

**T.C.**  
**RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RİZE BÖLGESİNDEKİ BAZI NEHİR VE DENİZ SUYU**  
**ÖRNEKLERİNDEKİ TRİTYUM SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ**

**NESLİHAN İPEK**

**TEZ DANIŞMANI**

**DOÇ. DR. RECEP KESER**

**TEZ JÜRİLERİ**

**PROF. DR. BELGİN KÜÇÜKÖMEROĞLU**

**YRD. DOÇ. DR. NİLAY AKÇAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**RİZE-2015**

**Her Hakkı Saklıdır**

T.C.  
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RİZE BÖLGESİNDEKİ BAZI NEHİR VE DENİZ SUYU  
ÖRNEKLERİNDEKİ TRİTYUM SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ**

Doç. Dr. Recep KESER danışmanlığında, Neslihan İPEK tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/09/2015 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı	İmzası
Başkan :	Doç. Dr. Recep KESER	
Üye :	Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU	
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Nilay AKÇAY	

  
Prof. Dr. Selami ŞAŞMAZ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Recep KESER danışmanlığında hazırlanarak Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalına “Rize Bölgesindeki Bazı Nehir ve Deniz Suyu Örneklerindeki Tritiyum Seviyesinin Belirlenmesi” başlıklı Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında danışmanlığımı üstlenen; bilgi, öneri ve yardımlarıyla beni destekleyen değerli hocam Doç. Dr. Recep KESER’e ve aynı zamanda çalışmalarım boyunca bana yol gösteren Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nden Uzm. Serdar DİZMAN’a, yardımlarından dolayı Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü’nden Yrd. Doç. Dr. Ali Erdem ÖZÇELİK’e ve Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nden Arş. Gör. Sait Barış Güner’e; Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)’ndaki eğitimim süresince, bilgi ve tecrübelerini tüm içtenliğiyle paylaşan Dr. Funda BARLAS ŞİMŞEK’e teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Selim PAPAKER’e, çalışma arkadaşım Çiğdem FINDIKLI KAĞANOĞLU’na, zor anlarımda beni yalnız bırakmayan kuzenim Şenay ÇAKIR’a, sevgili arkadaşım Fatma ÇALIK’a ve üniversite eğitim hayatım boyunca bana her türlü desteği veren değerli dostum Dilek KANBUR ve ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bana destek veren ve varlığımı hep yanımda hissettiren Erhan BALCI’ya sonsuz sevgilerimle teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim, bu günlere gelmemde emeği olan başta ailem ve değerli hocalarıma saygılarımı sunarım.

Ve aynı zamanda vermiş oldukları yüksek lisans burs desteklerinden dolayı Türkiye Çevre Koruma Vakfı (TÜÇEV)’na en içten şükranlarımı sunarım.

Hazırlanan bu Yüksek lisans tezi RTEÜ BAP 2014.102.01.01 nolu proje ile desteklenmiştir.

**NESLİHAN İPEK**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Rize Bölgesindeki Bazı Nehir ve Deniz Suyu Örneklerindeki Trityum Seviyesinin Belirlenmesi” başlıklı bu tezin, 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. 28/09/2015

NESLİHAN İPEK

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

## ÖZET

### RİZE BÖLGESİNDEKİ BAZI NEHİR VE DENİZ SUYU ÖRNEKLERİNDEKİ TRİTYUM SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Neslihan İPEK

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi  
Danışmanı: Doç. Dr. Recep KESER

Bu çalışmadaki amaç, Rize bölgesindeki Büyükdere ve İkizdere nehirlerindeki ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca deniz suyundaki trityum seviyelerini belirlemektir. Örnekleme işlemi ASTM D4107-08 yöntemi kullanılarak incelendi. Deneysel çalışmalar Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında, TriCarb 2910 TR sıvı sintilasyon cihazı kullanılarak yapıldı. Örnekleme koordinatları Magellan Explorist 510-GPS cihazı tarafından kaydedildi. Önce Büyükdere Nehrinden 24 tane, İkizdere Nehrinden 32 tane ve sahil şeridi boyunca alınan deniz suyundan ise 23 tane örnek toplanarak, toplamda 79 örnek için trityum konsantrasyonu hesaplandı. Minimum dedekte edilebilir aktivite konsantrasyon değeri (MDC) 1.36 Bq/L olarak tespit edildi. Sıvı sintilasyon sayım sistemi ile belirlenen Büyükdere Nehri ve İkizdere Nehri su örnekleri için ortalama trityum aktivite konsantrasyonları sırasıyla,  $0.27 \pm 0.15$  Bq/L,  $1.30 \pm 0.96$  Bq/L olarak hesaplandı. Büyükdere Nehri su örneklerinden 21 tanesi, İkizdere Nehri su örneklerinden 17 tanesi ve sahil şeridi boyunca alınan deniz suyu örneklerinin ise tamamı MDC' nin altında kaldı.

2015, 84 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Trityum, Sıvı sintilasyon cihazı.

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF TRITIUM LEVELS SOME RIVERS AND SEA WATER SAMPLES IN RIZE**

**Neslihan İPEK**

**Recep Tayyip Erdoğan University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics  
Master Thesis  
Supervisor: Doç. Dr. Recep KESER**

The aim of this dissertation is to determine tritium levels in the seawater of Büyükdere and İkizdere in Rize region, and along the coastline where these two rivers flow into. Sampling process was examined by applying ASTM D4107-08 method. Experimental studies were conducted in Nuclear Physics Laboratory at Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Sciences and Arts, Department of Physics, by using scintillation device. Sampling coordinates were recorded by Magellan Explorist 510-GPS. After having collected 24 samples from Büyükdere River, 32 samples from İkizdere River, and 23 samples from the seawater along the coastline, tritium concentration were calculated for 79 samples in total. Minimum detectable activity concentration (MDC) was determined as 1.36 Bq/L. The average tritium activity concentrations for Büyükdere and İkizdere Rivers water samples which were determined by liquid scintillation counting system were calculated as  $0.27 \pm 0.15$  Bq/L,  $1.30 \pm 0.96$  Bq/L respectively. 21 water samples from Büyükdere River, 17 water samples from İkizdere River, and all the samples taken from the seawater along the coastline were lower than MDC.

**2015, 84 pages**

**Keywords:** Tritium, Liquid scintillation device.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT .....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Radyoaktivitenin Önemi ve Keşfi .....	3
1.3. Radyasyonun Tanımı ve Keşfi .....	6
1.3.1. İyonlaştırıcı Radyasyon .....	6
1.3.1.1. Alfa Parçacıkları .....	7
1.3.1.2. Beta Parçacıkları.....	8
1.3.1.3. Gama Işınları .....	9
1.3.1.4. X-Işınları.....	9
1.3.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon .....	9
1.4. Radyoaktivite ve Radyasyon Ölçüm Birimleri.....	9
1.5. Radyonüklidler .....	10
1.5.1. Yerkabuğunda Başlangıçta Mevcut Olan Radyonüklidler .....	11
1.5.2. Kozmik Işınlardan Etkileşimi Sonucu Oluşan Radyonüklidler .....	12
1.5.3. Yapay Radyonüklidler .....	12
1.6. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi.....	12
1.6.1. Fotoelektrik Olay .....	13
1.6.2. Compton Saçılması.....	14
1.6.3. Çift Oluşumu .....	15
1.7. Sullarda Radyoaktivite .....	16
1.8. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	18
1.9. Trityum .....	19
1.9.1. Çevresel Trityum ve Özellikleri .....	20

1.9.2. Tritiyumun İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi .....	24
1.9.3. Çevresel Tritiyumun Ölçülmesi.....	25
1.10. Radyasyonun Ölçüm Teknikleri.....	25
1.10.1. Gaz Sayma Tekniği .....	26
1.10.2. Sintilasyon Dedektörleri.....	27
1.10.3. Yariletken Dedektörler .....	28
1.11. Sıvı Sintilasyon Dedektörü (LSC).....	29
1.11.1. Sayım Sistemi.....	31
1.11.2. Fotoçaltıcı Tüp (PMT).....	33
1.11.3. Sayım Kapları (Vialler) .....	35
1.11.4. Background.....	36
1.11.5. LSC’ de Sönüm (Quench) Etkisi .....	36
1.11.6. LSC’de Quench Düzeltme Metodlar .....	39
1.11.7. Harici Standardın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi (tSIE) .....	40
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	41
2.1. LSC Cihazının Ölçüme Hazırlanması .....	41
2.2. Materyal.....	45
2.3. Su Örneklerinin Araziden Toplanması .....	45
2.4. Laboratuarda Uygun Koşullarda Saklanması .....	45
2.5. Örneklerin Sayıma Hazırlanması – Destilasyon.....	45
2.6. Sistemin Sayıma Hazırlanması ve Numunelerin Cihaza Yerleştirilmesi .....	49
2.7. Örneklerin Sayılması .....	50
2.8. Sayım Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	51
2.9. Hesaplamalar .....	51
2.9.1. Tritiyum Aktivitesi Hesabı .....	52
2.9.2. MDA ile MDC Hesabı.....	53
3. BULGULAR .....	54
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	63
5. ÖNERİLER .....	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çekirdeklere ait kararlılık eğrisi .....	5
Şekil 2. Elektromanyetik Spektrum .....	7
Şekil 3. Fotonların şiddetinde soğurucu madde kalınlığına bağlı olarak değişme .....	13
Şekil 4. Fotoelektrik olay .....	14
Şekil 5. Compton Saçılması .....	15
Şekil 6. Çift oluşumu.....	15
Şekil 7. Hidrojenin izotopları .....	20
Şekil 8. Trityumun Beta Bozunumu.....	20
Şekil 9. Trityumun oluşumu.....	21
Şekil 10. Trityum konsantrasyonunun yıllara göre dağılımı.....	23
Şekil 11. Sintilasyon Dedektörlerinde temel işlemler .....	27
Şekil 12. Yarıiletken dedektör şeması.....	29
Şekil 13. Sıvı sintilasyon cihazı (LSC) .....	29
Şekil 14. LSC Çalışma düzeneği.....	32
Şekil 15. Fotoçoğaltıcı tüpün şematik gösterimi .....	33
Şekil 16. Sintilasyon vialleri .....	36
Şekil 17. Enerji spektrumu üzerine sönümün etkisi .....	37
Şekil 18. Enerji transfer işlemindeki quench.....	38
Şekil 19. Kimyasal ve renk sönüm ajanları için puls yükseklik dağılımlarının karşılaştırılması .....	39
Şekil 20. Çalışma Bölgesi .....	41
Şekil 21. Trityum için quench eğrisi .....	44
Şekil 22. Destilasyon ünitesi .....	46
Şekil 23. Potasyum Permanganat ve Sodyum Hidroksit.....	47
Şekil 24. Kullanılan malzemeler .....	48
Şekil 25. Polietilen vial ve Destile örnek saklama kabı .....	49

<b>Şekil 26.</b> Hazırlanan numunelerin kasete konulması .....	50
<b>Şekil 27.</b> Örneklerin cihaza yerleştirilmesi .....	50
<b>Şekil 28.</b> Örneklerin alındığı noktaların haritada gösterimi .....	54
<b>Şekil 29.</b> Büyükdere nehir sularının trityum aktivite dağılımı .....	58
<b>Şekil 30.</b> İkizdere nehir sularının trityum aktivite dağılımı .....	59
<b>Şekil 31.</b> Büyükdere nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı .....	60
<b>Şekil 32.</b> İkizdere nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı .....	61
<b>Şekil 33.</b> Büyükdere nehir sularının trityum aktivitelerinin kategorik olarak gösterimi.....	61
<b>Şekil 34.</b> İkizdere nehir sularının trityum aktivitelerinin kategorik olarak gösterimi .....	62

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri .....	11
<b>Tablo 2.</b> Bazı doğal radyoaktif izotoplar .....	12
<b>Tablo 3.</b> Kalibrasyon bilgileri .....	42
<b>Tablo 4.</b> Sertifikalı Tritiyum çözeltisi.....	42
<b>Tablo 5.</b> Ana stok çözeltisi .....	43
<b>Tablo 6.</b> Laboratuvar standardı (DWS) .....	43
<b>Tablo 7.</b> Spike çözeltisi (RWS) .....	44
<b>Tablo 8.</b> Büyükdere nehir suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu.....	55
<b>Tablo 9.</b> İkizdere nehir suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu .....	56
<b>Tablo 10.</b> Deniz suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu .....	57
<b>Tablo 11.</b> Dünyada yapılan çalışmalar .....	65

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Aktivite
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Uluslar arası Atom Enerji Ajansı)
LSC	Liquid Scintillation Counter (Sıvı Sintilasyon Sayacı)
Ci	Curie
Bq	Becquerel
Rad	Radiation Dose (Radyasyon Dozu)
Gy	Gray (Soğurulmuş doz birimi)
Kg	Kilogram
Sv	Sievert
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements Radiation
ASTM	The American Society for Testing and Materials
c	Işık hızı
$\alpha$	Alfa parçacığı
$\beta$	Beta parçacığı
$\gamma$	Gama parçacığı
$\varepsilon$	Verim
$\mu$	Sönüm katsayısı
$\lambda$	Dalga boyu
$\tau$	Ortalama ömür
$t_{1/2}$	Yarılanma süresi
n	Nötron
p	Proton
e	Elektron
h	Planck sabiti
DNA	Deoksiribonükleik asit
$^3\text{H}$	Tritiyum
NaI	Sodyum iyodür
CsI	Sezyum iyodür
Tl	Talyum
keV	Kiloelektron Volt

MeV	Milyon Elektron Volt
<sup>14</sup> C	Karbon- 14
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
E	Enerji
cpm	Count per minute (dakikadaki sayım)
dpm	Disintegrations per minute (dakikadaki bozunma sayısı)
PMT	Photo multiplier tube (Fotoçoğaltıcı tüp)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TGD	Toplam gösterge dozu
TU	Tritiyum konsantrasyonu
N	Normal
M	Molar
KMnO <sub>4</sub>	Potasyum Permanganat
NaOH	Sodyum hidroksit
ml	Mililitre
MDA	Minimum detectable activity (minimum algılanabilir aktivite)
MDC	Minimum detectable concentration (minimum algılanabilir konsantrasyon)
DW	Dead water (ölü su, blank)
DWS	Seyreltilmiş laboratuvar standardı
RWS	Spike
V	Hacim
U	Uranyum
R	Röntgen
REM	Radiation Equivalent Man
f	Frekans

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Yeryüzündeki sular güneş enerjisi sayesinde sürekli bir döngü halindedir (Hidrolojik Çevrim). İnsanlar gereksinimleri olan suyu bu döngüden alır ve kullandıktan sonra bu döngüye iade eder. Bu süreç içerisinde suya karışan maddeler suların özelliklerini değiştirerek su kirliliğini ortaya çıkarırlar. Bu döngü sonucu suların içeriğinde çözülmüş olarak çeşitli katı maddelerin yanı sıra, geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler de olabilir.

Atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden, doğal olarak trityum oluşur.



1950-1960 yılları boyunca gerçekleştirilen nükleer testler ve halen devam eden nükleer güç santralleri, normal koşullarda trityum üreten tesisler ve tüketici ürünleri (kendiliğinden parlayan ışık kaynakları vb.) trityumun oluşmasına neden olan diğer kaynaklardır. Trityum, maksimum enerjisi 18.6 keV ve ortalama enerjisi 5.7 keV olan saf bir beta yayınlıdır. Fiziksel yarı-ömrü 12.3 yıldır.

Trityum atmosfere salınır salınmaz hızlı bir şekilde oksitlenerek trityumlanmış su (HTO veya T<sub>2</sub>O) elde edilir.

Dünyanın muhtelif bölgelerinde nehir ve deniz sularında trityum radyoaktivite düzeyini belirlemek amacıyla yapılmış birçok çalışmaya literatürde rastlamak mümkündür. Ülkemizin değişik bölgelerinde içme suyu örneklerinde trityum düzeyinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar mevcuttur. Ancak ülkemizde nehir ve deniz sularında trityum düzeyinin belirlenmesi üzerine yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın yapılmasının literatüre katkısı oldukça önemli olacaktır.

Dünyanın muhtelif bölgelerinde nehir ve deniz sularında trityum radyoaktivite düzeyini belirlemek amacıyla yapılmış birçok çalışmaya literatürde rastlamak mümkündür. Son yıllarda yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

1990 yılında Japonya'nın Kuzey ve Güney adalarında nehir sularının trityum konsantrasyonları incelemek amaçlı çalışma yapılmıştır. Kuzeyde Hokkaido adasının 29 nehir suyunun ortalama trityum konsantrasyonları  $2.42 \pm 0.81$  Bq/L ve bu adada en yüksek trityum konsantrasyonuna sahip olan Kushiro Nehri  $5.59 \pm 0.35$  Bq/L değerine sahiptir. Güneyde ise Kyushu adasının ise ortalama trityum değeri  $1.00 \pm 0.18$  Bq/L ve bu adada en yüksek trityum aktivitesine sahip olan Chikugo nehri  $1.71 \pm 0.18$  Bq/L dir. Hokkaido adasının daha yüksek trityum konsantrasyonu sahip olmasının nedeninin, Kyushu adasına göre daha fazla yağış almasından kaynaklandığı savunuldu (Momoshima vd., 1991).

Yugoslavya'da 1976-1990 yılları arasında Tuna havzasında yapılan ölçümlerin tümünün trityum içerdiğini gözlemlemiştir. Mevsimsel değişimlerle birlikte yağış, birikinti suları ve nehir sularında ortalama trityum miktarının 2.4-15.9 Bq/L olduğunu tespit edilmiştir (Hadzisehovic vd., 1992).

2007' de İspanya'nın Catalonia bölgesinde yapılan çalışmada farklı alanlardan alınan çevresel sulardaki trityum aktivitesi belirlenmiştir. Bu bölgedeki sularda bulunan trityum elementinin konsantrasyonunun ortalama aktivitesi sıvı sintilasyon sayıcı (LSC) kullanılarak ölçülmüştür. Örneklere sıvı sintilasyon sayıcı ile sayım yapılmadan önce bir damıtma (destilasyon) işlemi uygulanmıştır. Analiz edilen su örneklerinin aktivite değerleri 0.6 Bq/L lik değere sahip minimum algılanabilir aktivite değerinden (MDA) düşük olduğu bulunmuştur. Ancak Ebro ırmağı örnekleri aktivitesi  $3.6 \pm 0.6$  Bq/L civarında bulunmuştur. Bu numunelerden Ebro Nehri ve bu nehrin musluk suyu (0.71 ve 6.44 Bq/L) daha yüksek aktiviteye sahip olduğu belirlendi. Ancak bu değer 100 Bq/L olarak belirlenen sınır değerine göre düşük olduğundan, bu çevresel örneklerin insan tüketimi için uygun olduğu savunuldu (Paloma vd., 2007).

2010 yılında Sırbistan'daki Tuna nehri suyundaki trityum aktivite konsantrasyonu sıvı sintilasyon sayacı kullanılarak belirlenmiştir. 2010 Aralık'ı süresince su örnekleri Macar-Sırp sınırından Romanya-Sırbistan sınırına kadar, Sırbistan boyunca uzanan Tuna'nın tüm kıyı boyunca toplanmıştır. Ortalama trityum aktivite konsantrasyonu 18.7 TU ( $2.21$  Bq/L), Romanya yakınındaki Tuna'dan ölçülen ortalama değer  $16.2 \pm 2.2$  TU ( $1.91$  Bq/L) olarak bulunmuştur. Bu araştırma sonucunda trityum aktivitesinin yüksek düzeyde olduğu beklenmemiştir. Çünkü Sırbistan'da herhangi bir nükleer enerji santrali

yoktur. Bu yüzden ana katkının Macaristan'daki Paks Nükleer Enerji Santrali ve kozmik radyasyondan kaynaklanabileceği savunulmuştur (Forkapic vd., 2011).

2011 yılında Hindistan'da Varahi ve Markandeya nehir havzasında çevresel trityum üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda Varahi nehir havzasında toplanan örneklerin çevresel trityum değerlerinin 1.95-0.25 TU' dan 11.35-0.44 TU' ya değiştiğini ve 4.34-0.34 TU gibi bir ortalama değere sahip olduğunu, benzer şekilde Markandeya nehir havzasında ise değerlerin 1.49-0.75 TU ile 9.17-1.13 TU arasında değiştiğini ve 5.61-0.84 TU gibi bir ortalama değere eşit olduğunu belirtmişlerdir. (Ravikumar ve Somashekar, 2011).

2011 yılında Finlandiya'da yapılan bir çalışmada Baltık Denizi havzasında sudaki çevresel trityum değerleri incelendi. Deniz suyu örneklerinde ve nehir suyundaki 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).

2013 yılında İrlanda'da yapılan çalışmada İrlanda nüfusunun maruz kaldığı radyoaktivite düzeyini değerlendirmek için deniz suyunda trityum miktarı araştırılmıştır. 2008 ve 2010 yılları arasında İrlanda sahilinden ve denizinden 85 deniz suyu örneği toplanmış ve analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda trityum aktivitesi 0.9-2.4 Bq/L arasında değiştiği görülmüştür. Deniz suyundaki en yüksek trityum aktivitesi ise 2.4 Bq/L olarak hesaplanmıştır (Currivan vd., 2013).

## **1.2. Radyoaktivitenin Önemi ve Keşfi**

Radyoaktivite kararsız olan bir elementin, çeşitli parçacıklar salarak veya ışıma yaparak kararlı ve başlangıçtakinden fiziksel ve kimyasal olarak farklı bir elemente dönüştüğü bir süreç olarak tanımlanır (Krane, 1998).

Radyoaktivite, 1895 yılında Wilhelm Röntgen'in x-ışınlarını bulmasından sonra, 1896 yılında Henry Becquerel'in uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını belirlemesiyle keşfedilmiştir. Bu buluşların ardından Marie ve Pierre Curie tarafından başka radyoaktif elementler bulunarak izole edilmiştir. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özellikleri ise, Ernest Rutherford tarafından aydınlatılmıştır.



Rutherford 1898'de radyoaktivite üzerindeki çalışmalarına devam ederek, uranyum tarafından yayınlanan ışınımın iki türlü olduğunu buldu. Bu yayımlanan ışınımın alfa ve beta ışınımıydı. Bu keşiften iki yıl sonra Villard üçüncü bir ışınım keşfetti. Bu ışınımın da gama ışını denildi (Hodgson vd., 1997). Daha sonraki çalışmalar sonucunda toryumunda uranyum gibi ışınım yaptığı bulundu. Uranyum ve toryum içeren bazı mineraller üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, bu minerallerin uranyum ve toryumun kendisinden daha fazla radyasyon yaydıkları bulundu. Bu keşifle Marie ve Pierre Curie iki yeni radyoaktif element buldular. Bunlara polonyum ve radyum denildi (Hodgson vd., 1997).

Atom çekirdeklerinin, parçalanmaya ve nükleer bozunmaya karşı dayanıklılığı çekirdek kararlılığı, dayanıksızlığı ise çekirdek kararsızlığı yani radyoaktivitedir. Çekirdek kararlılığında en büyük etken, atom çekirdeklerinin bünyesinde yer alan nötron ve protonların birbirlerine oranıdır. Kararlı çekirdekler kararlı çekirdek bandında bulunur. Şekil 2'nin  $Z < 20$  bölgesinde  $Z=N$ ,  $Z > 20$  bölgesinde ise  $N/Z > 1$  olur ve giderek 1'den uzaklaşır.

Kararlı çekirdekler şeridi dışına çıkıldığı zaman, çekirdekler kararsız bir yapı kazanırlar. Kararlı hale gelebilmek için radyoaktif ışınlar yapan bu tür çekirdekler, radyoaktif çekirdekler olarak bilinirler. Radyoaktif çekirdekler kararlı hale gelene kadar  $\alpha$  ve  $\beta$  gibi parçacık veya  $\gamma$  biçiminde elektromanyetik radyasyon yayınlamaya uğrarlar.

Özellikle ağır çekirdeklerde görülen, alfa ( $\alpha -^4_2He$ ) bozunmasının genel denklemi,



Kararsızlık (radyoaktivite) oluşturan fazla protonu veya nötronundan bir protonu nötrona veya nötronunu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu arada reaksiyonda yük korunum gereği çekirdekten bir elektron veya pozitron fırlatılır.

$\beta^-$  Bozunması:



Örnek:



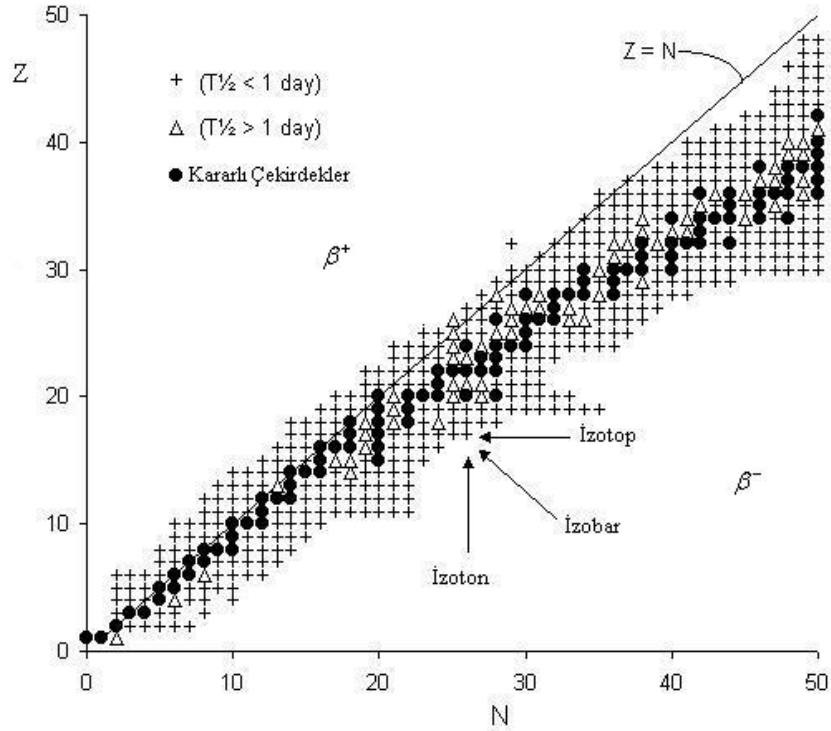
$\beta^+$  Bozunması:



Örnek:



Alfa ve beta bozunmalarının birçoğunda, ürün çekirdek enerji açısından uyarılmış durumda kalır. Ürün çekirdek bu uyarılmış durumlardan kurtulmak amacıyla bir veya iki gamma fotonu yayınlar ve enerji bakımından temel seviyeye iner. Gamma ışınları x-ışınları ve görünür ışık gibi elektromanyetik radyasyonlardır (Keser, 2009).



Şekil 1. Çekirdeklere ait kararlılık eğrisi

### 1.3. Radyasyonun Tanımı ve Keşfi

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyodalgaları; tıpta, endüstride kullanılan x-ışınları; güneş ışınları; günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir (URL-1).

Doğadaki elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı, bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptir. Kararlılık derecesinin ölçülebilmesi için nükleon başına bağ enerjisi olan bağ oranı kullanılmalıdır.  $A=30$  ile  $A=100$  arasında bağ oranı hemen hemen sabit olup yaklaşık olarak nükleon başına 8,7 MeV değerine sahiptir; küçük ve büyük  $A$ 'lar için bağ oranı azalır. Büyük  $A$ 'lar için bağ oranının azalması protonların arasındaki uzun menzilli Coulomb itmesinden dolayıdır; çekirdekler büyüdükçe bunun önemi artar ve sonunda çekirdek kuvvetlerine galip gelerek çekirdeklerin büyüklüğünü sınırlarlar. Hafif çekirdeklerde her bir nükleon çok daha az sayıda başka nükleonlar tarafından çekildiğinden aralarındaki uzaklık büyür ve böylece kararlılık azalır (Cansoy, 1978 ; Taşkın, 2006).

Radyasyonu madde ile etkileşimlerine göre gibi iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlar, “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” radyasyonlardır.

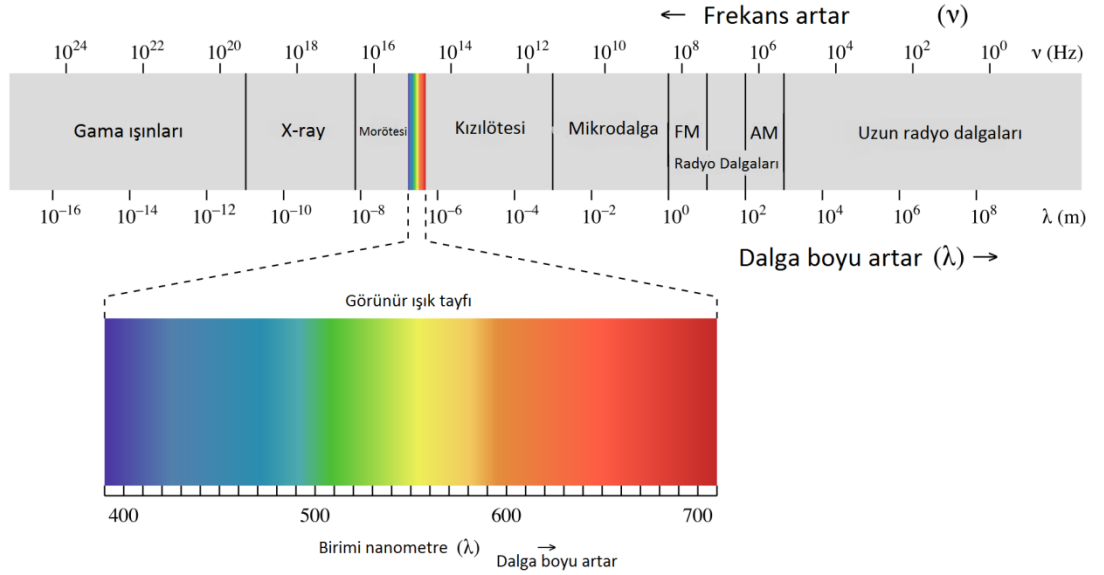
Tabiatına göre ise “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyonlar olmak üzere yine iki sınıfa ayırmak mümkündür (Taşkın, 2006).

#### 1.3.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

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 alfa, beta parçacıklarını, nötronları ve protonları kapsar.  $\alpha$  ve  $\beta$  ışınlarının iç ışımalarda etkileri oldukça fazladır (Shepard, 1977 ; Dashek, 2000; Taşkın, 2006).

Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütesiz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektromanyetik dalgalardır. Elektromanyetik spektrum Şekil 2’de gösterilmiştir. Vakumda ve havada ışık hızıyla ilerlerler, insan

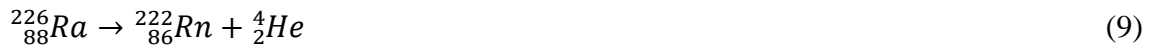
derisinde ise hızları daha düşüktür. Kozmik ışınlar, X-ışınları ve gama radyasyonları bu aileye mensup olup dış ışınlamalarda çok önemli yer tutarlar. Dalga boyları çok küçük fakat enerjileri yüksektir (Habash, 2002 ; Taşkın, 2006).



Şekil 2. Elektromanyetik Spektrum

### 1.3.1.1. Alfa Parçacıkları

Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum ( ${}^4_2He$ ) çekirdeğidir ve “ $\alpha$ ” ile sembolize edilir. Çekirdeğin, alfa çıkararak parçalanması olayı atom numarası büyük izotoplarda görülür ve genellikle doğal radyoaktif atomlarda rastlanır. Tipik bir  $\alpha$  bozunum reaksiyonu örnekteki gibidir (Taşkın, 2006).



Alfa parçacıkları büyük elektrik yüklerine sahip olduklarından herhangi bir madde içerisinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirirler ve enerjilerini çabucak kaybettikleri için erişim uzaklıkları küçüktür. Havada enerjilerine göre 2.8 ila 8.6 cm uzaklığa kadar gidebilirler. Alfa parçaları bir kâğıt veya 0.5 mm kalınlığında bir alüminyum varakla durdurulabilir. Cilt, laboratuvar önlüğü ve giysiler alfa ışınları için birer zırh maddesidir. Bu nedenle dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Yüksek enerjili parçacıklar olduğundan solunum yolu ile vücuda girdiklerinde büyük hasarlar meydana getirebilirler. Alfa parçacığının enerjisi 4–8 MeV arasında değişir.

### 1.3.1.2. Beta Parçacıkları

Bu ışınlar parçacık karakteri gösterirler. Yük ve kütleleri elektron yük ve kütlesine eşittir. Çekirdekdeki enerji fazlalığı çekirdek civarında,  $E = mc^2$  eşitliğiyle açıklanabilen, bir kütle oluşturur. Bu kütle çekirdekdeki fazla yükü alır ve dışarıya bir beta ışını olarak çıkar. Bunlar pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Bu parçacıkların salınması çekirdekdeki nötronların ve protonların kararlılığına göre gerçekleşir. Tipik bir beta bozunumu aşağıdaki örnekteki gibidir.



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



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

Eğer çekirdekdeki proton fazlalığından ileri gelen bir beta yayımlanması mevcutsa parçacık pozitif yüklüdür ve bu olaya “beta-pozitif bozunumu” denir. Pozitif yüklü bu parçacıklar  $\beta^{+}$  şeklinde temsil edilir ve “pozitron” olarak isimlendirilir.



Alfa enerjileri genellikle tekdir, nadiren 2–3 farklı enerjiyle de ortaya çıkabilirler. Oysa 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 zırhlamada 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 zırhlamasında kullanılan maddelerdir.

### 1.3.1.3. Gama Işınları

Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı çıkarttıktan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz. Fazla gelen çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlanır. Gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Gama ışınları maddeden geçerken elektronları serbest bırakırlar ve bu elektronlar elektrik yükü taşıdıklarından iyonizasyon oluştururlar. Gama ışınları alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır.

### 1.3.1.4. X-Işınları

X-ışınları ilk olarak 1895'te William Roentgen tarafından keşfedilmiştir. Dalga boyu 0.05 Å ile 100 Å aralığındadır. Enerjisi yüksek olduğu için giricilik özelliğine sahiptir. İnsan vücudundan, ince katı maddelerden ve diğer birçok opak maddelerden kolayca geçebilen elektromanyetik dalgalardır. Farklı bileşimdeki, yoğunluktaki ve kalınlıktaki maddelerden geçerken farklı soğrulurlar. Biyolojik reaksiyonlar meydana getirdikleri için yaşayan bir hücreyi öldürebilir ve genetik değişime uğratabilirler.

### 1.3.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar madde ile etkileştiğinde maddeyi iyonize etmeyen radyasyonlardır. Maddenin sıcaklığını artıran kızıl ötesi ışınlar ve yüksek dozları kansere sebep olan mor ötesi ışınlar örnek olarak verilebilir.

### 1.4. Radyoaktivite ve Radyasyon Ölçüm Birimleri

Aktivite birimi Becquerel (Bq) olup saniyede bir bozunma yapan herhangi bir radyoaktif maddenin aktivitesi olarak tanımlanmaktadır. Radyoaktif bir numunenin aktifliği Curie (Ci), Rutherford (rd) veya Becquerel (Bq) biriminde ifade edilebilir. Bu birimlerin birbiri ile ilişkisi;

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bozunma / s}$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ rd} = 10^6 \text{ Bq}$$

şeklinde. Aktiflik, bozunan aynı tür radyoaktif izotoplardan oluşan iki farklı kaynağının şiddetinin (birim zamanda saldıkları ışın yada parçacık sayılarının) karşılaştırılmasında faydalı bir kavramdır. Örneğin, 10 mCi'lik  $^{60}\text{Co}$  kaynağı, 1 mCi'lik  $^{60}\text{Co}$ 'dan 10 kat daha şiddetlidir. Fakat farklı radyonüklidlerin farklı bozunmalarını karşılaştırabilmek için ışınlama dozu, soğurulma dozu ve doz eşdeğeri ifadelerinin tanımlanması gerekmektedir (Keser, 2009).

Işınlama dozu Coulomb/kg (C/kg): Normal şartlar altında ( $0^\circ\text{C}$  ve 760 mm-Hg basıncında) havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan x veya  $\gamma$  radyasyonu miktarıdır.

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R (Röntgen) veya } 1 \text{ R} = 2.5 \times 10^{-4} \text{ C/kg' dır.}$$

Soğurulan Doz (D) (Gy): Radyasyona maruz kalan bir maddenin birim miktarında soğurulan radyasyon enerjisi olarak ifade edilir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyonun dozudur. Herhangi bir madde gramı başına 100 erg'lik enerji soğurursa buna da 1 rad denir (Keser, 2009).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} = 100 \text{ erg.g}^{-1}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Doz eşdeğeri (Sv): Belirli bir radyasyonun bir biyolojik sistem üzerindeki etkisinin ölçüsüdür. Eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) veya rem cinsinden ifade edilir.

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

### **1.5. Radyonüklidler**

Dünyanın oluşumuyla birlikte yer kabuğunda bulunan, dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınların etkileşimleri sonucu doğal olarak oluşan ve bunlara ilave yapay olarak oluşturulan radyonüklidler üç grup altında toplanabilirler.

### 1.5.1. Yerkabuğunda Başlangıçta Mevcut Olan Radyonüklidler

Büyük Patlama (Big Bang) teorisine göre yeryüzü ve güneş sisteminin yaratıldığı zamanlarda oluşan elementlerin büyük bir kısmı radyoaktiftir; fakat o zamandan beri kararlı çekirdeklere bozunmaktadırlar. Birkaç radyoaktif izotopun yarılanma süresi dünyanın yaşına kıyasla çok uzundur ve bugün hala bunların radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir.  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serileri ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidleri doğal çevresel radyoaktivitenin esas kısmını oluşturmaktadır.

Doğal radyoizotoplar atom numaraları 81-92 arasında değişen ağır çekirdeklerden oluşur. Bu çekirdekler  $\alpha$  ve  $\beta$  yayınlamaya atom (Z) ve kütle numaralarını (A) sonuçta kararlı ve hafif bir çekirdeğe ulaşıncaya kadar azaltırlar. Alfa bozunması A'yı dört birim değiştirir,  $\beta$  bozunması ise A sayısını değiştirmez ve böylece n bir tam sayı olmak üzere, kütle numaraları 4n, 4n+1, 4n+2, 4n+3 olan dört bağımsız bozunma serisi elde edilir. Bu dört seri Tablo 1'de verilmiştir. Neptinyum serisinin en uzun ömürlü üyesinin yarılanma süresi, yerin oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenmez (Krane, 2001).

**Tablo 1.** Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek (Kararlı)	Ana Çekirdek	Yarılanma Süresi (y)
Toryum	4n	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41 \times 10^{10}$
Neptinyum	4n+1	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	4n+2	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	4n+3	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04 \times 10^8$

Dünyadaki doğal radyonüklidlerin tek kaynağı bu radyoaktif ağır element serileri değildir. Bu serilerden farklı olarak tabiatta tek başına bulunabilen ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyonüklidler de vardır.  $^{40}\text{K}$  bu grubun en önemlilerindedir. Çünkü temel doğal radyasyon seviyesine katkısı oldukça fazladır. Tablo 2'de doğal olarak bulunan bazı izotoplar verilmiştir.



**Tablo 2.** Bazı doğal radyoaktif izotoplar

İzotop	T <sub>1/2</sub> (yıl)
<sup>40</sup> K	1,28x10 <sup>9</sup>
<sup>87</sup> Rb	4,28x10 <sup>10</sup>
<sup>113</sup> Cd	7,71x10 <sup>15</sup>
<sup>115</sup> In	4,41x10 <sup>14</sup>
<sup>138</sup> La	1,05x10 <sup>11</sup>
<sup>176</sup> Lu	4,00x10 <sup>10</sup>
<sup>187</sup> Re	4,35x10 <sup>10</sup>

### 1.5.2. Kozmik Işınlarmın Etkileşimi Sonucu Oluşan Radyonüklidler

Uzaydan dünya atmosferine giren yüksek enerjili parçacıklar, birincil kozmik ışınlar olarak bilinir. Bu radyasyonun büyük çoğunluğu protonlardır. Enerjileri 10 eV ile 10<sup>19</sup> eV mertebelerindedir. Bu parçacıklar atmosferin alt tabakalarına kadar uzanarak havada mevcut atomların çekirdekleri ile etkileşerek ikincil protonlar, nötronlar, <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>7</sup>Be ve <sup>22</sup>Na gibi kozmojenik radyonüklidleri oluştururlar (NCRP, 1987; UNSCEAR, 2000).

### 1.5.3. Yapay Radyonüklidler

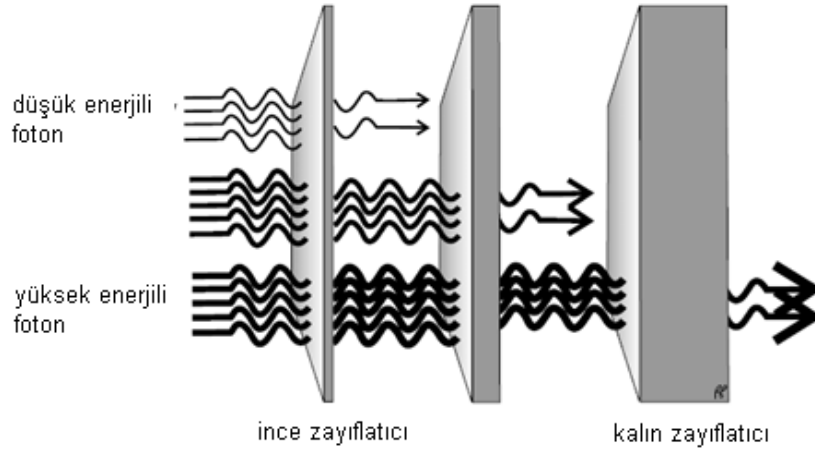
Enerji, tıp, endüstri, araştırma, tarım gibi pek çok alanda <sup>3</sup>H, <sup>90</sup>Sr, <sup>99</sup>Tc, <sup>131</sup>I ve <sup>137</sup>Cs gibi doğal olmayan radyoizotoplar yapay yollarla üretilmektedir. İnsan yapımı bu radyonüklidlerin miktarları doğal miktarlara göre küçüktür ve çoğu kısa yarılanma sürelerine sahiptirler (Keser, 2009).

### 1.6. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

X ve gama ışınları madde içerisinde geçerken çoğunlukla aşağıdaki etkileşimleri yaparlar.

- Fotoelektrik olay
- Compton saçılması (Thomson ve Rayleigh Saçılmasını içeriyor)
- Çift oluşumu

Bu etkileşmeler fotonların iki önemli özelliklerini açıklar. Bunlardan birincisi fotonların madde içerisinde yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında daha uzun mesafelere penetrasyonu, ikincisi ise belli bir kalınlıktaki malzemeyi geçince fotonların enerjilerinde bir azalma meydana gelmemesi, sadece şiddetinde azalmanın olmasıdır (Şekil 3) (Knoll, 2000).



**Şekil 3.** Fotonların şiddetinde soğurucu madde kalınlığına bağlı olarak değişme

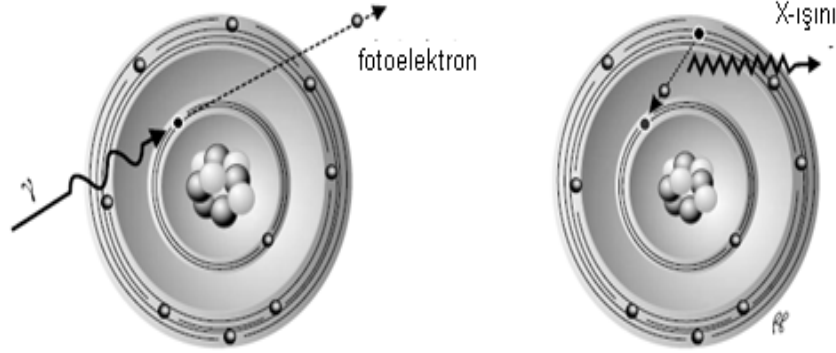
### 1.6.1. Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik etki, bir kaynaktan yayılan ışık veya daha yüksek enerjili elektromanyetik dalganın (mor ötesi ışın veya X-ışını) bir madde (metaller, metal olmayan katılar, sıvılar veya gazlar) yüzeyine düşmesi sonucu maddeden elektron yayınlanması olayıdır. Maddeden yayınlanan bu elektronlar *fotoelektron* olarak adlandırılır. Fotoelektrik etkiyi ilk olarak 1887 yılında Heinrich Hertz, elektromanyetik dalgalar üzerine yaptığı deneylerde gözlemlemiştir. Olay deneysel olarak gözlenmiş fakat 1905 yılında Albert Einstein tarafından açıklanana kadar olay klasik fizik yasaları ile açıklanamamıştır.

Maxwell'in klasik dalga teorisine göre; yayılan elektronların enerjisi, çarpan ışığın şiddeti ile orantılı olmalıydı. Ancak gözlemler sonucu yayılan elektronların enerjilerinin ışık şiddetinden bağımsız olduğu ortaya çıkmıştı. Einstein, Planck'ın foton hipotezinden yola çıkarak buna bir açıklama getirmiştir. Buna göre gelen ışık, foton adında ve her biri  $E=h\nu$  (h: Planck sabiti,  $\nu$ : ışığın frekansı) enerjisine sahip parçacıklardan oluşuyordu. Bu modele göre ışığın şiddetini artırmak birim zamanda yayılan foton sayısını artırıyor, ancak frekans ışığın şiddetinin sabit tutulması sonucunda

her fotonun enerjisi de sabit kalıyordu. Foton madde yüzeyindeki bir elektrona çarptığında  $h\nu$  enerjisinin bir kısmı elektronu madde yüzeyinden sökmek için harcanmakta (bu enerjiye bağlanma enerjisi denir ve  $\phi$  ile gösterilir) geri kalanı ise elektronun kinetik enerjisi olarak aktarılmaktadır ( URL-2).

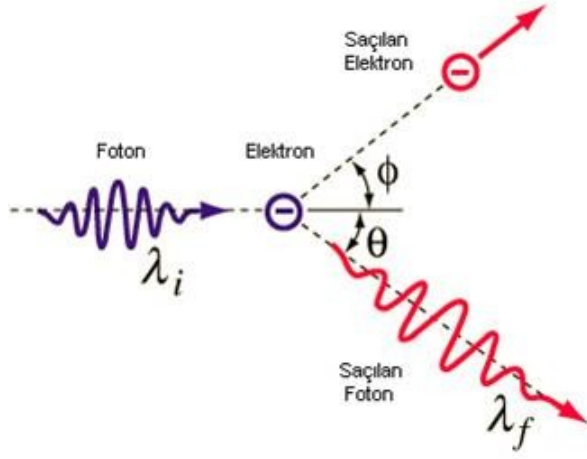
$$E_k = h\nu - \phi \quad (13)$$



**Şekil 4.** Fotoelektrik olay

### 1.6.2. Compton Saçılması

Atoma gevşek olarak bağlanmış bir dış yörünge elektronu, daha yüksek enerjili bir fotonla çarpışması sonucunda meydana gelen olaya Compton Saçılması denir (Şekil 5). Tabii ki elektronlar madde içinde bağlı durumdadır. Fakat fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden yüksek ise, bağlanma enerjisi göz ardı edilip elektronun serbest olduğu düşünülür. Gelen foton atomik bağlanma enerjisine (100 keV altı) sahipse bu olay gerçekleşemez. Elektron kütleli bir parçacık olduğu için fotonun bütün enerjisini absorblaması momentumun korunumu gereği mümkün değildir. Dolayısıyla foton, enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır saçılıma uğrayarak yoluna devam eder. Foton ile elektron arasında oluşan açı fotonun enerjisine bağlıdır. Gelen fotonun dalga boyu ile saçılan fotonun dalga boyu arasındaki fark aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Lilley, 1991; Seyrek, 2007).

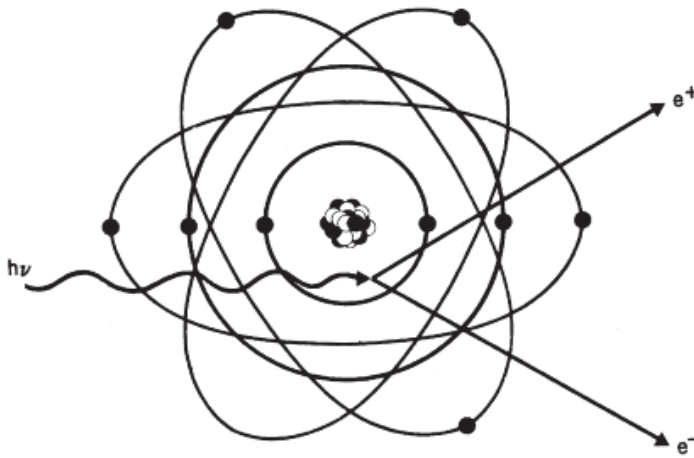


**Şekil 5.** Compton Saçılması

### 1.6.3. Çift Oluşumu

Yüksek atom numaralı bir elementin çekirdeğine yakın yerden geçen fotonun enerjisini kaybederek bir elektron-pozitron çiftine dönüşmesine çift oluşum olayı denir. Elektronun ve pozitronun kütlelerinin eşit, yüklerinin ise zıt olduğu göz önüne alınır, çekirdeğe yakın yerde oluşan bu olayda hiçbir korunum yasası bozulmaz. Yani yük, çizgisel momentum ve toplam enerji korunur.

Kısaca, çift oluşum fotonun elektron-pozitron çiftine dönüşmesidir. Bu olay, momentum korunumunu sağlamak için üçüncü bir cismin varlığında meydana gelir. Pozitronun kütlesi enerjinin kütlesine eşit olduğundan elektron-pozitron çift oluşumu için eşik enerjisi  $h\nu \approx 2m_e c = 1.02 MeV$  olacaktır (Şekil 6) (Knoll, 2000).



**Şekil 6.** Çift oluşumu

Çift oluşumu olayının tersi, bir elektron ile bir pozitronun yan yana gelerek, bir foton çifti oluşturduktan sonra yok olmasıdır. Bu olayın çekirdek etrafında gerçekleşme şartı yoktur (Knoll, 2000).

### **1.7. Sularda Radyoaktivite**

Sulardaki radyoaktivite, ya doğaldır veya insanların bu suların bulunduğu yöredeki etkinliklerinden ileri gelmektedir. Bu doğal radyoaktivite, ortam sayması olarak o yörenin karakteristiğidir (Top, 2008).

Yeraltı sularında birçok radyoaktif kirletici element bulunmaktadır. Ancak, bu radyoaktif elementler radyasyon sağlığı bakımından önemli sayılabilecek konsantrasyonlarda değildir. Yeraltı suları, diğer ismi ile derin dolaşımli sular, alt tabakalarda fazlaca bulunan volkanik ve granit kayalarıyla etkileşirler. Genellikle volkanik kütleler içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden geçen sulara nispeten daha yüksektir. Bu nedenlerle yeraltı suları yüzey sularına göre daha fazla radyoaktiftir (Johnson ve Tuitah, 1983).

Sularda en fazla uranyum ailesi elemanlarından radyum ve radon bulunmaktadır. Radyum suda kolay erir ve yeraltı sularına kadar ilerleyemeden toprak tarafından çok hızlı bir şekilde soğurulur. Bu nedenle yeraltı sularında radyum konsantrasyonu, <sup>222</sup>Rn konsantrasyonuyla karşılaştırıldığında 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). Sudan gelen radonun miktarı sudaki miktarına bağlıdır. Yapılan çalışmalar 370 Bq/L radon konsantrasyonuna sahip bir suyun, ev içi radon konsantrasyonuna katkısının 37 mBq/L olduğunu ortaya koymuştur (Watson vd.,1993). Suyun sıcaklığı arttıkça ortama verilen radon miktarı da artar (Hammond vd.,1981; Lawrence vd.,1982). Evdeki alışkanlıklar duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radon salınmasına neden olur(Çelebi ve Yaşar, 1998).

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

1945–1980 yılları arasında atmosferde yapılan nükleer bomba 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, radyoaktif yağışlar halinde yavaş yavaş yeryüzüne inerek çevre ve sonuçta su kirliliğine neden olmaktadır. Toprak üzerinde yapılan çalışmalarda, yağışlarla orantılı olarak farklı bölgelerde farklı miktarlarda  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  radyoizotopları ölçülmektedir. Çernobil reaktör kazası sonucunda toprakta biriken  $^{137}\text{Cs}$  miktarı nükleer bomba denemeleri sonucu biriken miktarın 5 katı,  $^{90}\text{Sr}$  miktarı ise %10'u düzeyinde kalmıştır. Çernobil kazası sonrası havada ve alınan yağmur örneklerinde yapılan radyoizotopik çalışmalar, havada  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{132}\text{Te}/^{132}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  gibi radyoizotopların varlığını ortaya koymuştur. Sularda ve toprakta yapılan çalışmalarda, sulardaki radyonüklit konsantrasyonlarının toprak yüzeylerindeki 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.

Nükleer enerjinin başta elektrik üretimi olmak üzere tıp, endüstri, tarım ve araştırmalarda çok geniş bir kullanım alanı vardır. Bu gibi tesislerden çıkan radyoaktif atıklar, gerekli önlemler alınmadığı takdirde çevre kirliliğine ve sonuçta içme suyu kaynaklarının radyoaktif kirlenmesine neden olacaktır. Bu amaçla uluslararası kuruluşlar (IAEA, WHO, ICRP gibi) içme sularında kalıcı radyoaktivite olarak tanımlanan toplam alfa, beta ve özellikle  $^{226}\text{Ra}$  radyoaktivite konsantrasyonları için limit değerler saptamışlardır (Dashek, 2000).

İçme sularının radyoaktivite değerlerinin tespiti son derece önemlidir. Bu nedenle son yıllarda içme sularındaki radyoaktivitenin bilinmesi zorunlu olmuştur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün, 1984 yılında yayınladığı tavsiye limitlerine ve Türk

Standartlar Enstitüsü (TSE)'nin 1984 yılında TS266 ve İSKİ'nin 1984 yılında yayınlanan içme suyu standartına göre, içme suyu için tavsiye edilen radyoaktivite sınırları, toplam alfa için 0.1 Bq/L ve toplam beta için 1.0 Bq/L olarak kabul edilmiştir. Bu limit değerler Sağlık Bakanlığı tarafından 18 Ekim 1997 tarihinde yayınlanan Doğal Kaynak, Maden ve İçme Suları ile Tıbbi Suların İstihsalı Hakkındaki Yönetmelikte değiştirilerek, doğal kaynak ve içme suları için toplam alfa radyoaktivitesi 0.037 Bq/L ve toplam beta radyoaktivitesi ise 0.37 Bq/L limitlerine indirilmiştir. Maden suları için ise bu sınırlar toplam alfa için 0.1 Bq/L ve toplam beta için 1.0 Bq/L olarak kabul edilmiştir (TSE, 1979).

### **1.8. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri**

Radyasyonun insan sağlığı üzerinde yaratabileceği zararlı etkilerine; radyasyon yanıkları, radyasyon hastalıkları, doğal ömür süresinin kısılması, kanser ve kalıtsal bozukluklar örnek olarak verilebilir (ICRP,1993).

İnsanlar ve diğer tüm canlılar bu radyasyonlara, dış ışınlamalarla maruz kaldığı gibi solunum ve sindirim yoluyla vücutlarına alarak iç ışınlamalarla da maruz kalmaktadırlar. Bu radyasyonlara dışardan maruz kalınmışsa buna dış ışınlama, içeriden maruz kalınmışsa, buna da iç ışınlama denir. Gama ve betalar dış ışınlamalarla, alfalar ise iç ışınlamalarla daha çok zarar verirler (Taşkın, 2006).

İyonlaştırıcı radyasyonun bir canlıda biyolojik bir hasar yaratabilmesi için radyasyon enerjisinin hücre tarafından soğurulması gerekir. Bu soğurma sonucu hedef moleküllerde iyonlaşma ve uyarılmalar meydana gelir. Bu iyonlaşmalar, hücrenin genetik bilgilerini taşıyan DNA zincirlerinde kırılmalara ve hücre içerisinde kimyasal toksinlerin üremesine neden olurlar. Kırılmaların hemen ardından bir onarım faaliyeti başlar. Hasar çok büyük değilse DNA'da meydana gelen kırılmalar onarılabilir. Ancak bu onarım esnasında da hatalar oluşabilir ve yanlış şifre bilgiler içeren kromozomlar meydana gelebilir. DNA düzgün onarılmadığı takdirde, hücre ya bozuk bir metabolizma ile sağ kalacak ya da ölecektir (IAEA 115-I, 1994; IAEA 00725, 1996).

Hasarlı hücre kaybı belli bir sayının üzerine çıktığında organ veya dokularda, dolayısıyla ışınlanan kişilerde gözlenebilir hasarlar meydana gelecektir. Etki eşikini

aşan akut doz almış kişilerde ortaya çıkan bu tür hasarlara “deterministik” etkiler denir (Çelebi, 1995).

Radyasyonun verdiği hasar sonucu hücre ölmüyor ancak değişikliğe uğruyorsa bu 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. Eğer değişim genetiği etkilerse 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 (IAEA 115-I, 1994; IAEA 00725, 1996).

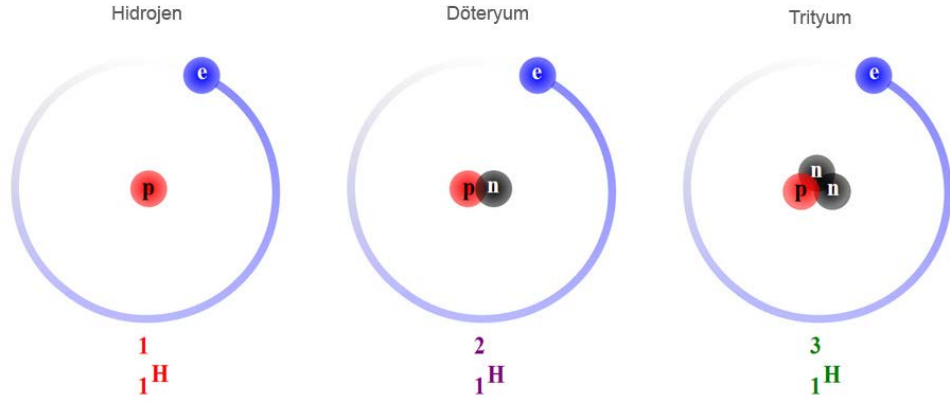
Birleşmiş Milletler’in radyasyonun etkileriyle ilgili çalışmalar yapan bir kuruluşu olan United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili mevcut verilere dayanarak radyasyon kaynaklı kanser için bazı risk tahminleri türetmiştir. Bu tahminlere göre, 1 Sv’lik doza maruz kalmış her yaşta 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 00725, 1996).

### **1.9. Tritiyum**

Tritiyum, 1934’de keşfedilen düşük enerjili beta parçacıklarının yayan radyoaktif bir izotopudur. Tritiyum yağışlara iki kaynaktan girerek hidrolojik çevrimde yerini alır ve ‘çevresel tritiyum’ olarak adlandırılır. Tritiyum atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluşur (Gören, 2011).

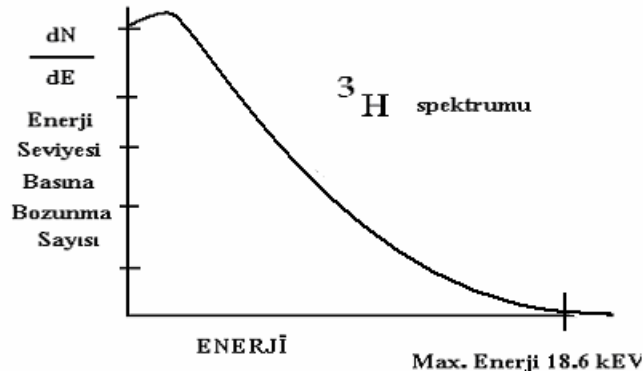
Şekil 7’de gösterildiği gibi hidrojenin üç izotopu vardır.





Şekil 7. Hidrojenin izotopları

Tritiyumun yarı ömrü 12.32 yıldır. 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 8). Dolayısıyla beta spektrumu süreklilik gösterir (Altay ve Çifter, 1996; Portakal vd.,1998).



Şekil 8. Tritiyumun Beta Bozunumu

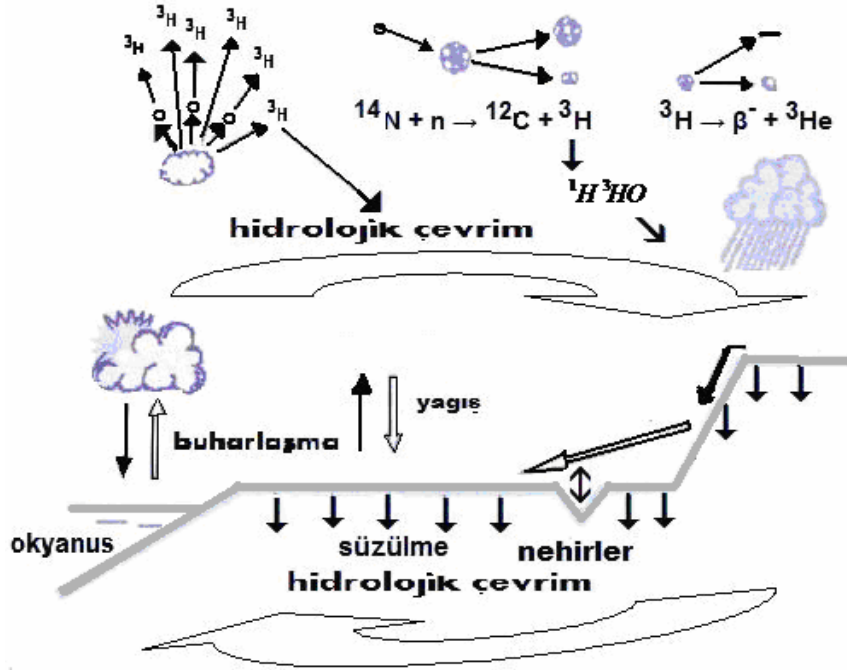
Tritiyum, nükleer reaktörlerde uranyum fisyonunun yan ürünü olarak üretilir. Tritiyum, döteryumla tepkimeye girerek füzyon reaksiyonu oluşturur. Döteryum ve tritiyum gibi hafif hidrojen radyoizotoplarının yüksek sıcaklıklarda kaynaşarak, çok daha ağır atomlara sahip helyuma dönüşmesiyle büyük miktarda enerji açığa çıkar.

### 1.9.1. Çevresel Tritiyum ve Özellikleri

Tritiyum yağışlara iki kaynaktan girerek hidrolojik çevrimde yerini alır ve “çevresel tritiyum” olarak adlandırılır. Atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluşur:



Tritiyum hidrolojik çevrime Şekil 9’de gösterildiği gibi  $^1\text{H}^3\text{HO}$  şekline yükseltendikten sonra girer (Mook, 2002).



**Şekil 9.** Tritiyumun oluşumu

Tritiyumun atmosferdeki kalış süresinin çok küçük olmasından dolayı doğal olarak oluşum hızı da çok küçüktür. Tritiyumun atmosferdeki bu doğal oluşum hızınının  $0.25 \text{ atom/cm}^2 \text{ s}$  olduğu tahmin edilmektedir (Altay ve Çifter, 1996). Bu yolla tritiyum konsantrasyonu, coğrafi konuma bağlı olarak 5–20 TU (tritiyum birimi) civarındadır. Tritiyum yağışlara karışarak yeraltına geçtikten sonra uzun yıllar yeraltında bekler ve başka bir yeni suyla karışmazsa konsantrasyonu zamanla azalır (Altay ve Çifter, 1996; DSİ TAKK,2003).

Sulardaki doğal tritiyum konsantrasyonu Bq/L ya da tritiyum birimi (TU) olarak verilir. Tritiyum konsantrasyonunun Bq-TU ilişkisi  $1 \text{ TU} = 1 \text{ Tritiyum atomu}/1 \times 10^{18} \text{ hidrojen atomu} = 3,19 \text{ pCi/L} = 0,118 \text{ Bq/L}$  olarak verilmektedir. Yani,  $1 \times 10^{18}$  hidrojen atomuna karşı bir tritiyum atomunun bulunması “1 tritiyum birimi (TU)” olarak tanımlanır (Watson vd., 1993)  $1 \text{ TU} = 0,11816 \text{ Bq/kg}$ ’dır (Altay ve Çifter, 1996).

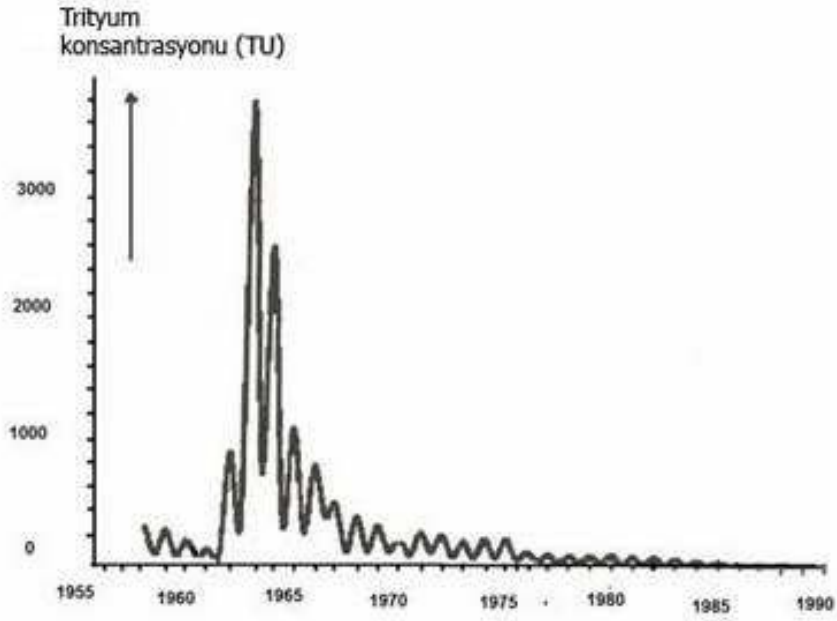
Yağışlara girerek suyun hidrolojik çevrimine katılan trityum, hidrolojide çeşitli sorunların çözümünde doğal izleyici olarak kullanılmaktadır.

Nükleer çalışmalar sonucunda yapay olarak oluşur.

1952–1962 yılları arasında yapılan termonükleer denemelerle atmosfere yüksek miktarda trityum enjekte edilmiştir. Kuzey yarım kürenin atmosfer tabakasının enjekte edilen yüksek miktardaki trityumun aşamalı olarak troposfer tabakasına geçmesiyle 1953 yılından sonraki yağışların trityum konsantrasyonunda artış gözlenmiştir (Altay ve Çifter, 1996; DSİ TAKK, 2003).

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 10'da görülmektedir (Altay ve Çifter, 1996; DSİ TAKK, 2003).

1953 yılında trityum konsantrasyonu 26 TU iken, 1954 yılında 287 TU' ya çıkmış ve bu artış 1963 yılında 2900 TU' ya kadar ulaşmıştır. Kuzey yarım kürede 1963 yılındaki yağışlarda trityum konsantrasyonunun maksimum değere ulaştığı gözlemlenmiştir. 1963 yılında imzalanan bir antlaşmayla bu denemeler durdurulduktan sonra trityum konsantrasyonunda üstel olarak bir azalma gözlemlenmiştir. 1967–1980 yılları arasında; Çin Halk Cumhuriyeti ve Fransa'nın yapmış olduğu sınırlı denemelerle atmosfere çok miktarda trityum enjekte edilmiştir. 1968 yılından 1971 yılına kadar yağışlardaki trityum konsantrasyonu bu nedenle hemen hemen sabit kalmıştır. 1972 yılından sonra termonükleer denemeler öncesi değerlere doğru azalmaya devam etmektedir (Altay ve Çifter, 1996).



**Şekil 10.** Tritiyum konsantrasyonunun yıllara göre dağılımı

Türkiye’de Ankara, Antalya ve Adana yağış istasyonları IAEA’nın kurduğu şebekeye dâhildir. Kuzey yarım kürede 1963 yılındaki artış 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. Viyana yağış istasyonu ile hemen hemen aynı paralellikte azalmaya devam etmektedir (Mook, 2002).

Yağışlardaki trityum konsantrasyonu aşağıdaki etkiler altında değişmektedir:

a) Tritiyum konsantrasyonundaki maksimum değer, bahar ve yaz aylarına ait yağışlarda gözlemlenmektedir. Bu olay “bahar enjeksiyonu” olarak adlandırılır. Yapılan araştırmalar yaz yağmurlarının kış yağmurlarından daha fazla ağır izotop içeriğine sahip olduğunu göstermektedir (Gonfiantini, 1982). Yağışların ağır izotop içerikleri meydana getirdikleri buharın ağır izotop içeriğine göre yüksektir. Yağışlarda meydana gelen ağır izotop zenginleşme miktarı sıcaklık ile ilişkilidir. Sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda ağır izotop zenginleşmesi daha fazladır. Sıcaklık fazla olduğu zamanlarda düşmekte olan yağmur damlalarının düşme esnasında yeniden buharlaşması daha fazla olacaktır. Buharlaşma esnasında hafif izotopik grupların öncelikle buharlaşması, düşen yağmur damlalarının ağır izotop zenginleştirmesini artırır. Bu nedenle kış aylarında düşen yağmur damlalarının ağır izotop içerikleri, yaz aylarında görülen yağmurların ağır

izotop içeriğine göre daha fakirdir. Kuzey yarım küredeki yağışların trityum konsantrasyonu genellikle Haziran aylarında, Güney yarım kürede ise Eylül aylarında maksimum değere ulaşır (Altay ve Çifter, 1996; DSİ TAKK,2003).

b) Karasal bölgelerdeki yağışların trityum konsantrasyonu okyanus bölgelerinkinden daha yüksektir. Bunun nedeni, okyanuslardan oluşan su buharının daha soğuk olan kara üzerine hareketleri esnasında ardı ardına yoğunlaşması neticesinde oluşan yağmurların ağır izotop içeriklerinin kendisini oluşturan atmosferik buhara göre zenginleşmesine karşılık kendisinden önceki yağışlara göre ağır izotop bakımından fakirleşmesidir. Kısaca okyanus ve denizlerden kara içlerine gidildikçe daha fakir izotop içeriğine sahip yağışlar görülmektedir (Altay ve Çifter, 1996; DSİ TAKK,2003).

c) Trityum konsantrasyonu coğrafi enlem dereceleri ile değişir. Stratosferden troposfere doğru olan trityum enjeksiyonunun kutup bölgelerinde daha yoğun olması nedeniyle trityum konsantrasyonu Güney yarım küredekine nazaran daha fazladır. Bunun nedeni Kuzey yarım kürede denizlerin alanının karaların alanına oranının Güney yarım küredekinden küçük olması ve nükleer denemelerin daha çok Kuzey yarım kürede yapılmış olmasıdır (Altay ve Çifter, 1996).

### **1.9.2. Trityumun İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi**

Trityumun çevrede davranışı, değişik sistemler arasında transferi ve insana geçişi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Trityum su ve süt gibi gıdalarla alınarak bütün vücutta dolaşım sağlayabilir, havadan gaz formu solunumla alınabilir ve ayrıca deriden soğrulabilir. Trityumun biyolojik yarı ömrü 12 gündür. İnsan sağlığı açısından, gaz halinde suda çözünürlüğünün az olmasının nedeniyle daha az zararlı olduğu ispatlanmıştır. Yapılan deneyler trityumun hayvan karaciğer hücrelerinde aberasyona, kemik iliği hücrelerinde sitolojik zararlı etkiye neden olduğunu, DNA sentezini yavaşlattığını ve çeşitli doku hücrelerinde ölümlere neden olduğunu ortaya koymuştur. Kansere yol açar ancak diğer radyonüklidlere göre daha az tehlikeli radyonüklittir; çünkü zayıf beta yayımlar ve vücudu erken terk eder. Herkes doğada var olan az miktarda trityuma maruz kalmaktadır (Portakal vd., 1988).

### 1.9.3. Çevresel Trityumun Ölçülmesi

Trityum  $^3\text{He}$  kütle spektrometresinde ve atomik kütle spektrometresinde (AMS) ölçülebilir. Numune  $^3\text{He}$  kütle spektrometresinde ölçüm için ilk önce bütün gazlardan arıtılır ve  $^3\text{He}$ 'un trityum bozunmasından elde edilmesi için bir süre bekletilir. Daha sonra  $^3\text{He}$  soygaz kütle spektrometresi ile ölçülür.  $^3\text{He}$  kütle spektrometre yöntemi LSC' den daha hassastır, dedeksiyon limiti  $0.5 \text{ mBq mL}^{-1}$  dir.  $^3\text{He}$  metodunun esas dezavantajı numune hazırlığındaki yöntemin karmaşıklığı ve uzun analiz süresidir (Xiaolin vd., 2008).

Atomik kütle spektrometresi de trityum tespitine yönelik hassas bir yöntemdir, dedeksiyon (algılama) limiti olarak  $1 \text{ mBq}$  (veya  $^3\text{H}/\text{H}^1$  oranı için  $1 \times 10^{-13}$  ile  $1 \times 10^{-15}$ ) sınırı bildirilmiştir. Bu yöntemin temel yararı, biyolojik numunelerin analizi için oldukça uygun olan küçük numunelerin ( $2 \text{ mg}$  hidrojen) analizidir. AMS yönteminde, trityum ilk önce numuneden serbest bırakılır, daha sonra metal üzerinde soğurulan hidrojen gazına dönüştürülür (örneğin Ti) ve sonra da AMS ile ölçülür. Bu yüzden AMS' nin numune hazırlığı LSC ile karşılaştırıldığında daha karmaşıktır. Trityum tespiti için AMS uygulaması oldukça sınırlıdır. Rutin analizlerde, LSC hâlâ, çevresel numunelerde trityum tespiti için en sık kullanılan yöntemdir (Xiaolin vd., 2008).

Sıvı sintilasyon sayaçlarında daha önceki yıllarda aşağıya çekilemeyen dedeksiyon limitinin, elektronik teknolojisindeki gelişmeler sayesinde çok küçük değerlere indirilmesiyle, atmosferde doğal olarak oluşan trityumun bu sayaçlarla dedeksiyonu mümkün olmuştur. Ayrıca, bu teknikte kullanılan numune hazırlama yönteminin gaz sayma tekniğindeki nazaran daha kolay ve çabuk olması, sıvı sintilasyon sayma tekniğinin bütün dünyada yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

Katı numunelerdeki trityum saptamasına yönelik olarak trityumu THO (trityum hidroksit)'e dönüştürmek için, LSC ile ölçülen yanma (combustion) yöntemi kullanılır (Xiaolin vd., 2008).

### 1.10. Radyasyonun Ölçüm Teknikleri

Nükleer radyasyonları tespit etmek için kullanılan tüm dedektörlerin temel çalışma ilkeleri benzer özelliklere sahiptir. Radyasyon (ışınım) dedektöre girer, dedektör

materyalinin atomlarıyla etkileşip enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybeder ve atom yörüngelerinden nispeten düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere, elektronik devre tarafından ya akım ya da gerilim şekline dönüştürülür. Dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyon tipine ve hakkında mevcut bilgiye bağlıdır. Radyoaktif bozunmalar sonucunda salınan alfa parçacıkları veya düşük enerjili nükleer reaksiyonlardan yayınlanan yüklü parçacıkların katılardaki maksimum menzili 100  $\mu\text{m}$ 'den küçük olduğu için çok ince pencereci dedektörler gereklidir.  $\beta$  bozunumlarında yayınlanan elektronlar için bu kalınlığın 0.1 mm-1 mm aralığında olması gerekirken,  $\gamma$  ışınımı için bu aralık daha fazladır ve hatta 5 cm kalınlıklı dedektörler yüksek enerjili fotonları ölçmek için yeterli olabilir (Knoll, 2000).

Dedektörün seçimi ölçülmek istenen radyasyonun türü ve özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Her biri farklı fiziksel özellikte olduğu için tüm bu radyasyonları aynı anda ölçebilen bir dedektör mevcut değildir; ancak biri veya birkaçını aynı anda gözleyebilen dedektörler bulunmaktadır. Bu bölümde iki tip dedektörden ve çalışma ilkelerinden bahsedilmektedir: Gazlı sayaçlar, sintilasyon dedektörleri (pırıldama) (tez çalışmasında kullanılan dedektör tipi) ve yarıiletken dedektörler.

### **1.10.1. Gaz Sayma Tekniği**

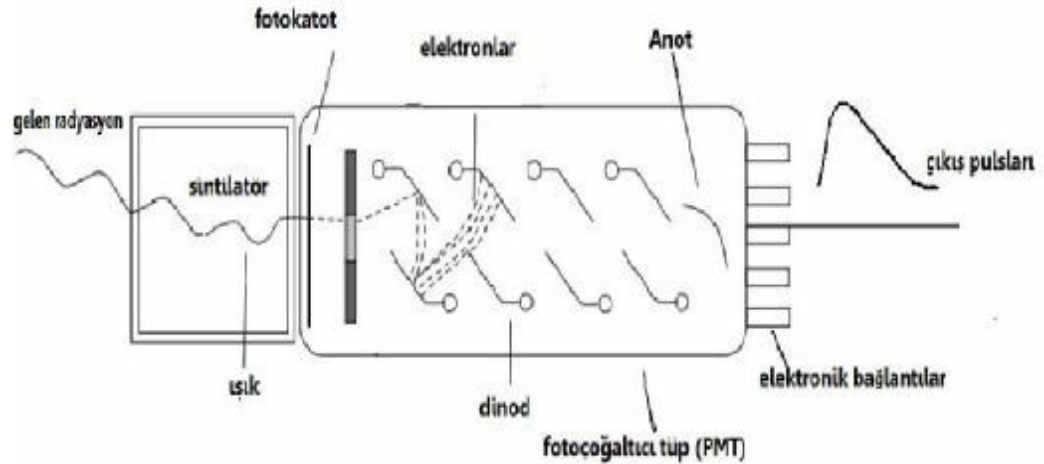
Tritiyumun yayınladığı beta enerjisinin (18.6 keV) ve doğal trityumlu suların aktivitelerinin çok düşük olması nedeniyle ölçüm için kullanılacak sayaçlar yüksek ve kararlı bir verime, düşük ortam sayımına sahip olmalıdır. Bu nedenle sayaç ve elektroniğinin çok özel tasarımı olması gerekir.

Doğal olarak oluşan suların trityum konsantrasyonlarının ölçümlerinde kullanılan tekniklerden biri bu tekniktir. Gaz sayma tekniğinde ölçülecek su numunesi elektroliz yolu ile zenginleştirildikten sonra sıcak magnezyum üzerinde geçirilerek hidrojen gazı ayrıştırılır. Elde edilen bu gaz bir katalizör üzerinden etilen gazıyla reaksiyona sokularak etan gazına dönüştürülür ve orantılı gaz sayacıyla sayılır. 1992 yılına kadar trityum ölçümleri bu teknikle yapılmaktaydı. Ancak, bu teknikte kullanılan numune hazırlama işleminin uzun zaman alması ve sayaç sisteminin ölçüme hazırlanması

sırasında yapılan ön ayarların otomatik olmaması, analiz kapasitesinin düşük olmasına neden oluyordu. (Altay ve Çifter, 1996).

### 1.10.2. Sintilasyon Dedektörleri

Radyoaktif ışınlar bir maddenin atom ve molekülleriyle etkileşime girdiği enerjiye göre, madde içinde iyonizasyon ya da uyarılma meydana getirir. Şayet radyasyon enerjisi her iki olayı da meydana getiremeyecek kadar düşük ise, etkileştiği ortamdaki moleküller arasında sadece bir titreşim meydana getirir ve yok olur. Sintilatörden yayılan görülebilir ışıklara sintilasyon denir. Radyasyon enerjisini önce ışık fotonlarına ve daha sonra foto çoğaltıcı tüp yardımıyla elektrik pulslarına dönüştüren dedektörlere de sintilasyon dedektörleri (sayaçları) adı verilir. Sintilasyon dedektörleri, sintilatör olarak kullanılan bir madde ve bunun hemen arkasına bağlanmış bir foto çoğaltıcı tüpten oluşur. Sintilasyon sayaçlarında meydana gelen işlemler Şekil (11) incelenerek anlaşılabilir (Krane, 2002).



**Şekil 11.** Sintilasyon Dedektörlerinde temel işlemler

Bir sintilatör içine giren radyasyon, ortamdaki atomları uyarmak suretiyle enerjisini kaybeder. Uyarılan atomlar hızla, görünür bölgede (veya görünür bölgeye yakın) ışık yayınlılar. Işık, foto duyarlı yüzeye çarparak foton başına en çok bir elektron salınmasına neden olur. Bu elektronlarda foto çoğaltıcı tüp içinde bulunan ve dinod adı verilen elektron çoğaltıcı elemanlar yardımıyla çoğaltılarak anotta toplanır ve genliği radyasyon enerjisiyle orantılı çıkış pulsları şekline dönüşür. Meydana gelen darbenin genişliği radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır (Nicholson, 1973; Knoll, 1989).



Beta parçacıkları gibi yüklü parçacıklar, geçtikleri ortamın atomlarıyla etkileşerek enerjilerini ısı, iyonlaşma ve uyarılmayla kaybederler. Başka bir deyişle, beta enerjisi geçtikleri ortamın atomlarına aktarılır (soğurma). Cisimlerin enerji soğurduktan sonra görünür ışık bölgesinde veya ona yakın bölgede foton adı verilen ışık partikülleri çıkarmasına lüminesans denir. Bu olayın esası kısaca şöyle açıklanabilir: Katı veya sıvı ortamdan geçen yüklü parçacıklar ortamın atomlarını uyarır. Uyarılan atomlar tekrar taban seviyelerine dönerken ışık fotonları verirler. Uyarılmış atom sayısı ortam içinde yüklü parçacığın kaybettiği enerjiyle orantılı olup foton sayısı da bu enerjiyle orantılıdır. Taban durumuna geçerken meydana gelen bu lüminesans olayı floresans, fosforesans ve geç floresans şeklinde olmaktadır. Uyarılma esnasında 8-10 saniye içerisinde ışık salınması oluyorsa bu olaya floresans, ışık salınması uyarılma kesildikten sonra oluyorsa bu olaya da fosforesans denir. Fosforesans süresi mikro saniye ile saat arasında lüminesan maddenin cinsine göre değişir. Basit uyarılmış durumdan taban durumuna geçişte salınan ışık floresans şeklindedir. Daha karmaşık uyarılma şekli olan triplet uyarılmada ise fosforesans meydana gelir. Ancak, kuantum mekaniğine göre bu durumdan taban durumuna doğrudan geçiş zor olduğundan fosforesans olayına seyrek rastlanır. Triplet durumunda uyarılmış atomun bu seviyede kalma süresi uzun olup uyarılmış atom önce basit uyarılmış duruma geçmekte ve sonra taban seviyesine inmektedir. Bu çeşit taban duruma geçişlerde geç floresans görülür.

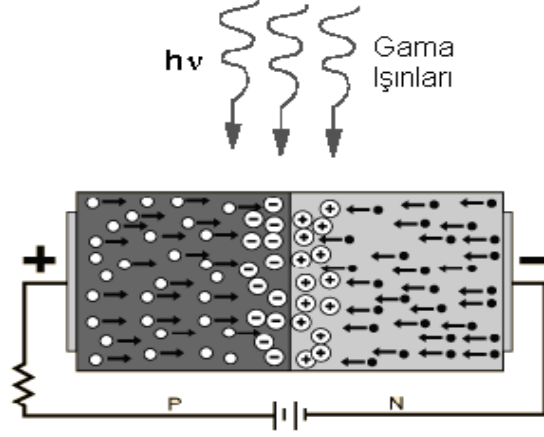
Sintilasyon dedektörleri üç ana elemandan oluşur,

- 1) Işık kristali ( Sintilatör )
- 2) Işık-Elektrik dönüştürücüsü ( foto çoğaltıcı )
- 3) Elektronik yükselteç

### **1.10.3. Yarıiletken Dedektörler**

Yarıiletken dedektörler, negatif yük (elektron) veya pozitif yük (deşik) taşıyıcıları fazla olan n ve p tipi materyaller temas ettirilerek elde edilir. Ters besleme altında dedektörde, elektron vedeşikten arınmış bir hassas bölge oluşur. Dedektör veriminin yüksek olması için derin bir hassas bölge, derin hassas bölge elde etmek için de oldukça saf madde gerekir. Bir foton, eklem içinden geçtikçe, bir elektron, valans bandından iletim bandına yükseltilir ve elektron-deşik çifti üretilmiş olur. İçerideki elektrik alan, elektronları eklemin pozitif,deşikleri de negatif tarafa doğru sürükler. Bu da bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana getirir. Şekil 12'de yarıiletken dedektörlerin basit

şematik gösterimi görülmektedir. Yarıiletken dedektörlerin en yaygın kullanılanları, Germanyum ve Silisyum dedektörleridir. Genellikle radyasyonun enerjisini ölçmek için kullanılırlar.



**Şekil 12.** Yarıiletken dedektör şeması

### 1.11. Sıvı Sintilasyon Dedektörü (LSC)

1950'li yılların başından beri, Sıvı Sintilasyon Sayacı (LSC) ya da Sıvı Sintilasyon Analizi (LSA) nicel radyoaktivite ölçümlerinde ve keşfinde çok kullanışlı bir tekniktir.



**Şekil 13.** Sıvı sintilasyon cihazı (LSC)

1950'li yıllardan önce sıvılarla etkileşime girecek organik sintilasyon kokteyli geliştirilmediğinden örnekler kokteylin dışına (external LSC) konulup ölçüm yapılırdı. Sıvı sintilasyon sayım sistemleri, çok kanallı analizörler (MCA) ve bilgisayar teknolojisi ile geliştirilerek spektrometrik ve çok detaylı bilgi sunabilme yeteneğine sahip hale getirilmişlerdir. Bugün bilinen sıvı sintilasyon sayım teknikleri 1953 yılından sonra Hayes ve arkadaşları tarafından geliştirildi. Aynı yıl Packard Instrument Comp. tarafından ticari olarak ilk kez LSC (Packard Tri-Carb Model 314 EX) imal edildi (Kessler,1986; Knoll, 1989).

Sıvı Sintilasyon Sayma (LSC) tekniği yaygın olarak düşük enerjili beta yayıcılarının ölçülmesi ve radyasyonun varlığının araştırılması için kullanılan bir tekniktir. Bu ölçüm tekniği çevre radyoaktivitesinin izlenmesi, herhangi bir nükleer kaza anında radyoaktif kirlenmenin boyutunun tespit edilmesi ve halk sağlığı için gerekli önlemlerin alınması amacıyla  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  gibi alfa ve beta yayan spesifik radyoizotopların nitel ve nicel analizinde kullanılan en yeni, en hızlı ve en geçerli yöntemdir.

Sıvı sintilasyon sayıcısı;

- Doğal radyoizotop serilerinin ölçümünde (Radyum (Ra), Uranyum (U),  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{231}\text{Pa}$  ve  $^{234}\text{Th}$ ) (Arankytö vd.).

- Nükleer güç endüstrisi ile çevreye dağılan genellikle beta yayınlayıcısı olan radyoizotopların ölçümünde ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{89,90}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$  ve  $^{241}\text{Pu}$ ) (Arankytö vd.).

- Radyokarbon ile tarihlemde ( $^{14}\text{C}$ ),
- Yeraltı sularında ve çevresel sularda  $^3\text{H}$  ölçümleri gibi analizlerde,
- Rn, Ra, U, toplam alfa/beta analizleri için içme suyu analizlerinde,
- Stronsiyum/Tritiyum için yiyecek analizinde,
- Radyasyon serpinti çalışmalarında ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , Pu),
- Radyoaktif atık izlemede ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , Pu) ,
- $^{14}\text{C}$  için yiyecek analizlerinde,
- Azaltılmış doz ile biyolojik çalışmalarda ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) kullanılmaktadır (Gören, 2011).

Sıvı sintilasyon tekniğinin sağladığı avantaj ve dezavantajları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Radyoizotoplar, uygun bir sintilatör içinde homojen bir dağılım içinde buldukları için  $4\pi$  sayım geometrisinde sayılırlar (Kessler, 1986).

- Self-absorbsiyon (öz soğurma) riski yoktur. Beta parçacıklarının menzili kısadır, (1MeV enerjili beta parçacığı için sudaki menzil 0.40 cm) LSC’da beta parçacıkları sıvı sintilatör içinde yakın mesafelere getirilebilir ve diğer metodlardan farklı olarak öz-soğurma olmadan ölçülebilen sintilasyon sağlanır.

- Örnek hazırlama kolay ve çabuktur (Xiaolin vd., 2008).

- Son yıllarda özellikle beta sayımlarında daha fazla kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan beta yayıcı izotoplar  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  ve  $^{32}\text{P}$ ’dir (Elmer, 2001).

- Aynı örnek içinde aynı anda toplam alfa ve beta radyoaktivite değeri saptanabilmektedir (Mook, 2002).

- Belirli uygulamalar için PIPS (passivated implanted planar silicon) ve SSB (Silicon surface barrier) dedektörlerini kullanan geleneksel alfa spektrometri için oldukça yararlı bir alternatif de olabilir. Bununla birlikte, yarı iletken dedektörlere göre daha verimsiz olan LSC çözünürlüğü bir dezavantaj olabilir.

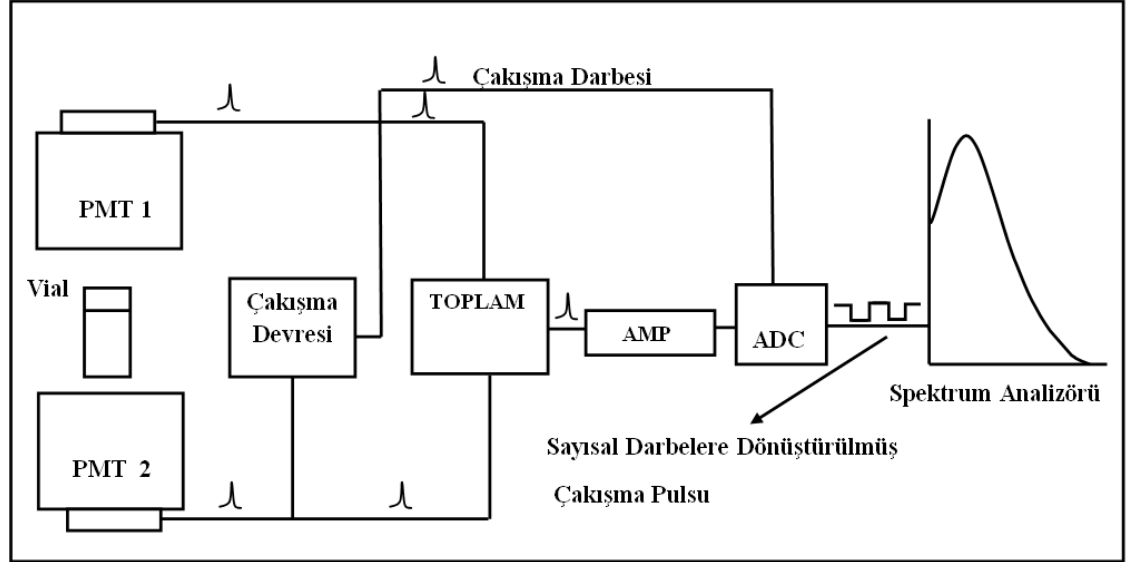
- Alfa sayımlarında alfa radyasyonuna beta ve gamalar da karıştığından alfa sayımları için sıvı sintilasyon tekniği çok fazla kullanılmamaktadır. Sayım cihazlarının geliştirilmesi ve bazı analitik yöntemlerin uygulanması ile bu problemin çözümüne gidilmektedir. Alfa yayınlayıcılar için ölçümlerden önce alfa yayınlayıcıları ayırmak için kimyasal ayırım yöntemleri kullanılmaktadır.

- Farklı sayım protokolleri kullanılarak farklı örnek tiplerinde (su, hava, idrar, toprak gibi) farklı radyoaktivite değerlendirmeleri yapılabilir.

### **1.11.1. Sayım Sistemi**

LSC; fotoçoğaltıcı tüp, puls amplifikatörü, sayıcı ve kaydedici sistemden oluşur. Bugün bu sistemler çift fotoçoğaltıcı tüp, çok kanallı analizörler ve bilgisayarlı sistemlerden (kaydeden, hesaplayan, spektrumları çizen) oluşmaktadır. Sıvı sintilasyon sayaçlarında kullanılan ilk sistem, çakışan darbe dedeksiyonu (coincidence pulse dedektion) adı verilen ve karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki adet fotoçoğaltıcı tüple birlikte çalışan bir lojik devre olup, foto tüplerden çıkan sintilasyon sinyallerini

birbiriyle mukayese eder. Eğer iki sinyal aynı anda oluşmuş ise devre çıkışından puls alınır (Şekil 14).



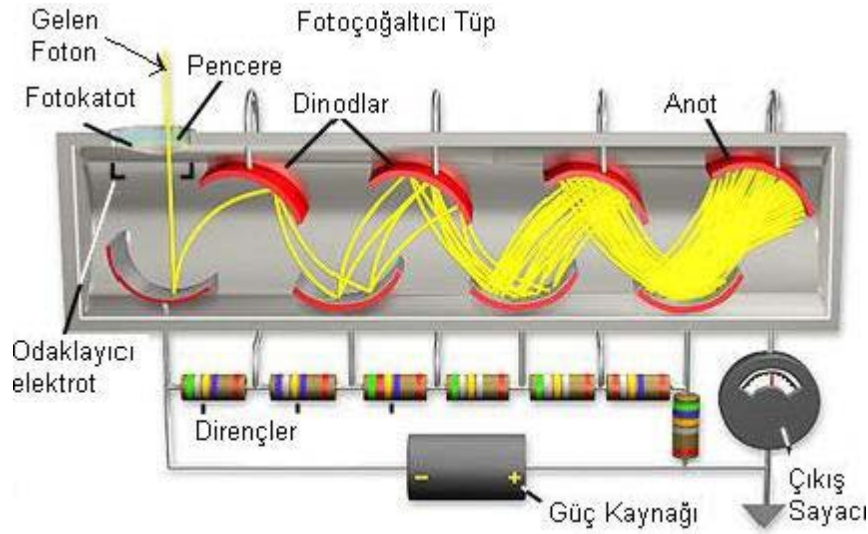
Şekil 14. LSC Çalışma düzeneği

Vial içinde rastgele dağılmış olan radyoaktif atomların fototüplere olan uzaklıkları farklı olduğu için yayınlanan fotonlar tüplere farklı şiddette ulaşırlar (foton şiddeti uzaklıkla değişir). Bu olumsuz durum, sayma sisteminde performans azalmasına neden olur. Zayıf enerjili beta aktif radyonüklidlerin dedeksiyonunda sorun oluşturan bu durum devreye ilave edilen darbeler toplamını alan (summation circuit) devresiyle yok edilir ve radyoaktif atomların konumu dolayısıyla fototüplere olan uzaklık farklılıklarının önemi kalmaz. Devrenin temel çalışma ilkesi şöyledir: İki fototüpte aynı anda oluşan darbeler elektronik toplama ünitesi aracılığıyla toplamı alınır ve çıkışta meydana gelen darbeler, sintilasyonun toplam şiddetiyle orantılı olur. Radyoaktif atomların sintilatör içindeki konumunun herhangi bir önemi kalmaz. Toplama devresi çıkışı ile çakışma devresi çıkışı bir çakışma kapısı aracılığıyla birleştirilir. Nükleer olayın meydana getirdiği gerçek darbeler ya bir sayıcı-kaydedici ile sayılır veya bu darbeler genliklerine yani enerji seviyelerine göre değerlendirilmek üzere spektrum analizörüne gönderilir. Spektrum analizörü, çeşitli enerjiye sahip radyonüklitlerin ürettiği darbelerin 0 keV ile 2000 keV arasındaki bölgede enerji darbe yüksekliği dağılımını, sabit bir kazanç altında, inceleme olanağını sağlayacak şekilde tasarılan mikro-işlemci esaslı bir elektronik sistemdir. Çevresel trityum konsantrasyonunun doğal seviyesine ulaşması

nedeniyle ölçümlerde kullanılan cihazların dedeksiyon limitleri en düşük aktiviteyi ölçebilecek şekilde çok küçük bir değerde olmalıdır (Altay ve Çifter, 1996).

### 1.11.2. Fotoçaltıcı Tüp (PMT)

Sintilatör ortamından uyarılma sonucu yayınlanan fotonların dedeksiyonunda fotoçaltıcı tüpler kullanılır. Temel olarak bir fotokatot, kademeli olarak voltaj uygulanan 8-10 adet dinod denilen elektrottan ve bir toplama elektrodundan (anot) meydana gelmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Fotoçaltıcı tüpün şematik gösterimi

Dedektörde nükleer radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucu oluşan şarj, R direnci üzerinde ani bir voltaj düşüşü meydana getirir. Bu ani voltaj değişikliğine darbe (puls) denir. Darbenin yükselme zaman sabiti dedektörün cinsine, geometrisine ve yükün anotda toplanma zamanına bağlıdır. Alçalma zaman sabiti önyükseltgecin devre elemanları tarafından belirlenmiştir ve değeri birkaç nano saniye ile birkaç mikrosaniye arasında değişir.

Fotokatot, üzerine düşen ışığı (fotonları) fotoelektrik olarak elektronlara çevirmeye yarar. Her fotoçaltıcı tüp için oldukça önemli olan parametre, fotokatotunun spektral duyarlılığıdır. En iyi sonuçlar sintilatörün spektrumu ile fotokatotun duyarlılığının eşleşmesi ile elde edilir. Cs-Sb yüzeyi çoğu sintilatörün spektrum tepkisine iyi şekilde uyan 440 nm'deki maksimum duyarlılığa sahiptir. Fotoelektrik akımı çok zayıf olduğundan ölçülebilmesi için çoğaltılması gerekir (Tsoulfanidis, 1995; Altay ve Çifter, 1996).

Çoğaltma işi dinodlar vasıtasıyla yapılır. Dinodlar ikincil elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu bir maddeden yapılmıştır. Dinodlar bir seri direnç zinciri ile kademeli olarak artan gerilimlerde tutulur. Bir elektron salınması için 2–3 eV yeterli olabilir. Komşu dinodlar arasındaki tipik potansiyel farkı yaklaşık 100 V'dir ve böylece elektronlar dinodlara 100 eV'lik 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 rasgele doğrultularda yayınlandıkları için yüzeyde az sayıda elektron yayınlanacak, her dinoddaki artış 5 çarpanı kadar olacaktır. Böylece fotokatotdan veya önceki bir dinoddan yayınlanan elektronlar, daha çok elektron sökecek kadar enerji kazanacak biçimde, sonraki dinoda doğru hızlandırılırlar. Bu suretle çoğaltılmış elektronlar, anotta toplanarak RL yük direnci üzerinde bir voltaj darbesi (pulsu) oluşturur (Altay ve Çifter, 1996).

Enerji spektrometreleri için iki önemli özellik lineerlik ve kararlılıktır. Lineerlik, son çıkış puls genliğinin, sintilasyon olaylarının sayısı ile dolayısıyla radyasyon tarafından dedektörde depo edilen enerji ile doğru orantılı olması demektir. Her dinoddaki artış, voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltajdaki herhangi bir değişme çıkış pulslarındaki değişimlere neden olacaktır; bu yüzden yüksek voltaj kaynağının kararlı olması gereklidir (Krane, 2002).

Tüpe uygulanan gerilimin regülasyonu çok iyi olmalıdır. Şekil 15'de gösterildiği gibi son dinodlar arasına yerleştirilmiş olan kondansatörler ve fotokatotla ilk dinod arasındaki zener diyod, elektrotlar arası ön gerilim değişikliklerini engeller. Böylece voltaj stabilizasyonunun daha düzgün olması ve tüpün sabit kazanç altında çalışması sağlanmış olur (Altay ve Çifter, 1996). Eğer manyetik alan varsa, tüm elektronlar sonraki dinoda çarpmayacak şekilde yönlerini değiştirebilir. Dünyanın zayıf manyetik alanı bile bazen bu istenmeyen etkiye neden olabilir. Manyetik alanın etkisi, fotoçoğaltıcı tüpün  $\mu$ -metal olarak adlandırılan silindirik bir metal levhayla çevrenmesi suretiyle azaltılabilir.  $\mu$ -metal ticari olarak çeşitli şekillerde ve boylarda mevcuttur (Tsoufanidis, 1995).

Fototüpün bir diğer önemli parametresi ışıksız akımının (dark current) büyüklüğüdür. Fotoçoğaltıcı tüplerin katodunda kullanılan ışığa duyarlı yüzey maddesi

termal enerji soğurulduktan sonra, gerek doğal yapısı gerekse tüpe uygulanan ön gerilim nedeniyle, ışısız (karanlık) ortamda bile elektron salar. Bu süreç “termiyonik yayılma” olarak adlandırılır ve 50 mm çapındaki fotokatot, oda sıcaklığında 105 kadar elektronu karanlıkta serbest bırakabilir. Bundan dolayı tüp çıkışında istenmeyen elektronik darbeler (elektronik gürültü) oluşur. Katodu serinletmek, sıcaklıktaki her 10–15°C’lik azalma başına yaklaşık 2 faktörü ile bu gürültü kaynağını azaltır. Termiyonik yayılma, dinotlar ve tüpün cam duvarı nedeniyle de meydana gelebilir fakat bu katkı küçüktür (Tsoulfanidis, 1995).

Elektronik gürültü, nükleer olaylar gibi rasgele karaktere sahiptir ve ölçüm sistemleri tarafından nükleer darbe gibi algılanır. Bu durum özellikle çevresel trityum gibi zayıf aktiviteli radyonüklitlerin dedekte edilmesine engel olur. Gerek kozmik ışınlar gerekse çevresel radyasyonun meydana getirdiği ve adına ortam sayması (veya background) denilen radyasyonun hasıl ettiği sayımlar gerçek nükleer olayın dedekte edilmesine olumsuz katkıda bulunur. Bu husus radyonüklit analizlerinde yanlış değerlendirmelere neden olacağı için önemli olup düzeltilmesi gerekir (Altay ve Çifter, 1996).

Çok çeşitli fotoçoğaltıcı tüpler kullanılır; 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).

### **1.11.3. Sayım Kapları (Vialler)**

Radyoaktif analizlerde kullanılan sıvı sintilasyon vialleri genel olarak borsilikat camdan ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  içermeyen) veya plastikten yapılmaktadır. Plastik vialler ise yüksek yoğunluklu polietilen ya da polipropilenden üretilir. Plastik vialler, rutin analizlerde cama göre daha düşük background’a sahip olması ve çok daha ucuz olması nedeniyle düşük aktiviteli sayım uygulamaları için tercih edilir. Vialler üzerinde oluşan statik elektrik ise cam viallerin kullanımı ile en aza indirilebilir. İçinde sintilatör ile karışmış numune bulunan vialler (Şekil 16) sıvı sintilasyon sayma sistemindeki fotoçoğaltıcı tüpler arasına girerek numunelerin sayılmasını sağlar. Bunun için viallerin yüksek foton üretme verimliliği, düşük radyasyon içeren maddelerden yapılmış olmalarını gerektirmektedir (Kessler, 1986).





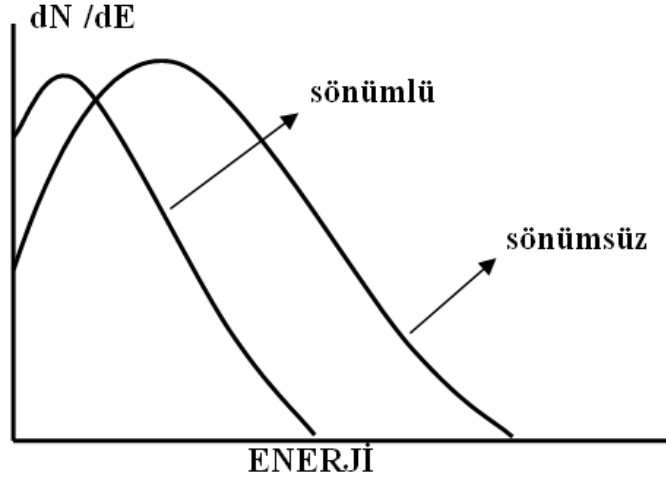
**Şekil 16.** Sintilasyon vialleri

#### **1.11.4. Background**

Background katkıları birçok kaynaktan meydana gelir. Bu kaynaklar sıvı sintilatör ve örnekteki işlemlerine göre ayrılabilir. Sıvı sintilasyon kokteylinden kaynaklanan background sönümlü (quençaple) olarak adlandırılırken, kokteyl dışında meydana gelen background sönümsüz (unquençaple) olarak adlandırılır. Sönümlü background, sintilatör çözeltilisiyle kozmik ışın ya da diğer yüksek enerjili radyasyon etkileşiminden dolayı oluşur. Vial ve PMT'nin cam yüzeyleriyle yüksek enerjili kozmik radyasyon etkileşimi ise sönümsüz backgroundun öncelikli kaynağıdır. Toplam backgroundun yaklaşık olarak %32'si sönümlü olaylardan, %68'i ise sönümsüz olaylardan kaynaklanmaktadır (Charles vd., 1994).

#### **1.11.5. LSC' de Sönüm (Quench) Etkisi**

Sönüm (Quench) sıvı sintilasyon çözeltilisindeki enerji kaybının bir sonucu olarak sistem verimindeki azalmadır. Sönüm, radyonüklitten algılanan enerji spektrumunun daha düşük bir enerjiye doğru kaymasına neden olur (Şekil 17).



**Şekil 17.** Enerji spektrumu üzerine sönümün etkisi

Quench, dedektörün sayım verimine etki eder. LSC' de sayım verimi;

$$\% \text{ Verim} = \frac{CPM}{DPM} \times 100 \quad (15)$$

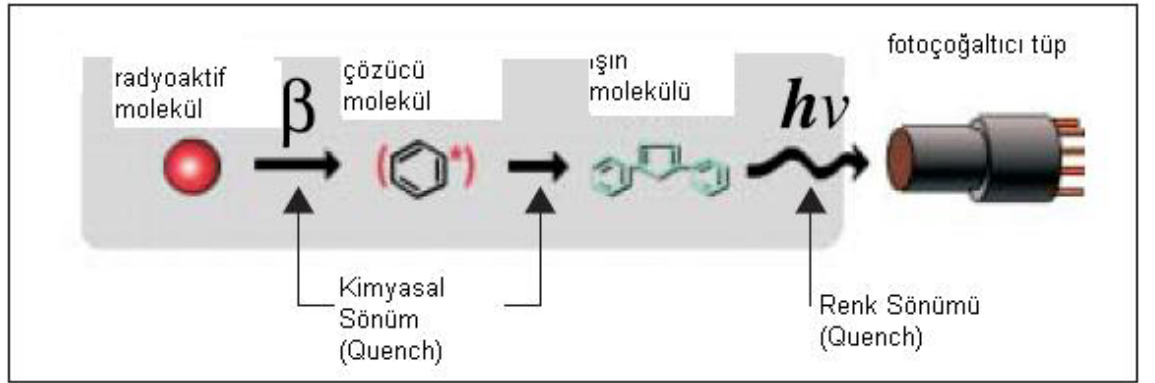
Numunenin uygun bir sıvı sintilasyon solüsyonu içinde diğer maddelerle birleşmesini içermektedir. Problemler genelde bu aşamada ortaya çıkabilirler. Çünkü birçok numune genelde sulu solüsyonlarla hazırlanırken, çoğu sıvı sintilasyon solüsyonları toluen veya diğer organik çözücülere dayanmaktadırlar. Bu nedenle ölçümler için birbirinden farklı yöntemler mevcuttur. Yaygın bir problem sönüm (quenching) olarak adlandırılan olayın, çoğu kez sintilatör solüsyonunun içinde etkin bir şekilde birleşebilecek olan numune maddesinin miktarını sınırlandırmasıdır (Knoll, 1989).

Bir örnek kabı içine konulan sintilasyon kokteyli, örnek içinde bulunan radyoizotoptan gelen radyasyon emisyonlarını ışığa çevirir. Bu ışık, dedektörün fotoçoğaltıcı tüpüne ulaştığı anda sayıcı tarafından dedekte edilir. Fotokatoda üretilen fotoelektron sayısı (puls yüksekliği) gelen foton sayısı ile orantılıdır. Quench olayı fotokatoda ulaşan fotonların sayısında azalmaya neden olur, bu nedenle elektriksel puls yüksekliği azalır (Tsoulfanidis, 1995).

Bu olay enerji spektrumunun (puls yükseklik spektrumu) düşük enerjiye doğru kayması ve sayımda azalmanın gözlenmesi ile anlaşılabilir (Şekil 17). Betaların daha düşük enerjili betalarmış gibi dedekte edilmesine neden olur. Yüksek enerjili nükleitlerin ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$ , alfa yayınlıyıcılar) sayımında çok az bir azalma görülür ancak düşük enerjili

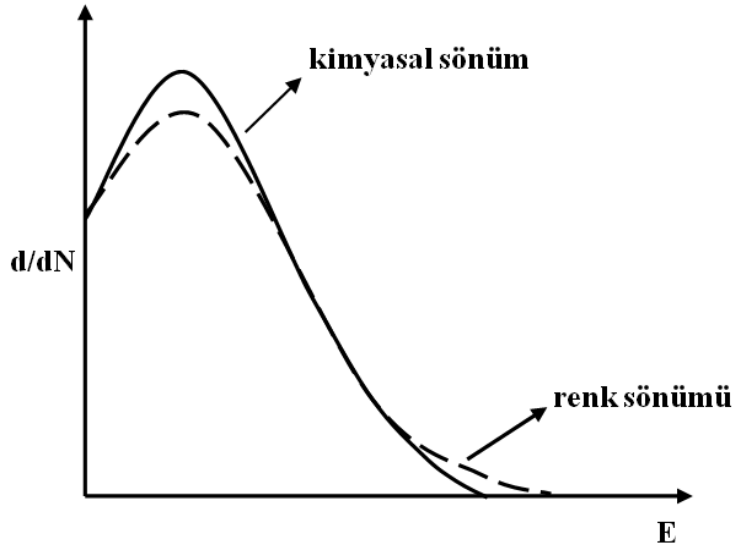
nüklitler için ( $^3\text{H}$ ) quench gerçekleştiği zaman sayımdaki azalma ve spektrumdaki kayma büyük olur (Elmer, 2001).

Quench; kimyasal (safsızlık), renk ve fiziksel quench olmak üzere üç çeşitte gerçekleşir. Kimyasal quench elektronegatif elementler (holojenler) nedeniyle gerçekleşir. Bu elementler elektronları dış yörüngeleri doldurmaya zorlarlar. Böylece bir elektronun yüksek enerjili uyarılmış durumlarına zarar verirler. Renk quench'i ışığın, fotonların sintilatörden fotoçoğaltıcı tüpe iletimi sürecinde absorpsiyonudur. Fiziksel quench, örneğin fiziksel formu nedeniyle gerçekleşir (Örn. numunenin çökelti ya da parçacık içermesine bağlı olarak ışığın dağılması). Quench azalması gözlenirse quench düzeltmesi yapılır ve ayrıca spektrum analizleri yapılarak örnek içinde ne tür sönüm ajanının olduğu tespit edilebilir (Elmer, 2001).



**Şekil 18.** Enerji transfer işlemindeki quench

Örneğin LSC kullanılarak idrar için trityum analizi yapılırken en büyük problem renk quench'idir. Renk quench'inin nedeni varolan organik bileşiklerdir. Renk quench'i örnekteki organik bileşikler ile sintilasyon kokteylinin floresans emisyonunun üst üst binmesi nedeniyle gerçekleşir (Watanebe vd., 2006). Örneğin renksizleştirilmesi UV ışınlarıyla, hidrojen peroksit ya da benzoyl peroksit eklenmesiyle sağlanabilir (Anonimous, 2004).



**Şekil 19.** Kimyasal ve renk sönüm ajanları için puls yükseklik dağılımlarının karşılaştırılması

#### 1.11.6. LSC'de Quench Düzeltme Metodlar

- A. Dahili Standart (IS) Metodu
- B. Numune Spektrumu Karakterizasyon Metodu
  1. Örnek Kanallar Oranı(SCR)
  2. Örnek Kanal Oranı ve Dahili Standart Birleşimi(IS-SCR)
  3. Örnek Spektrum Quench-Gösterge Parametresi
    - a. Örneğin Spektral İndeksi(SIS)
    - b. İzotopun Spektum Quench Parametresi SQP(I)
    - c. İzotopun Asimetrik Quench Parametresi AQP(I)
- C. Harici Standart Quench Gösterge Parametreleri
  1. Harici Standart Kanalların Oranı(ESCR)
  2. H-numarası (H#)
  3. Bağlı Puls Yüksekliği(RPH) ve Harici Standart Pulsu(ESP)
  4. Harici Standart Spektral Quench Parametresi SQP(E)
  5. Harici Standartın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi (tSIE)
  6. G-numara (G #)

LSC' de quench düzeltme metotları yukarıda sıralanmıştır. Bu çalışmada quench düzeltme metodu olarak tSIE, yani harici standardın dönüştürülmüş spektral indeksi metodu kullanılmaktadır.

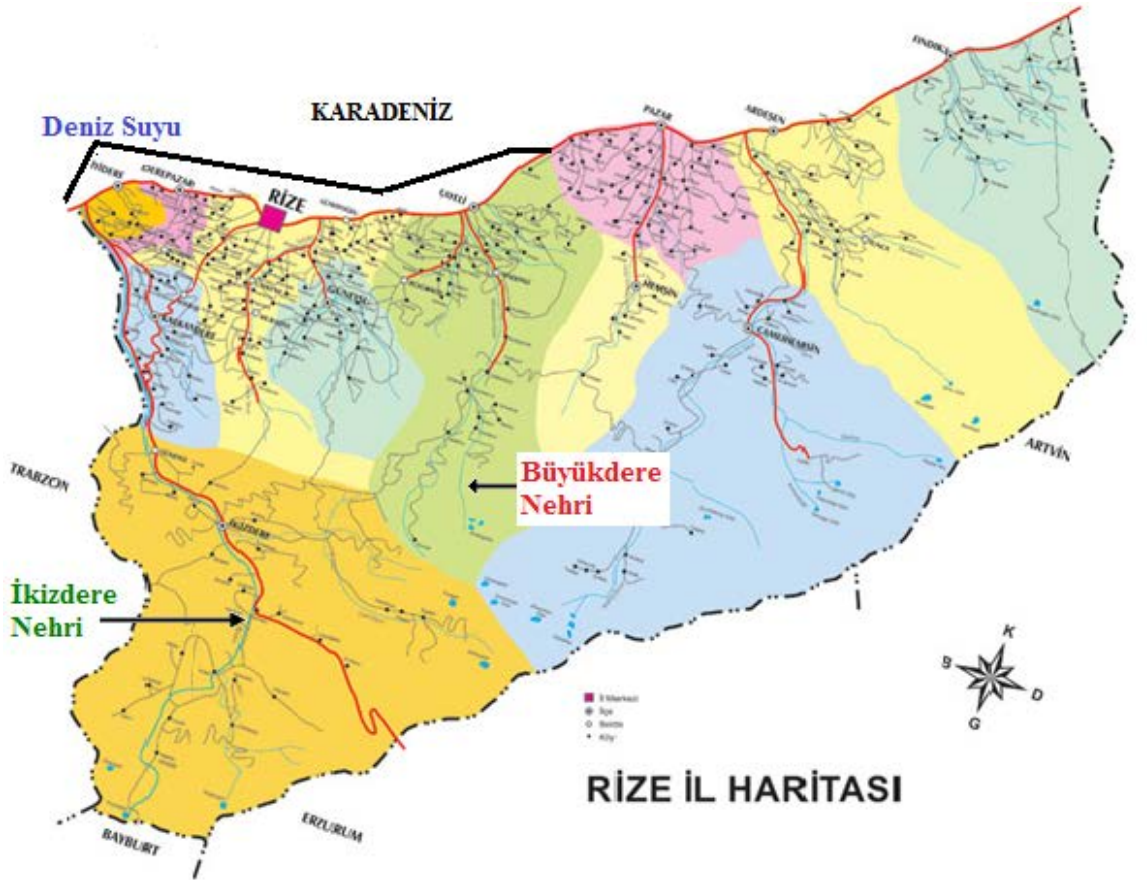
### **1.11.7. Harici Standartın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi (tSIE)**

Quench düzeltmenin tSIE yönteminde, gama ışın kaynağı olarak <sup>133</sup>Ba kullanılır. tSIE' nin ölçümü için <sup>133</sup>Ba gama ışını kaynağı numune vialin altına yerleştirilir. Numunenin altındaki harici standart konumlandırması numune hacminin çeşitliliğini telafi eden quench ölçümü üretir. tSIE' nin değeri bu yüzden <1 ml numune flour kokteyl karışımları için bile doğru biçimde belirlenebilir.

Harici standart yönteminin tek dezavantajı; numunenin tek başına sayılması gerektiği ve sonra harici standart oluşumuyla tekrar sayılması gerektiğidir. Bu fazladan sayma adımı genellikle numune hacmi ve quench seviyesine bağlı olarak yaklaşık 6-120 s ilave bir sayım zamanı gerektirir (Elmer, 2001).

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan bu çalışmada Rize iline bağlı Büyükdere Nehri, İkizdere Nehri ve sahil şeridi boyunca alınan Deniz suyu örneklerinde trityum aktivitesi hesaplandı. Büyükdere Nehrinden 24 tane, İkizdere Nehrinden 32 tane ve sahil şeridi boyunca alınan deniz suyu örneklerinden ise 23 örnek toplandı. Örnekler nehir ve sahil şeridi boyunca her 2 km de bir belirlenen noktalardan alındı. Örneklerin alındığı çalışma bölgesi aşağıdaki haritada gösterilmektedir.



Şekil 20. Çalışma Bölgesi

### 2.1. LSC Cihazının Ölçüme Hazırlanması

Cihazla birlikte gelen 3 adet unquench standartla cihaz kalibre edilerek, trityum ölçümlerin sınır değerlerde olduğu belirlendi. Unquench standartların ölçüm değerleri aşağıdaki Tablo 3’de verilmektedir.

**Tablo 3. Kalibrasyon bilgileri**

Calibration Information	
Software Version IC:	2.12
Software Version EC:	3.00
Instrument Model:	Tri-Carb 2910TR
Instrument Serial Number:	084531
3H Chi Square:	16.19
Date Processed:	2/12/2015 2:28:55 PM
14C Chi Square:	27.42
Date Processed:	2/12/2015 2:28:55 PM
3H E <sup>2</sup> /B (1-18.6 keV):	356.83
Date Processed:	2/12/2015 2:28:55 PM
14C E <sup>2</sup> /B (4-156 keV):	685.93
Date Processed:	2/12/2015 2:28:55 PM
3H Efficiency (1-18.6 keV):	61.06
Date Processed:	2/12/2015 2:28:55 PM
14C Efficiency (4-156 keV):	92.53
Date Processed:	2/12/2015 2:28:55 PM
IPA Background	Date Processed: 2/12/2015 2:28:55 PM
3H Background CPM (1-18.6 keV):	10.45
Date Processed:	2/12/2015 2:28:55 PM
14C Background CPM (4-156 keV):	12.48
Date Processed:	2/12/2015 2:28:55 PM
3H Calibration DPM:	264300
3H Reference Date:	4/23/2009
14C Calibration DPM:	131700

LSC Cihazında analiz metodunun doğruluğunu kontrol etmek için, sertifikalı trityum çözeltisi kullanıldı. (Eckert & Ziegler, P.O. No: P70023, Kaynak No: 1676-44). Bilgileri Tablo 4’de verilmektedir.

**Tablo 4. Sertifikalı Trityum çözeltisi**

Sertifikalı Trityum Çözeltisi	
Referans tarihi	1.6.2013
Aktivite (Bq/L)	4995

Ölçümlerin doğruluğunu kontrol etmek için ana stok çözeltisi, laboratuvar standardı (DWS) ve spike çözeltisi (RWS) hazırlandı. Bunların hazırlanma şekli aşağıdaki tablolarda yer almaktadır.

**Tablo 5.** Ana stok çözeltisi

<b>Ana Stok Çözeltisi</b>	
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)	4949,9195
Ana stok çözeltisinin aktivitesi (Bq/L)	2062,4665

**Laboratuvar Standardı (DWS):** Radyoaktif referans standart sağlayan, uluslar arası izlenebilir organizasyonlardan temin edilen stok standart çözeltiden, laboratuvarların kendi ihtiyaçlarını karşılayacak derişimde hazırladıkları H-3 içeriği bilinen standart çözeltidir.

**Tablo 6.** Laboratuvar standardı (DWS)

<b>Laboratuvar Standardı (DWS)</b>	
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/L)	2062,4665
Laboratuvar standardının aktivitesi (Bq/L)	4,1249

**Spike (RWS):** Trityum analiz sürecinin destilasyon ve sonrasındaki süreçlerinde problemlerin gözlenmesini sağlamak amacı ile kullanılan, trityum içeriği bilinen çözeltidir.

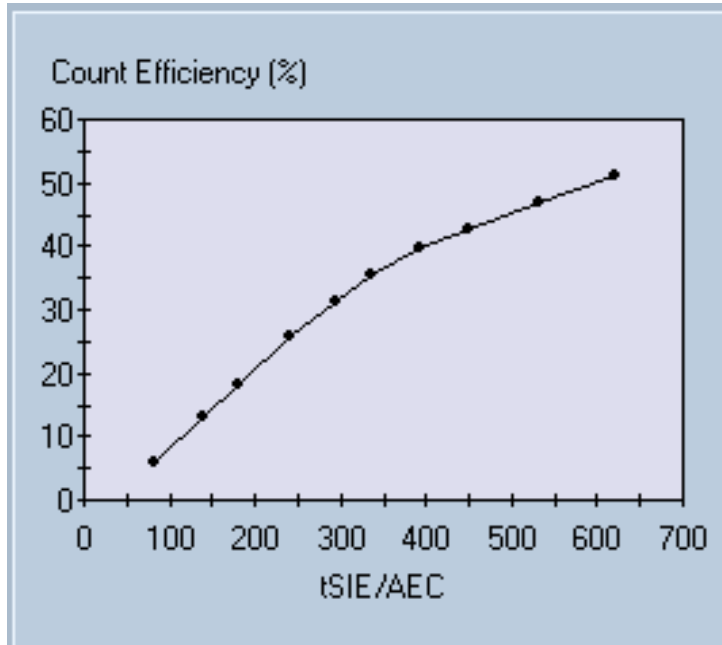


**Tablo 7.** Spike çözeltisi (RWS)

Spike Çözeltisi (RWS)	
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/L)	4,1249
Spike çözeltisinin aktivitesi (Bq/L)	0,4125

**Ölü su(DW):** Tritiyum içermediği kabul edilen damıtılmamış zenginleştirilmemiş standart su örneğidir.

Üniversitemizin Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında var olan quench standartları LSC cihazında ölçülerek kalibrasyon eğrisi elde edildi. Kalibrasyon eğrisi Şekil 21’de gösterilmektedir.



**Şekil 21.** Tritiyum için quench eğrisi

## **2.2. Materyal**

Bu çalışmada ASTM' nin D4107-08 nolu yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem ve basamaklara geçmeden önce, örneğin deney aşaması ve cihazda sayıma hazır hale getirilmesine kadar bazı önemli tanım ve standartlar hakkında bilgi vermek doğru olacaktır.

Yapılan çalışmada numuneler aşağıdaki aşamaları içermektedir.

- i. Su örneklerinin araziden toplanması
- ii. Laboratuarda uygun koşullarda saklanması
- iii. Sayıma hazırlanması ve Destilasyon
- iv. Sistemin sayıma hazırlanması ve Numunelerin cihaza yerleştirilmesi
- v. Örneklerin sayılması
- vi. Sayım sonuçlarının değerlendirilmesi
- vii. Hesaplamalar

## **2.3. Su Örneklerinin Araziden Toplanması**

Bu aşamada, yapılan araştırma için 79 su örneği Rize'nin Büyükdere Nehrinden 24 tane, İkizdere Nehrinden 32 tane ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca deniz suyundan 23 tane alınmış olup, bu gezi taşınabilir GPS cihazı ile örnek alımı yapılan tüm noktalar için aktif olarak kaydedilmiştir. Ayrıca toplanan tüm örnekler örnek alım formuna da kayıt edilip, etiketleme yöntemiyle koordinat ve rakım bilgilerinin manuel yedeklenmesi de sağlanmıştır.

## **2.4. Laboratuarda Uygun Koşullarda Saklanması**

Laboratuara ulaştırılan 500 ml'lik pet şişelerdeki örnekler analiz sırası gelinceye kadar kapakları açılmadan, buzdolabında 4 °C ' de muhafaza edilmiştir.

## **2.5. Örneklerin Sayıma Hazırlanması – Destilasyon**

Örneklerin laboratuarda geçirdikleri ilk işlem "Destilasyon" olarak adlandırılan destilasyon-saflaştırma-ayırıştırarak arıtma sürecidir. Bu aşamanın amacı analize girecek örneklerin içerisindeki kimyasal bileşikleri sudan ayırmaktır.



**Şekil 22.** Destilasyon ünitesi

Destilasyon işlemi ile örneğin saflaştırılması, örnekler arasında farklılığa neden olabilecek kimyasal bileşikler nedeni ile sayım sırasında oluşabilecek hatalı parıldamaların engellenmesi sağlanmıştır. Bu da 0,05 N  $\text{KMnO}_4$  ve 6 M lık NaOH bileşiklerinin 250 ml' lik balona koyulan örnek sularına birkaç damla damlatılması ile gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 23.** Potasyum Permanganat ve Sodyum Hidroksit

Destilasyon sistemindeki yoğunlaştırma işlemi sürekli çeşme suyu ile soğutulan geri soğutucular tarafından sağlanmıştır. Destillenmiş su ise nuçe erlerinde toplanmıştır.

Bunları aşama aşama ele alacak olursak;

250 ml' lik destilasyon balonuna örnekten  $\approx 20$  ml koyularak çalkalandı ve döküldü.

Balona  $\approx 200$  ml su örneği konuldu.

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 takıldı ve soğutucuya bağlandı.

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 kapatıldı ve 10-15 dk soğuması beklendi.

Nuçe erlerinde toplanan destilat, üzeri örnek kodu ve destilasyon tarihi ile etiketlenerek saklama kaplarına alınıp tekrar buzdolabına kaldırıldı (İkinci bir tekrar durumunda kullanılmak üzere).

Örnek sayım sisteminde analize hazır hale getirildi.

Her bir örnek için 20 ml lik polietilen vial hazırlandı.

Destilasyon sonrası toplanan destilattan 8 ml alındı

12 ml sintilatör çözeltisi ilave edildi.

İşlemi tamamlanan vialin kapağı kapatıldı ve kapağın üzerine örnek kodu ve tarih yazıldı.



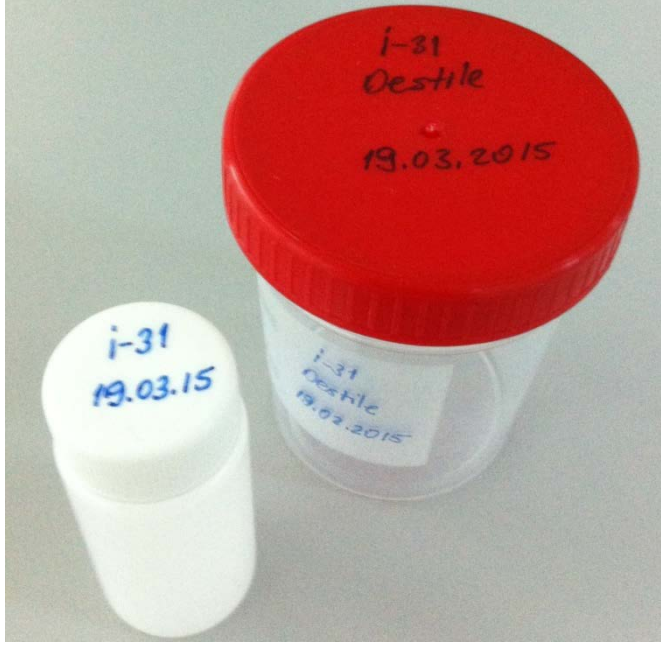
**Şekil 24.** Kullanılan malzemeler

DWS den 8 ml viale kondu ve kaydedildi.

12 ml sintilatör çözeltisi ilave edildi ve kaydedildi.

İşlemi tamamlanan vialin kapağı kapatıldı ve kapağın üzerine DWS ve tarih yazıldı.

RWS ve DW çözeltileri yukarıda tarif edilen şekilde hazırlandı (ASTM, 1987).



**Şekil 25.** Polietilen vial ve Destile örnek saklama kabı

Ve bu işlemler diğer tüm örnekler için tekrarlandı. Viallerin dış yüzeyleri etil alkolle silindi ve LSC laboratuvarına alındı.

#### **2.6. Sistemin Sayıma Hazırlanması ve Numunelerin Cihaza Yerleştirilmesi**

Cihazın arkasında bulunan düğmeleri kullanarak cihaz ve soğutma ünitesi açıldı.

Sayıma başlamadan 24 saat önce cihaz açıldı ve cihazın iç sıcaklığının dengeye gelmesi beklendi.

Sayıma konulacak örnekler etil alkolle silinip çalkalandı ve sayım kasetlerine konuldu.



**Şekil 26.** Hazırlanan numunelerin kasete konulması

Sayım kasetleri cihaza yerleştirildikten sonra numune ve cihaz iç sıcaklığının dengeye gelmesi için 24 saat beklendi.



**Şekil 27.** Örneklerin cihaza yerleştirilmesi

## **2.7. Örneklerin Sayılması**

Analiz edilen örnek ile ilgili tüm bilgiler (örnek miktarı, örnek ismi, sayım süresi, vs.) analiz defterine kaydedildi. Her bir örnek 150 dakika ve 10 tur olmak üzere toplamda 1500 dakika sayıldı.

Sayım programı oluşturuldu.

Su örnekleri için trityum sayımları açılan bir klasöre kaydedildi.

Protokol adı olarak örneklerin sayıma konulduğu tarih kullanıldı (gg.aa.yy).

## 2.8. Sayım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tanımlar:

**Chauvenet Kriteri:** Bu kritere göre, bir grup veri içerisinde ortalamadan sapma, grup içerisindeki verilerin herhangi birine eşit veya büyükse bu değer veri setinden atılır. Sayım sonuçları yapılan 10 turluk sayım sonucunda, sayımı yapılan her bir örneğe ait veri setine Chauvenet kriteri uygulanır ve bu kritere göre ortalamadan sapan değerler veri setinden atılır.

**Kemilüminesans:** Bir kimyasal reaksiyon, temel haline dönerken, ışık yayan veya enerjisini daha sonra emisyon yapacak başka bir türe aktaran, elektronik olarak uyarılmış bir tür verdiği durumlarda kemilüminesans meydana gelir. Kısaca kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelen ışık emisyonu olarak tanımlanabilir.

**R:** Örneğin saniyedeki ortalama sayım hızı.

**B:** Tritiyum içermeyen(ölü su) suyun ortalama sayım hızı(fon sayım hızı).

**E:** Sayım verimi

**V:** Örneğin hacmi, ml

**F:** Geri kazanım düzeltme faktörü.

**DWS:** Tritiyum konsantrasyonu bilinen ana standardın hazırlanmış, H-3 içeriği bilinen laboratuvar standardının ortalama sayım hızı.

**RWS:** Tritiyum konsantrasyonun bilinen laboratuvar standardından hazırlanmış distilasyonu kontrol standardının (spike) ortalama sayım hızı.

**Cps:** Saniyedeki sayım hızı

**Dps:** Saniyedeki bozunma hızı

**A:** Örneğin trityum aktivitesi, Bq/L

**N:** Örneğin ortalama net sayım hızı

## 2.9. Hesaplamalar

**Sayım verimi:** Cihaz için verim değeri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$E = \frac{DWS,cps - B,cps}{DWS,dps} \quad (16)$$

**Geri kazanım düzeltme faktörü:** Distile edilmiş örnekler için verim düzeltme faktörü aşağıdaki formüle göre hesaplanır.



$$F = \frac{RWS,cps-B,cps}{E \times RWS,dps} \quad (17)$$

### 2.9.1. Trityum Aktivitesi Hesabı

**R:** Örneğin saniyedeki ortalama sayım hızı.

**B:** Trityum içermeyen(ölü su) suyun ortalama sayım hızı(fon sayım hızı).

**E:** Sayım verimi

**V:** Örneğin hacmi,ml

**F:** Geri kazanım düzeltme faktörü.

$$A (Bq/L) = \frac{R-B}{E \times V \times F} \times 1000 \quad (18)$$

**Belirsizlik Hesabı:** Örneklerin trityum aktivitesinin belirsizliğini  $\pm 1\sigma$  aralığı için aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

Tanımlar:

$\sigma A$ : Örneğin trityum aktivitesindeki belirsizlik

$\sigma N$ : Örneğin ortalama net sayım hızındaki belirsizlik

$\sigma E$ : Sayım verimindeki belirsizlik

$\sigma V$ : Tartımdan gelen belirsizlik

$\sigma F$ : Geri kazanım düzeltme faktöründeki belirsizlik

$\sigma R$ : Örneğin ortalama sayım hızındaki belirsizlik

$\sigma B$ : Fon sayım hızındaki belirsizlik

$\sigma S, R$ : Örnek sayım hızı standart sapması

$\sigma S, B$ : Fon sayım hızı standart sapması

n : Ölçüm sayısı

$$\sigma A (Bq/L) = A (Bq/L) \times \sqrt{\left(\frac{\sigma N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sigma E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\sigma V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F}{F}\right)^2} \quad (19)$$

$$N = R - B \quad (20)$$

$$\sigma N = \sqrt{\sigma R^2 + \sigma B^2} \quad (21)$$

$$\sigma R = \frac{\sigma S, R}{\sqrt{n}} \quad (22)$$

$$\sigma B = \frac{\sigma S, B}{\sqrt{n}} \quad (23)$$

### 2.9.2. MDA ile MDC Hesabı

**MDA:** Minimum dedekte edilebilir aktivite değeri (Bq)

**MDC:** Minimum dedekte edilebilir konsantrasyon değeri (Bq/L)

**B:** Ölü su ortalama sayım süresi (cpm)

**T<sub>S</sub>:** Örnek sayım süresi (dakika)

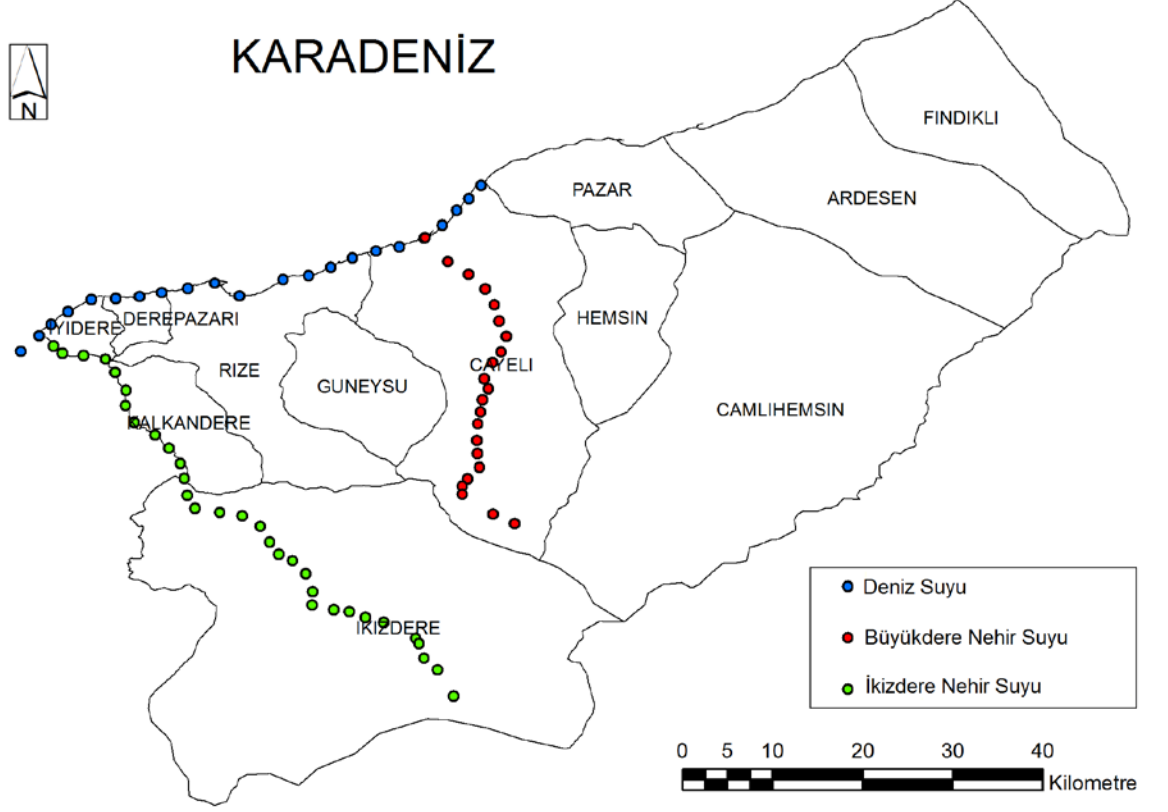
**T<sub>B</sub>:** Örnek su sayım süresi (dakika)

$$MDA = 3,29 \times \frac{\sqrt{B \times T_S \times (1 + T_S / T_B) + 3}}{T_S \times E \times V} \quad (24)$$

$$MDC = 16,7 \times 3,29 \times \frac{\sqrt{B \times T_S \times (1 + T_S / T_B) + 3}}{T_S \times E \times V} \quad (25)$$

### 3. BULGULAR

Örnek istasyonları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 28. Örneklerin alındığı noktaların haritada gösterimi

Büyükdere ve İkizdere Nehir suları ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca alınan su örnekleri için trityum konsantrasyon sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmektedir.

**Tablo 8.** Büyükdere nehir suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu

Örnek Kodu	Örnekleme Noktasının Koordinatları		Örnekleme Noktasının Rakımı (m)	Trityum Konsantrasyonu( Bq/L)
B-1	41,08537K	40,71413D	0	1,827± 0,918
B-2	40,92744K	40,88760D	5	<MDC
B-3	41,06140K	40,73724D	35	<MDC
B-4	41,04868K	40,75741D	77	<MDC
B-5	41,03396K	40,77402D	108	<MDC
B-6	41,01789K	40,78357D	117	<MDC
B-7	41,00180K	40,78796D	258	<MDC
B-8	40,98661K	40,79556D	306	<MDC
B-9	40,97097K	40,79055D	391	<MDC
B-10	40,96015K	40,78135D	439	<MDC
B-11	40,94457K	40,77329D	537	<MDC
B-12	40,93446K	40,77731D	616	<MDC
B-13	40,92313K	40,77125D	670	<MDC
B-14	40,91109K	40,76976D	796	<MDC
B-15	40,89857K	40,76688D	857	<MDC
B-16	40,88231K	40,76579D	985	<MDC
B-17	40,86942K	40,76641D	1005	<MDC
B-18	40,85581K	40,76877D	1247	<MDC
B-19	40,84381K	40,75640D	1444	<MDC
B-20	40,83661K	40,75136D	1587	<MDC
B-21	40,82864K	40,75144D	1748	<MDC
B-22	40,31473K	40,76031D	1927	<MDC
B-23	40,80864K	40,78219D	2104	1,720 ± 0,934
B-24	40,79912K	40,80374D	2297	1,379 ± 0,958
Maksimum				1,827± 0,918
Minumum				1,379 ± 0,958
Ortalama				1,642 ± 0,936

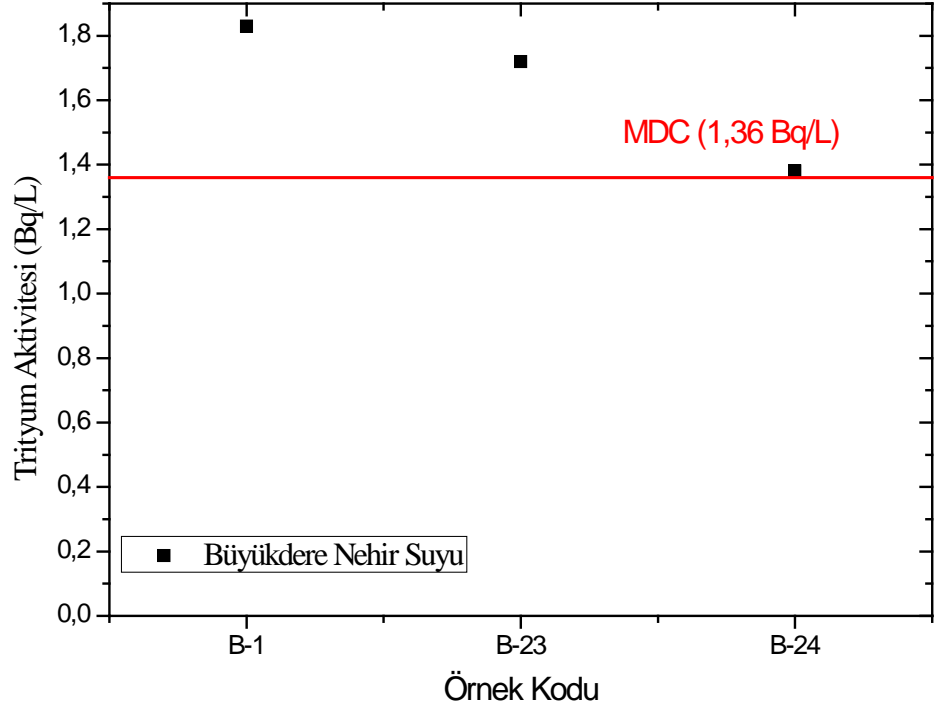
**Tablo 9.** İkizdere nehir suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu

Örnek Kodu	Örnekleme Noktasının Koordinatları		Örnekleme Noktasının Rakımı (m)	Trityum Konsantrasyonu(Bq/L)
İ-1	40,97691K	40,34255D	0	1,372 ± 0,940
İ-2	40,96971K	40,35149D	8,4	1,412 ± 0,928
İ-3	40,96782K	40,37261D	15	1,747 ± 0,929
İ-4	40,96381K	40,39500D	27	1,974 ± 0,929
İ-5	40,95019K	40,40404D	46	1,887 ± 0,912
İ-6	40,93240K	40,41525D	60	2,075 ± 0,957
İ-7	40,91708K	40,41463D	71	1,686 ± 0,959
İ-8	40,90058K	40,42384D	105	1,740 ± 0,919
İ-9	40,88785K	40,44443D	144	<MDC
İ-10	40,87437K	40,45781D	168	<MDC
İ-11	40,85937K	40,46987D	260	1,479 ± 0,922
İ-12	40,84450K	40,47373D	220	<MDC
İ-13	40,82755K	40,47628D	294	<MDC
İ-14	40,81433K	40,48398D	315	<MDC
İ-15	40,81023K	40,50919D	370	<MDC
İ-16	40,80689K	40,53125D	429	<MDC
İ-17	40,79638K	40,54987D	463	<MDC
İ-18	40,78094K	40,55883D	526	<MDC
İ-19	40,76827K	40,56796D	563	<MDC
İ-20	40,76165K	40,58201D	679	<MDC
İ-21	40,74901K	40,59518D	760	1,492 ± 0,924
İ-22	40,73079K	40,60161D	887	1,506 ± 0,982
İ-23	40,71750K	40,60134D	979	2,315 ± 0,958
İ-24	40,71287K	40,62264D	1165	1,867 ± 0,901
İ-25	40,71093K	40,63851D	1353	1,626 ± 0,981
İ-26	40,70500K	40,65424D	1480	<MDC
İ-27	40,70027K	40,67299D	1580	1,686 ± 0,970
İ-28	40,68401K	40,70496D	1800	<MDC
İ-29	40,67893K	40,70831D	1852	<MDC
İ-30	40,66444K	40,71323D	1960	<MDC
İ-31	40,65229K	40,72676D	2155	<MDC
İ-32	40,62627K	40,74248D	2348	<MDC
Maksimum				2,315 ± 0,958
Minimum				1,372 ± 0,940
Ortalama				1,724 ± 0,939

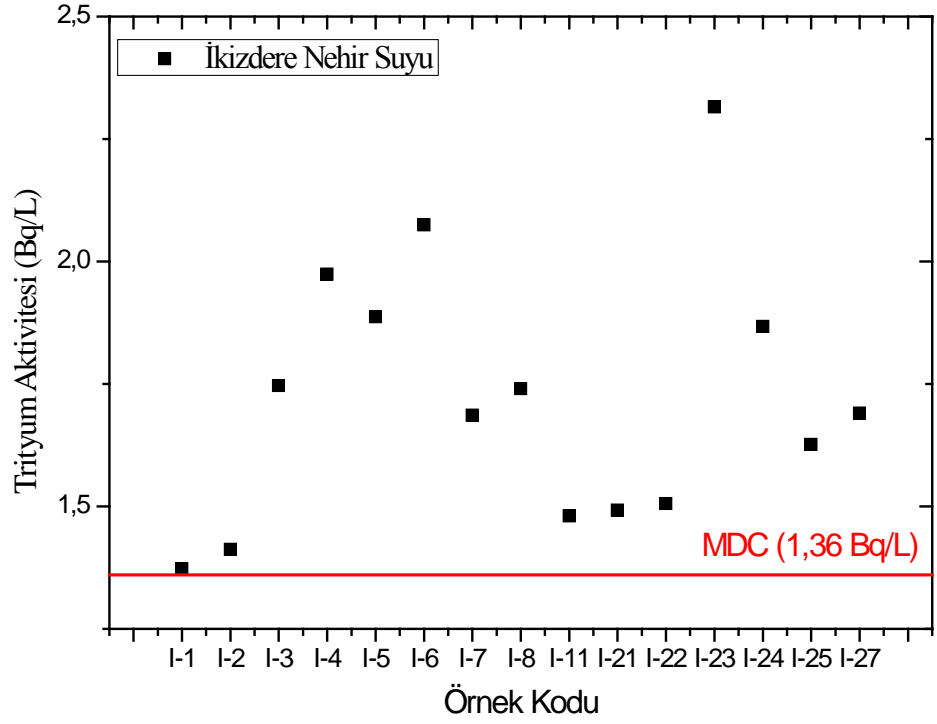
**Tablo 10.** Deniz suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu

Örnek Kodu	Örnekleme Noktasının Koordinatları		Trityum Konsantrasyonu ( Bq/L)
D-1	41,14274K	40,77667D	<MDC
D-2	41,12808K	40,76004D	<MDC
D-3	41,11242K	40,79682D	<MDC
D-4	41,09685K	40,73178D	<MDC
D-5	41,08484K	40,71343D	<MDC
D-6	41,07651K	40,68818D	<MDC
D-7	41,07184K	40,66471D	<MDC
D-8	41,06536K	40,64169D	<MDC
D-9	41,05588K	40,61990D	<MDC
D-10	41,04724K	40,59779D	<MDC
D-11	41,04355K	40,57224D	<MDC
D-12	41,09092K	40,55240D	<MDC
D-13	41,02709K	40,52876D	<MDC
D-14	41,03989K	40,50411D	<MDC
D-15	41,03493K	40,47706D	<MDC
D-16	41,03055K	40,45081D	<MDC
D-17	41,02637K	40,42866D	<MDC
D-18	41,02469K	40,40510D	<MDC
D-19	41,02353K	40,38030D	<MDC
D-20	41,01151K	40,35724D	<MDC
D-21	40,99871K	40,34023D	<MDC
D-22	40,98692K	40,32856D	<MDC
D-23	40,97149K	40,30995D	<MDC

Büyükdere ve İkizdere Nehir suları için trityum aktivite dağılım grafikleri aşağıdaki şekillerdeki gibidir. Deniz suyu örneklerinin tümü MDC'nin altında kaldığı için böyle bir grafik oluşturmak söz konusu değildir.



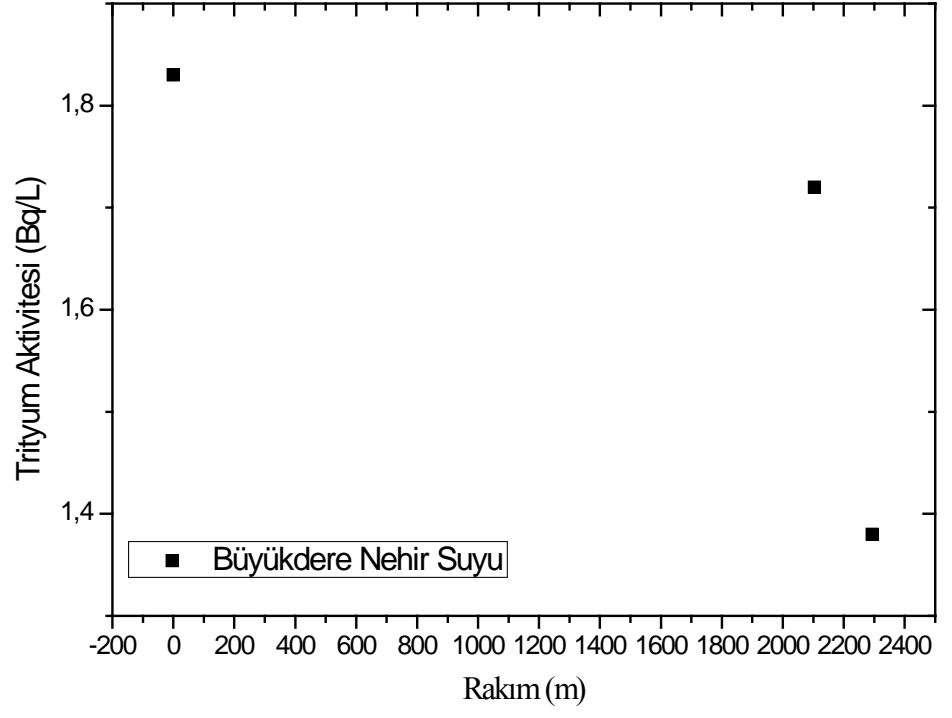
**Şekil 29.** Büyükdere nehir sularının trityum aktivite dağılımı



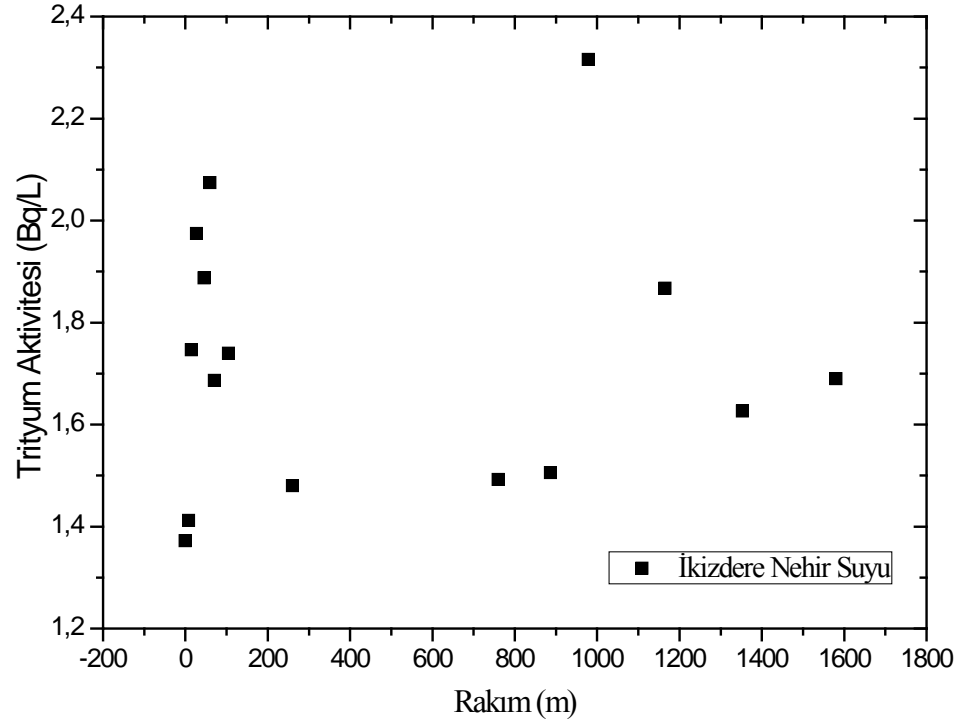
**Şekil 30.** İkizdere nehir sularının trityum aktivite dağılımı

Büyükdere ve İkizdere Nehri ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca deniz suyu örneklerinin alındığı noktaların koordinatları ve rakım değerleri GPS cihazı ile kayıt edilmiştir. Aşağıdaki grafiklerde Büyükdere ve İkizdere Nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı verilmektedir. Deniz suyu örneklerinin de alındığı noktalardaki koordinat ve rakım değerleri kayıt altına alınmıştır. Ancak tamamı MDC'nin altında kaldığı için böyle bir grafik oluşturmak mümkün olmamıştır.



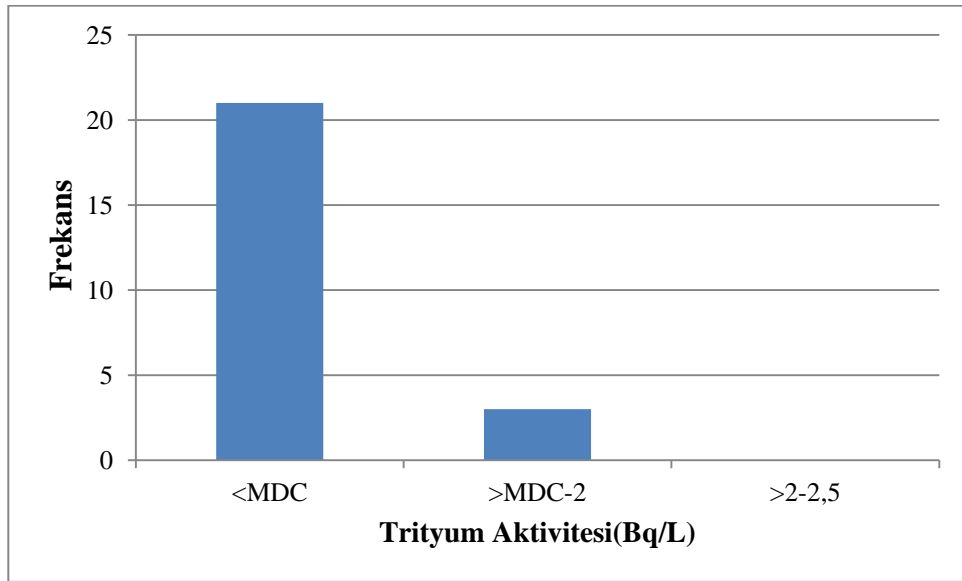


**Şekil 31.** Büyükdere nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı

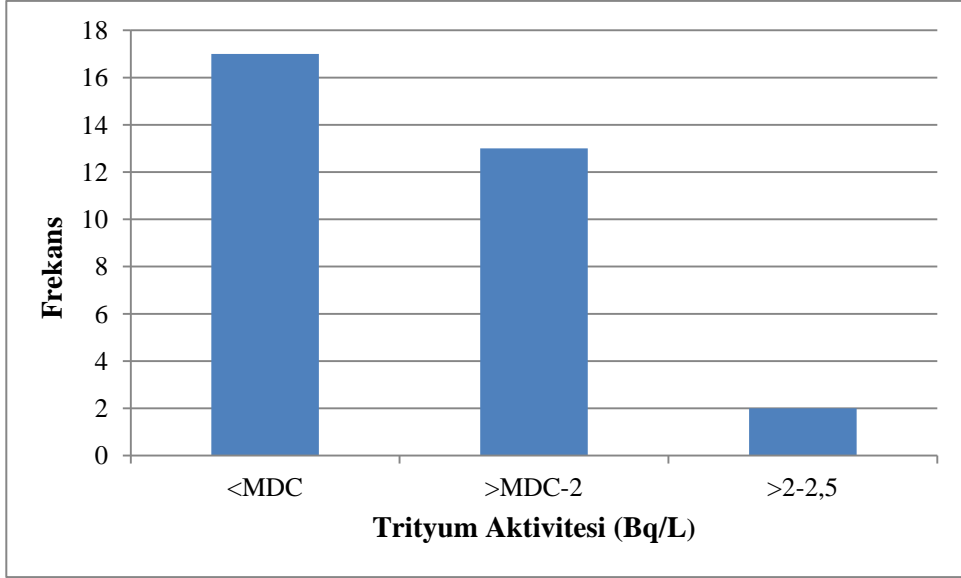


Şekil 32. İkizdere nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı

Büyükdere ve İkizdere nehir sularının trityum aktivitelerinin kategorik olarak gösterimi aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 33. Büyükdere nehir sularının trityum aktivitelerinin kategorik olarak gösterimi



**Şekil 34.** İkizdere nehir sularının trityum aktivitelerinin kategorik olarak gösterimi

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Rize İlinde bulunan Büyükdere ve İkizdere nehirleri ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca deniz suyundaki trityum konsantrasyonu belirlendi.

Büyükdere nehrinden alınan 24 örnek için ortalama trityum konsantrasyonu  $1.64 \pm 0.94$  Bq/L ( $13.88 \pm 7.95$  TU) olarak hesaplandı. En yüksek trityum konsantrasyonu  $1.83 \pm 0.92$  Bq/L ( $15.49 \pm 7.79$  TU) değerinde 41.08537 K – 40.71413 D koordinatlarında 0 m rakıma sahip, örnek kodu B-1 olan numunede bulundu. En düşük trityum konsantrasyonu ise  $1.38 \pm 0.96$  Bq/L ( $11.68 \pm 8.13$  TU) değerinde 40.79912K - 40.80374D koordinatlarında 2297 m rakıma sahip, örnek kodu B-24 olan numunede bulundu. 21 örnek ise MDC' nın altında kaldı.

İkizdere nehrinden alınan 32 örnek için ortalama trityum konsantrasyonu  $1.72 \pm 0.94$  Bq/L ( $14.56 \pm 7.95$  TU) olarak hesaplandı. En yüksek trityum konsantrasyonu  $2.32 \pm 0.96$  Bq/L ( $19.63 \pm 8.13$  TU) değerinde 40.71750K – 40.60134D koordinatlarında 979 m rakıma sahip, örnek kodu İ-23 olan numunede bulundu. En düşük trityum konsantrasyonu ise  $1.37 \pm 0.94$  Bq/L ( $11.59 \pm 7.95$  TU) değerinde 40.97691K- 40.34255D koordinatlarında 0 m rakıma sahip, örnek kodu İ-1 olan numunede bulundu. 17 örnek ise MDC' nın altında kaldı.

İkizdere Nehir suyundaki trityum konsantrasyonu Büyükdere Nehir suyuna göre daha yüksek çıktı.

İkizdere ve Büyükdere Nehirlerinin döküldüğü sahil şeridi boyunca toplanan 23 deniz suyu örneklerinin ise tamamı MDC' nın altında kaldı.

Toplamda 79 su numunesi için yapılan trityum konsantrasyonu analizi sonucunda 61 tane örnek MDC' nın altında kaldı.

Dünyanın farklı bölgelerine ait nehir ve deniz sularında trityum aktivite seviyelerine ilişkin birçok çalışma bulunmaktadır. Mevcut çalışmayla ilgili kıyaslamada bulunabilmek için, bu çalışmalardan bazılarının trityum konsantrasyonu ortalama veya değişim değerleri Tablo 11'de verilmektedir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar, Romanya nehir suyu örneklerinde (Forkapic vd., 2011) elde edilen sonuçlarla yakın değişim aralığındayken, Japonya (Kuzey ada) nehir suyu örnekleri (Momoshima vd.,

1991), Yugoslavya nehir suyu örnekleri (Hadzisehovic vd., 1992), İspanya nehir suyu örnekleri (Paloma vd., 2007) ve Sırbistan'daki nehir suyu örneklerinden (Forkapic vd., 2011) elde edilen sonuçlardan ise oldukça düşüktür. Aynı zamanda Tablo 11'den de görüldüğü üzere, Rize'nin İkizdere ve Büyükdere nehir suyu örnekleri, Japonya (Güney ada) nehir suyu örnekleri (Momoshıma vd., 1991), Finlandiya nehir suyu örnekleri (Marianna ve Alena, 2011) ve Hindistan (Varahi-Markandeya) nehir suyu örneklerine (Ravikumar ve Somashekar, 2011) göre yüksek trityum konsantrasyonuna sahiptir.

**Tablo 11.** Dünyada yapılan çalışmalar

Ülke	Trityum Konsantrasyonu(Bq/L)	Örnek çeşidi	Referans
Japonya (Kuzey ada)	2,42 ± 0,81 Bq/L (20,48±6,85 TU)	Nehir suyu	(Momoshima vd., 1991)
Japonya (Güney ada)	1,00 ± 0,36 Bq/L (8,46±3,05 TU)	Nehir suyu	(Momoshima vd., 1991)
Yugoslavya	2,4-15,9 Bq/L (20,31-134,56 TU)	Nehir suyu	(Hadzisehovic vd., 1992)
İspanya	3,6±0,6 Bq/L (30,47±5,08 TU)	Nehir suyu	(Paloma vd., 2007)
Sırbistan	2,21 Bq/L (18,7 TU)	Nehir suyu	(Forkapic vd., 2011)
Romanya	1,91 Bq/L (16,2±2,2 TU)	Nehir suyu	(Forkapic vd., 2011)
Hindistan	0,51±0,04Bq/L (4,34±0,34 TU)	Nehir suyu (Varahi)	(Ravikumar ve Somashekar, 2011)
Hindistan	0,66±0,09 Bq/L (5,61±0,84 TU)	Nehir suyu (Markandeya)	(Ravikumar ve Somashekar, 2011)
Finlandiya	0,92 Bq/L (7,8 TU)	Deniz suyu	(Marianna ve Alena, 2011)
Finlandiya	0,60 Bq/L (5,08 TU)	Nehir suyu	(Marianna ve Alena, 2011)
İrlanda	0,9-2,4 Bq/L (7,62-22,17 TU)	Deniz suyu	(Currivan vd., 2013)
Bu çalışma	1,64±0,94 Bq/L (13,88±7,95 TU)	Nehir suyu (Büyükdere)	(İpek, 2015)
Bu çalışma	1,72±0,94Bq/L (14,56±7,95 TU)	Nehir suyu (İkizdere)	(İpek, 2015)

## 5. ÖNERİLER

Bu araştırmada yalnızca Rize il sınırları içinde bulunan iki nehir suyunda ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca deniz suyunda trityum aktivite düzeyleri araştırılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda ölkemizin farklı bölgelerinde farklı örnekler üzerinde trityum analizi yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Altay, T., Çifter, C., 1996.** Tritiyum 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. Annual Book 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, Jr., 1994.** Handbook of environmental liquid scintillation spectrometry. Packard, 156s.
- Currihan, 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.
- Dashek, W, V., 2000.** Methods in plant elektron microscopy cytochemistry, Humana Pres, 300p.
- Dawis, R.M. and Watson, J.E., 1990.** Influence of 226Ra concentration in surrounding rock on 222Ra concentration in ground water. Health Physics, 58, 369- 371.
- Dsi Takk Dairesi Başkanlığı, 2003.** Elektroliz zenginleştirmesi ve sıvı sintilasyon sayma sistemi kullanılarak su numunelerinin trityum içeriği üzerindeki belirsizliklerin saptanması. Ankara, Türkiye, İZ–903.
- Elmer, P., 2001.** Handbook of liquid scintillation counting. Wallac.
- 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., Milijevic, 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 co- variance among seismicity, ground chemistry, and groundwater Radonin Southern California. Geophysical Research Letters, 445-448.
- IAEA 00725, 1996.** Radiation safety. International Atomic Energy Agency, IAEA Division of Public Information, 96-00725, PI, A47E.
- IAEA 115-I, 1994.** International basic safety standarts for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. International Atomic Energy Agency, 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.
- 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, 3<sup>rd</sup>. 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.
- Lawrence, E.P., Wanty, R.B., Nyberg. and P., 1992.** Contrubution of <sup>222</sup>Rn in indoor air in Colorado Homes. Health Physics, 62, 171–177.
- Marianna, K. and Alena, D., 2011.** Tritium in the Water Environmental of Baltic Sea Basin. 2010 International Conference on Biology, Environment and Chemistry IPCBEE vol.I.2011. Press, Singapore.
- Momoshima, N., Kaji, T., Poppy, I.T., Inoue, N.and Takashima, Y., 1991.** Tritium concentrations of river water on northern and southern islands of japan. Journal of Radioandytical and Nuelear Chemistry, 150 (1), 163-169.
- Mook, G.W., 2002,** Environmental isotopes in hydrology cycle principles and applications, İntroduction Theory, Methods, Review.
- Nicholson, P.W., 1973.** Nuclear Electronics. A Wiley-Interscience Publication, London
- Paloma. M., Penalver, A., Aquilar, C. and Borrull F., 2007.** Tritium activity levals in environmental water samples from different origis, Appl Radiat Isotopes, 67(9): 1048-56.
- Portakal, S., Birol, E., Ünlü, Y., Topçuoğlu, S., Varinlioğlu, A., Bayülgen, N., 1988.** Trityumun elektrolizle zenginleştirilmesi ve sayım yöntemi, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, A.R- 251.
- Ravikumar, P., and Somashekar, R.K., 2011.** Environmental Tritium and hydrochemical investigations to evaluate groundwater in Varahi and Markandeya river basins, Karnataka, İndia. Journal of Environmental Radioactivity. 102-153-162.
- Seyrek, E., 2007.** Radyoizotopların üretimi ve radyoterapide kullanılması. Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Ankara, Türkiye.
- Shepard, W.P., 1977.** The physician in industry, Ayer Publishing, 290p.
- Taşkın, H., 2006.** İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından Kırklareli ilinin fon radyasyonunun belirlenmesi ve haritalanması. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye 96s.
- Top, G., 2008.** Sıvı Sintilasyon Cihazı ile İçme Sularında Trityum Seviyelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 68s.
- TS 226, 1965, UDK 663-7,543, 1979.** İçme Suları. Türk Standartlar Enstitüsü, III. Baskı.
- Tsoufanidis, N., 1995.** Measurement and dedection of radiation. Taylor and Francis, London, 636p
- URL-1, 2015.** [https://tr.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrik\\_etki](https://tr.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrik_etki) (10 Haziran 2015)

**URL-2, 2015.** <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf2.html> (07 Temmuz 2015)

**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 <sup>222</sup>Ra concentration in North Caroline household water supplies derived from private wells. *Health*

**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

Neslihan İPEK, 12/02/1990 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğretimini 2005 yılında Pendik ilçesinde Ergenekon İlköğretim Okulu'nda ve Ortaöğretimini 2009 yılında Pendik ilçesinde 80.Yıl Nuh Çimento Lisesi'nde tamamladı. 09/10/2009 tarihinde başladığı lisans eğitimini 14/06/2013 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde 1'cilik derecesi ile tamamladı. 2013 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü'nde başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir.

### **Bilimsel Çalışmaları ve Yayınları,**

- 1- Dizman, S., İpek, N. and Keser, R., 2014. Tritium levels in bottled water sold in Rize, Turkey, 31th International Physics Congress, Muğla/Turkey, 21-24 July 2014.
- 2- Dizman, S., İpek, N. and Keser, R., 2014. Tritium levels in bottled mineral waters sold in Rize, Turkey, 8th International Conference on Luminescence and ESR Dosimetry, Ankara/Turkey, 27-29 August 2014.
- 3- İpek, N., F.Kağanoğlu Ç., Dizman, S. and Keser, R., 2015. Tritium Analysis In Sea Water Samples Along The Coastline Of Rize. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union. (BPU-9) August 24 – 27, 2015.
- 4- F.Kağanoğlu, Ç., Dizman, S. İpek, N. and Keser, R., 2015. Tritium Concentrations in Fırtına and Hemşin River Waters in Rize, Turkey. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union. (BPU-9) August 24 – 27, 2015.
- 5- F.Kağanoğlu, Ç., Dizman, S., İpek, N. and Keser, R., 2015. Investigation of Relationship Between Altitude and tritium concentrations in river waters. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union. (BPU-9) August 24 – 27, 2015.
- 6- İpek, N., Dizman, S., F.Kağanoğlu Ç. and Keser, R., 2015. Relationship with Altitude and Tritium Activity Levels of İkizdere River waters in Rize, Turkey. 1<sup>st</sup> International Conference on Environmental Science and Technology, 9-13<sup>th</sup> September 2015, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.