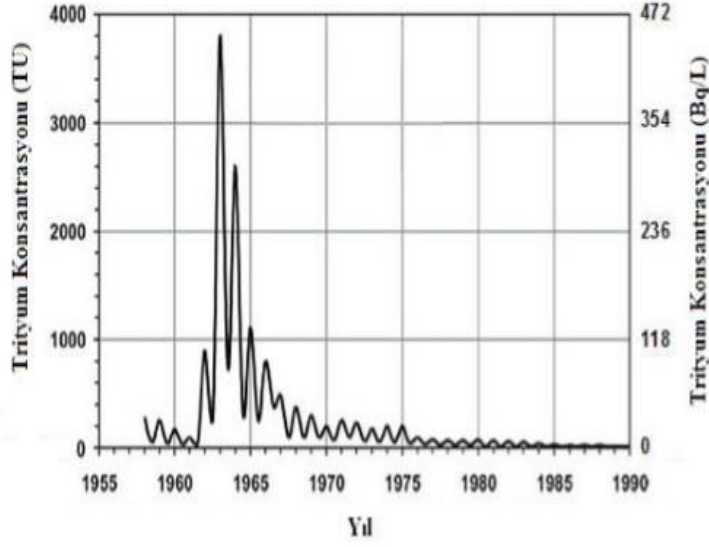
1952–1962 yılları arasında yapılan termonükleer denemeler sonucunda atmosfere yüksek miktarda trityum enjekte edilmiştir. Bu yüksek miktardaki salınan trityumun kademeli olarak troposfer tabakasına geçmesiyle 1953 yılından sonra yağışların trityum konsantrasyonunun değerlerin de artış gözlenmiştir (Mook, 2000).

Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ve Dünya Meteoroloji Organizasyonu işbirliğiyle yağışlardaki izotop kompozisyonunu belirlemek amacıyla kurulan meteoroloji istasyonlarından en fazla kaydı bulunan Kanada'nın Ottawa Meteoroloji istasyonundan toplanan yağış numunelerinde yapılan trityum analiz sonuçlarından bu artışı görmek mümkündür. Ottawa yağış istasyonundan alınan yağış numunelerinin ağırlıklı ortalama trityum konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi Şekil 14'de görülmektedir.

1953 yılında trityum konsantrasyon düzeyi 26 TU iken, bu değer 1954 yılında 287 TU'ya kadar yükselmiş ve bu artış 1963 yılında 2900 TU'ya kadar çıkmıştır. Kuzey yarım kürede 1963 yılındaki yağışlarda trityum konsantrasyon düzeylerinin maksimum değere ulaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 14). Artan trityum konsantrasyon düzeylerini azaltmak amacıyla 1963 yılında bir antlaşma imzalanmış ve bu antlaşma sayesinde termonükleer denemeler durdurulmuştur. Bunun sonucu olarakta trityum konsantrasyonunun da üstel olarak bir azalma gözlemlenmiştir.

Türkiye'de Ankara, Antalya ve Adana yağış istasyonları da IAEA'nın kurduğu şebekeye dâhildir. Kuzey yarım kürede 1963 yılındaki artış bu üç istasyonda da gözlemlenmiştir. Ankara, Antalya ve Adana yağış istasyonlarından 1963 yılında alınan numunelerin trityum konsantrasyonlarının ağırlıklı ortalamaları sırasıyla 2585 TU, 710 TU, 1150 TU'dur.

Trityum günümüzde uranyum fisyonunun yan ürünü olarak nükleer reaktörlerde üretilir. Döteryumla tepkimeye giren trityum füzyon reaksiyonu oluşturur. Yüksek sıcaklıklarda trityum ve döteryum gibi hafif radyoizotopların kaynaşarak, çok daha ağır atomlara sahip helyuma dönüşmesiyle büyük miktarda enerji açığa çıkar. enerjiyi açığa



Şekil 14. Kuzey yarımkürede trityum konsantrasyonunun yıllara göre değişimi

1.3.2. Trityumun Kullanım Alanları

Trityum, nükleer bombaların patlamasını başlatan nükleer reaksiyonlarda, bunun yanı sıra bazı saatlerin kadranları, havaalanı pist ışıkları ve bazı ışıldayan cihazların, boyaların, bina giriş çıkış kapılarının kontrolünü sağlayan cihazların yapısında ve çeşitli bilimsel araştırmalarda kullanılmaktadır. Ayrıca, biyolojik ve çevresel çalışmalarda izleyici olarak kullanılır (Portakal vd., 1988).

1.3.3. Trityumun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Trityumun çevredeki davranışı, farklı sistemler arasında transferi ve insana geçişi ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Trityum vücudumuza aldığımız su ve süt gibi sıvı gıdalarla bütün vücutta dolaşım sağlayabilir, havadan gaz formu solunumla alınabilir ve ayrıca deriden de soğurulabilir.

Trityum düşük enerjili bir beta parçacığı yayınlamakla bozduğundan sadece vücut içerisine alınırsa sağlık bakımından bir tehlike doğurur. Havada uzun mesafe yol alamayan beta parçacığı dokuda da derinlere nüfuz edemez. Vücut içerisine trityumun

alınımın en muhtemel yolu trityum hidroksit (trityumlu su - HTO) şeklindedir. Gaz halinde trityum alınımı ise genellikle çok düşüktür (% 1'den daha az).

Solunum ve sindirim yoluyla vücuda alınan ve bildiğimiz (sıradan) suyla aynı davranışı gösteren trityumlu suyun yani HTO'nun önemli bir kısmı direkt olarak kan dolaşımına dâhil olur. Hidrojen ve trityumun hemen hemen aynı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Dolayısıyla trityum vücut içerisine alındığında hızlıca hücre içi ve hücre dışı doku sularına karışarak dokuların organik moleküllerindeki bağlı bulunan hidrojenin yerine geçer.

Trityumun sağlık tehlikesi, radyoaktif bozunmadan kaynaklanan iyonize radyasyonun neden olduğu hücre zararıyla bağlantılıdır. Trityumun biyolojik yarı ömrü 10 gündür (Tanır vd., 2013). Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda trityumun karaciğer hücrelerinde aberasyona (normal olmayan değişiklikler), DNA sentezini yavaşlattığı, kemik iliği hücrelerinde sitolojik (hücresel) zararlı etkiye neden olduğu, ve çeşitli doku hücrelerinde ölümlere neden olduğu ortaya konulmuştur. (Dobson ve Cooper, 1974; Dobson ve Kwan, 1976)

Bazı radyoaktif izotoplar ve bunların üzerinde etki oluşturduğu organlar Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5. Beta ışını yayan radyoaktif izotoplar

İzotop	Simgesi	Yarı ömrü	Organ
Trityum	H-3	12,3 yıl	Tüm vücut
Karbon	C-14	5730 yıl	Tüm vücut
Fosfor	P-32	14,3 gün	Kemik
Kükürt	S-35	88 gün	Tüm vücut
İyot	I-131	8 gün	Tiroid
İyot	I-125	60 gün	Tiroid
Stronsyum	Sr-90	28,1 yıl	Kemik

1.3.4. Tritiyumun Ölçülmesi

Tritiyum, ^3He kütle spektrometresi atomik kütle spektrometresinde (AMS) ölçülebilir. Numunenin ^3He kütle spektrometresinde ölçülebilmesi için ilk olarak bütün gazlardan arındırılması gerekir. Daha sonra ^3He soy gaz kütle spektrometresi ile ölçülür. LSC yönteminden daha hassas olan ^3He kütle spektrometre yönteminin dedeksiyon limiti 0,5 Bq/L'dir. ^3He metodunun diğer metodlara göre en büyük dezavantajı numune hazırlığındaki yöntemin karmaşıklığı ve uzun analiz süresidir (Xiaolin ve Per, 2008).

Tritiyum tespitinde kullanılan hassas yöntemlerden bir tanesinde atomik kütle spektrometresi yöntemidir. Bu yöntemin, biyolojik numunelerin analizi için gerekli olan en uygun numune miktarının (2 mg hidrojen) analizine imkân tanınması bu yöntemi diğer yöntemlere göre daha avantajlı hale getirmektedir. Ancak LSC ile karşılaştırıldığında AMS'nin numune hazırlığı çok daha karmaşıktır. Bu nedenle çevresel numunelerde tritiyum tespiti için en sık kullanılan yöntem LSC ölçüm yöntemidir (Xiaolin ve Per, 2008).

1.4. Sıvı Sintilasyon Sayacı (LSC)

1950'li yılların başından bu yana, radyoaktivite ölçümlerinde kullanılan en yaygın tekniklerden biri Sıvı Sintilasyon Sayım (LSC) tekniğidir. Günümüzde özellikle çevresel ve biyolojik örneklerde alfa ve beta yayan radyonüklidlerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 15'de Perkin & Elmer Tricarb 2910 TR sıvı sintilasyon sayacı görülmektedir. Sıvı sintilasyon sayım tekniği birçok avantaj sağladığından dolayı çevresel ve biyolojik örneklerdeki radyoaktivite ölçümlerinde, en çok tercih edilen tekniktir. Sıvı sintilasyon sayım tekniğinin sağladığı avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür (Horrocks, 1974; Passo ve Cook, 1994):

- ❖ Radyoizotoplar, uygun bir sintilatör içinde homojen bir dağılım içinde buldukları için 4π sayım geometrisinde sayılırlar,
- ❖ Self-absorbsiyon (öz soğurma) riski yoktur. Beta parçacıklarının menzili kısadır, (1MeV enerjili beta parçacığı için sudaki menzil 0,40 cm) LSC'de beta parçacıkları sıvı sintilatör içinde yakın mesafelere getirilebilir ve diğer

metotlardan farklı olarak öz-soğurma olmadan sintilasyon sağlanabilir,

- ❖ Örnek hazırlama kolay ve çabuktur
- ❖ Son yıllarda özellikle beta sayımlarında daha fazla kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan beta yayıcı izotoplar ^3H , ^{14}C ve ^{32}P 'dir,
- ❖ Aynı örnek içinde aynı anda toplam alfa ve beta radyoaktivite değeri saptanabilmektedir.

Sıvı sintilasyon sayacı ayrıca aşağıda verilen birçok radyoizotop belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Horrocks, 1974);

- ❖ Doğal radyoizotop serilerinin ölçümünde (Ra, U, ^{210}Pb , ^{222}Rn , ^{231}Pa ve ^{234}Th)
- ❖ Nükleer güç endüstrisi ile çevreye dağılan genellikle beta yayınlı izotopları olan radyoizotopların ölçümünde (^3H , ^{14}C , ^{35}S , ^{55}Fe , ^{85}Kr , ^{90}Sr)
- ❖ Radyo karbon ile tarihleme (^{14}C)
- ❖ Yeraltı ve çevresel sularda ^3H ölçümleri gibi analizlerde
- ❖ İçme sularında, toplam alfa ve beta ölçüm analizlerinde
- ❖ Radyasyon serpinti çalışmalarında (^{90}Sr , ^{137}Cs)
- ❖ Radyoaktif atık izlemede (^3H , ^{14}C , Pu)
- ❖ Yiyeceklerde ^{14}C analizlerinde
- ❖ Biyolojik çalışmalarda (^3H , ^{14}C)

Trityum düşük enerjili olduğundan, içme sularında trityum konsantrasyonunu belirlemek için sıvı sintilasyon sayımı ideal bir sayım yöntemidir. Sıvı sintilasyon sayımı, beta parçacıklarının kinetik enerjilerinin ışık fotonlarına dönüşümü temelinde işlev görmektedir. Sıvı sintilasyon sayımı, kendisi radyoaktif olan veya radyoaktif etiketli bir numunenin, nükleer yayım kinetik enerjisini ışık enerjisine çevirme niteliğinde olan sıvı bir kimyasalın içinde homojen olarak dağılması prensibine dayanmaktadır.

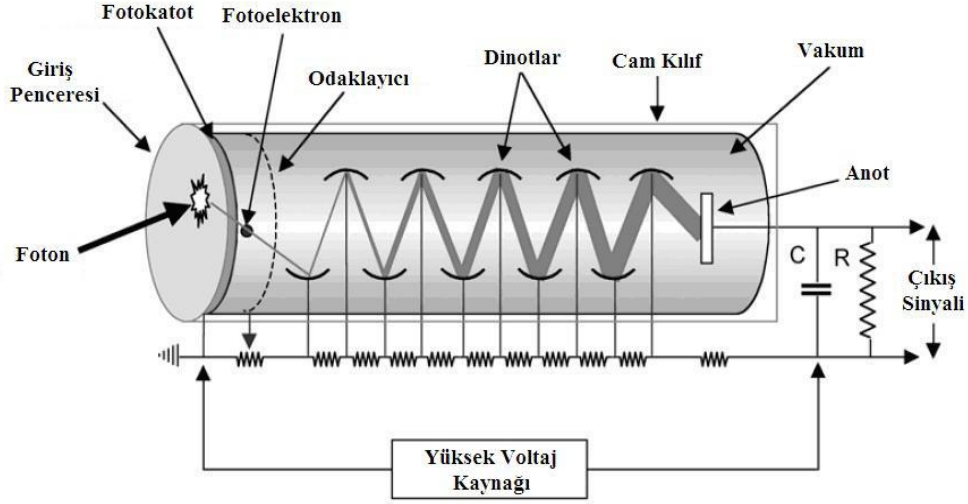


Şekil 15. Sıvı sintilasyon cihazı (LSC)

1.4.1. Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT)

Fotoçoğaltıcı tüpler, görünür fotonları voltaj pulslarına dönüştürme işlemi yaparlar. Genellikle kapalı bir cam tüpün içerisinde bulunan bir giriş penceresi, bir fotokatot, odaklayıcı elektrotlar, elektron çoğaltıcı ve bir anottan oluşan PMT'nin şematik yapısı Şekil 16'da gösterilmektedir (Hakamata, 2006).

Fotokatot, üzerine düşen ışığı (fotonları) elektronlara çevirme işlemi yapar. Fotokatot, yüzeyinden kolay elektron koparılabilmesi için sezyum veya antimon (Cs, Sb) gibi bağlanma enerjisi düşük maddelerden yapılmaktadır. Fotokatotlarda fotoelektrik olay sonucu oluşan elektronların oluşturduğu akım çok zayıf olduğundan ölçülebilmesi için çoğaltılması gerekir (Tosoulfanidis, 1995; Altay ve Çifter, 1996). Çoğaltma işi dinodlar vasıtasıyla yapılır.



Şekil 16. Fotoçoğaltıcı tüpün şematik yapısı

Dinodlar, ikincil elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu maddelerden yapılırlar (alkali antimonide, berilyum oksit, magnezyum oksit, galyum fosfit, galyum arsenit fosfit) (Hakamata, 2006). Dinodlar bir seri direnç zinciri ile kademeli olarak artan gerilimlerde tutulur. Bir elektron salınması için 2–3 eV yeterli olabilir. Komşu dinodlar arasındaki potansiyel farkı yaklaşık 100 V'dur ve böylece elektronlar dinodlara 100 eV'luk enerji ile çarparlar. Çarpan elektronlar dinoddan dinoda ilerlerken elektron sayısı uygun biçimde çoğalır, böylece elektron sayısında 30–50 çarpanı kadar bir kazanç sağlanabilir. Ancak elektronlar, madde içinde rastgele doğrultularda yayımlandıkları için yüzeyde az sayıda elektron yayınlanacak, her dinoda ki artış 5 çarpanı kadar olacaktır. Böylece fotokatottan veya önceki bir dinoddan yayınlanan elektronlar, daha çok elektron sökecek kadar enerji kazanacak biçimde, sonraki dinoda doğru hızlandırılırlar. Bu suretle çoğaltılmış elektronlar, anotta toplanarak RC yük direnci üzerinde bir voltaj darbesi (pulsu) oluşturur (Tosoufanidis, 1995; Garer, 2001).

Kısaca, PMT'ye giren bir ışık aşağıdaki aşamalardan geçerek bir çıkış pulsu oluşturur (Hakamata, 2006).

- ❖ Işık önce giriş penceresinden geçer.
- ❖ Işık foto katot içinde bulunan elektronları uyarır, böylece fotoelektronlar boşluk içerisinde yayılır.
- ❖ Odaklayıcı fotokatottan yayınlanan fotoelektronları birincil dinota doğru hızlandırılır ve odaklar. Dinota çarpan elektronlar yeni (ikincil) elektronların

yayımlına neden olur. Bu ikincil yayılım art arda her bir dinotta tekrarlanır.

- ❖ Son dinota çarparak yayılan ikincil elektronlar anot tarafından toplanır ve bu şekilde voltaj pulsu oluşur.

Analiz cihazlarında kullanılan tüp seçimi, fiziksel boyut, gelen farklı dalgaboylu radyasyonlara fotokatodun cevabı, fotokatodun duyarlılığı, kazanç, gürültü seviyesi ve zamanlama karakteristikleri gibi parametreler göz önüne alınarak yapılır (Krane, 2002).

1.4.2. Sayım Kapları (Vialler)

Sıvı sintilasyon sayım tekniği ile radyoaktivite belirlemede borosilikat camdan (^{40}K , ^{226}Ra içermeyen) veya plastikten yapılmış vialler kullanılır Şekil 17’de gösterilen bu plastik ve cam viallerin kendilerine has avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen ya da polipropilenden üretilen plastik vialler, analizlerde cama göre daha düşük backgrounda sahip ve maliyetinin çok daha ucuz olması nedeniyle düşük aktiviteli sayım uygulamaları için en çok tercih edilen vial türüdür. Cam viallerin kullanımı ile vialler üzerinde oluşan statik elektrik en aza indirgenebilir

Sıvı sintilasyon sayım sistemindeki fotoçoğaltıcı tüpler arasına girerek numunelerin sayılmasını sağlayan ve içinde sintilatör ile karışmış numune bulunan viallerin yüksek foton üretme verimliliğine sahip olmaları ve düşük radyasyon içeren maddelerden yapılmış olmaları gerekmektedir (Horrocks, 1974).



(a)



(b)

Şekil 17. Cam (a) ve plastik (b) vialler

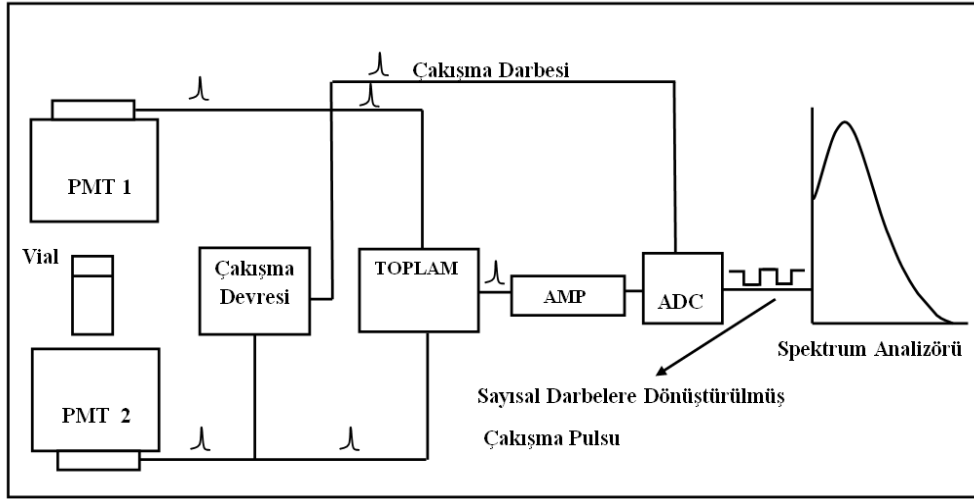
1.4.3. LSC'de Dedeksiyon Sistemi

LSC sistemi; fotoçoğaltıcı tüp, puls amplifikatörü, sayıcı ve kaydedici sistemden oluşur. Bu sistemler bugün çift fotoçoğaltıcı tüp, çok kanallı analizörler ve bilgisayarlı sistemlerden (kaydeden, hesaplayan, spektrumları çizen) oluşmaktadır. Vial içinde bulunan çözeltinin rastgele dağılmış olan radyoaktif atomlarının fototüplere olan uzaklıkları farklı olduğundan yayınlanan fotonlar da, tüplere farklı şiddetlerde ulaşırlar (foton şiddeti uzaklıkla değişir). Bu olumsuz durum, sayma sisteminde performans azalmasına neden olur. Zayıf enerjili beta aktif radyonüklitlerin dedeksiyonunda sorun yaratan bu durum ilave edilen darbeler toplamını alan (summation circuit) devreyle yok edilir ve radyoaktif atomların konumu dolayısıyla fototüplere olan uzaklık farklarının önemi kalmaz (DSİ TAKK, 2003). Toplama devresi çıkışı ile çakışma devresi bir çakışma kapısı (coincidence gate) vasıtasıyla birleştirilir ve nükleer olayın meydana getirdiği gerçek darbeler ya bir sayıcı kaydedici ile sayılır ya da bu darbeler genliklerine göre değerlendirilmek üzere spektrum analizörüne gönderilir (DSİ TAKK, 2003).

Sıvı sintilasyon sayaçlarında kullanılan ilk sistem, çakışan darbe dedeksiyonu (coincidence pulse detection) adı verilen ve karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki adet foto çoğaltıcı tüple birlikte çalışan bir lojik devredir (Şekil 18). Her bir tüp içinde meydana gelen gürültü birbirinden bağımsız olduğu için, bu olaylara yönelik tam bir uyuma gözlenemeyecektir. Çakışma devresi fototüplerden çıkan sintilasyon sinyallerini birbirleriyle karşılaştırır ve iki sinyal aynı anda oluşmuş (devrenin çözümüleme zamanı içinde, 20 ns) ise devre çıkışından darbe (pulse) alınır, böylece radyoizotoptan gelen pulsların yüksek bir verimle sayılmasına olanak sağlanır (DSİ TAKK, 2003).

Devrenin temel çalışma prensibi şöyledir: Sintilasyonun toplam şiddetiyle orantılı olan ve aynı anda iki fototüpte oluşan darbeler elektronik toplama ünitesi aracılığıyla toplanır. Bir çakışma kapısı aracılığıyla toplama devresi çıkışı ve çakışma devresi çıkışı birleştirilir. Nükleer olayın meydana getirdiği ve genliklerine yani enerji seviyelerine göre değerlendirilmek üzere spektrum analizörüne gönderilen gerçek darbeler bir sayıcı-kaydedici ile sayılır. Spektrum analizörü, 0 keV ile 2000 keV arasında her hangi bir bölgede farklı enerjilere sahip radyonüklitlerin ürettiği darbelerin enerji darbe yüksekliği dağılımını, sabit bir kazanç altında, incelemek imkânı

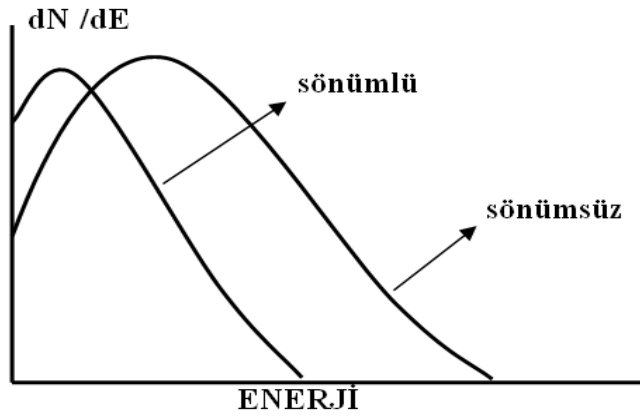
sağlayacak şekilde tasarlanmış mikro işlemci esaslı bir elektronik sistemdir. Çevresel trityum konsantrasyonunun doğal seviyesine ulaşması nedeniyle ölçümlerde kullanılan cihazların dedeksiyon limitlerinin en düşük aktiviteyi ölçebilecek değerde olması gereklidir (Altay vd, 1996).



Şekil 18. LSC'de çakışma ve toplama devreleri şeması

1.4.4. LSC'de Sönüm (Quench) Etkisi

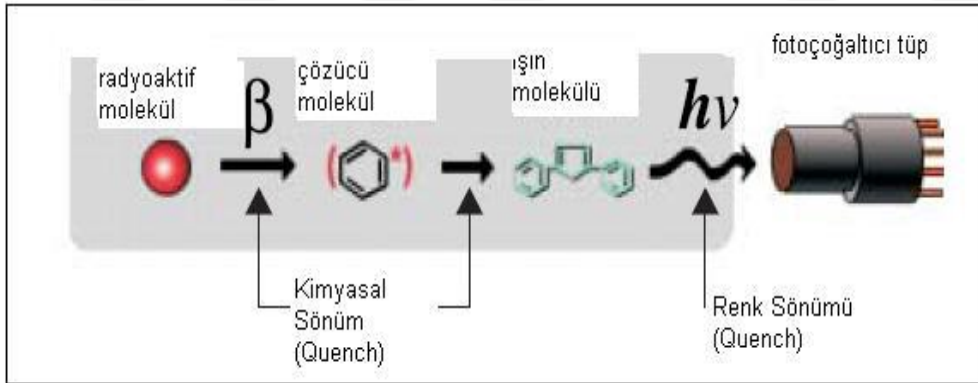
Sönüm (Quench) sıvı sintilasyon sayımında kimyasal ve ya renk özelliklerinden ileri gelen etkiler nedeniyle ölçüm sonuçlarının normalden daha düşük olmasıdır (Şekil 19). Bunun sonucunda sayım verimi düşer (Ross vd., 1991).



Şekil 19. Enerji spektrumu üzerinde sönümün etkisi

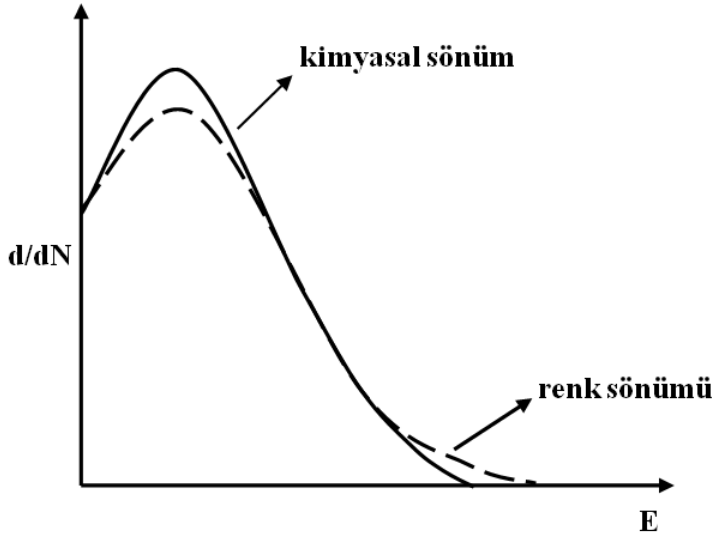
Bir örnek içinde bulunan radyoizotoptan gelen radyasyon emisyonlarını örnek kabı içine konulan sintilasyon kokteyli ışığa çevirir, dedektörün fotoçoğaltıcı tüpüne ulaşan ışık ulaştığı andan itibaren sayıcı tarafından dedekte edilir. Fotokatoda üretilen fotoelektron sayısı (puls yüksekliği) gelen foton sayısı ile orantılıdır. Sönüm olayı, fotokatoda ulaşan fotonların sayısında azalmaya neden olur. Bu sebepten dolayı elektriksel puls yüksekliği azalır (Tsoulfanidis, 1995). Bu olay sayımda azalmanın gözlenmesi ve enerji spektrumunun (puls yükseklik spektrumu) düşük enerjiye doğru kayması ile anlaşılabilir (Şekil 19).

Sönüm olayı üç şekilde kimyasal, optik (renk) ve fiziksel sönüm şeklinde gerçekleşir (Şekil 21). Çözücüden çözüne enerji aktarımındaki enerji kaybına bazen safsızlık olarak adlandırılan kimyasal sönüm neden olur. Çözüne üretilen foton sayılarının azalmasına optik ya da renk sönümü neden olur. Fiziksel sönüm, örneğin fiziksel formu nedeniyle gerçekleşir (Örn. numunenin çökelti ya da parçacık içermesine bağlı olarak ışığın dağılması) (Charles, 1994). Şekil 20’de enerji transferi işleminde gerçekleşen sönüm sıralaması açıkça gösterilmektedir.



Şekil 20. Enerji transfer işlemindeki sönüm

Sönümün her iki tipi de, ışık pulslarının tümünün enerjisini ve toplam cpm’i azaltır. Örneğin LSC kullanılarak idrarda trityum analizi yapılırken en büyük problem renk sönümüdür. Renk sönümünün nedeni varolan organik bileşiklerdir. Renk sönümü örnekteki organik bileşikler ile sintilasyon kokteylinin floresans emisyonunun üst üste binmesi nedeniyle gerçekleşir (Watanabe vd., 2006).



Şekil 21. Kimyasal ve renk sönüm ajanları için puls yükseklik dağılımlarının karşılaştırılması

1.4.5. Background

Birçok kaynaktan meydana gelen background katkıları sıvı sintilatör ve örnekteki işlemlerine göre ayrılabilir. Sönümlü background sıvı sintilasyon çözeltisinden ileri gelirken, sönümsüz (unquenched) background ise çözelti dışında meydana gelmektedir. Sintilatör çözeltisiyle kozmik ışın ya da diğer yüksek enerjili radyasyon etkileşiminden dolayı sönümlü background oluşur. Sönümsüz backgroundun öncelikli kaynağı, vial ve PMT'nin cam yüzeyleriyle yüksek enerjili kozmik radyasyon etkileşimidir. Yaklaşık olarak toplam backgroundun %32'si sönümlü olaylardan, %68'i ise sönümsüz olaylardan kaynaklanmaktadır (Charles vd., 1994).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Yöntemi

Bu çalışmada, Türkiye ve Azerbaycan’da satılan şişelenmiş doğal ve maden suyu örneklerindeki trityum değerleri, ASTM D4107-08 yöntemi kullanılarak Sıvı Sintilasyon Sayım sistemi ile belirlendi. Alınan örneklerin ölçümlere hazırlanması için laboratuvar çalışmaları ve elde edilen sonuçların analizleri için ilgili parametrelerin hesaplanması yapıldı. Deneysel çalışmalar Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı’nda gerçekleştirildi.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Numunelerin Hazırlanması

Azerbaycan ve Türkiye’de, marketlerde ticari olarak satılan 500 ml’lik doğal ve maden şişe suyu örnekleri alındı ve iki gün içerisinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarına ulaştırıldı. Alınan bu örnekler açık örnek adı ve örnekleme tarihini içerecek şekilde etiketlendi. Daha sonra örnekler analiz sırası gelinceye kadar kapakları açılmadan güneş almayacak şekilde +4°C’de buzdolabında muhafaza edildi. Daha sonra toplanan örneklerle destilasyon işlemi uygulandı.

2.2.2. Destilasyon

Bu prosedür içme sularına, yer altı sularına ve yüzey sularına da uygulanabilir. Laboratuvara ulaştırılan örneklerin geçirdikleri ilk işlem ‘‘Destilasyon’’olarak adlandırılan destilasyon-saflaştırma-ayırıştırarak arıtma işlemidir. Bu aşamanın amacı analize girecek olan örneklerin içerisindeki ki istenmeyen kimyasal bileşikleri, sudan ayırmaktır. Destilasyon işlemi ile örneğin saflaştırılması ile örnekler arasında farklılığa neden olabilecek kimyasal bileşikler nedeniyle sayım sırasında oluşabilecek hatalı parıldamaların engellenmesi sağlanır. Destilasyon sistemindeki yoğunlaştırma işlemi

sürekli çeşme suyu ile soğutulan geri soğutucular tarafından sağlandı. Destillenmiş su ise nuçe erlenlerinde toplandı (Şekil 22).



Şekil 22. Destilasyon ünitesi

Örneklere uygulanan destilasyon işlemi aşamaları şöyledir,

- ❖ 250 ml'lik destilasyon balonuna örnekten 20 ml koyularak çalkalanıp döküldü.
- ❖ Balona 200 ml su örneği koyuldu.
- ❖ 0,05 N KMnO_4 'den birkaç damla ilave edildi.
- ❖ 6 M'lık NaOH çözeltisinden birkaç damla ilave edildi.
- ❖ Balon ısıtıcıya yerleştirildi.
- ❖ Balonun üzerine vigreux kolon takılıp soğutucuya bağlandı.
- ❖ 50 ml'lik nuçe erleni takıldı,
- ❖ Sistem kontrol edildikten sonra musluk ve ısıtıcı açıldı.
- ❖ Başlangıçta oluşan destilatın 10-15 ml ile toplama kapları çalkalandı ve bu su atıldı.
- ❖ Balonlarda 5-10 ml örnek kalıncaya kadar destilasyona devam edildi,
- ❖ Isıtıcı kapatılıp 20 dk soğuması beklendi.
- ❖ Nuçe erlerinde toplanan destilat, üzerine örnek kodu ve destilasyon tarihi yazılmış örnek saklama kaplarına aktarıldı.

Daha sonra destile edilmiş örnekten ayarlı pipetle 8 ml alınarak polipropilen sayım vialine aktarıldı ve üzerine 12 ml Ultima Gold LLT sintilasyon kokteyli eklendi. Polipropilen sayım vialinin kapağı sıkıca kapatıldı ve kapağın üzerine örnek kodu ve hazırlanma tarihi yazıldı. Sonra vial içindeki numunenin, homojen bir şekilde karışması için yavaşça (yaklaşık 20 saniye) çalkalandı ve vialin kapak dışındaki yüzeyinin tamamı etanollu bir bezle silindi. Ve son olarak hazırlanan numune, kemilüminesans olayından kaynaklanan ışıdamaları elimine etmek için ışık almayan karanlık bir ortamda en az iki gün bekletilerek, sayım sisteminde analize hazır hale getirildi.

2.2.3. Sertifikalı Trityum Çözeltisi

LSC cihazında analiz metodunun doğruluğunu kontrol etmek için, satın alınan sertifikalı sıvı trityum standardı kullanıldı. (Eckert & Ziegler, P.O. No: P70023, Kaynak No: 1676-44). Trityum çözeltisine ait bilgiler Tablo 6’da verilmektedir

Tablo 6. Sertifikalı trityum çözeltisi

Sertifikalı trityum çözeltisi	
Referans tarihi	01.06.2013
Aktivite (Bq/ml)	4995 ± 159,84

Ölçümlerin doğruluğunu kontrol etmek için ana stok çözeltisi, laboratuvar standardı (DWS) ve spike çözeltisi (RWS) hazırlandı.

2.2.4. Ana Stok Çözeltisi

Laboratuvarların kendi ihtiyaçlarını karşılayacak derişimde hazırlanan ³H içeriği bilinen standart çözeltidir. Anastok çözeltisi, sertifikalı trityum çözeltisinden hazırlandı ve işlem aşamaları Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7. Ana stok çözeltisi

Ana stok çözeltisi	Değer
Sertifikalı trityum çözeltisinden alınan miktar (ml)	5
Ana stok çözeltisinden hazırlanmak istenen miktar(ml)	12
Hazırlama tarihi	30.7.2013
Zaman farkı (Sertifikalı trityum çözeltisi- Ana stok çözeltisi) (gün)	59
Sertifikalı trityum çözeltisinin şimdiki aktivitesi (Bq/L)	4949,92
Ana stok çözeltisinin aktivitesi (Bq/L)	2062,47

2.2.5. Laboratuvar Standardı (DWS)

Trityum içeriği bilinen, laboratuvarların kendi ihtiyaçlarını karşılayacak derişimde ana stok çözeltisinden hazırladıkları standart çözeltidir. Hiçbir kimyasal işlemde geçmeden sadece sayım aşamasında kullanılır. DWS hazırlanma aşaması Tablo 8’de verilmektedir

Tablo 8. Laboratuvar standardı (DWS)

Laboratuvar standardı	Değer
Ana stok çözeltisinden alınan miktar (ml)	4
Laboratuvar standardından hazırlanmak istenen miktar (ml)	2000
Hazırlama tarihi	30.7.2013
Zaman farkı (Laboratuvar standardı-Ana stok çözeltisi) (gün)	0
Ana stok çözeltisinin şimdiki aktivitesi (Bq/ml)	2062,47
Laboratuvar standardının aktivitesi (Bq/ml)	4,12

LSC cihazının verim değerini hesaplamak için DWS kullanılır. Laboratuvar standardının iyi bir sayma istatistiğine sahip olabilmesi için, trityum konsantrasyonunun 15000–20000 TU civarında olması gerekmektedir (Top, 2008). DWS’ye ait sayım değerleri Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 9. DWS'ye ait sayım değerleri

Ölçüm No	cpm değeri
1. ölçüm	470,53
2. ölçüm	476,09
3. ölçüm	470,62
4. ölçüm	471,38
5. ölçüm	472,74
6. ölçüm	476,67
7. ölçüm	469,27
8. ölçüm	474,33
9. ölçüm	477,53
10. ölçüm	475,72
Ortalama	473,49
STD	2,96
Örnek Hatası	$1,56 \times 10^{-2}$

2.2.6. Spike (RWS)

Laboratuvar standardı çözeltisinden hazırlanan, örneklerin hazırlanması aşamasında ve trityum analiz süreçlerindeki problemlerin gözlenmesini sağlamak amacı ile kullanılan trityum içeriği bilinen çözeltidir (Tablo 10).

Tablo 10. Spike (RWS)

Spike	Değer
Laboratuvar standardından alınacak miktar (ml)	200
Spike çözeltisinden hazırlanmak istenen miktar (ml)	2000
Hazırlama tarihi	30.7.2013
Zaman farkı (Spike çözeltisi-Laboratuvar standardı) (gün)	0
Laboratuvar standardının şimdiki aktivitesi (Bq/ml)	4,12
Spike çözeltisinin aktivitesi (Bq/ml)	0,41

Analizi yapılacak örneklerin geçtiği tüm süreçlerden, RWS örneği de geçer. Spike olarak hazırlanan çözeltinin ^3H içeriğinin 1000–1500 TU arasında olması istenir (Top, 2008). RWS'ye ait sayım değerleri Tablo 11'de verilmektedir.

Tablo 11. RWS'ye ait sayım değerleri

Ölçüm No	cpm değeri
1. ölçüm	47,90
2. ölçüm	48,37
3. ölçüm	47,22
4. ölçüm	49,21
5. ölçüm	47,96
6. ölçüm	47,70
7. ölçüm	48,66
8. ölçüm	48,04
9. ölçüm	47,43
10. ölçüm	46,60
Ortalama	47,91
STD	0,74
Örnek Hatası	$3,91 \times 10^{-3}$

2.3. Sistemin Sayıma Hazırlanması

Çevresel örneklerde genellikle trityum aktivitesi çok düşük olduğundan dolayı analiz edilecek numunelerin aktivite sonuçlarını hesaplayabilmek için ölçüm süresi uzun tutulmalıdır. Böylece MDA değerini aşağıya çekmek mümkün olmaktadır (Palomo vd., 2007). Örneklerin LSC cihazında sayılabilmesi için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.

- ❖ Cihazın düzgün çalışabilmesi için ortam sıcaklığı ve rölatif nem dengesi sağlandı,
- ❖ Cihazda gerekli protokoller ve yöntemler ayarlandı.
- ❖ Sayıma konulacak örnekler etil alkolle silindi ve çalkalanıp sayım kasetlerine konuldu (Şekil 23).



Şekil 23. Hazırlanan numunelerin sayım kasetine konulması

- ❖ Sayım kasetleri cihaza yerleştirildi. Gerekli protokolde çalıştırıldı.



Şekil 24. Sayım kasetlerinin cihaza yerleştirilmesi

2.3.1. Sayım

Hazırlanan örnek vialleri karanlık ortamda ya da cihaz içerisinde 24 saat bekletildikten sonra sayıma başlatıldı. Sayımlar sırasında su örneklerinin yanı sıra 4,1249 Bq/L aktiviteye sahip laboratuvar standardı (DWS), 0,4125 Bq/L'ye destillenmiş spike (RWS) ve ölü su da (DW) eş zamanlı olarak sayılmıştır. Bir örnek 10 kez 150 şer dakikalık sayıma tabi tutuldu. Bu durumda her bir örnek için toplam 1500 dakikalık sayım gerçekleştirildi.

Analiz edilen örnekler ile ilgili tüm bilgiler (örnek miktarı, örnek ismi, sayım süresi, vs.) analiz defterine kaydedildi.

2.3.2. Sayım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Chauvenet Kriteri: Bu kritere göre, bir grup veri içerisinde ortalamadan sapma, grup içerisindeki verilerin herhangi birine eşit veya büyükse bu değer veri setinden atılır. 10 turluk sayım sonucunda, sayımı yapılan her bir örneğe ait veri setine Chauvenet kriteri uygulandı ve bu kritere göre ortalamadan sapan değerler veri setinden atıldı (Tablo 12).

Tablo 12. ASS- 3 örneğine ait veri setine Chauvenet Kriterinin uygulanması

ASS 3			ASS 3			
1	3,10	$x/\sigma=1,96$	1	3,10	$x/\sigma=1,96$	0,27
2	3,08	$x=\sigma*1,96$	2	3,08		2,83 3,37
3	2,98		3	2,98	$x=\sigma*1,96$	
4	2,62		4	2,62		
5	3,13	0,39	5	3,13		
6	3,06	2,66 3,44	6	3,06		
7	2,87		7	2,87		
8	3,32		8	3,32		
9	3,07		9	3,07		
10	3,28		10	3,28		
Ortalama	3,051		Ortalama	3,099		
St sapma	0,200		St sapma	0,138		
Hata	0,0011		Hata	0,007		

Chauvenet kriteri çıkarılır

Yeni ortalama hesaplanır

$\pm 2\sigma$ aralığı hesaplanır bu aralık dışında kalan değerler ortalamadan çıkarılır ve yeni ortalama hesaplanır ASS 3 de yaptığımız gibi

Kemilüminesans: Bir kimyasal reaksiyon, temel haline dönerken ışık yayabilir veya enerjisini daha sonra emisyon yapacak başka bir türe aktarabilir buna kemilüminesans olayı denir. Kısaca kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelen ışık emisyonu olarak tanımlanabilir

2.4. Hesaplamalar

2.4.1. MDA Hesabı

Örneklerin içerisindeki trityum düzeylerini belirlemek için kullanılan yöntemin minimum dedekte edilebilir aktivite değeri Denklem 18 kullanılarak hesaplandı (Currie, 1968).

$$MDA = 3,29 \times \frac{\sqrt{B \times T_S \times (1 + T_S / T_B) + 3}}{T_B \times E \times V} \quad (18)$$

MDA: Minimum dedekte edilebilir aktivite değeri (Bq/L)

B: Ölü suyun (background) ortalama sayım hızı (cpm)

T_S: Örneklerin sayım süresi (dakika)

T_B: Ölü suyun sayım süresi (dakika)

E: Sayım verimi

V: Örnek hacmi (L)

2.4.2. Tritiyum Aktivite Konsantrasyonu

Örneklerdeki trityum aktivite konsantrasyonu Bq/L biriminde Denklem 19 kullanılarak hesaplanır.

$$A(\text{Bq/L}) = \frac{R - B}{E \times V \times F} \times 1000 \quad (19)$$

R: Örneğin saniyedeki ortalama sayım hızı (cps).

B: backgroundun (ölü su) ortalama sayım hızı (fon sayım hızı) (cps).

E: Sayım verimi

V: Örneğin hacmi, (ml)

F: Geri kazanım düzeltme faktörü.

2.4.3. Sayım Verimi

Dedeksiyon verimi denklem 20 kullanılarak hesaplanır.

$$E = \frac{DWS_{\text{cpm}} - B_{\text{cpm}}}{DWS_{\text{dpm}}} \quad (20)$$

E: sayım verimi

DWS_{cpm}: DWS standardının sayım konsantrasyonunun ortalaması (cpm)

B_{cpm}: Background örneğinin sayım konsantrasyonunun ortalaması (cpm)

DWS_{dpm}: DWS standardının ölçüm tarihindeki aktivitesi (dpm)

2.4.4 . Geri Kazanım Düzeltme Faktörü

Destile edilmiş örnekler için geri kazanım düzeltme faktörü denklem 21'e göre hesaplanır

$$F = \frac{RWS_{cpm} - B_{cpm}}{E \times RWS_{dpm}} \quad (21)$$

F: Geri kazanım düzeltme faktörü

RWS_{cpm}: Background örneğinin sayım konsantrasyonunun ortalaması (cpm)

E: sayım verimi

RWS_{dpm}: RWS standardının ölçüm tarihindeki aktivitesi (dpm)

2.4.5. Belirsizlik Hesabı

Örneklerdeki trityum aktivitesinin belirsizliği $\pm 1\sigma$ aralığı için denklem 22 kullanılarak hesaplanır

$$\sigma A(\text{Bq/L}) = A(\text{Bq/L}) \times \sqrt{\left(\frac{\sigma N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sigma E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\sigma V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F}{F}\right)^2} \quad (22)$$

$$N = R - B \quad (23)$$

$$\sigma N = \sqrt{\sigma R^2 + \sigma B^2} \quad (24)$$

$$\sigma R = \frac{\sigma_{S,R}}{\sqrt{n}} \quad (25)$$

$$\sigma B = \frac{\sigma_{S,B}}{\sqrt{n}} \quad (26)$$

σA : Örneğin trityum aktivitesindeki belirsizlik

σN : Örneğin ortalama net sayım hızındaki belirsizlik

σE : Sayım verimindeki belirsizlik
 σV : Hacimden gelen belirsizlik
 σF : Geri kazanım düzeltme faktöründeki belirsizlik
 σR : Örneğin ortalama sayım hızındaki belirsizlik
 σB : Fon sayım hızındaki belirsizlik
 $\sigma S,R$: Örnek sayım hızı standart sapması
 $\sigma S,B$: Fon sayım hızı standart sapması
n: Ölçüm sayısı

2.4.6. Bireyler Tarafından Alınan Günlük Radyonüklit Miktarı

Bireylerin su tüketimine bağlı olarak, sularda bulunan trityum vücut içerisine alınır ve vücut içerisindeki trityum konsantrasyonunun artışına neden olur. Bu nedenle bireyler tarafından alınan radyonüklit miktarları önemli bir parametre olmaktadır. İşte, su tüketimiyle birlikte bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları denklem 27 kullanılarak hesaplanır. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından bireyler için belirlenmiş su tüketim miktarları; bebekler için 1,1 ml, çocuklar için 1,6 ml, kadınlar için 2,0 ml ve erkekler için 2,5 ml olarak verilmektedir (TCSB, 2015).

$$D_{\text{int}} = \frac{A_c \times A_{\text{ig}}}{Y_d} \quad (27)$$

D_{int} : Bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarı (Bq/gün)

A_c : Radyonüklidin aktivite konsantrasyonu (Bq/L)

A_{ig} : Kişi başı günlük su tüketimi (L/gün)

Y_d : Yılda gün sayısı

2.4.7. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Su tüketimiyle birlikte bireylerin yıllık olarak alacağı etkin doz eşdeğeri denklem 28 kullanılarak hesaplanır. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından bireyler için belirlenmiş su tüketim miktarları; bebekler için 1,1 ml, çocuklar için 1,6 ml, kadınlar için 2,0 ml ve erkekler için 2,5 ml olarak verilmektedir (TCSB, 2015).

$$AED = A \times CF \times CR \times 10^6 \quad (28)$$

AED: Yıllık etkin doz eşdeğeri (nSv/yıl)

A: İlgili radyonüklidin aktivite konsantrasyonu (Bq/ L)

CF: Doz dönüşüm katsayısı ($1,8 \times 10^{-11}$ Sv /Bq)

CR: Kişi başı yıllık su tüketim miktarı (L /yıl)

2.4.8. Yaşam Boyu Kanser Riski

Su tüketimine bağlı olarak bireylerin yaşam boyu kanser riski değeri denklem 29 kullanılarak hesaplanır. Azerbaycan'da kadınlar için ortalama yaşam süresi 74,5 yıl erkekler için ortalama yaşam süresi 69,5 yıl olarak verilmektedir (URL-7). Türkiye'de Kadınlar için ortalama yaşam süresi 80,74 yıl erkekler için ortalama yaşam süresi 75,3 yıl olarak verilmektedir (TUİK, 2017).

$$LCR = A_{ir} \times A_{ls} \times R_c \quad (29)$$

LCR: Yaşam boyu kanser riski

A_{ir} : İlgili radyonüklidin aktivite konsantrasyonu (Bq)

R_c : Tritiyum için kanser risk katsayısı ($9,44 \times 10^{-13}$ 1/B)

A_{ls} : Bireyler için ortalama yaşam süresi (yıl)

3. BULGULAR

Bu çalışmada kullanılan yöntem için minimum dedekte edilebilir aktivite konsantrasyon değeri (MDA) 1,69 Bq/L olarak tespit edildi. Azerbaycan ve Türkiye'deki marketlerden alınan farklı marka şişelenmiş doğal ve maden suyu örneklerinde radyoizotop düzeyleri ile bazı radyolojik parametreler belirlendi. Sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Bütün su örnekleri içerisinde MDA altında kalan aktivite konsantrasyon değerleri Tablo 13'de verilmektedir.

Tablo 13. MDA altındaki aktivite konsantrasyon değerleri

Türkiye		Azerbaycan	
Doğal	Maden	Doğal	Maden
6 (% 37,5)	4 (%36,4)	1 (% 14,3)	4 (%50)

3.1. Numune ve Standartlara Ait Sayım Değerleri

Azerbaycan ve Türkiye'deki marketlerde satılan, farklı marka şişelenmiş doğal ve maden sularının LSC cihazında ölçümleri sonucu elde edilen sayım değerleri Azerbaycan doğal suları için Tablo 14'de, Azerbaycan maden suları için Tablo 15'de, Türkiye doğal suları için tablo 16'da ve Türkiye maden suları için Tablo 17'de verilmektedir.

Tablo 14. Azerbaycan'da satılan doğal şişe suyu örneklerine ait sayım değerleri

Numune Kodu	Sayımlar (cpm)										Ortalama (cpm)
ASS-1	3,15	2,85	3,24	3,25	3,33	3,49	2,87	2,86	3,03	3,28	3,14
ASS-2	3,28	3,15	3,19	3,74	3,43	3,07	2,79	3,16	3,19	3,25	3,22
ASS-3	3,10	3,08	2,98	2,62	3,13	3,06	2,87	3,32	3,07	3,28	3,10
ASS-4	3,09	3,05	3,10	3,22	2,97	3,37	3,53	2,93	3,36	3,28	3,19
ASS-5	3,40	3,21	2,80	3,07	3,35	3,60	3,27	3,03	2,96	3,12	3,18
ASS-6	3,44	3,44	3,15	3,03	2,92	2,71	3,20	3,51	3,38	2,99	3,18
ASS-7	3,06	2,77	3,05	2,75	2,92	2,79	2,67	2,85	3,00	3,07	2,89

Tablo 15. Azerbaycan’da satılan maden suyu örneklerine ait sayım değerleri

Numune Kodu	Sayımlar (cpm)										Ortalama (cpm)
AMS-1	2,56	3,07	2,88	3,24	2,95	3,04	3,44	3,32	2,73	3,01	3,02
AMS-2	2,79	3,37	3,27	2,93	3,25	3,07	2,87	3,03	3,44	3,09	3,11
AMS-3	3,21	3,45	3,30	3,10	3,26	3,20	3,47	3,09	3,41	3,07	3,26
AMS-4	3,17	3,07	3,29	2,88	2,50	3,46	3,04	2,72	3,31	3,03	3,05
AMS-5	3,20	3,03	3,27	2,85	3,13	3,23	3,26	3,00	3,26	3,42	3,17
AMS-6	3,17	2,74	2,79	3,02	2,85	2,94	2,97	3,40	2,99	3,07	2,99
AMS-7	2,77	3,09	2,74	2,91	3,05	3,17	2,85	2,84	2,84	3,42	2,97
AMS-8	3,25	3,38	3,02	2,87	3,11	3,26	2,87	2,59	2,92	2,83	3,01

Tablo 16. Türkiye’de satılan doğal şişe suyu örneklerine ait sayım değerleri

Numune Kodu	Sayımlar (cpm)										Ortalama (cpm)
TSS-1	3,60	3,54	3,81	3,51	3,33	3,39	3,39	4,07	3,60	3,33	3,53
TSS-2	3,55	3,38	3,22	3,79	3,78	3,49	3,71	3,67	3,96	3,66	3,62
TSS-3	3,55	3,42	3,89	3,68	3,40	3,70	3,80	3,49	4,08	3,82	3,68
TSS-4	4,34	3,86	4,36	4,27	3,63	3,86	3,79	4,08	3,81	3,81	3,98
TSS-5	4,03	3,75	3,66	3,34	3,78	3,92	3,52	3,58	3,49	3,63	3,67
TSS-6	3,69	3,83	3,59	3,80	3,94	3,53	3,93	3,13	3,58	3,70	3,67
TSS-6	3,55	4,13	3,86	3,52	3,55	3,15	3,67	3,40	3,95	3,67	3,64
TSS-8	3,31	3,79	3,79	3,71	3,40	3,31	3,27	3,76	3,43	3,92	3,57
TSS-9	3,72	3,78	3,21	3,56	3,37	3,51	3,32	3,56	3,38	3,65	3,51
TSS-10	3,56	3,66	3,96	3,52	3,85	3,56	3,20	3,71	4,07	3,87	3,69
TSS-11	3,48	3,63	3,61	3,62	3,57	3,56	3,63	3,93	4,00	3,47	3,65
TSS-12	3,63	3,72	4,01	3,57	3,59	4,08	3,18	3,66	3,67	3,27	3,64
TSS-13	3,48	3,75	4,09	3,53	3,63	3,70	4,12	3,66	3,84	3,93	3,77
TSS-14	3,46	3,08	3,84	3,66	3,72	3,79	3,55	3,69	3,48	3,53	3,58
TSS-15	4,02	3,17	3,73	3,89	3,70	3,61	3,63	3,79	3,89	3,63	3,71
TSS-16	3,97	3,73	3,89	3,70	3,66	3,83	3,68	3,31	3,90	3,23	3,69

Tablo 17. Türkiye’de satılan maden suyu örneklerine ait sayım değerleri

Numune Kodu	Sayımlar (cpm)										Ortalama (cpm)
TMS-1	3,74	3,59	3,11	3,57	3,51	3,48	3,63	3,56	3,64	3,36	3,52
TMS-2	3,42	3,48	3,96	3,31	3,49	3,33	3,58	3,52	3,73	3,57	3,54
TMS-3	3,58	3,43	3,45	3,42	3,51	3,49	3,48	3,32	3,32	3,48	3,45
TMS-4	3,26	3,60	3,56	3,96	3,66	3,75	3,57	3,22	3,67	3,51	3,58
TMS-5	3,25	3,44	3,70	3,56	3,54	3,63	3,45	3,19	3,36	3,56	3,47
TMS-6	4,12	3,96	3,65	3,21	3,75	3,58	3,59	3,74	3,28	3,78	3,67
TMS-7	3,86	3,11	3,45	3,19	3,63	3,52	3,44	3,21	2,98	3,72	3,41
TMS-8	3,90	3,55	3,79	3,66	3,82	3,31	3,80	3,72	3,52	3,37	3,65
TMS-9	3,82	3,37	3,42	3,30	3,46	3,58	3,29	3,44	3,31	3,64	3,46
TMS-10	3,52	3,71	3,48	3,91	3,40	3,77	3,67	3,60	3,61	3,93	3,66
TMS-11	3,24	3,46	3,15	3,47	3,16	3,46	3,04	3,55	3,27	3,45	3,32

3.2. Tritiyum Konsantrasyonları

Azerbaycan ve Türkiye’den alınan şişe suları için elde edilen tritiyum aktivite konsantrasyon değerleri Azerbaycan doğal şişe suları için Tablo 18’de, Azerbaycan maden suları için Tablo 19’da, Türkiye doğal şişe suları için Tablo 20’de ve Türkiye maden suları için Tablo 21’de verilmektedir.

Tablo 18. Azerbaycan’da satılan doğal şişe sularında tritiyum aktivite konsantrasyonları

Numune Kodu	Tritiyum Aktivite Konsantrasyonu	
	Bq/L	TU
ASS-1	2,46 ± 0,94	20,85 ± 7,97
ASS-2	3,04 ± 0,83	25,76 ± 7,03
ASS-3	2,21 ± 0,85	18,73 ± 7,20
ASS-4	2,86 ± 0,91	24,24 ± 7,71
ASS-5	2,79 ± 0,95	23,64 ± 8,05
ASS-6	2,76 ± 0,99	23,39 ± 8,39
ASS-7	<MDA	<MDA
Ortalama	2,69 ± 0,91	22,80 ± 7,71
Max	3,04 ± 0,83	25,76 ± 7,03
Min	2,21 ± 0,85	18,73 ± 7,20

Tablo 19. Azerbaycan’da satılan maden sularında trityum aktivite konsantrasyonları

Numune Kodu	Trityum Aktivite Konsantrasyonu	
	Bq/L	TU
AMS-1	<MDA	<MDA
AMS-2	2,20 ± 0,89	18,64 ± 7,54
AMS-3	3,19 ± 0,83	27,03 ± 7,03
AMS-4	1,76 ± 0,98	17,92 ± 8,34
AMS-5	2,57 ± 0,84	21,78 ± 7,12
AMS-6	<MDA	<MDA
AMS-7	<MDA	<MDA
AMS-8	<MDA	<MDA
Ortalama	2,43 ± 0,89	20,59 ± 7,54
Max	3,19 ± 0,83	27,03 ± 7,03
Min	1,76 ± 0,98	17,92 ± 8,34

Tablo 20. Türkiye’de satılan doğal şişe sularında trityum aktivite konsantrasyonları

Numune Kodu	Trityum Aktivite Konsantrasyonu	
	Bq/L	TU
TSS-1	<MDA	<MDA
TSS-2	<MDA	<MDA
TSS-3	2,03 ± 0,86	17,20 ± 7,29
TSS-4	3,48 ± 0,92	29,49 ± 7,80
TSS-5	1,95 ± 0,97	16,53 ± 8,22
TSS-6	2,39 ± 1,01	20,25 ± 8,56
TSS-7	1,74 ± 0,90	14,75 ± 7,63
TSS-8	<MDA	<MDA
TSS-9	<MDA	<MDA
TSS-10	1,99 ± 0,88	16,86 ± 7,46
TSS-11	1,71 ± 0,95	14,49 ± 8,05
TSS-12	<MDA	<MDA
TSS-13	2,54 ± 0,83	21,53 ± 7,03
TSS-14	<MDA	<MDA
TSS-15	2,47 ± 0,84	20,93 ± 7,12
TSS-16	1,99 ± 0,82	18,86 ± 6,95
Ortalama	2,23 ± 0,90	18,90 ± 7,63
Max	3,48 ± 0,92	29,49 ± 7,80
Min	1,71 ± 0,95	14,49 ± 8,05

Tablo 21. Türkiye’de satılan maden sularında trityum aktivite konsantrasyonları

Numune Kodu	Trityum Aktivite Konsantrasyonu	
	Bq/L	TU
TMS-1	2,09 ± 0,95	17,71 ± 8,05
TMS-2	2,24 ± 0,84	18,98 ± 7,12
TMS-3	<MDA	<MDA
TMS-4	2,52 ± 0,91	21,36 ± 7,71
TMS-5	1,73 ± 0,96	14,66 ± 8,14
TMS-6	3,17 ± 1,01	26,86 ± 8,56
TMS-7	<MDA	<MDA
TMS-8	2,88 ± 0,79	24,41 ± 6,69
TMS-9	<MDA	<MDA
TMS-10	2,95 ± 0,88	25,00 ± 7,46
TMS-11	<MDA	<MDA
Ortalama	2,51 ± 0,91	21,27 ± 7,71
Max	3,17 ± 1,01	26,86 ± 8,56
Min	1,73 ± 0,96	14,66 ± 8,14

3.3. Radyolojik Parametreler

Azerbaycan ve Türkiye’deki marketlerde satılan farklı marka maden ve doğal şişe suyu örneklerinin tüketilmesinin bir sonucu olarak bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser risk oranları hesaplandı ve elde edilen sonuçlar Azerbaycan doğal şişe suları için Tablo 22’de, Azerbaycan maden suları için Tablo 23’de, Türkiye doğal şişe suları için Tablo 24’de ve Türkiye maden suları için Tablo 25’de verilmektedir.

Tablo 22. Azerbaycan doğal şişe sularının tüketimine bağlı olarak günlük radyonüklit alım miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser riski değerleri

Numune Kodu	Günlük radyonüklit alımı D_{int} (Bq/Gün)				Yıllık etkin doz eşdeğeri (nSv/Yıl)				Yaşam boyu kanser riski $\times 10^{-7}$	
	Bebek	Çocuk	Kadın	Erkek	Bebek	Çocuk	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek
ASS-1	2,71	3,94	4,93	6,16	17,81	25,90	32,38	40,47	1,27	1,48
ASS-2	3,34	4,86	6,07	7,59	21,94	31,91	39,89	49,86	1,56	1,82
ASS-3	2,43	3,53	4,41	5,52	15,95	23,20	29,00	36,25	1,13	1,32
ASS-4	3,14	4,57	5,71	7,14	20,65	30,03	37,54	46,93	1,47	1,71
ASS-5	3,07	4,47	5,59	6,98	20,18	29,36	36,70	45,87	1,43	1,67
ASS-6	3,04	4,42	5,53	6,91	19,98	29,06	36,32	45,40	1,42	1,65
ASS-7	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
Ortalama	2,96	4,30	5,37	6,72	19,42	28,24	35,30	44,13	1,38	1,61
Max	3,34	4,86	6,07	7,59	21,94	31,91	39,89	49,86	1,56	1,82
Min	2,43	3,53	4,41	5,52	15,95	23,20	29,00	36,25	1,13	1,32

Tablo 23. Azerbaycan maden sularının tüketimine bağı olarak günlük radyonüklit alım miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser riski değerleri

Numune Kodu	Günlük radyonüklit alımı D_{int} (Bq/Gün)				Yıllık etkin doz eşdeğeri (nSv/Yıl)				Yaşam boyu kanser riski $\times 10^{-7}$	
	Bebek	Çocuk	Kadın	Erkek	Bebek	Çocuk	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek
AMS-1	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
AMS-2	2,42	3,52	4,40	5,50	15,89	23,11	28,88	36,11	1,13	1,32
AMS-3	3,51	5,11	6,38	7,98	23,06	33,55	41,93	52,42	1,64	1,91
AMS-4	1,94	2,82	3,52	4,40	12,72	18,50	23,13	28,91	0,90	1,05
AMS-5	2,82	4,11	5,14	6,42	18,56	27,00	33,74	42,18	1,32	1,54
AMS-6	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
AMS-7	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
AMS-8	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
Ortalama	2,67	3,89	4,86	6,07	17,56	23,54	31,92	39,90	1,25	1,39
Max	3,51	5,11	6,38	7,98	23,06	33,55	41,93	52,42	1,64	1,91
Min	1,94	2,82	3,52	4,40	12,72	18,50	23,13	28,91	0,90	1,05

Tablo 24. Türkiye doğal şişe sularının tüketimine bağlı olarak günlük radyonüklit alım miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser riski değerleri

Numune Kodu	Günlük radyonüklit alımı D_{int} (Bq/Gün)				Yıllık etkin doz eşdeğeri (nSv/Yıl)				Yaşam boyu kanser riski $\times 10^{-7}$	
	Bebek	Çocuk	Kadın	Erkek	Bebek	Çocuk	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek
TSS-1	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TSS-2	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TSS-3	2,23	3,24	4,05	5,07	14,65	21,31	26,64	33,30	1,13	1,31
TSS-4	3,82	5,56	6,95	8,69	25,12	36,53	45,67	57,08	1,93	2,25
TSS-5	2,15	3,13	3,91	4,89	14,13	20,55	25,69	32,11	1,09	1,27
TSS-6	2,63	3,82	4,78	5,97	17,27	25,12	31,40	39,24	1,33	1,55
TSS-7	1,91	2,78	3,48	4,34	12,56	18,27	22,83	28,54	0,97	1,13
TSS-8	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TSS-9	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TSS-10	2,19	3,18	3,98	4,97	14,37	20,90	26,13	32,66	1,11	1,29
TSS-11	1,89	2,74	3,77	4,29	12,39	18,02	22,53	28,16	1,05	1,11
TSS-12	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TSS-13	2,79	4,06	4,06	6,34	18,34	26,67	33,34	41,67	1,13	1,65
TSS-14	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TSS-15	2,72	3,95	4,94	6,17	17,84	25,95	32,44	40,55	1,37	1,60
TSS-16	2,19	3,18	3,98	4,97	14,37	20,90	26,13	32,66	1,11	1,29
Ortalama	2,45	3,57	4,39	5,57	16,10	23,42	29,28	36,60	1,22	1,45
Max	3,82	5,56	6,95	8,69	25,12	36,53	45,67	57,08	1,93	2,25
Min	1,89	2,74	3,48	4,29	12,39	18,02	22,53	28,16	0,97	1,11

Tablo 25. Türkiye maden sularının tüketimine bağı olarak günlük radyonüklit alım miktarları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser riski değerleri

Numune Kodu	Günlük radyonüklid alımı D_{int} (Bq/Gün)				Yıllık etkin doz eşdeğeri (nSv/Yıl)				Yaşam boyu kanser riski $\times 10^{-7}$	
	Bebek	Çocuk	Kadın	Erkek	Bebek	Çocuk	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek
TMS-1	2,30	3,35	4,18	5,23	15,12	21,99	27,49	34,36	1,16	1,36
TMS-2	2,46	3,58	4,47	5,59	16,16	23,50	29,38	36,73	1,24	1,45
TMS-3	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TMS-4	2,78	4,04	5,05	6,31	18,24	26,54	33,17	41,46	1,40	1,64
TMS-5	1,90	2,77	3,46	4,33	12,51	18,20	22,75	28,43	0,96	1,12
TMS-6	3,49	5,08	6,35	7,93	22,94	33,36	41,70	52,13	1,77	2,06
TMS-7	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TMS-8	3,17	4,61	5,76	7,20	20,81	30,26	37,83	47,29	1,60	1,87
TMS-9	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
TMS-10	3,24	4,72	5,89	7,37	21,30	30,98	38,73	48,41	1,64	1,91
TMS-11	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
Ortalama	2,76	4,02	5,02	6,28	18,15	26,40	33,01	41,26	1,40	1,63
Max	3,49	5,08	6,35	7,93	22,94	33,36	41,70	52,13	1,77	2,06
Min	1,90	2,77	3,46	4,33	12,51	18,20	22,75	28,43	0,96	1,12

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışma ile Türkiye ve Azerbaycan'da satılan şişe doğal ve maden sularının trityum aktivite konsantrasyon değerleri belirlendi. Türkiye'de farklı markalara ait 16 adet doğal şişe suyunun ortalama trityum aktivite konsantrasyon değeri $2,23 \pm 0,90$ Bq/L ($18,90 \pm 7,63$ TU) olarak bulundu. Bu sular için en yüksek konsantrasyon değeri $3,48 \pm 1,01$ Bq/L ($29,49 \pm 8,56$ TU) olarak, en düşük konsantrasyon değeri ise $1,71 \pm 0,82$ Bq/L ($14,49 \pm 6,95$ TU) olarak tespit edildi. Alınan 16 numuneden 6 tanesinin aktivite konsantrasyon değeri ise MDA değerinin altında kaldı.

Türkiye'de farklı markalara ait 11 adet maden şişe suyunun ortalama trityum aktivite konsantrasyon değeri $2,51 \pm 0,91$ Bq/L ($21,27 \pm 7,71$ TU) olarak bulundu. Bu sular için en yüksek konsantrasyon değeri $3,17 \pm 1,01$ Bq/L ($26,86 \pm 8,56$ TU) olarak, en düşük konsantrasyon değeri ise $1,73 \pm 0,79$ Bq/L ($14,66 \pm 6,69$ TU) olarak tespit edildi. Alınan bu 11 numuneden 4 tanesinin aktivite konsantrasyon değeri ise MDA

Azerbaycan'da farklı markalara ait 7 adet doğal şişe suyunun ortalama trityum aktivite konsantrasyon değeri $2,69 \pm 0,91$ Bq/L ($22,80 \pm 7,71$ TU) olarak bulundu. Bu sular için en yüksek trityum konsantrasyon değeri $3,04 \pm 0,99$ Bq/L ($25,76 \pm 8,40$ TU) olarak, en düşük konsantrasyon değeri ise $2,21 \pm 0,83$ Bq/L ($18,73 \pm 7,03$ TU) olarak tespit edildi. Alınan bu 7 numuneden 1 tanesinin aktivite konsantrasyon değeri ise MDA değerinin altında kaldı.

Azerbaycan'da farklı markalara ait 8 adet maden şişe suyunun ortalama trityum aktivite konsantrasyon değeri $2,43 \pm 0,89$ Bq/L ($20,59 \pm 7,54$ TU) olarak bulundu. Bu sular için en yüksek trityum konsantrasyon değeri $3,19 \pm 0,98$ Bq/L ($27,03 \pm 8,31$ TU) olarak, en düşük konsantrasyon değeri ise $1,76 \pm 0,83$ Bq/L ($14,92 \pm 7,03$ TU) olarak tespit edildi. Alınan bu 8 numuneden 4 tanesinin aktivite konsantrasyon değeri ise MDA değerinin altında kaldı.

Türkiye'de satılan maden sularının aktivite konsantrasyon değerleri, doğal suların aktivite konsantrasyon değerlerinden daha yüksek bulundu. Fakat

Azerbaycan'da ise doğal suların aktivite konsantrasyon değerleri maden sularının aktivite konsantrasyon değerlerinden daha yüksek bulundu. Azerbaycan doğal şişe suları için bulunan ortalama trityum aktivite konsantrasyon değerinin, çalışılan sular içerisinde en yüksek konsantrasyon değerine sahip olduğu görüldü.

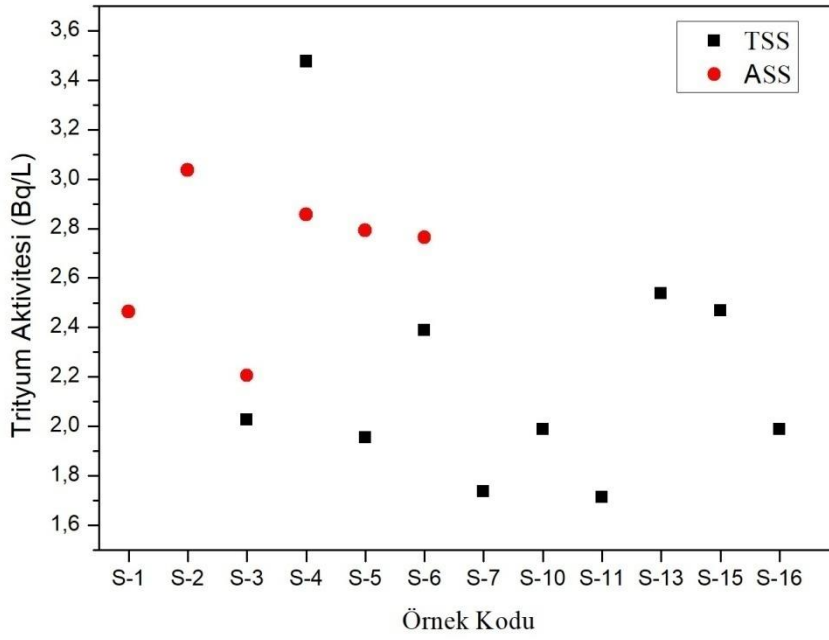
Dünyanın farklı ülkelerinde içme sularında trityum düzeylerinin belirlenmesi üzerine yapılmış birçok çalışma literatür de mevcuttur. İçme suyu örneklerinde trityum düzeylerinin belirlendiği bu çalışma ve farklı ülkelerde yapılmış olan çalışmaların trityum konsantrasyon değerleri Tablo 26'da verilmektedir.

Tablo 26. Bu çalışma ve farklı ülkelerde rapor edilmiş trityum konsantrasyon değerleri

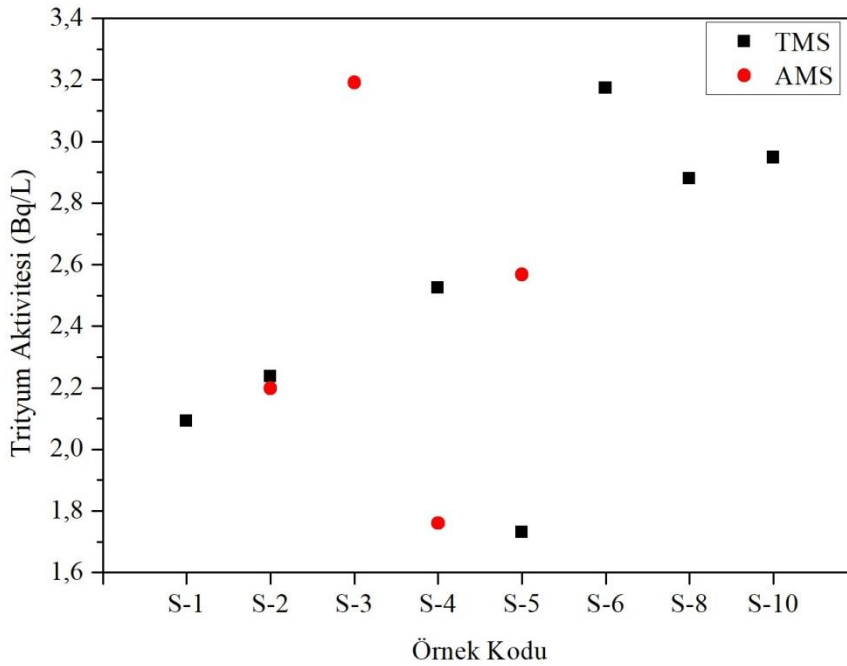
Su Tipi	Yer	Trityum aktivitesi Bq/L	Referans
İçme suyu	Portekiz	4,60 ± 0,40	(Madruga vd., 2004)
Yüzey suyu	Sırbistan	2,19 ± 0,20	(Nikolov vd., 2013)
İçme suyu	Rize, Türkiye	0,89	(Korkmaz Görür ve Genç.,2012)
İçme suyu	İspanya	0,47 ± 0,05	(Villa ve Manjon, 2004)
Şişe suyu	İspanya	0,99	(Paloma vd., 2007)
İçme suyu	Adana, Türkiye	6,95 ± 1,65	(Gören, 2011)
İçme suyu	İtalya	< 8,6	(Borio vd., 2005)
Çeşme suyu	Eskişehir, Türkiye	0,84 ± 0,19	(Top, 2008)
Şişe suyu	Azerbaycan	2,69 ± 0,91	Bu çalışma
Maden suyu	Azerbaycan	2,43 ± 0,89	Bu çalışma
Şişe suyu	Türkiye	2,23 ± 0,90	Bu çalışma
Maden suyu	Türkiye	2,51 ± 0,91	Bu çalışma

Tablo 26'ya bakıldığında, Azerbaycan ve Türkiye maden ve şişe suyu örneklerinin ortalama trityum aktivite konsantrasyon değerleri Portekiz (Madruga vd., 2004), İtalya (Borio vd., 2005) ve Adana-Türkiye'de (Gören, 2011) yapılan çalışmalarda rapor edilen trityum değerlerinden daha düşük, Sırbistan (Nikolov vd., 2013), İspanya (Villa ve Manjon, 2004; Paloma vd., 2007) ve Eskişehir-Türkiye'de (Top, 2008) yapılan çalışmalarda rapor edilen trityum değerlerinden ise daha yüksektir.

Türkiye ve Azerbaycan'da ticari olarak satılan doğal ve maden şişe suları için bulunan trityum aktivite konsantrasyon değerlerinin örnek koduna göre dağılımları doğal şişe suları için Şekil 25'de, maden suları için ise Şekil 26'da verilmektedir.



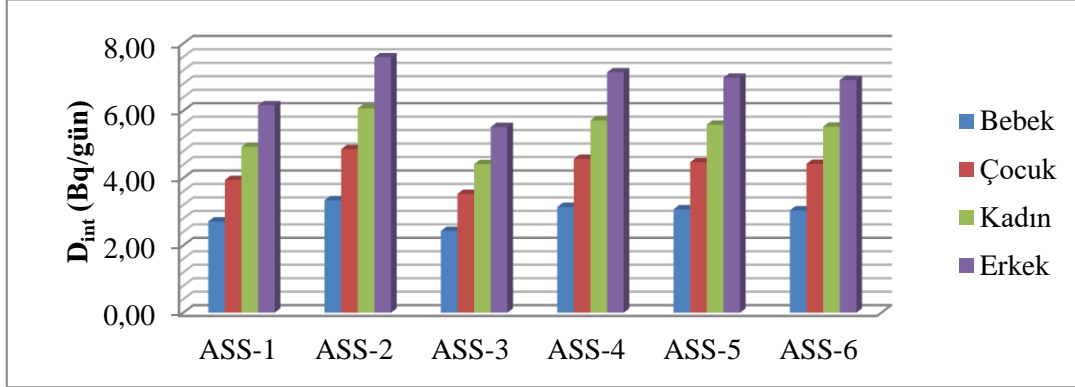
Şekil 25. Doğal şişe sularının örnek koduna göre trityum aktivite konsantrasyon dağılımları



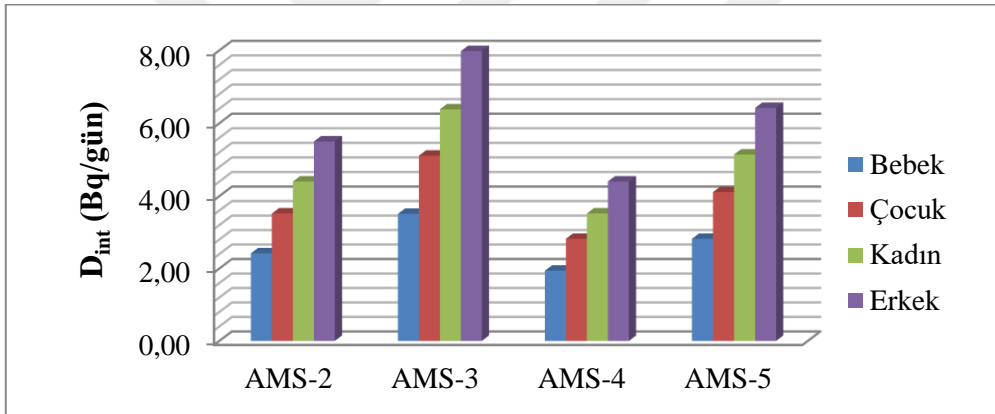
Şekil 26. Maden sularının örnek koduna göre trityum aktivite konsantrasyon dağılımları

Azerbaycan doğal ve maden şişe sularının tüketimiyle bireyler (bebek, çocuk, kadın ve erkek) tarafından alınan günlük radyonüklit miktarlarının örnek koduna göre grafikleri Şekil 27 ve Şekil 28’de, Türkiye doğal ve maden şişe sularının tüketimiyle

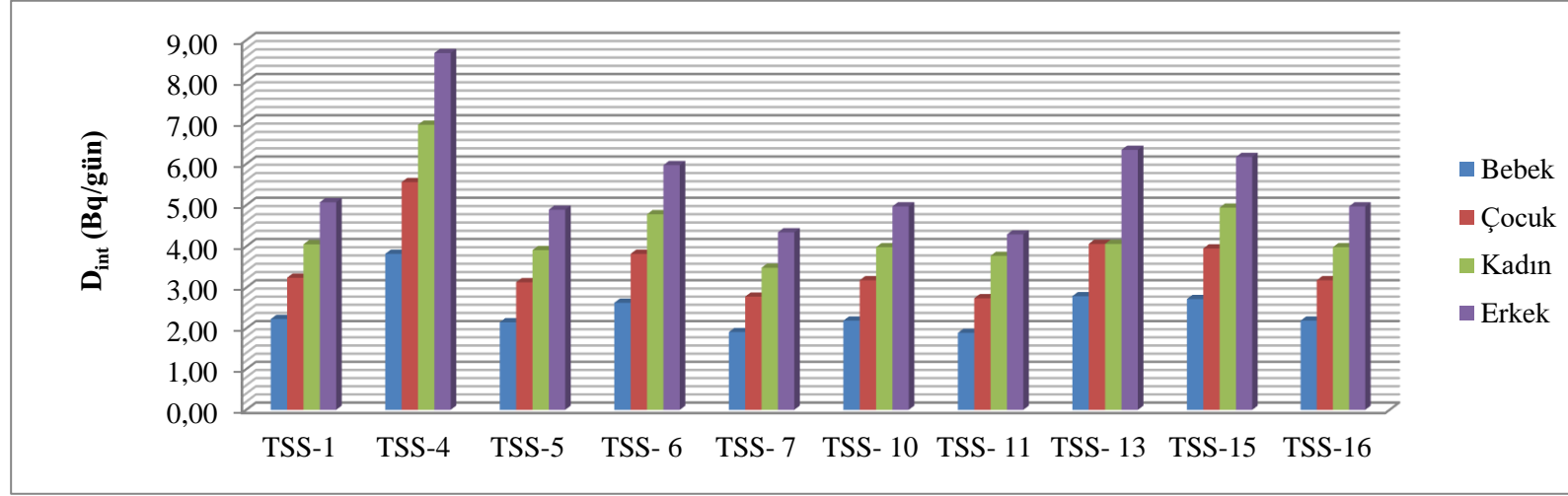
bireyler (bebek, çocuk, kadın ve erkek) tarafından alınan günlük radyonüklit miktarlarının örnek koduna göre grafikleri ise Şekil 29 ve Şekil 30’da verilmektedir.



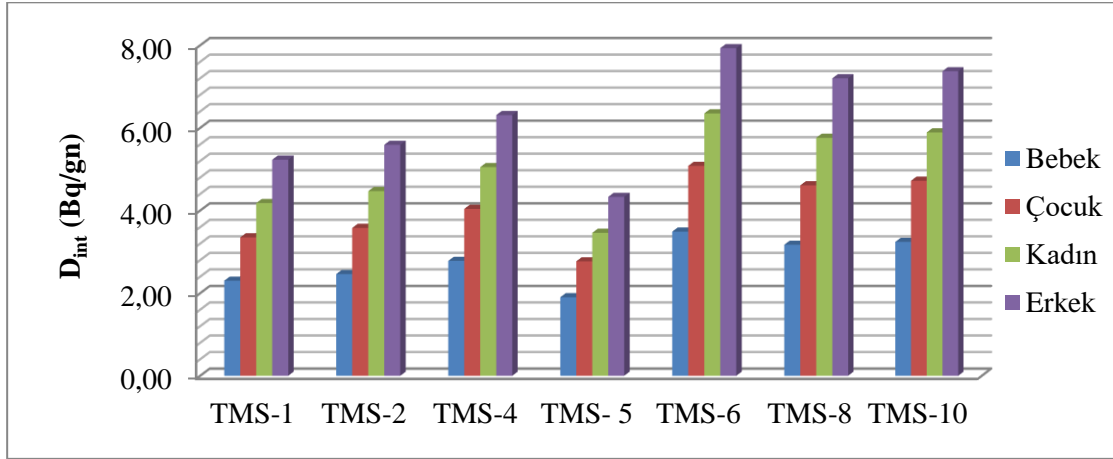
Şekil 27. Azerbaycan doğal şişe sularının tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları



Şekil 28. Azerbaycan maden sularının tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları

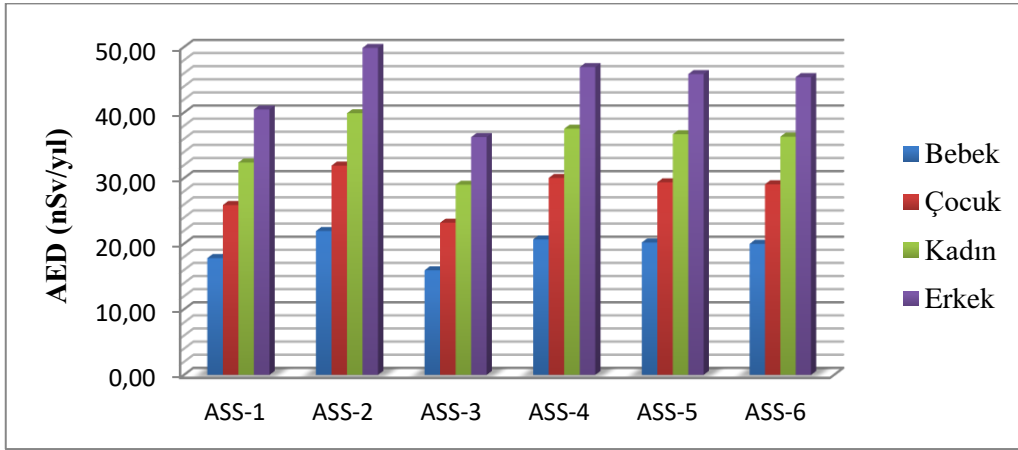


Şekil 29. Türkiye doğal şişe sularının tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları

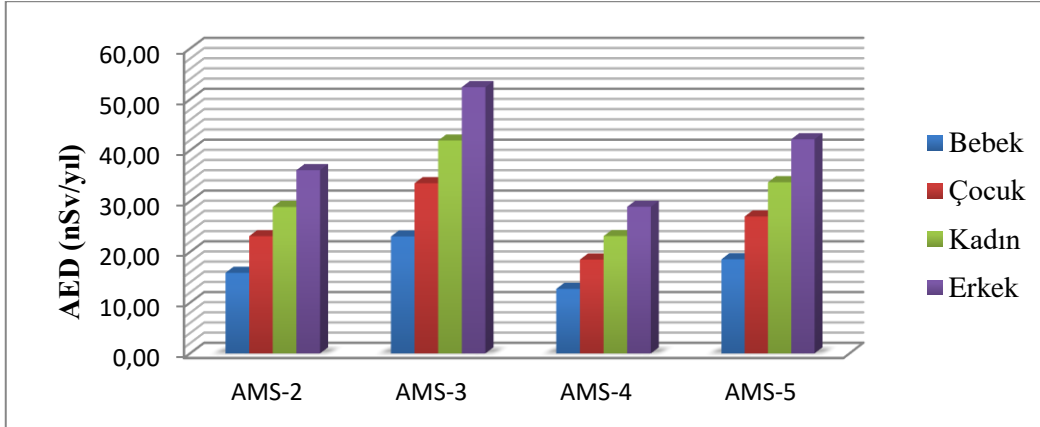


Şekil 30. Türkiye maden sularının tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarları

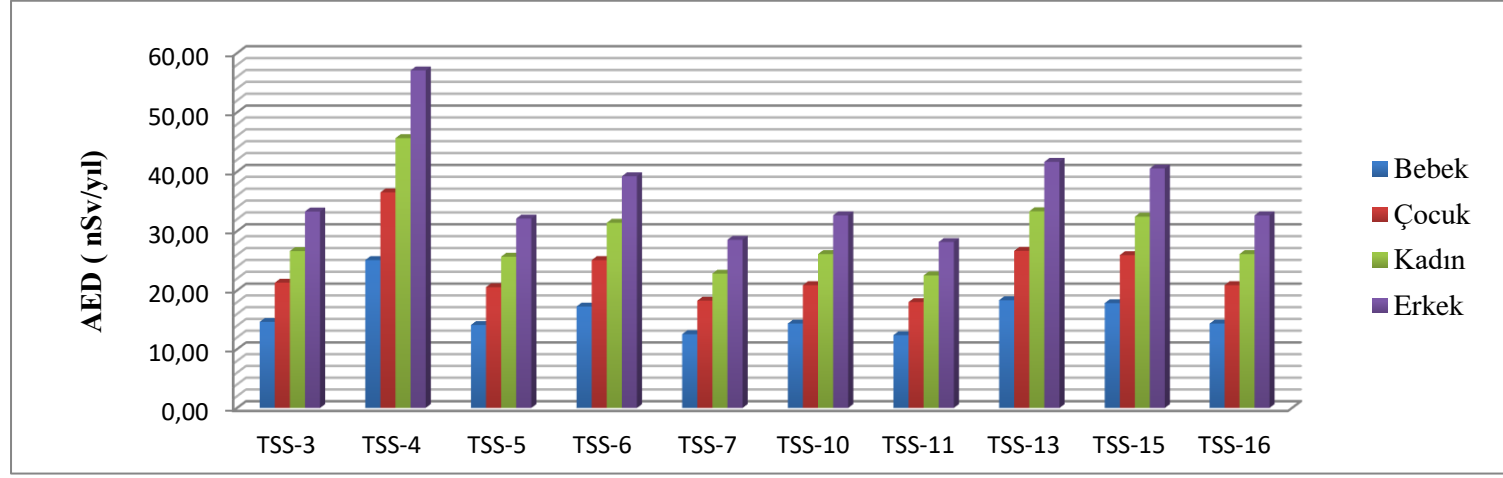
Azerbaycan doğal ve maden şişe sularının tüketimiyle bireyler (bebek, çocuk, kadın ve erkek) tarafından alınabilecek yıllık etkin doz eşdeğerlerinin örnek koduna göre grafikleri Şekil 31 ve Şekil 32’de, Türkiye doğal ve maden şişe sularının tüketimiyle bireyler (bebek, çocuk, kadın ve erkek) tarafından alınabilecek yıllık etkin doz eşdeğerlerinin örnek koduna göre grafikleri ise Şekil 33 ve Şekil 34’de verilmektedir.



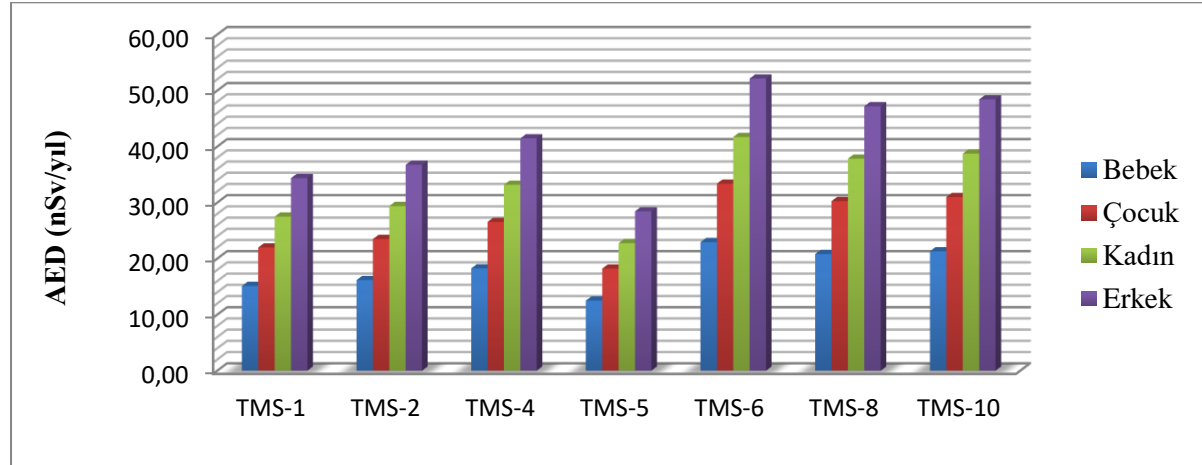
Şekil 31. Azerbaycan doğal şişe sularının bireyler tarafından tüketilmesiyle yıllık alınabilecek etkin doz değerleri



Şekil 32. Azerbaycan maden sularının bireyler tarafından tüketilmesiyle yıllık alınabilecek etkin doz değerleri

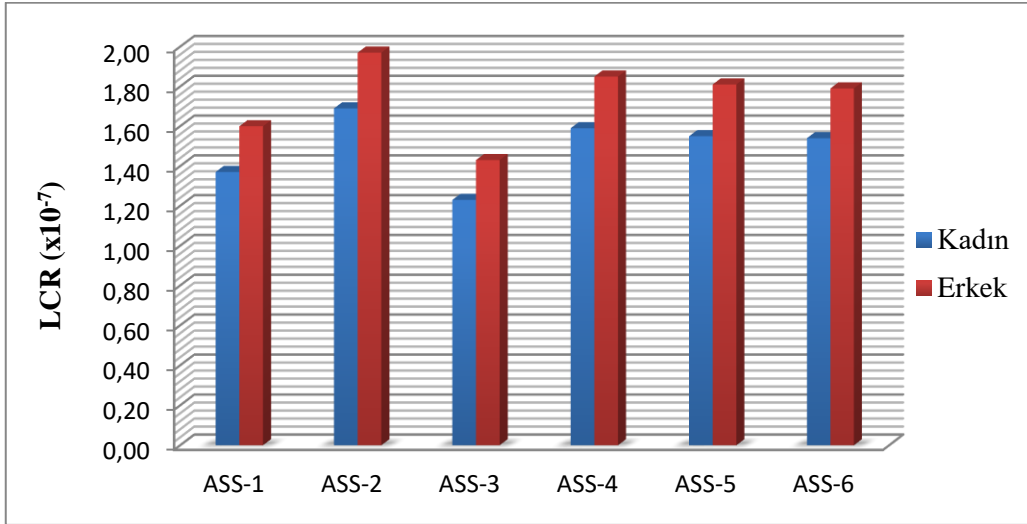


Şekil 33. Türkiye doğal şişe sularının bireyler tarafından tüketilmesiyle yıllık alınabilecek etkin doz değerleri

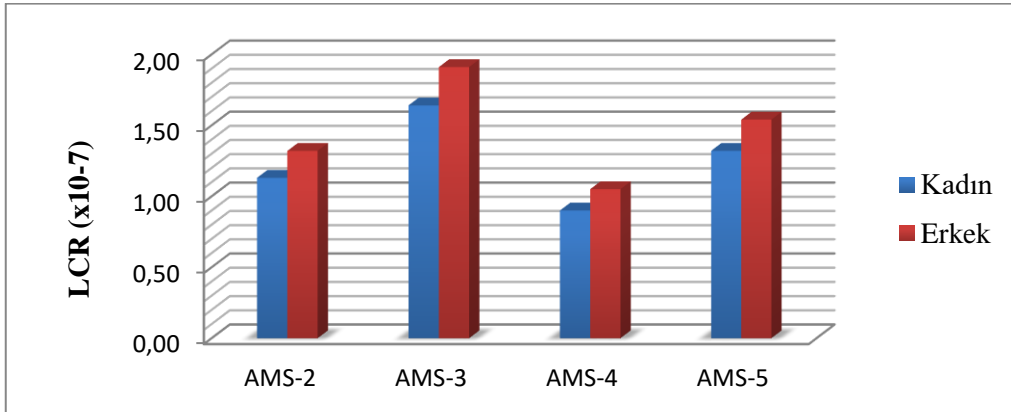


Şekil 34. Türkiye maden sularının bireyler tarafından tüketilmesiyle yıllık alınabilecek etkin doz değerleri

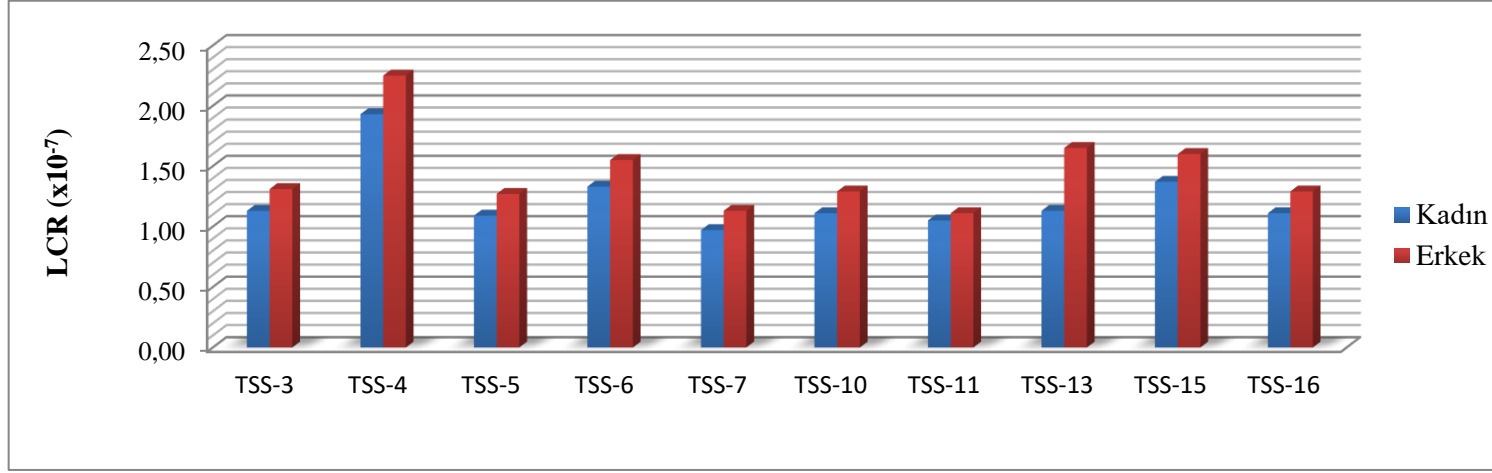
Azerbaycan doğal ve maden şişe sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranlarının örnek kodlarına göre grafikleri Şekil 35 ve Şekil 36'da, Türkiye doğal ve maden şişe sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranlarının örnek kodlarına göre grafikleri ise Şekil 37 ve Şekil 38'de verilmektedir.



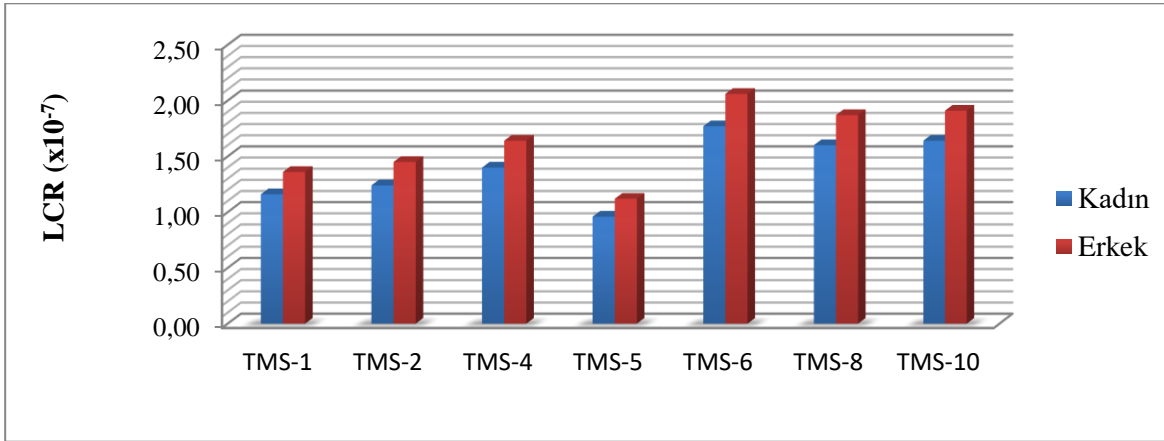
Şekil 35. Azerbaycan doğal şişe sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranları



Şekil 36. Azerbaycan maden sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranları



Şekil 37. Türkiye doğal şişe sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranları



Şekil 38. Türkiye maden sularının tüketilmesine bağlı olarak kadın ve erkek bireyler için yaşam boyu kanser riski oranları

Şekil 27 ve Şekil 28’de görüldüğü gibi, Azerbaycan maden ve şişe suyu tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarı erkek bireyler için en fazla, bebekler için en azdır. Erkek bireyler için hesaplanan değerler, şişe suları için en fazla 7,59 Bq/gün, maden suları için ise en fazla 7,98 Bq/gün olarak tespit edilmiştir. En az günlük radyonüklit alım miktarının bebeklerde olduğu görülmektedir. Bunun böyle olmasının sebebi, bebeklerin yetişkinlere göre daha az su tüketmesidir.

Şekil 29 ve Şekil 30’da görüldüğü gibi, Türkiye maden ve şişe suyu tüketimiyle bireyler tarafından alınan günlük radyonüklit miktarı erkek bireyler için en fazla, bebekler için en azdır. Erkek bireylerde günlük alınan radyonüklit miktarı, şişe suları için en fazla 8,69 Bq/gün, maden suları için ise en fazla 7,93 Bq/gün olarak bulunmuştur. En az günlük radyonüklit alım miktarının bebeklerde görülmesinin sebebi, bebeklerin yetişkinlere göre daha az su tüketmesidir.

Azerbaycan maden ve şişe suyu tüketimiyle bireyler tarafından alınabilecek yıllık etkin doz eşdeğerlerinin erkek bireylerde en çok, bebeklerde ise en az olduğu Şekil 31 ve Şekil 32’de görülmektedir. Bu değerler şişe suları için erkeklerde en fazla 49,86 nSv/yıl, kadınlarda 39,89 nSv/yıl, çocuklarda 31,91 nSv/yıl bebeklerde ise 21,94 nSv/yıl’dır. Aynı şekilde maden suları için bu değerler erkeklerde en fazla 52,42 nSv/yıl, kadınlarda 41,93 nSv/yıl, çocuklarda 33,55 nSv/yıl, bebeklerde ise 23,06 nSv/yıl olarak hesaplanmıştır. Bütün bireyler için bulunan bu maksimum değerler uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen limit değerinden (2,4 mSv/yıl) çok daha düşüktür. Dolayısıyla çalışılan suların bireyler tarafından tüketilmesine bağlı olarak trityum radyoizotopu açısından herhangi bir sağlık riski oluşturmayacağı söylenebilir.

Türkiye maden ve şişe suyu tüketimiyle bireyler tarafından alınabilecek yıllık etkin doz değerlerinin erkek bireylerde en çok, bebeklerde ise en az olduğu Şekil 33 ve Şekil 34’de görülmektedir. Bu değerler şişe suları için erkeklerde en fazla 57,08 nSv/yıl kadınlarda 45,67 nSv/yıl, çocuklarda 36,53 nSv/yıl bebeklerde ise 25,12 nSv/yıl’dır. Aynı şekilde maden suları için bu değerler erkeklerde en fazla 52,13 nSv/yıl, kadınlarda 41,70 nSv/yıl, çocuklarda 33,36 nSv/yıl, bebeklerde ise 22,94 nSv/yıl olarak hesaplanmıştır. Bütün bireyler için bulunan bu maksimum değerler uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen limit değerlerinden (2,4 mSv/yıl) çok daha

düşüktür. Dolayısıyla çalışılan suların bireyler tarafından tüketimine bağlı olarak trityum radyoizotopu açısından herhangi bir sağlık riski oluşturmayacağı söylenebilir.

Azerbaycan maden ve şişe suyu tüketimiyle bireyler tarafından alınabilecek yaşam boyu kanser riski değerlerinin erkek bireylerde en çok, kadın bireyler için ise en az olduğu Şekil 35 ve Şekil 36'da görülmektedir. Bu değerler şişe suları için erkeklerde en fazla $1,82 \times 10^{-7}$ kadınlarda ise $1,56 \times 10^{-7}$ 'dir . Aynı şekilde maden suları için bu değerler erkeklerde en fazla $1,91 \times 10^{-7}$ kadınlarda ise $1,64 \times 10^{-7}$ olarak hesaplanmıştır. Bütün bireyler için bulunan bu değerler uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen limit değerinden (10^{-3}) çok daha düşüktür. Dolayısıyla çalışılan suların bireyler tarafından tüketimine bağlı olarak trityum radyoizotopu açısından herhangi bir sağlık riski oluşturmayacağı söylenebilir.

Türkiye maden ve şişe suyu tüketimiyle bireyler tarafından alınabilecek yaşam boyu kanser riski değerlerinin erkek bireylerde en çok, kadın bireyler için ise en az olduğu Şekil 37 ve Şekil 38'de görülmektedir. Bu değerler şişe suları için erkeklerde en fazla $2,25 \times 10^{-7}$ kadınlarda ise $1,93 \times 10^{-7}$ 'dir . Aynı şekilde maden suları için bu değerler erkeklerde en fazla $2,06 \times 10^{-7}$ kadınlarda ise $1,77 \times 10^{-7}$ olarak hesaplanmıştır. Bütün bireyler için bulunan bu maksimum değerler uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen limit değerlerinden (10^{-3}) çok daha düşüktür. Dolayısıyla çalışılan suların bireyler tarafından tüketimine bağlı olarak trityum radyoizotopu açısından herhangi bir sağlık riski oluşturmayacağı söylenebilir.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada, sadece Azerbaycan ve Türkiye’de ki doğal ve maden şişe sularındaki trityum aktivite konsantrasyon düzeyleri belirlendi. Türkiye’deki bazı sularda trityum aktivite düzeylerinin belirlenmesine ilişkin çalışmalar olmasına rağmen Azerbaycan’daki sularda trityum düzeylerinin belirlenmesine ilişkin şu ana kadar yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle Azerbaycan’daki çeşitli sular için (içme suyu, nehir suyu, yeraltı suyu, yağmur suyu vb.) benzer çalışmalar yapılabilir. Ayrıca, hazar denizi kıyısında bulunan bazı ülkelerde nükleer santraller bulunduğundan dolayı hazar denizi sularında da trityum düzeylerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.

Türkiye ve Azerbaycan’daki radyoaktif kaynakların tam olarak bilinmemesi, farklı nedenlerle oluşan nükleer santral kazaları ve son zamanlarda yapılan termonükleer denemelere bağlı olarak dünyamızın radyoaktif kirlilik düzeyi artmaktadır. Bu yüzden, insan sağlığının korunması açısından radyoaktif kirlilik değişiminin izlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmalar aralıksız olarak devam ettirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Altay, T., Çifter, C., 1996.** Trityum laboratuvarı el kitabı, DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, İZ-963, 55s.
- Anonimous, 2004.** Principles and applications of liquid scintillation counting. National Diagnostics Laboratory Staff , s. 15.
- Arankytö, P., Paso, C. and Kaihola, L., 1994.** Nuclear counters in environmental applications. Perkin Elmer, 29p.
- ASTM D-3648, 1987.** Standart practices for the measurement of radioactivity. AnnualBook of ASTM (The American Society for Testing and Materials) Standarts 330–356.
- Cansoy, Ç., 1978.** Teorik fizik dersleri çekirdek teorisi, İstanbul Üniversitesi, cilt 10, 192s.
- Charles, J. and Passa, J., 1994.** Handbook of environmental liquid scintillation spectrometry. Packard, 156s.
- Curri van, L., Kelleher, K., McGinnity, P., Wong, J. and McMahon, C., 2013.** A survey of tritium in Irish seawater. Radiological Protection Institute of Ireland. RPII 13/02, 30s.
- Çelebi, N., 1995.** Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 21–22.
- Çelebi, N. and Yaşar, S., 1998.** Sularda radyoaktivite, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi. İstanbul, Türkiye
- Dashek, W.V., 2000.** Methods in plant elektron microscopy cytochemistry, Humana Pres, 300s.
- Dawis, R.M. and Watson, J.E., 1990.** Influence of ^{226}Ra concentration in surrounding rock on ^{222}Ra concentration in ground water. Health Physics, 58, 369- 371.
- Dizman, S., 2015.** İdrar Örneklerinde Trityum Seviyesinin Belirlenmesi ve Bazı Biyokimyasal Parametrelerle İlişkisi. Doktora Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 136s.
- DSİ, 2003.** Elektroliz zenginleştirmesi ve sıvı sintilasyon sayma sistemi kullanılarak su numunelerinin trityum içeriği üzerindeki belirsizliklerin saptanması. TAKK Dairesi Başkanlığı Ankara, Türkiye, İZ–903.
- Elmer, P., 2001.** Handbook of liquid scintillation counting.

- Forkapic, S., Nikolov, J., Todorovic, N., Mrdja, D. and Bikit, İ., 2011.** Tritium Determination in Danube River Water in Serbia by Liquid Scintillation Counter. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Physical, Natural Science and Engineering, 5 (4), 523s.
- Gonfiantini, R., 1982.** On the isotopic composition of precipitation, translation from a paper presented at the annual meeting of the Societa Italiana di Minerologia a Petrologia, Cetraro (cosenza), Italy.
- Gören, E., 2011.** Adana İçme Sularında Tritiyum Aktivitesinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 449s.
- Habash, W.Y., 2002.** Elektromagnetic fields and radiation human bioeffects and safety. CRC Pres, 424p.
- Hadzisehovic, M., Miljevic, N., Sipka, V. and Golobocanin, D., 1991.** Environmental tritium of the Danube basin in Yugoslavia, Environmental Pollution 77, .23-30.
- Hammond, D.E., Teng, T.L., Miller, L. and Haraguchi, G., 1981.** A search for covariance among seismicity, ground chemistry, and groundwater Radonin Southern California. Geophysical Research Letters, 445-448.
- IAEA, 1996.** Radiation safety. International Atomic Energy Agency, 00725, IAEA Division of Public Information, 96–00725, PI, A47E.
- IAEA 1994.** International basic safety standarts for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. International Atomic Energy Agency, 115-I, Safety Series, Vienna115-I.
- ICRP, 1993.** Protection aganist radon –222 at home and at work. International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, ICRP Publication 65, Pergamon, Oxford.
- IAEA, 1996.** International Atomic Energy Agency, “Radiation safety”, Division of Public Information, 96–00725, PI, A47 E.
- İpek, N., 2015.** Rize Bölgesindeki Bazı Nehir ve Deniz Suyu Örneklerindeki Tritiyum Seviyesinin Belirlenmesi.Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 84s.
- Johnson, H. and Tuitah, M., 1983.** Radiation is part of your life, Nuclear Information Series, Atomic Energy of Canada Limited Public Affairs.
- Keser, R., 2009.** Rize İli Sahil Kumlarında ve Bazı Kayaçlarda Doğal Gama Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi. Doktor Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 172s.

- Kessler, M.J., 1986.** Liquid Scintillation analysis. Science and technology. Packart Publication, Pelkin Elmer Life and Analytical Sciences, Boston.
- Knoll, G.F., 1989.** Radiation Dedection and Measurement, John Wiley and Sons, Inc., U.S.A. 754s.
- Knoll, G.F., 2000.** Radiation Dedection and Measurement, John Wiley and Sons, 3rd. Edition, ISBN: 0-471-07338-5, 796 s.
- Krane, K., 1988.** Introductory Nuclear Physics. Oregan State Universty, Printed by Kim Hup Lee Printing Co. Pte Ltd, QC777.K73, Singapore.a
- Krane, K., 2002.** Nükleer Fizik. Palme yayıncılık, Şarer, B.(Ç.Ed.), Ankara, 2. Cilt.
- TAEK, 2009.** Türkiye'deki çevre radyoaktivitesinin incelenmesi raporu 2007, Türkiye Atom Enerji Kurumu, Ankara
- Taşkın, H., 2006.** "İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından Kırklareli ilinin fon radyasyonunun belirlenmesi ve haritalanması", Marmara Üniversitesi, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 96s
- TCSB, 2015.** T.C. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 1031 , T.C. Sağlık Bakanlığı Ankara Türkiye
- Lucas, H.F., 1991.** "Radium-226 whole-body gama count-ing and Radon-222 breath analysis", Health Physics 60, 163-167.
- Top, G., 2008.** Sıvı Sintilasyon Cihazı ile İçme Sularında Tritiyum Seviyelerinin Belirlenmesi.Yüksek Lisans Tezi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 68s.
- TSE , 1979.** İçme Suları. Türk Standartlar Enstitüsü, III. Baskı. UDK 663-7,543.
- Tsoufanidis, N., 1995.** Measurement and dedection of radiation. Taylor and Francis, London, 636p.
- TCSB , 2015.** Türkiye Beslenme Rehberi 2015. T.C. Sağlık Bakanlığı Ankara Türkiye 288s.
- Tüysüz, M.Z., Yorulmaz, N., ve Bozkurt, A., 2004.** Co-60 radyoterapi kaynağı için monte carlo yöntemiyle uygun zırh tasarımı. Türk Fizik Derneği, 22. Fizik Kongresi, Bildiriler Kitapçığı, Bodrum.
- TUİK 2017.** Türkiye İstatistik Kurumu, Yayın No 24640, Ankara.
- URL-1, 2007.** www.nuclear.gazi.edu.tr/sunu/buyukuslu.ppt (14 Mart 2016).
- URL-2, 2016.** <http://slideplayer.biz.tr/slide/5582597/> (24 Ekim 2016).

- URL-3, 2016.** www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm (14 Mart 2016).
- URL-4, 2016.** <https://tr.wikipedia.org/wiki/Tritiyum> (14 Mart 2016).
- URL-5, 2016.** http://legacy.ehs.psu.edu/radprot/Packard_quench (28 Ekim 2016).
- URL-6, 2016.** http://www.bio.huji.ac.il/upload/beta_counter_protocol.pdf.
(5 Kasım 2016)
- URL- 7, 2013.** https://tr.wikipedia.org/wiki/Beklenen_ya. (2 Temmuz 2018).
- Watanabe, Y. and Kywabara, J., 2006.** Ultraviolet photolysis of urine for suppression of color quenching prior to liquid scintillation counting of tritium. Anal Bional Chem. s.384, 547–550.
- Watson, J.E., Evans, J.P. and Mabry, A.M., 1993.** Analysis of ²²²Ra concentration in North Caroline household water supplies derived from private wells.
- Xiaolin, H. and Per, R., 2008.** Critical comparison of radiometric and mass spectrometric methods for the determination of radionuclides in environmental, biological and nuclear waste samples, Analytica Chemica Acta, 608, 105-139.

ÖZGEÇMİŞ

Orkhan MUKHTARLI 25/09/1992 yılında Azerbaycan'ın Gakh İli'nde doğdu. İlk öğretimi ve orta okulu Gakh İli'nde E. Babayev okulunda 2009 yılında tamamladı. 23/09/2011 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümün'de başladığı lisans eğitimini 03/07/2015 tarihinde tamamladı. 10/07/2015 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimine halen devam etmektedir.

