

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

**RİZE İLİ FIRTINA VE HEMŞİN NEHİR SULARI İLE**  
**BÖLGEDEKİ DENİZ SUYU ÖRNEKLERİNDEKİ TRİTYUM**  
**AKTİVİTE DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

**ÇİĞDEM FINDIKLI KAĞANOĞLU**

**TEZ DANIŞMANI**  
**DOÇ. DR. RECEP KESER**  
**TEZ JÜRİLERİ**  
**DOÇ. DR. ASU USTA**  
**YRD. DOÇ. DR. NİLAY AKÇAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**RİZE-2016**  
**Her Hakkı Saklıdır**

T.C.  
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RİZE İLİ FIRTINA VE HEMŞİN NEHİR SULARI İLE BÖLGEDEKİ DENİZ  
SUYU ÖRNEKLERİNDEKİ TRİTYUM AKTİVİTE DÜZEYLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

Doç. Dr. Recep Keser danışmanlığında, Çiğdem Fındıklı Kağanoğlu tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 06/05/2016 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

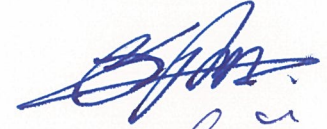
**Jüri Üyeleri**

**Unvanı Adı Soyadı**

**İmzası**

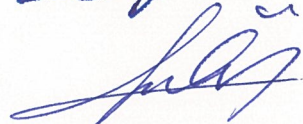
Başkan:

Doç. Dr. Recep KESER



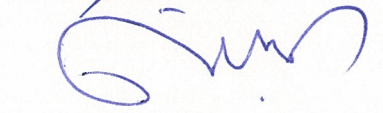
Üye :

Doç. Dr. Asu USTA



Üye :

Yrd. Doç. Dr. Nilay AKÇAY



Prof. Dr. Selami ŞASMAZ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim dalı öğretim üyesi Doç. Dr. Recep KESER danışmanlığında hazırlanarak Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalına Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Çalışmalarım süreci boyunca bilgi, öneri ve yardımlarıyla beni destekleyen saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Recep KESER'e, Uzm. Dr. Serdar DİZMAN'a, Arş. Gör. Sait Barış GÜNER'e, yardımlarından dolayı RTEÜ Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr. Ali Erdem ÖZÇELİK'e, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)'undan değerli hocalarım Dr. Funda BARLAS ŞİMŞEK, Dr. Neşet ÖZTÜRK, Dr. Halim TAŞKIN ve Mühendis Ayhan YÜKSEL'e bana verdikleri her türlü destek ve bilgi paylaşımından dolayı çok teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim, bu günlere gelmemde emeği olan babam Mustafa FINDIKLI, annem Tülay FINDIKLI ve eşim Ali KAĞANOĞLU'na en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

Yaşamım boyunca beni hep destekleyen emekleri büyük sevgili ablam Ümit UÇAR ve eşi Mehmet UÇAR'a, kız kardeşim Betül FINDIKLI YILMAZA'a ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak çocuklarım Birsu ve Kuzey KAĞANOĞLU'na kendileri küçük olsa da katkıları çok büyük olduğu için özellikle teşekkür eder sevgilerimi sunarım.

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

**ÇİĞDEM FINDIKLI KAĞANOĞLU**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan ‘‘Rize İli Fırtına ve Hemşin Nehir Suları ile Bölgedeki Deniz Suyu Örneklerindeki Trityum Aktivite Düzeylerinin 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. 06/05/2016

ÇİĞDEM FINDIKLI KAĞANOĞLU

**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 İLİ FIRTINA VE HEMŞİN NEHİR SULARI İLE BÖLGEDEKİ DENİZ SUYU ÖRNEKLERİNDEKİ TRİTYUM AKTİVİTE DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

Çiğdem FINDIKLI KAĞANOĞLU

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

Bu çalışmadaki amaç, Rize bölgesindeki Fırtına ve Hemşin nehirlerinde ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca alınan deniz suyu örneklerinde 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 gerçekleştirildi. Örnekleme koordinatları Magellan Explorist 510-GPS cihazı ile kaydedildi. Fırtına nehrinden 26, Hemşin nehrinden 23 ve sahil şeridi boyunca alınan deniz suyu örneklerinden 28 olmak üzere toplamda 77 örnek için trityum konsantrasyonu belirlendi. Minimum dedekte edilebilir aktivite konsantrasyon değeri (MDC) 1,36 Bq/L olarak tespit edildi. Sıvı sintilasyon sayım sistemi ile belirlenen Fırtına ve Hemşin nehirleri ile denizden alınan su örneklerine ait ortalama trityum aktivite konsantrasyonları sırasıyla,  $2,666 \pm 1,136$  Bq/L,  $2,298 \pm 1,111$  Bq/L ve  $1,874 \pm 1,161$  Bq/L olarak belirlendi. Fırtına nehri su örneklerinden 2, Hemşin nehri su örneklerinden 6 ve sahil şeridi boyunca alınan deniz suyu örneklerinin ise 8'i MDC' nin altında kaldı.

2016, 94sayfa

Anahtar Kelimeler: Çevresel Rdayoaktivite, Trityum, LSC

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF TRITIUM LEVELS FIRTINA ,HEMŞİN RIVERS AND SEA WATER SAMPLES IN RIZE

Çiğdem FINDIKLI KAĞANOĞLU

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

The aim of this dissertation is to determine tritium levels in the seawater of Firtına and Hemşin 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 26 samples from Firtına River, 23 samples from Hemşin River, and 28 samples from the seawater along the coastline, tritium concentration were calculated for 77 samples in total. Minimum detectable activity concentration (MDC) was determined as 1,36 Bq/L. The average tritium activity concentrations for Firtına, Hemşin Rivers water samples and sea water samples for average tritium activity concentrations which were determined by liquid scintillation counting system were calculated as  $2,666 \pm 1,136$  Bq/L,  $2,298 \pm 1,111$  Bq/L and  $1,874 \pm 1,161$  Bq/L respectively. 2 water samples from Firtına River, 6 water samples from Hemşin River, and 8 water samples taken from the seawater along the coastline were lower than MDC.

2016, 94 pages

**Keywords:** Environmental Radioactivity, Tritium, LSC

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ .....	IX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Radyasyonun Tanımı ve Çeşitleri.....	4
1.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyon .....	6
1.2.1.1. Beta Işınları.....	7
1.2.1.2. Gama Işınları .....	8
1.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon .....	9
1.3. Radyoaktivite ve Radyasyon Birimleri.....	10
1.3.1. Aktivite Birimi.....	10
1.3.2. Işınlama Birimi .....	11
1.3.3. Soğrulma Doz Birimi.....	11
1.3.4. Doz Eşdeğer Birimi .....	12
1.4. Radyasyon Dozu.....	12
1.4.1. Nükleer Serpinti.....	13
1.4.2. Nükleer Serpentinin Biyolojik Etkileri .....	14
1.5. Radyasyon Kaynakları.....	14
1.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları .....	15
1.5.2. Yapay Radyasyon Kaynakları .....	18
1.6. Tritiyum .....	20
1.6.1. Tritiyumun Kullanım Alanları .....	25
1.6.2. Tritiyumun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri .....	25
1.7. Sıvı Sintilasyon Sayacı (LSC) .....	26
1.7.1. Fotoçöğaltıcı Tüp (PMT).....	29

1.7.2.	Sayım Kabları (Vialler) .....	31
1.7.3.	LSC’de Dedeksiyon Sistemi.....	31
1.7.4.	LSC’ de Sönüm (Quench) Etkisi .....	33
1.7.5.	Background.....	36
1.7.6.	LSC’de Quench Düzeltme Metodları .....	36
1.7.7.	Harici Standardın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi (tSIE) .....	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	39
2.1.	Giriş .....	39
2.2.	Arazi Çalışmaları .....	39
2.2.1.	Fırtına Nehir Suyu Örneklemelerinin Yapılması, Örneklerin Toplanması .....	40
2.2.2.	Hemşin Nehir Suyu Örneklemelerinin Yapılması, Örneklerin Toplanması.....	41
2.2.3.	Sahil Boyu Su Örneklemelerinin Yapılması, Örneklerin Toplanması .....	42
2.3.	Laboratuar Çalışmaları .....	43
2.3.1.	Örneklerin Hazırlanması.....	43
2.3.2.	Ölü Su (Blank DW) .....	43
2.3.3.	Laboratuar Standardı (DWS).....	44
2.3.4.	Spike(RWS).....	46
2.3.5.	Destilasyon .....	47
2.4.	Sistemin Sayıma Hazırlanması .....	48
2.4.1.	Sayım .....	49
2.4.2.	Sayım Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	50
2.5.	Hesaplamalar .....	50
2.5.1.	Tritiyum Aktivite Hesabı.....	50
2.5.2.	Sayım Verimi.....	51
2.5.3.	Geri Kazanım Düzeltme Faktörü:.....	52
2.5.4.	Belirsizlik Hesabı .....	52
2.5.5.	Minimum Algılanabilir Aktivite (MDA) Değerinin Hesaplanması .....	53
3.	BULGULAR .....	54
3.1.	Numune ve Standartlara Ait Sayımlar .....	55
3.2.	Toplanan Numunelerde Belirlenen Tritiyum Konsantrasyonu.....	57
4.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	62
4.1.	İçme Suları İçin Radyoaktivite Limitler .....	63
5.	ÖNERİLER .....	69



KAYNAKLAR .....	70
EKLER .....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	76



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1	Çekirdeklere ait kararlılık eğrisi.....	5
Şekil 2.	Elektromanyetik spektrum .....	7
Şekil 3.	Gama bozunum şeması.....	9
Şekil 4.	Nükleer serpinti .....	13
Şekil 5.	Çevresel radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları.....	15
Şekil 6.	Doğal radyasyon kaynakları.....	18
Şekil 7.	Tritiyumun radyoaktif bozunması .....	21
Şekil 8.	Hidrojenin izotopları .....	21
Şekil 9.	Tritiyumun beta bozunumu .....	22
Şekil 10.	Tritiyumun doğal döngüsü .....	22
Şekil 11.	Kuzey yarımkürede trityum konsantrasyonunun yıllara göre değişimi.....	24
Şekil 12.	Sıvı sintilasyon sayım cihazı (LSC).....	28
Şekil 13.	Fotoçoğaltıcı tüpün şematik gösterimi .....	29
Şekil 14.	Cam (a) ve plastik (b) Vialler.....	31
Şekil 15.	LSC'de çakışma ve toplama devreleri şeması .....	32
Şekil 16.	Enerji spektrumu üzerine sönümün etkisi .....	34
Şekil 17.	Enerji transfer işlemindeki quench.....	34
Şekil 18.	Kimyasal ve renk sönüm ajanları için puls yükseklik dağılımlarının karşılaştırılması.....	35
Şekil 19.	LSC tSIE-Verim ilişkisi raporu.....	38
Şekil 20.	Magellan explorist 510 GPS cihazı.....	39
Şekil 21.	Çalışma bölgesi .....	40
Şekil 22.	Destilasyon ünitesi .....	47
Şekil 23.	Örneklerin cihazda sayım kasetlerine yerleştirilmesi.....	48
Şekil 24.	Örneklerin alındığı noktaların haritada gösterimi .....	54
Şekil 25.	Fırtına, Hemşin nehri ve deniz suyu örneklerinin kategorik gösterimi.....	61
Şekil 26.	Deniz suyu örneklerinin trityum aktivite dağılımı .....	65
Şekil 27.	Fırtına nehir suyu örneklerinin trityum aktivite dağılımı .....	65
Şekil 28.	Hemşin nehir suyu örneklerinin trityum aktivite dağılımı .....	66
Şekil 29.	Hemşin nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı .....	67
Şekil 30.	Fırtına nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı .....	68

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b>	Radyasyon çeşitleri .....	4
<b>Tablo 2.</b>	Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri .....	10
<b>Tablo 3.</b>	Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri .....	17
<b>Tablo 4.</b>	Doğal Radyasyonun tıbbi ışımalara göre oranı.....	17
<b>Tablo 5.</b>	Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri .....	18
<b>Tablo 6.</b>	Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri .....	19
<b>Tablo 7.</b>	Doğal ve yapay radyasyon kaynakların küresel radyasyon dozuna oranları .....	20
<b>Tablo 8.</b>	Beta ışını yayan radyoaktif maddeler .....	26
<b>Tablo 9.</b>	Fırtına nehri örnek alım yeri koordinat bilgileri .....	41
<b>Tablo 10.</b>	Hemşin nehri örnek alım yeri koordinat bilgileri .....	42
<b>Tablo 11.</b>	Deniz suyu örnek alım yeri koordinat bilgileri.....	43
<b>Tablo 12.</b>	Ölü su (Blank DW)'ye ait sayım verileri.....	44
<b>Tablo 13.</b>	Laboratuar Standardı (DWS) .....	45
<b>Tablo 14.</b>	Lab. Standardı (DWS)'na ait sayım verileri .....	45
<b>Tablo 15.</b>	Spike (RWS).....	46
<b>Tablo 16.</b>	Spike (RWS)' na ait sayım verileri.....	46
<b>Tablo 17.</b>	N24 numunesine ait veri setine chauvenet kriteri uygulanması .....	50
<b>Tablo 18.</b>	Fırtına nehri su numunelerine ait sayım verileri .....	55
<b>Tablo 19.</b>	Hemşin nehri su numunelerine ait sayım verileri .....	56
<b>Tablo 20.</b>	Background ve standartlara ait sayım verileri .....	56
<b>Tablo 21.</b>	Deniz suyu numunelerine ait sayım verileri .....	57
<b>Tablo 22.</b>	Fırtına nehir suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu ve rakım bilgileri .....	58
<b>Tablo 23.</b>	Hemşin nehir suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu ve rakım bilgileri.....	59
<b>Tablo 24.</b>	Deniz suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu .....	60
<b>Tablo 25.</b>	Su Radyoaktivite analizinde kullanılan radyolojik parametreler ve limitler.....	63
<b>Tablo 26.</b>	Dünyada yapılan çalışmalar .....	64

## 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)
ICRU	International Commission on Radiation Units (Uluslar arası Radyasyon Birimleri Komisyonu)
Ci	Curie
Bq	Becquerel
Rad	Radiation Doze (Radyasyon dozu)
Gy	Gray (Soğurulmuş doz birimi)
Kg	Kilogram
Let	Lineer enerji transferi
Sv	Sievert
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements Radiation
c	Işık hızı
$\alpha$	Alfa parçacığı
$\beta$	Beta parçacığı
$\gamma$	Gama ışını
$\epsilon$	Verim
$\mu$	Sönüm katsayısı
$\lambda$	Dalga boyu
$\tau$	Ortalama ömür
$t_{1/2}$	Yarılanma süresi
n	Nötron
p	Proton
e	Elektron
h	Planc sabiti
DNA	Deoksiribonükleik asit
$^3\text{H}$	Trityum
NaI	Sodyum iyodür
CsI	Sezyum iyodür

Tl	Talyum
keV	Kiloelektron volt
Mev	Milyon elektorun volt
<sup>14</sup> C	Karbon-14
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
E	Enerji
cpm	Count per minute (dakikadaki sayım)
PMT	Photo multiplier tube (Fotoçoğaltıcı tüp)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TGD	Toplam gösterge dozu
DW	Dead water (ölü su, blank)
TU	Tritiyum konsantrasyonu
N	Normal
M	Molar
KMnO <sub>4</sub>	Potasyumpermanganat
NaOH	Sodyum hidroksit
ml	mililitre
MDA	Minimum dedectable activity (minimum algılanabilir aktivite)
MDC	Minimum dedectable concentration (minimum algılanabilir konsantrasyon)
DWS	Seyreltilmiş laboratuar standardı
RWS	Spike
V	Hacim
RSD	Relatif standart sapma değeri
U	Uranyum
R	Röntgen
Rem	Radiation equivalent man
f	Frekans
UNSCEAR	United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak trityum oluşur. 1950-1960 yılları boyunca gerçekleştirilen nükleer testler ve hala devam eden nükleer güç santralleri, normal koşullarda trityum üreten tesisler ve tüketici ürünleri (kendiliğinden parlayan ışık kaynakları vb.) trityumun oluşmasına neden olan diğer kaynaklardır.

Trityumun neden olduğu yıllık etkin doz eşdeğerinin 0,01 mSv olduğu tahmin edilmektedir (TAEK Raporu, 2009). Trityum yağışlara karışarak yer altına geçtikten sonra uzun yıllar yer altında bekler ve başka bir yeni suyla karışmazsa konsantrasyonu zamanla azalır. Yağışların trityum konsantrasyonu sabit olsaydı belli bir anda yukarıda sözü edilen yer altı suyunun trityum değeri ölçülerek giriş değerinden bu değere ulaşması için geçen zaman, radyoaktif bozunma bağıntısından kolayca hesaplanarak suyun yaşı bulunabilirdi.

Dünyanın değişik bölgelerinde içme suyu, doğal kaynak suyu, deniz suyu ve şişe suyu gibi birçok kategoride trityum düzeyinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan, çok sayıda çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

2007'de İspanya'nın Catalonia bölgesinde yapılan çalışmada farklı alanlardan alınan çevresel sulardaki trityum aktivitesi belirlenmiştir. Bu bölgedeki sulara bulunan trityum elementinin konsantrasyonunun ortalama aktivitesi sıvı sintilasyon sayıcı (LSC) kullanılarak ölçülmüştür. Örneklerle sıvı sintilasyon sayıcı ile sayım yapılmadan önce bir 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).

2008 yılında Türkiye’de yapılan çalışmada Eskişehir ve civarından alınan içme suyunun sıvı sintilasyon cihazı ile trityum seviyeleri belirlenmiştir. Bu çalışmada sayımdan önce örnekler destilasyon ve elektrolitle zenginleştirme ön işlem adımları uygulanmıştır. Numunelerden elde edilen trityum sonuçları  $0,73\pm 0,70$  ile  $8,10\pm 1,80$  arasında olup en yüksek değer olan  $8,10\pm 1,80$  Sarıcakaya ilçesinin şebeke suyu, en düşük değer olan  $0,73\pm 0,70$  ise Sazova şebeke suyudur (Top, 2008).

2009’da Romanya’da yapılan çalışmada çevresel trityum seviyesini ölçmek için iki farklı işlem uygulanmıştır. Alınan su örneklerindeki trityum konsantrasyonunu ölçme sıvı sintilasyon sayım tekniği temeline dayandırılmıştır. Destilasyon ve sıvı sintilasyon metodu her iki standart metod için yapılmıştır. Bu çalışma sıvı sintilasyon metodu kullanarak sayım verimini ölçmek için kullanılan farklı trityum standart çözeltilerine uygulanan bir karşılaştırma çalışmasıdır. Her iki standart metod önerilerine göre kullanıldığında aynı sonuçları vermiştir (Gören, 2011).

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).

2011 yılında Türkiye’de yapılan bir çalışmada, Adana’nın farklı yerleşim yerlerinden 21 adet su örneği toplanmıştır. Trityum seviyesi bu örneklerde <MDC ve 76,45 TU değerleri arasında değişmektedir. Bu sonuçlar litrede 839 TU (100Bq/L) olan kabul edilen limit değerinin altında tespit edilmiştir. Tüm ölçümler, Çukurova Üniversitesi, Gülten GÜNEL Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Gören, 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).

2015 yılında Türkiye’de yapılan çalışmada Rize bölgesi Büyükdere ve İkizdere nehirleri ile bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca deniz suyundaki trityum seviyeleri belirlenmiştir. Büyükdere nehrin’den 24, İkizdere nehrin’den 32 ve bu nehirlerin döküldüğü deniz suyundan 23 olmak üzere toplamda 79 örnek için trityum konsantrasyonu hesaplanmıştır. 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 hesaplanmıştır (İpek, 2015). Bu çalışmanın temel amacı Rize bölgesindeki Fırtına ve Hemşin nehirleri’nde ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca alınan deniz suyu örneklerinde trityum seviyelerini belirlemektir.

Elde edilen radyoaktivite konsantrasyon değerleriyle, bölgedeki doğal arkaplan radyasyonun çevredeki insanlarda oluşturacağı radyolojik risklerinin değerlendirilmesi

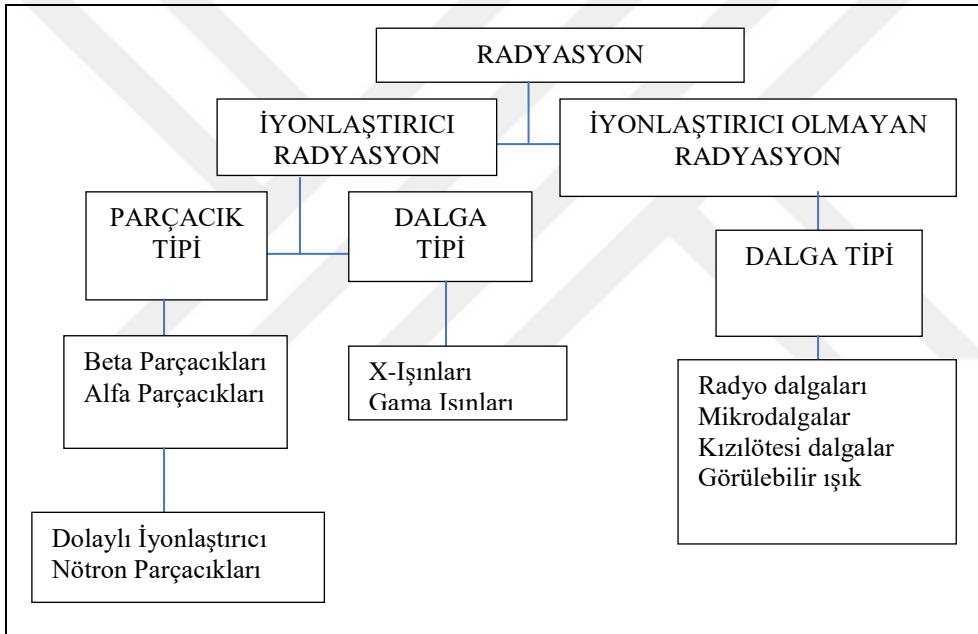


yapılarak ICRP ve UNSCEAR gibi uluslararası kuruluşların tavsiye ettiği üst değerlerle kıyaslanması yapılmıştır.

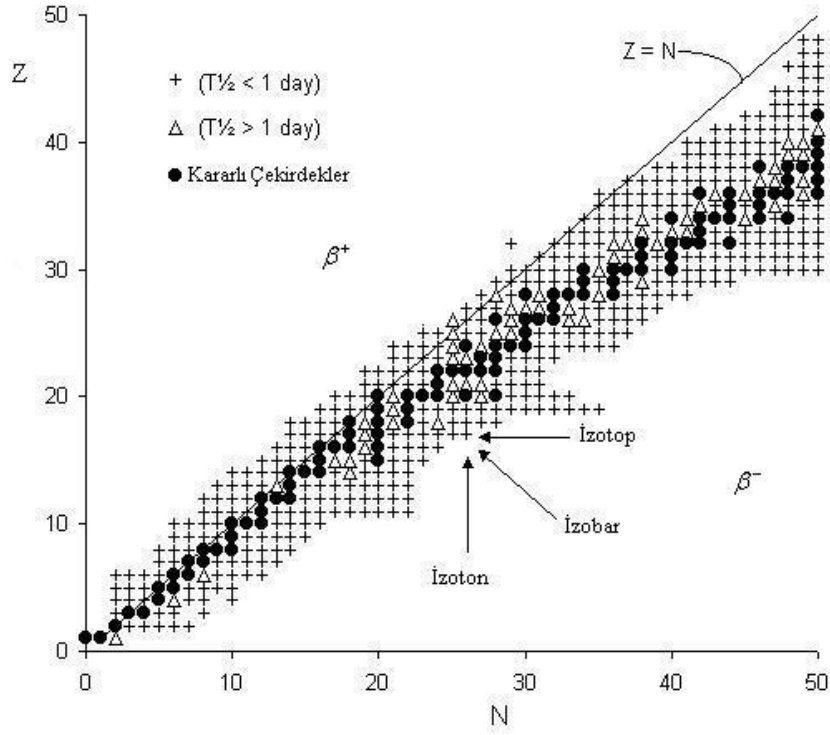
## 1.2.Radyasyonun Tanımı ve Çeşitleri

Radyasyon, kararsız atomlar tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanır. Yayımlanan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji parçacıklar ve elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir.

**Tablo 1.** Radyasyonun çeşitleri



Nükleer bilgi için en kolay yol nötron sayısını çekirdekler için proton sayısına oranlamaktır. Böylece kararlı çekirdekleri gösteren bir eğri çizilebilir. Bu eğri kararlı çekirdekleri tanımladığı için kararlılık eğrisi olarak adlandırıldığı gibi Segre tarafından çizildiği için Segre grafiği olarak da adlandırılır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Çekirdeklere ait kararlılık eğrisi

Kararlılık eğrisinin üstünde ya da aşağısında yer alan bir çekirdeğin bağlanma enerjisi kütle numarası olan  $A$ 'ya karşılık gelen minimum bağlanma enerjisinden daha fazladır.

Kararsızlık (radyoaktivite) oluşturan fazla protonunu 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.

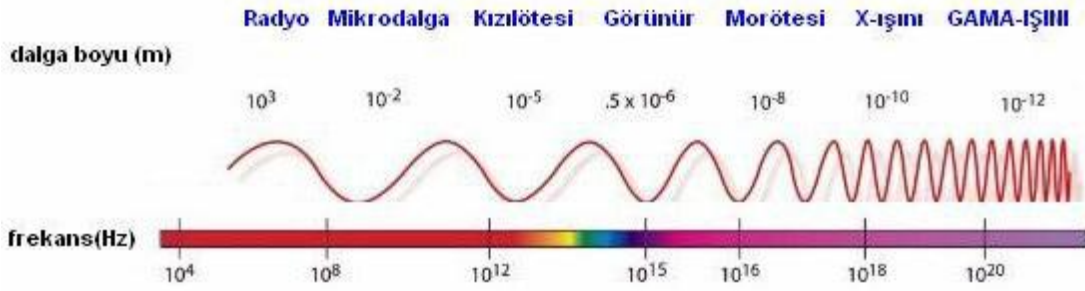
### 1.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

Yüksek enerjili radyasyon iyonize radyasyon olarak da tanımlanır ve atomdan elektron koparabilen dolayısı ile atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. İyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir (Taşkın, 2006).

Bununla birlikte, iyonlaştırıcı radyasyonun farklı türlerinin farklı biyolojik etkileri gözlemlenmiştir ve yüksek biyolojik zararlar verebilirler.

İyonlaşma derecesi ve niteliği, onların sayısına (yoğunluk) ve taneciklerin (fotonlar dahil olmak üzere) her birinin enerjilerine bağlıdır.

Genel olarak, ne olursa olsun şiddeti, yaklaşık 10 elektron volt (eV) ve daha yüksek enerjili tanecikler veya fotonlar, iyonlaştırabilir olarak kabul edilir. Bu enerji, elektromanyetik dalgalar halinde yayılan yüksek frekanslı ultraviyole ışınlarında ve ötesinde (X-ışınları ve gama ışınları) bulunur (Şekil 2).



**Şekil 2.** Elektromanyetik spektrum

İyonlaştırıcı radyasyona örnekler: X-ışınları, gama ışınları, alfa, beta radyasyonları, kozmik ışınlar, nötronlar.

### 1.2.1.1. Beta Işınları

Bir elementin çekirdeğindeki proton veya nötronların fazlalığından dolayı çekirdeğin yayınladığı yüksek enerjili elektronlardır. Beta ışınları da parçacık özelliği gösterirler. Bu ışınların yüksek enerjili olanları bile birkaç mm kalınlığındaki metal levha ile durdurulabilir.

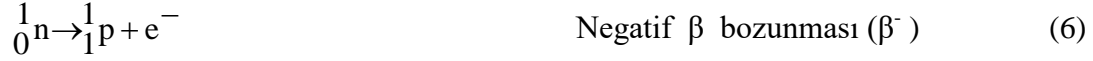
Beta saçan radyoaktif maddelere örnek olarak; Potasyum (K-40), Stronsiyum (Sr-90), Karbon (C-14) gösterilebilir.

Beta yayımlanması, çekirdekteki protonların veya nötronların kararlılığına göre fazlalığından meydana gelir. Çekirdekten nötron fazlalığı nedeniyle fazla nötronlar protona dönüşür ve bu dönüşümde elektron açığa çıkar.

Açığa çıkan bu elektron çekirdekte duramayacağından çekirdek dışına  $\beta^-$  olarak yayımlanır. Bunlar  $\beta$  ve  $\beta^-$  şeklinde gösterilirler. Eğer çekirdekteki proton fazlalığından ileri gelen bir beta yayımlanması var ise parçacık pozitif yüklüdür ve ‘pozitron’ adını alır.  $\beta^+$  şeklinde gösterilir. Tipik bir beta bozunumu Denklem 5’deki gibidir.



Beta ışınlarının enerjisi 0,01 MeV' den – 5 MeV'e kadar olabilir. En büyük enerjili betaların havadaki yol uzunluğu 70–80 cm bulur. Bu ışınların en enerjili olanları bile birkaç milimetre kalınlığındaki metal levhalar tarafından durdurulabilir. (Krane 1998).

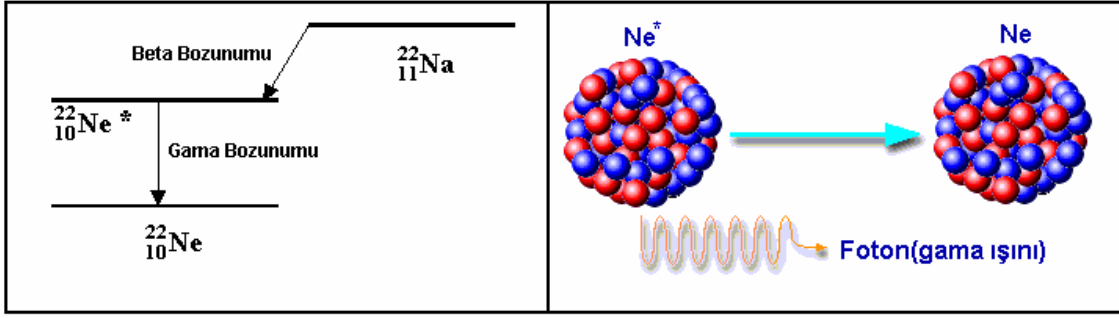


### 1.2.1.2. Gama Işınları

Birçok alfa ve beta bozunumları veya nükleer reaksiyonlar oluşuktan sonra, oluşan yeni çekirdekler uyarılmış halde olabilirler.

Uyarılmış durumdaki bu çekirdekler çok çabuk bir şekilde bir ışın yayınlayarak kararlı olan temel seviyeye dönerler. Yayınlanan bu ışınlara  $\gamma$ -ışını adı verilir. Gama ışınları, yüksek enerjili fotonlardan oluşan elektromagnetik dalgalar halinde yayıldıklarından gericilikleri daha fazladır. Elektrik olarak yüksüz ve kütleleri yoktur. Çekirdeğin yapısını değiştirmezler. Gama yayınlanması çoğunlukla alfa ve beta bozunmasından sonra olur. Örneğin havada birkaç yüz metre, kurşunda 8-10 cm gittikleri halde, yine de tümüyle soğurulamazlar.

Şekil 3'de Na (sodyum)' un, beta bozunumu yaparak Ne (neon)' un uyarılmış haline dönüşmesi ve uyarılmış halde bulunan Ne çekirdeğinin gama bozunumu ile temel enerji seviyesine düşerken yayınladığı gama ışının şematik diyagramları gösterilmiştir (Akkoyun, 2006).



**Şekil 3.** Gama bozunum şeması

Gama saçan maddelere birkaç örnek, Sezyum (Cs-137), Kripton (Kr-88), Kobalt (Co-60) gösterilebilir.

Gama yayınlamasının yarı ömrü çok kısadır, genellikle  $10^{-9}$  s'den daha küçüktür ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı ömürlü  $\gamma$  yayınlanması da vardır. Gama ışınması elementin atom numarasını ve kütle numarasını değiştirmez. Gama radyasyonu ışık gibi fotonlardan oluşur ve ışık hızıyla yayılır (Krane, 1998).

### 1.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, bir atomdan veya molekülden bir elektronu tamamen koparabilmek için atomları veya molekülleri iyonlaştırabilecek yeterli enerji taşıyan kuantumlara sahip olmayan herhangi bir elektromanyetik radyasyon türüdür. Elektromanyetik radyasyon, maddenin içinden geçerken yüklü iyonlar üretmez. Yalnızca, bir elektronu daha yüksek enerji seviyesine çıkaran uyarım için yeterli enerjiye sahiptir.

Maddenin sıcaklığını artıran kızıl ötesi ışınlar ve yüksek dozları kansere sebep olan mor ötesi ışınlar, yakın ultraviyole ışınlar, görünür ışık, mikrodalga, radyo dalgaları, alçak frekans ve radyo frekansı (uzun dalga) iyonlaştırıcı olmayan radyasyona örnek olarak verilebilir.

### 1.3. Radyoaktivite ve Radyasyon Birimleri

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) yapılan radyasyon çalışmalarında radyasyon etkilerini ve aktiviteyi belirlemek için özel birimler tanımlamıştır. Bunlar sırasıyla; Curie (Ci), Röntgen (R), rad ve rem'dir.

Bu özel birimler, 1986 yılından itibaren terk edilmeye başlanmış ve yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile MKS sistemini esas alan "Uluslararası Birimler Sistemi (SI)" kullanılmaktadır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg, Gray (Gy) ve Sievert (Sv) olarak seçilmiştir.

Tablo 2'de radyasyon terimleri ve doz hesaplamalarında kullanılan özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki topluca verilmiştir. Bu çalışmada Röntgen, Sivert, Gray ve Becquerel birimleri kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri

Büyükük	Eski Birimler ve Sembolü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Curie (Ci)	1Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
Işınlama	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
Absorblanan Doz	Rad (rad)	1 Gy=100 rad
Eşdeğer Doz	Rem (rem)	Sv=100 rem

#### 1.3.1. Aktivite Birimi

Aktivite, birim zamanda bozulan atomların sayısına denir. Uluslararası standartlar ve Radyoaktivite Birimleri Komisyonu bütün radyonüklitler için, Curie'yi; bir saniyede 3,7x10<sup>10</sup> parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarının aktivitesi olarak tanımlamıştır.

SI biriminde aktivite birimi Becquerel (Bq) olup, 1 Bq, saniyede bir parçalanma gösteren bir maddenin aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Dolayısı ile Ci ve Bq arasında dönüşüm şöyledir:

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunma/s} \quad (9)$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi} \quad (10)$$

Yüzeydeki aktivite konsantrasyonu ise,  $\text{Ci/cm}^2$  veya  $\text{Bq/m}^2$  olarak ifade edilir. Birim alan başına saniyedeki parçalanma olarak tanımlanır.

$$\text{Bq/ m}^2 = 2,7 \times 10^{-15} \text{Ci/ cm}^2 \quad (11)$$

### 1.3.2. Işınlama Birimi

Işınlama birimi  $\chi$  ve  $\gamma$  ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır.

Işınlama birimi Röntgen (R) olup normal şartlarda (  $0^\circ\text{C}$  ve 760 mmHg basıncı) havanın 1kg'ında  $2.58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk pozitif veya negatif elektrik yüklü iyonlar meydana getiren radyasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Özel Birim : Röntgen ( R )

SI Birim i : Coulomb/kg ( C/kg )

$$1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg} \quad (12)$$

$$\text{C/kg} = 3.88 \times 10^3 \text{R} \quad (13)$$

### 1.3.3. Soğrulma Doz Birimi

Özel Birim : Rad

SI Birimi : Gray ( Gy )

Rad: Işınlanan maddenin 1 kg'ına  $10^{-4}$  joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir. Gray : Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.



$$1\text{Rad} = 10^{-4} \text{joule} \quad (14)$$

$$1\text{Gy} = 100 \text{Rad} \quad (15)$$

#### 1.3.4. Doz Eşdeğer Birimi

Özel Birim : Rem

SI Birimi: Sievert ( Sv )

Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir.

Rem = Soğurulan Doz x Faktörler

Sievert: 1 Gray'lık x ve g ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv} \text{ n } 1\text{Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \text{ J/kg} \quad (16)$$

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

#### 1.4. Radyasyon Dozu

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen miktarı demektir. Radyasyon dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, belli bir sürede belli bir miktarın (kabul edilebilir sınırların) üzerinde radyasyon enerjisi soğuran yani radyasyon dozu alan canlılarda bazı zararlı etkilerin meydana gelmesi kaçınılmazdır.



Hava şartlarına bağılı olmak üzere ağır partiküllerden oluşan nükleer serpinti;

- Patlamadan yarım saat sonra 7 km
- Patlamadan 1 saat sonra 30 km
- Patlamadan 4-6 saat sonra 150 km yayılabilir.

Daha az tehlikeli hafif partiküllerin serpintisi ise aylarca devam edebilir (URL-2)

#### **1.4.2. Nükleer Serpentinin Biyolojik Etkileri**

Oluşan bu Nükleer Serpentinin Biyolojik etkilerinden ise aşağıdaki gibi bahsedilmektedir.

\*I-131, St-90, Cs-137, Pl-239, U-235, Xe-133 ve trityum.

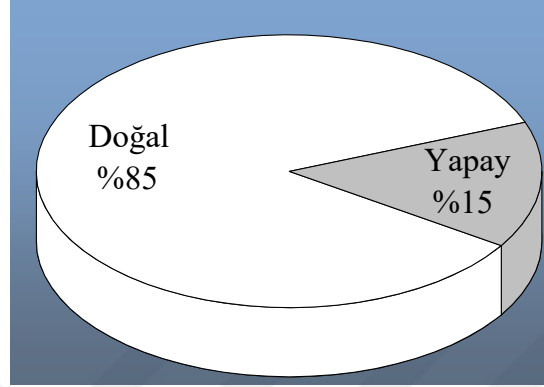
Bunlar nükleer bir reaktörde veya nükleer bir patlama sonrası ortaya çıkan Fizyon bozunma ürünleridir ve kontaminasyon sonrası saptanır.

- Strontium 90 ; Kemikte lokalize olur. Kemik tümörleri ve lösemilere neden olabilir.
- Cesium 137 ; Potasyum gibi davranır ve genetik defektlere neden olur.
- Carbon 14 ; Gonadlarda genetik defektlere neden olur.
- Tritium; Hidrojen izotopu olup akciğer kanserine neden olabilir.
- Plutonium; Kemik ve akciğer tümörlerine neden olabilir.
- Iodine 131; Tiroid hastalıklarına neden olur (URL-2).

#### **1.5. Radyasyon Kaynakları**

Varoluşlarından beri, tüm canlılar radyasyona maruz kalmıştır ve kalmaktadır. Radyasyon ve radyoaktif maddeler (doğal ve yapay) çevremizde her an vardır. Radyoaktif maddeler dünyamızın ve evrenimizin tüm kısımlarında bulunur, hatta her insanın vücudu hafif derecede radyoaktiftir. Hayatımızın bir parçası olmasına rağmen, radyasyon yalnızca yüz yıldan biraz uzun bir süre önce keşfedilmiş ve bazı uygulamalar için faydalı olduğu gözlenerek kullanılmaya başlanmıştır.

Temel radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere iki türdür. Doğal kaynaklar kozmik ve karasal olabilir. İnsanların bu doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından aldıkları yıllık etkin doz değerine en büyük katkı Şekil 5’de olduğu gibi doğal kaynaklardan oluşan iyonize radyasyondan gelmektedir (URL-1).



**Şekil 5.** Çevresel radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları

Radyasyonun varlığını, bilinen duyu organlar ile algılamamız mümkün olmadığından radyasyonun algılanması ve ölçülmesi radyasyona hassas cihazlar vasıtasıyla yapılır. Ölçme cihazları gelen radyasyonun hepsini ölçmez, yalnızca madde ile etkileşen kısmını ölçer ve onun bir ölçüsüdür. Radyasyon madde ile biyolojik, fiziksel veya kimyasal bir etkileşme oluşturur.

Radyasyon bir enerji olup, uzaydan, soluduğumuz havadan, yediğimiz yiyeceklerden, evlerimizin yapı malzemelerinden radyasyona maruz kalırız. Bu nedenle, radyasyon yaşadığımız çevrenin bir parçasıdır ve zamanın başlangıcından itibaren vardır.

### **1.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları**

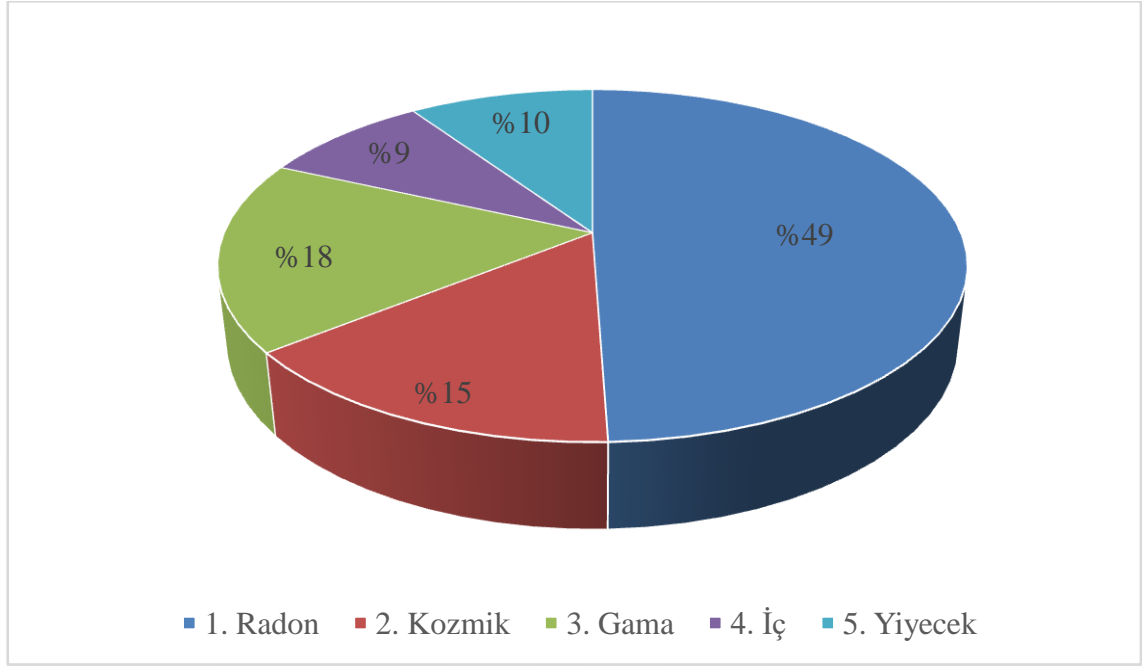
Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla topraktan maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıl dır (URL-3).

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özelikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç (dahili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv kadardır. Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0,25 mSv/yıl'dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar (URL-3).

Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin ( $Ra^{226}$ ) bozunması sırasında salınan radon gazıdır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken maalesef radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Eğer bu gaz, yayılmalar sonucu seyrelirse herhangi bir sorun oluşturmaz. Ancak, radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Böyle bir havalandırma yoksa radon gazı evin içinde dışarıdakinden yüz kat hatta bin kat daha fazla olacaktır. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilir.

Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv/yıl'dır. Radon gazı hariç doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı bir etkisi görülmez. Tablo 3'de doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir. Tablo 4'de ise değişik bölgelerde ölçülen doğal radyasyon seviyeleri verilmektedir.

**Tablo 3.** Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri



Tablo 4’de ise insanoğlunun yaşamı boyunca maruz kaldığı doğal radyasyonun tıbbi ışımalara karşılık gelen oranı verilmiştir.

**Tablo 4.** Doğal radyasyonun tıbbi ışımalara göre oranı

Nükleer silah denemelerinden kaynaklanan radyoaktif yağış	<b>0,04 mSv/Yıl</b>
Göğüs filmi çekimi nedeni ile X-ışını.	<b>0,1 mSv</b>
Diş filmi çekimi nedeni ile X-ışını	<b>0,1 mSv</b>
Baryum ile lavman	<b>8,8 mSv</b>
Mide barsak üst yolu	<b>5,4 mSv</b>
Tuğla veya betondan yapılmış evde yaşanmasından	<b>0,07 mSv/Yıl</b>

Bu sayılar havadaki doz oranını göstermektedir. Şekil 6’da ise insan vücuda etkileyen Doğal Radyasyon Kaynakları ve etki verileri gösterilmektedir (URL-3).



**Şekil 6.** Doğal Radyasyon Kaynakları

Tablo 5’de Doğal Radyasyon Doz düzeylerinin bölgelere göre olan dağılımı verilmektedir (URL-3).

**Tablo 5.** Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri.

Mersin (Akkuyu)	0,53 mSv/yıl
Ankara	0,44 mSv/yıl
Iğdır (Alican)	0,88 mSv/yıl
Çanakkale	1,23 mSv/yıl
Kars (Digor)	1,58 mSv/yıl
Hindistan (Kerela)	15,80 mSv/yıl
İran(Ramsar)	148,92 mSv/yıl
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788,40 mSv/yıl

### 1.5.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

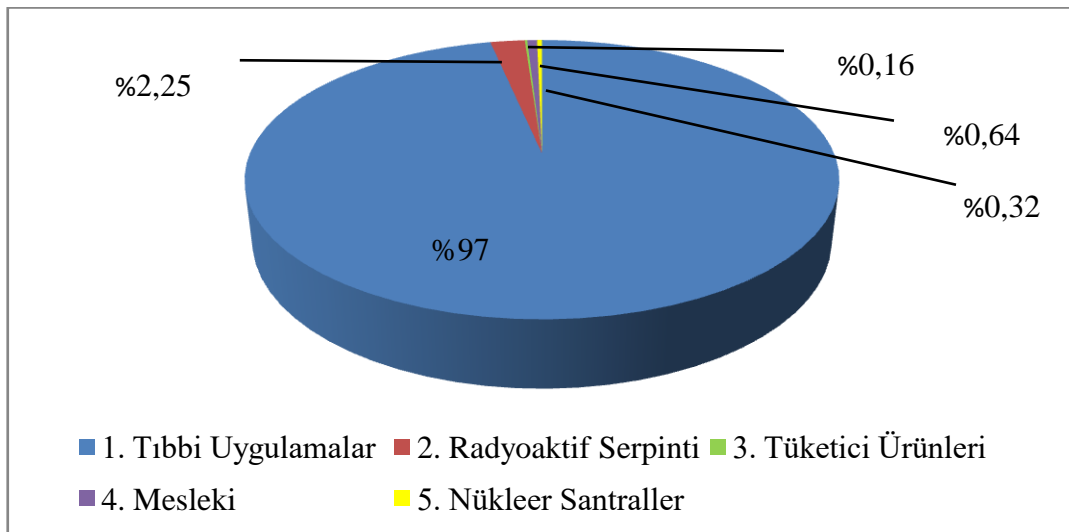
Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu,

teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, bir çok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve da ha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir.

Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

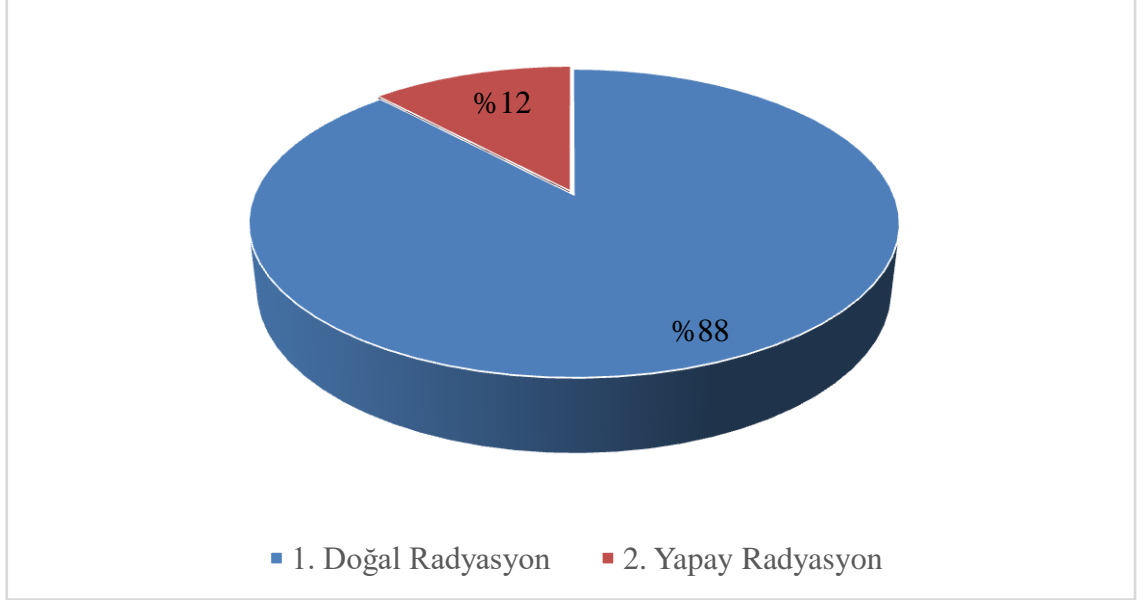
Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Tablo 6'da yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir. Tablo 7'de doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozuna oransal katkıları gösterilmektedir.

**Tablo 6.** Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri





**Tablo 7.** Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları



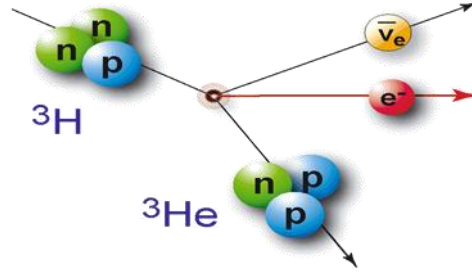
Yapay radyasyon insanlar tarafından çeşitli amaçlarla üretilmiş radyoaktif izotopların kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu radyasyon kaynakları tedavi amaçlı olarak radyoterapide, teşhis amaçlı olarak ise röntgen, tomografi ve sintigrafi çekimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca endüstride kalite kontrol, gıda sektöründe ürünlerin raf ömrünü uzatmak için sterilizasyonda ve nükleer reaktörlerde enerji üretiminde radyoaktif maddelerden faydalanılmaktadır (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004).

## 1.6. Tritiyum

Tritiyum, hidrojenin radyoaktif izotopu olduğundan dolayı kimyasal özellikleri ve doğadaki dağılımı aslında hidrojeninki ile aynıdır. 1934 yılında, çok hızlı döteryum çekirdeği ile döteryum bileşiklerinin bombardıman edilmesi sırasında nükleer transmutasyon ürünü olarak keşfedilmiştir. (Altay T., Çifter C., 1996).

Tritiyum Max enerjisi 18,6 keV ve ortalama enerjisi 5,7 keV olan saf bir beta yayınlıdır. Fiziksel yarı-ömrü 12,3 yıldır (Altay, 1996).

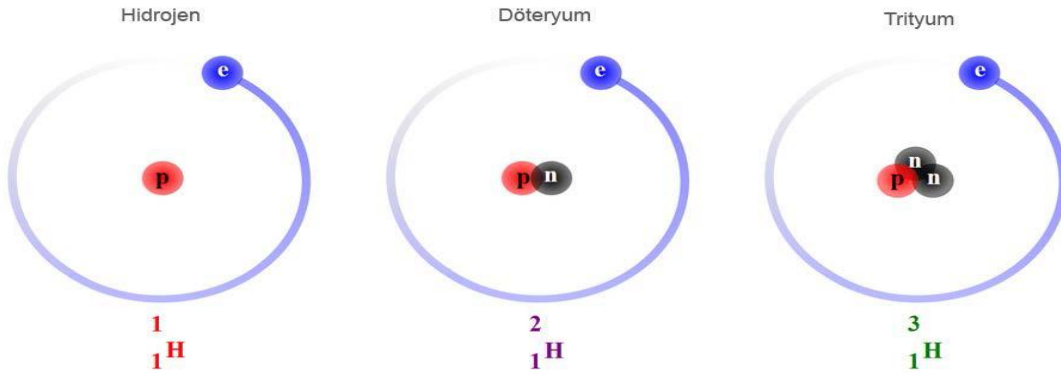


**Şekil 7.** Trityumun radyoaktif bozunması

Trityum, nükleer reaktörlerde uranyum fisyonunun yan ürünü olarak üretilir. Trityum, döteryumla tepkimeye girerek füzyon reaksiyonu oluşturur. Döteryum ve trityum gibi hafif hidrojen radyoizotoplarının yüksek sıcaklıklarda kaynaşarak, çok daha ağır atomlara sahip helyuma dönüşmesiyle büyük miktarda enerji açığa çıkar (Şekil 7).

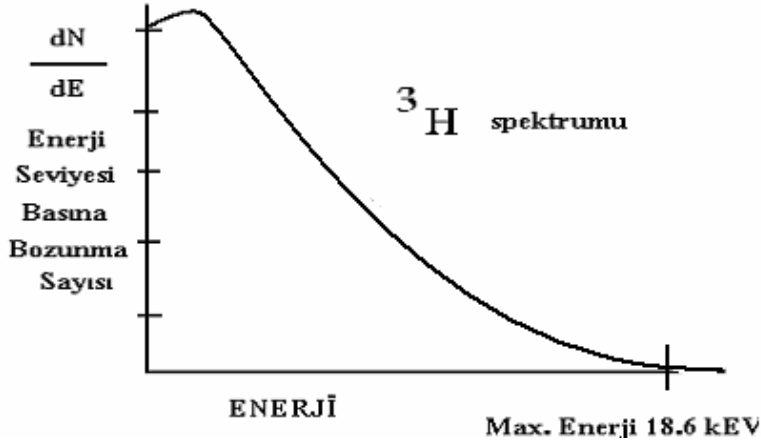
Trityum, 1934’de keşfedilen düşük enerjili beta parçacıklarını yayan radyoaktif bir izotoptur. Trityum yağışlara iki kaynaktan girerek hidrolojik çevrimde yerini alır ve ‘çevresel trityum’ olarak adlandırılır. Trityum atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden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

Şekil 8’de gösterildiği gibi hidrojenin üç izotopu vardır.



**Şekil 8.** Hidrojenin izotopları

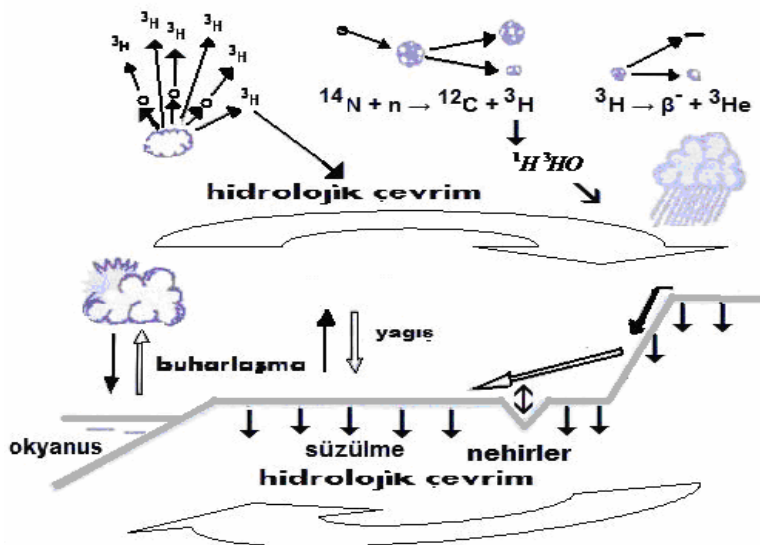
Trityum çekirdeğinden yayımlanan enerjinin maksimum değeri 18.6 keV olup, beta parçacığı ile nötrino arasında rastgele bölüşülür. Bu nedenle beta parçacıklarının enerjisi 0–18.6 keV arasında herhangi bir değere sahip olabilir (Şekil 9). Dolayısıyla beta spektrumu süreklilik gösterir (Altay ve Çifter, 1996; Portakal vd., 1998).



Şekil 9. Tritiyumun beta bozunumu

Bilindiği üzere canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli en önemli elemanlardan biri sudur. En küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar, bütün biyolojik yaşamı ve bütün insan faaliyetlerini ayakta tutan sudur. Dünyamızın %70'ini kaplayan su, bedenimizin de en önemli kısmını oluşturmaktadır.

Yeryüzündeki sular güneş enerjisi sayesinde sürekli bir döngü halindedir (Şekil 10. Hidrolojik Çevrim).



Şekil 10. Tritiyumun doğal döngüsü

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 çözünmüş olarak çeşitli katı maddelerin yanı sıra, geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddelerde olabilir.

Tritiyumun atmosferdeki kalış süresinin çok küçük olmasından dolayı doğal olarak oluşum hızı da çok küçüktür. Tritiyumun atmosferdeki bu doğal oluşum hızının  $0.25 \text{ atom/cm}^2\text{s}$  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).

Tritiyumun sembolü  $^3\text{H}$  veya T'dir. Çevredeki tritiyumun büyük bir kısmı suyun içindedir. Atom ağırlığı, 3,0170'dir. Tritiyum  $-252,5^\circ\text{C}$  'de erir,  $-248,12^\circ\text{C}$ 'de kaynar, buharlaşma ısısı  $333 \text{ cal/mol}$  ve sublimasyon ısısı  $393 \text{ cal/mol}$ 'dür (URL-4).

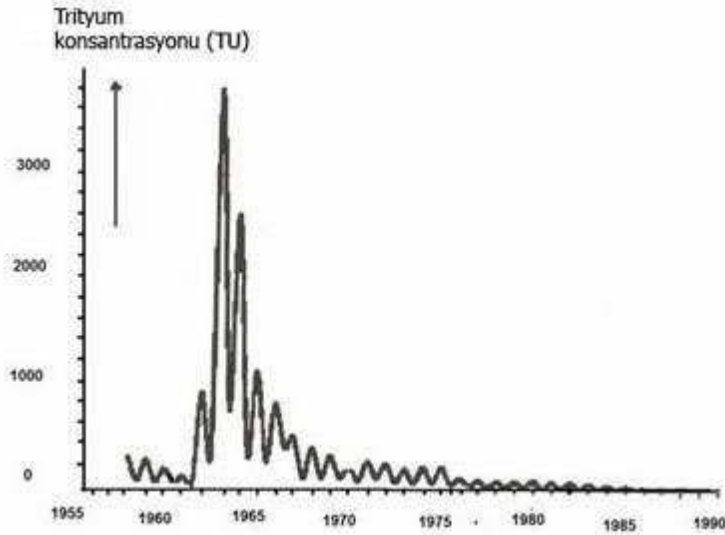
Tritiyum hidrojenle kıyaslandığı fiziksel ve kimyasal karakteristikleri küçük farklılık gösterir; bu nedenle sudaki hidrojen atomlarının yerini tutabilir. Atmosferdeki tritiyum, kozmik ışınların meydana getirdiği hızlı nötronların, protonların veya mezonların azot ile reaksiyonundan meydana gelir. Yeryüzünün mevcut tritiyum miktarı yaklaşık 1 kg tahmin edilmektedir (URL-4).

Tritiyum Nükleer çalışmalar sonucunda yapay olarak oluşur. 1952–1962 yılları arasında yapılan termonükleer denemelerle atmosfere yüksek miktarda tritiyum enjekte edilmiştir. Kuzey yarım kürenin atmosfer tabakasının enjekte edilen yüksek miktardaki

trityumun aşamalı olarak troposfer tabakasına geçmesiyle 1953 yılından sonraki yağışların trityumkonsantrasyonunda artış gözlenmiştir (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).

Ottawa yağış istasyonundan alınan yağış numunelerinin ağırlıklı ortalama trityum konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi Şekil 11'de görülmektedir (Altay ve Çifter, 1996; DSİ TAKK, 2003).



**Şekil 11.** Kuzey yarımkürede trityum konsantrasyonunun yıllara göre değişimi

### 1.6.1. Tritiyumun Kullanım Alanları

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

Günümüzde 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. Bu enerjiyi açığa çıkaran silah, hidrojen bombasıdır. Gerekli yüksek sıcaklık fisyon (atom bombası) vasıtasıyla elde edilir.

### 1.6.2. Tritiyumun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Tritiyumun çevrede davranışı, değişik sistemler arasında transferi ve insana geçişi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Tritiyum su ve süt gibi sıvı gıdalarla alınarak bütün vücutta dolaşım sağlayabilir, havadan gaz formu solunumla alınabilir ve ayrıca deriden soğurulabilir.

Tritiyum sadece vücut içerisine alınırsa bir sağlık tehlikesi doğurur çünkü tritiyum, düşük enerjili bir beta parçacığı yayımlayarak bozunur. Yayınlanan bu beta parçacığı, havada uzun mesafe yol alamayacağı gibi dokuda da derinlere nüfuz edemez. Tritiyumun vücut içerisine alınımının en muhtemel formu tritiyum hidroksit (tritiumlu su - HTO) şeklindedir. Tritiyum gazının alınımı ise genellikle çok düşüktür (% 1,den daha az).

Tritiumlu su yani HTO hem çevrede hem de insan vücudunda bildiğimiz (sıradan) suyla aynı davranışı gösterir. Bu nedenle solunan ve sindirilen tritiumun önemli bir kısmı direkt olarak kan dolaşımına dâhil olur. Hidrojenin ve tritiumun fiziksel ve kimyasal özellikleri hemen hemen aynıdır. Vücut içinde tritium hücre içi ve

hücre dışı doku sularıyla hızla karışarak dokuların organik moleküllerindeki bağlı bulunan hidrojenin yerine geçer.

Trityumun sağlık tehlikesi, radyoaktif bozunmadan kaynaklanan iyonize radyasyonun neden olduğu hücre zararıyla bağlantılıdır. Trityumun biyolojik yarı ömrü 10 gündür (Tanır vd., 2013). Yapılan deneyler, trityumun hayvan karaciğer hücrelerinde aberasyona (normal olmayan değişiklikler), kemik iliği hücrelerinde sitolojik (hücresel) zararlı etkiye neden olduğunu, DNA sentezini yavaşlattığını ve çeşitli doku hücrelerinde ölümlere neden olduğunu ortaya koymuştur (Dobson ve Cooper, 1974; Dobson ve Kwan, 1976).

Tablo 8’de bazı radyoaktif maddeler ve bunların üzerinde etki oluşturduğu organlar verilmiştir.

**Tablo 8.** Beta ışını yayan radyoaktif maddeler

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

### 1.7. Sıvı Sintilasyon Sayacı (LSC)

Sıvı sintilasyon sayım (LSC) tekniği, 1950’li yılların başından beri, radyoaktivite ölçümlerinde kullanılan bir tekniktir ve günümüzde özellikle çevresel ve biyolojik örneklerde seviyede alfa ve beta yayan radyonüklidlerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil’te Perkin & Elmer Tricarb 2910 TR sıvı sintilasyon sayacı görülmektedir. Çevresel ve biyolojik örneklerdeki radyoaktivite ölçümlerinde, sıvı sintilasyon sayım tekniği birçok avantaj sağladığından dolayı en çok tercih edilen

tekniktir. Sıvı sintilasyon sayım tekniğinin sağladığı avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür (Horrocks, 1974; Passo ve Cook, 1994):

- Radyoizotoplar, uygun bir sintilatör içinde homojen bir dağılım içinde buldukları için  $4\pi$  sayım geometrisinde sayılırlar,
- Self-absorbsiyon (öz soğurma) riski yoktur. Beta parçacıklarının menzili kısadır, (1MeV enerjili beta parçacığı için sudaki menzil 0,40 cm) LSC'de beta parçacıkları sıvı sintilatör içinde yakın mesafelere getirilebilir ve diğer metodlardan farklı olarak öz-soğurma olmadan sintilasyon sağlanabilir,
- Örnek hazırlama kolay ve çabuktur,
- Son yıllarda özellikle beta sayımlarında daha fazla kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan beta yayıcı izotoplar  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  ve  $^{32}\text{P}$ 'dir,
- Aynı örnek içinde aynı anda toplam alfa ve beta radyoaktivite değeri saptanabilmektedir.

Farklı sayım protokolleri kullanılarak farklı örnek tiplerinde (su, hava, idrar, toprak gibi) radyoaktivite değerlendirmeleri yapılabilir. Sıvı sintilasyon sayacı ayrıca aşağıda verilen birçok radyoizotop belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Horrocks, 1974);

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

Trityumun beta radyasyonunun çok düşük enerjili olmasından dolayı, nehir sularındaki trityum konsantrasyonunu belirlemek için sıvı sintilasyon sayımı ideal bir



sayım yöntemidir. Sıvı sintilasyon sayımı, beta parçacıklarının kinetik enerjilerinin ışık fotonlarına dönüşümü temelinde işlev görmektedir.

Sıvı Sintilasyon 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 alfa ve beta yayan spesifik radyoizotopların nitel ve nicel analizinde kullanılan en yeni, en hızlı ve en geçerli yöntemdir.



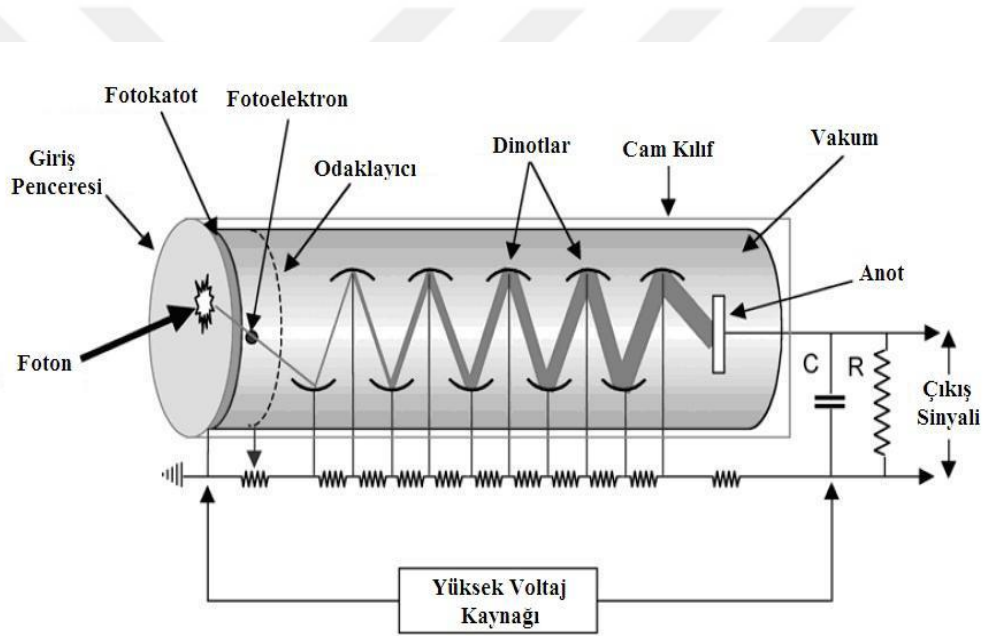
**Şekil 12.** Sıvı sintilasyon cihazı (LSC)

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.

### 1.7.1. Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT)

Fotoçoğaltıcı tüpler, görünür fotonları voltaj pulslarına dönüştürme işini yapan aygıtlardır. Bir PMT, genellikle kapalı bir cam tüpün içerisinde bulunan bir giriş penceresi, bir foto katot, odaklayıcı elektrotlar, elektron çoğaltıcı ve bir anottan oluşur (Hakamata, 2006). Şekil 13’de bir PMT’nin şematik yapısı gösterilmiştir.



**Şekil 13.** Fotoçoğaltıcı tüpün şematik yapısı

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

Dinodlar, ikincil elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu maddelerden yapılırlar (alkali antimonide, berilyum oksit, magnezyum oksit, galyum fosfit, galyum arsenit fosfit) (Hakamata, 2006). Dinodlar bir seri direnç zinciri ile kademeli olarak artan gerilimlerde tutulur. Bir elektron salınması için 2–3 eV yeterli olabilir.

Komşu dinodlar arasındaki 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 yayımlandıkları 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 RC yük direnci üzerinde bir voltaj darbesi (pulsu) oluşturur (Tosoufanidis, 1995; garer, 2001).

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

- Işık önce giriş penceresinden geçer.
- Işık foto katot içinde bulunan elektronları uyarır, böylece fotoelektronlar boşluk içerisinde yayılır.
- Fotoelektronlar odaklayıcı foto katot tarafından birincil dinota doğru hızlandırılır ve odaklanır, dinota çarpan elektronlar yeni (ikincil) elektronların yayılımına neden olur. Bu ikincil yayılım art arda her bir dinotta tekrarlanır.
- Son dinota çarparak yayılan ikincil elektronlar anot tarafından toplanır.
- Bu olay kendini tekrarlayarak bir elektron demeti oluşur ve bu demet anotta toplanarak voltaj pulsu oluşur.

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).

### 1.7.2. Sayım Kabları (Vialler)

Plastikten veya optik özellikleri uygun camdan yapılmış çoğunlukla 20 mL'lik kaptır. Cam ve plastik viallerin (Şekil 14), background, geçirgenlik, kırılma ve saydamlık bazlı olmak üzere kendilerine has avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Plastik vialler, rutin analizlerde cama göre daha düşük background'a sahip olması ve çok daha ucuz olması nedeniyle tercih edilirler. Vialler üzerinde oluşan statik elektrik ise cam viallerin kullanımı ile en aza indirilebilir (ÇNAEM, 1988).

İçinde sintilatör ile karışmış numune bulunan vialler, 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 (Lauri, 2005; Kessler, 1986).



Şekil 14. Cam (a) ve plastik (b) vialler

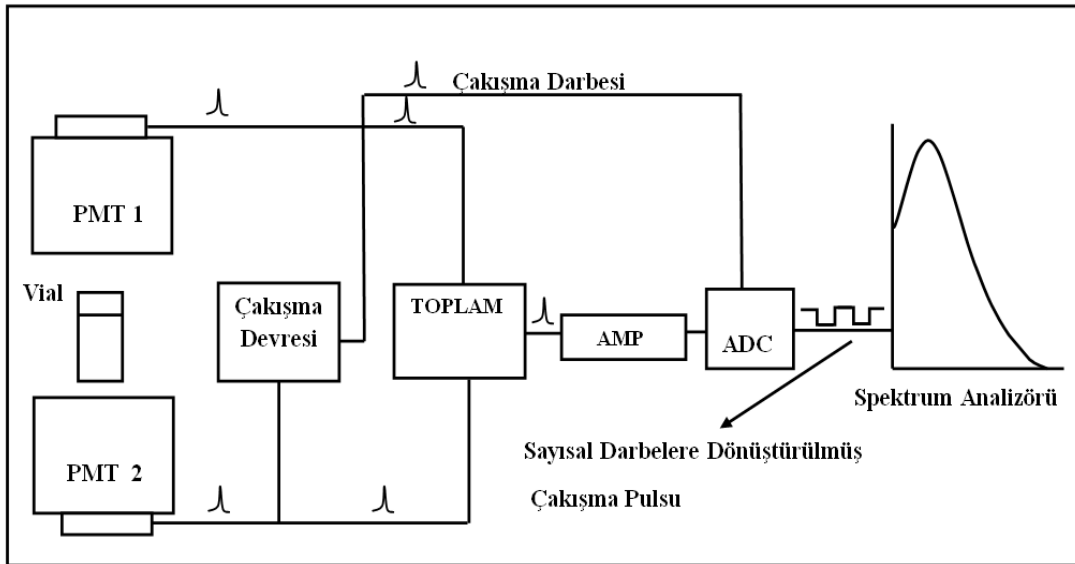
### 1.7.3. LSC'de Dedeksiyon Sistemi

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. 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 azalması yaratır.

Zayıf enerjili beta aktif radyonüklitlerin dedeksiyonunda sorun yaratan bu durum ilave edilen darbeler toplamını alan (summation circuit) devreyle yok edilir ve radyoaktif atomların konumu dolayısıyla fototüplere olan uzaklık farklarının önemi kalmaz (DSİ TAKK, 2003).

Toplama devresi çıkışı ile çakışma devresi bir çakışma kapısı (coincidence gate) vasıtasıyla birleştirilir ve nükleer olayın meydana getirdiği gerçek darbeler ya bir sayıcı kaydedici ile sayılır ya da bu darbeler genliklerine göre değerlendirilmek üzere spektrum analizörüne gönderilir (DSİ TAKK, 2003).

Sıvı sintilasyon sayaçlarında kullanılan ilk sistem, çakışan darbe dedeksiyonu (coincidence pulse detection) adı verilen ve karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki adet foto çoğaltıcı tüple birlikte çalışan bir lojik devredir (Şekil 15). Her bir tüp içinde meydana gelen gürültü birbirinden bağımsız olacağı için, bu olaylara yönelik tam bir uyuşma gözlenemeyecektir. Çakışma devresi fototüplerden çıkan sintilasyon sinyallerini birbirleriyle mukayese eder ve iki sinyal aynı anda oluşmuş (devrenin çözümleme zamanı içinde, 20 ns) ise devre çıkışından darbe (pulse) alınır, böylece radyoizotoptan gelen pulsların yüksek bir verimle sayılmasına olanak sağlanır (DSİ TAKK, 2003).



Şekil 15. LSC'de çakışma ve toplama devreleri şeması

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.

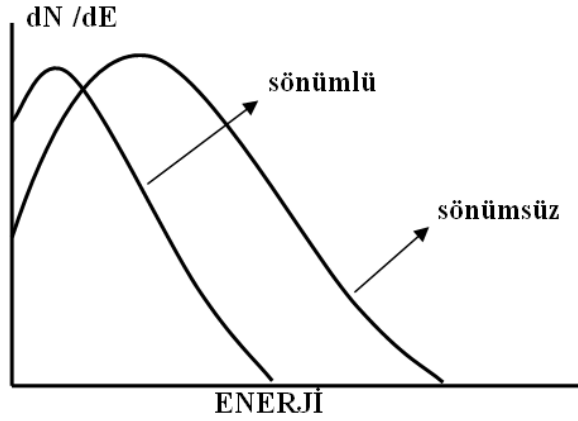
Nükleer olayın meydana getirdiği gerçek darbeler ya bir sayıcı-kaydedici ile sayılır veya bu darbeler genliklerine yani enerji seviyelerine göre değerlendirilmek üzere spektrum analizörüne gönderilir.

Spektrum analizörü, çeşitli enerjiye sahip radyonüklitlerin ürettiği darbelerin 0 keV ile 2000 keV arasındaki bölgede enerji darbe yüksekliği dağılımını, sabit bir kazanç altında, incelemek 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 vd., 1996).

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

Örnek veya sintilatör karışımlarının renk veya kimyasal özelliklerinden kaynaklanan etkiler nedeniyle ölçüm sonuçlarının normalden daha düşük olmasıdır. (Şekil 16). Bunun sonucunda sayım verimi düşer (Ross vd., 1991).

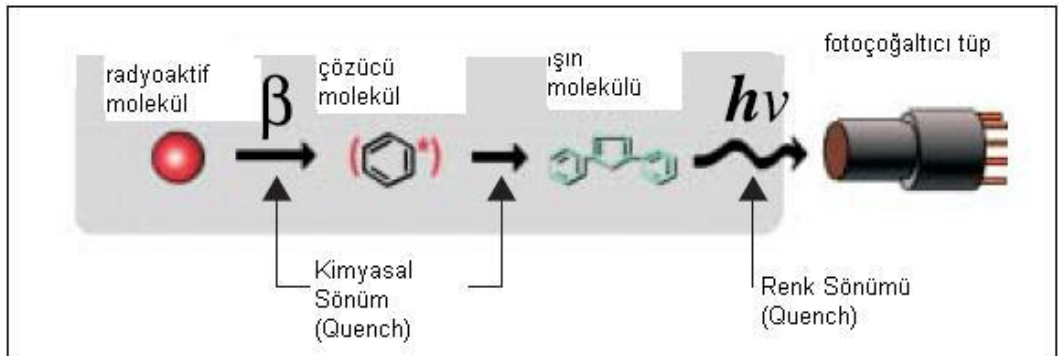


**Şekil 16.** Enerji spektrumu üzerine sönümün etkisi

Yaygın bir problem sönüm (quenching) olarak adlandırılan olayın, çoğu kez sintilatör solüsyonunun içinde etkin bir şekilde birleşebilecek olan numune maddesinin miktarını sınırlandırmasıdır.

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 (Tsoufanidis, 1995).

Bu olay enerji spektrumunun (puls yükseklik spektrumu) düşük enerjiye doğru kayması ve sayımda azalmanın gözlenmesi ile anlaşılabilir (Şekil 17).

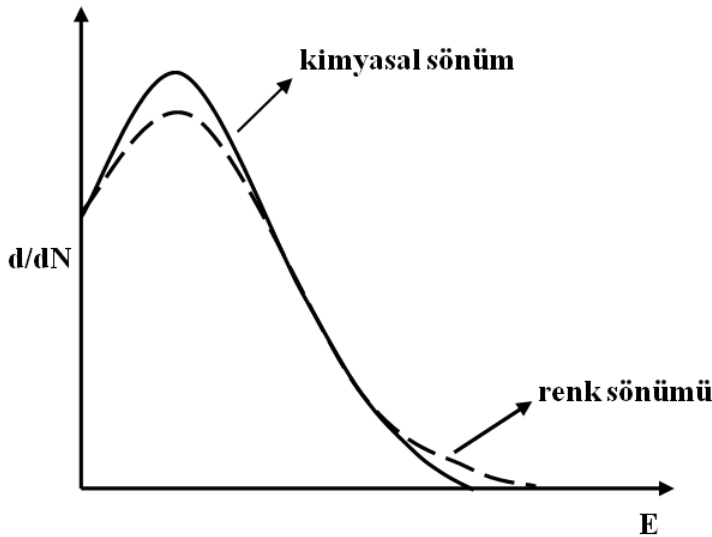


**Şekil 17.** Enerji transfer işlemindeki quench.

Quench, kimyasal, optik (renk) ve fiziksel quench olmak üzere üç çeşitte gerçekleşir. Bazen safsızlık olarak adlandırılan kimyasal quench çözücünden çözüne enerji transferindeki enerji kaybına neden olur. Optik ya da renk quench çözünende üretilen fotonların azalmasına neden olur. Fiziksel quench, örneğin fiziksel formu nedeniyle gerçekleşir (Örn. numunenin çökelti ya da parçacık içermesine bağlı olarak ışığın dağılması) (Charles, 1994). Şekil 17. Enerji transferi işleminde gerçekleşen quench sıralamasını açıkça göstermektedir.

Quench'in her iki tipi de, ışık pulslarının tümünün enerjisini ve toplam CPM' i azaltır (DIAGNOSTICS, 2004).

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



### 1.7.5. 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 çözeltisiyle 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).

### 1.7.6. LSC'de Quenç Düzeltme Metodları

#### 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 Quenç-Gösterge Parametresi
  - a. Örneğin Spektral İndeksi(SIS)
  - b. İzotopun Spektrum Quenç Parametresi SQP(I)
  - c. İzotopun Asimetrik Quenç Parametresi AQP(I)

#### C. Harici Standart Quenç Gösterge Parametreleri

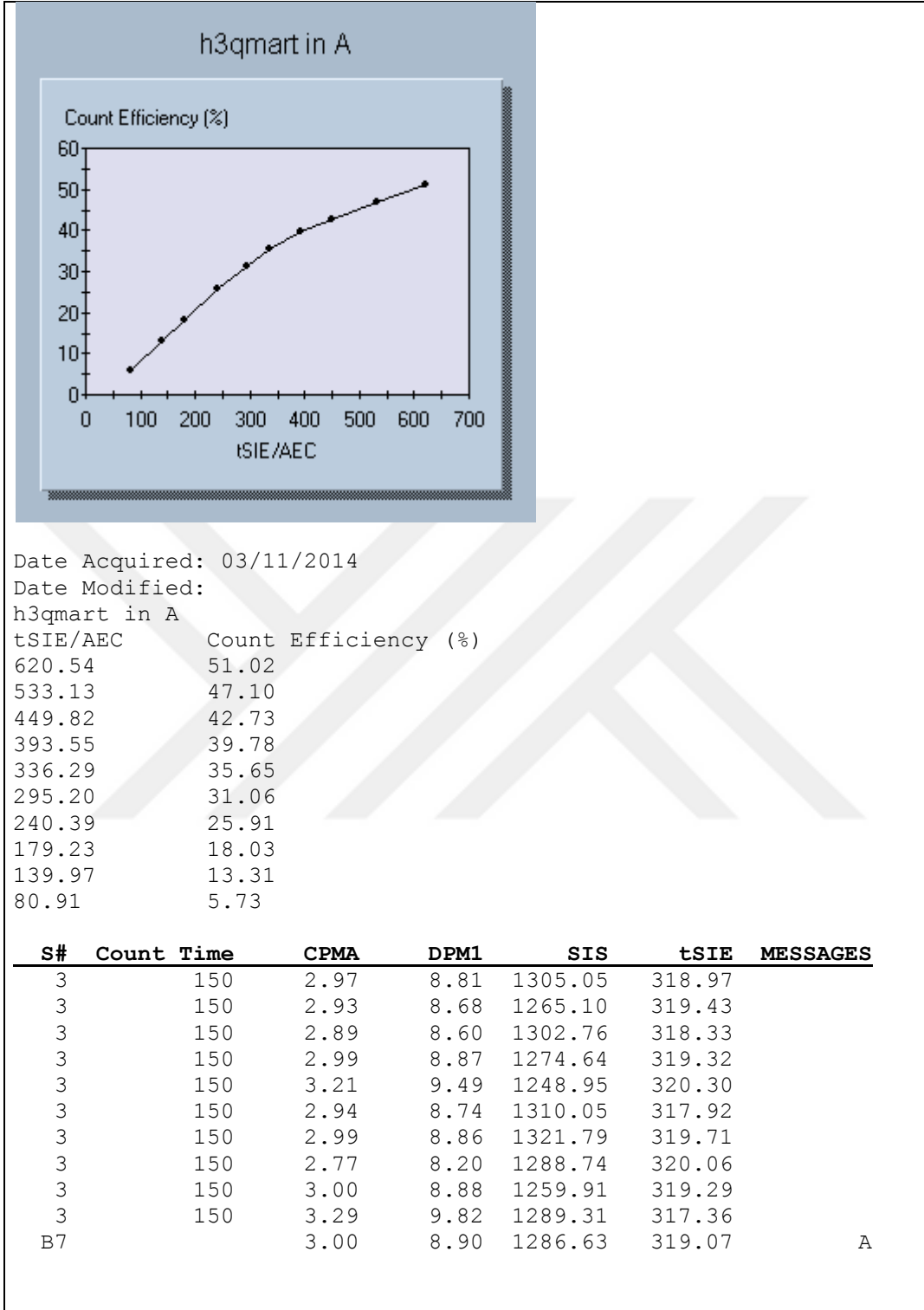
1. Harici Standart Kanalların Oranı(ESCR)
2. H-numarası (H#)
3. Bağlı Puls Yüksekliği(RPH) ve Harici Standart Pulsu(ESP)
4. Harici Standart Spektral Quenç Parametresi SQP(E)
5. Harici Standartın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi (tSIE)
6. G-numara (G #)

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

#### **1.7.7. Harici Standardın 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). RTEÜ Nükleer Fizik Lab LSC Sayacının LSC-tSE Verim ilişkisi raporunda trityum için Quench eğrisi ile beraber tSE ve dpm okuma verilerininide açıkça belirtilmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. LSC tSIE –Verim ilişkisi raporu.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Bu çalışmada Rize iline bağlı iki büyük nehir ve bu nehirlerin döküldüğü deniz suyu örneklerindeki trityum değerleri, LSC (Liquid Scintillation Counter) Sıvı Sintilasyon Sayım sisteminde ASTM D4107-08 yöntemi kullanılarak incelendi. Örneklerin toplanması için arazi çalışmaları, örneklerin ölçümlere hazırlanması için laboratuvar çalışmaları ve elde edilen sonuçların analizleri için ilgili parametrelerin hesaplanması yapıldı. Deneysel çalışmalar Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda LSC sistemi ile gerçekleştirildi.

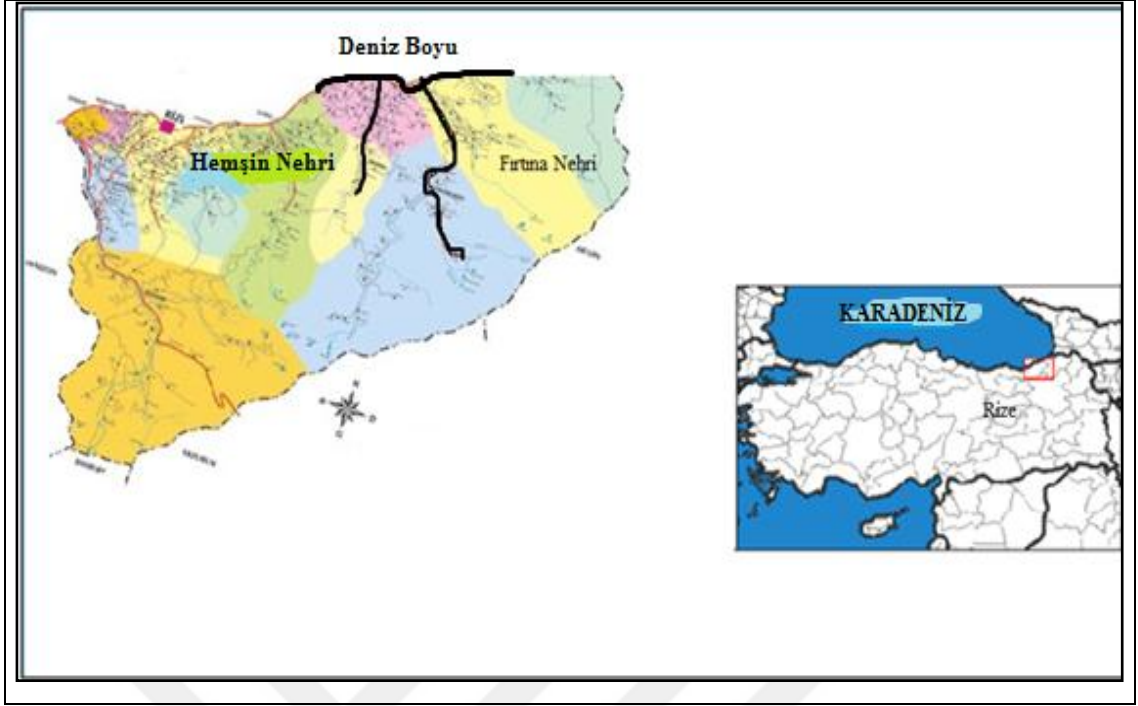
### 2.2. Arazi Çalışmaları

Rize ili Fırtına, Hemşin Nehirleri ve bu Nehirlerin döküldüğü tüm sahil şeridini her 2 km'de bir koordinat ve rakım verileri Magellan Explorist 510 GPS cihazına aktif olarak kaydedilmesi şeklinde gerçekleştirildi (Şekil 20).



Şekil 20. Magellan Explorist 510 GPS Cihazı

Çalışma bölgesi Şekil 21'de gösterilmiştir.



Şekil 21. Çalışma bölgesi

### 2.2.1. Fırtına Nehir Suyu Örneklemelerinin Yapılması, Örneklerin Toplanması

Bu bölümde, Doğu Karadeniz'de yer alan Rize İli sınırları içerisinde bulunan akarsulardan birisi olup, Kaçkar Dağları'nın Karadeniz'e bakan yamaçlarındaki derelerin birleşmesi ile oluşmuş, Rize Ardeşen'in yaklaşık 2 km batısında Karadeniz'e dökülen Fırtına nehri su örnekleri incelendi.

Fırtına Nehri boyunca 2228 m rakım seviyesine kadar çıkılmış olup; en zirveden, denizle birleştiği noktaya kadar olan tüm nehir boyu örnek su alımları 2 km'de bir gerçekleştirildi.

Örnek alımlarının gerçekleştirildiği tüm noktalar koordinatları ve rakım verileriyle beraber hem manuel hem de dijital ortamda kaydedilip, tüm bu noktalar aktif gezi olarak kayıt altına alındı.

Fırtına Nehri için toplamda 26 su örneği toplanmış olup bunlardan sadece 2 örneğimizin <MDC olduğu tespit edildi.

Yaklaşık 57 km uzunluğundaki Fırtına Nehri boyunca, GPS ile koordinatları belirlenen 26 istasyonun her birinde (Tablo 9), bölgeyi temsil edecek biçimde örnekleme yapıldı. Örnekleme noktasındaki suyun temiz ve berrak olmasına özen gösterildi. Bu yüzden yağmurun Nehri kirlettiği gözlemlendiği durumlarda örnek alma işlemine ara verilip meteorolojik dengelere göre tekrar devam edildi.

Her istasyondan 0,5 L'lik pet şişe dolusunca numune alınıp, örnekleme noktasında bu şişeler alım yeri suyu ile homojen olarak karıştırıldı ve etiketleme işlemi gerçekleştirildi.

**Tablo 9.** Fırtına nehri örnek alım yeri koordinat bilgileri

Örnek Kodu	Örnekleme Noktasının Koordinatları		Örnek Kodu	Örnekleme Noktasının Koordinatları	
N1	45,27839 K	06,79517 D	N14	45,44416K	06,71559 D
N2	45,28909 K	06,79590 D	N15	45,45960K	06,70285 D
N3	45,30681 K	06,79790 D	N16	45,46019K	06,68502 D
N4	45,32191 K	06,80521 D	N17	45,47759K	06,68688 D
N5	45,33913 K	06,80105 D	N18	45,44551K	06,69425 D
N6	45,35266 K	06,78985 D	N19	45,50448K	06,71208 D
N7	45,36001 K	06,78231 D	N20	45,52212K	06,71677 D
N8	45,35807 K	06,76575 D	N21	45,53840K	06,71789 D
N9	45,36704 K	06,74983 D	N22	45,55405K	06,70289 D
N10	45,37995 K	06,74056 D	N23	45,56724K	06,68822 D
N11	45,39647 K	06,73421 D	N24	45,58448K	06,67384 D
N12	45,40985 K	06,72970 D	N25	45,59769K	06,65995 D
N13	45,42838 K	06,72431 D	N26	45,61186K	06,64716 D

### 2.2.2. Hemşin Nehir Suyu Örneklemlerinin Yapılması, Örneklerin Toplanması

Bu bölümde, Doğu Karadeniz'de yer alan Rize İli sınırları içerisinde bulunan akarsulardan birisi olup Ardeşen ilçesine yakın bir konumda olan Hemşin Nehri su örnekleri incelendi.

Hemşin Nehri su örneklerinin toplanmasında Fırtına Nehri için izlenen yöntem ve teknik detayların hepsine dikkat edildi. Hemşin Nehri için 23 su örneği toplanmış olup bunların sadece 6 sının >MDC olduğu tespit edildi. Hemşin Nehri için örnek alım yeri koordinat bilgileri Tablo 10.'da gösterilmiştir.

**Tablo 10.** Hemşin nehri örnek alım yeri koordinat bilgileri

<b>Örnek Kodu</b>	<b>Örnekleme Noktasının Koordinatları</b>		<b>Örnek Kodu</b>	<b>Örnekleme Noktasının Koordinatları</b>	
P1	45,32597 K	06,58954 D	P13	45,48877 K	06,58484 D
P2	45,32384 K	06,59011 D	P14	45,49672 K	06,58540 D
P3	45,32815 K	06,57539 D	P15	45,51299 K	06,59203 D
P4	45,34244 K	06,56770 D	P16	45,53122 K	06,59376 D
P5	45,35869 K	06,57041 D	P17	45,55076 K	06,59773 D
P6	45,37451 K	06,57658 D	P18	45,57168 K	06,59619 D
P7	45,38820 K	06,58344 D	P19	45,59047 K	06,59206 D
P8	45,40544 K	06,58703 D	P20	45,60835 K	06,58532 D
P9	45,42245 K	06,58674 D	P21	45,60899 K	06,58485 D
P10	45,43884 K	06,59350 D	P22	45,61055 K	06,59293 D
P11	45,45577 K	06,59927 D	P23	45,60857 K	06,57282 D
P12	45,46852 K	06,59665 D			

### 2.2.3. Sahil Boyu Deniz suyu Örneklemelerinin Yapılması, Örneklerin Toplanması

Bu çalışmadaki amacımız, Rize’de bulunan Kıyıcık Köprübaşı Artvin il sınırından Hemşin bitimi Çayeli Merkeze 500 m noktasına kadar uzanan tüm sahil boyunu ve bu sahile dökülen Fırtına Nehri ile Hemşin Nehri’nden alınacak örnek su içerisindeki trityum konsantrasyonunun ölçülmesi suretiyle bu çevredeki trityum seviyesini belirlemek ve belirlenen seviyelerin değerlendirmesini yapmaktır. Belirlenen değerler trityum konsantrasyonu konusunda veri bankası oluşturacak ve ileride yapılacak buna benzer çalışmalara referans olanağı sağlayacaktır. Tablo 11 sahil boyu alınan örneklere ait koordinatları içermektedir.

**Tablo 11.** Deniz suyu örnek alım yeri koordinat bilgileri

Örnek Kodu	Örnekleme Noktasının Koordinatları	Örnek Kodu	Örnekleme Noktasının Koordinatları
D1	45,62520 K 06,66472 D	D15	45,76882 K 06,87876 D
D2	45,61711 K 06,64445 D	D16	45,75581 K 06,86326 D
D3	45,60576 K 06,62522 D	D17	45,74366 K 06,84838 D
D4	45,60608 K 06,60232 D	D18	45,73331 K 06,83102 D
D5	45,60821 K 06,58290 D	D19	45,72624 K 06,81275 D
D6	45,60284 K 06,56491 D	D20	45,71595 K 06,79648 D
D7	45,59682 K 06,54273 D	D21	45,70011 K 06,78488 D
D8	45,58654 K 06,52483 D	D22	45,68705 K 06,77067 D
D9	45,57782 K 06,50628 D	D23	45,67369 K 06,75476 D
D10	45,56299 K 06,49121 D	D24	45,65392 K 06,73493 D
D11	45,54644 K 06,47758 D	D25	45,64229 K 06,71535 D
D12	45,52883 K 06,46884 D	D26	45,63422 K 06,60487 D
D13	45,51130 K 06,45455 D	D27	45,62253 K 06,66553 D
D14	45,78109 K 06,88695 D	D28	45,61365 K 06,64106 D

### 2.3. Laboratuvar Çalışmaları

#### 2.3.1. Örneklerin Hazırlanması

Örnek hazırlama hatanın en çok kaynaklanabileceği aşamadır. Analiz için 300 mL örnek yeterli olmaktadır. Ancak analiz sırasında ortaya çıkacak aksamalara karşın 500 mL örnek laboratuvara ulaştırılmıştır. Örnekleme için suyun temiz polietilen şişeye hava kabarcığı kalmayacak şekilde tamamen doldurulmuş olmasına dikkat edildi. Örnek şişeleri açık örnek adı, örnekleme tarihi ve alındığı yeri içerecek şekilde etiketlendi. Laboratuvara ulaştırılan örnekler analiz sırası gelinceye kadar kapakları açılmadan güneş almayacak şekilde +4°C’de buzdolabında muhafaza edildi.

#### 2.3.2. Ölü Su (Blank DW)

Tritiyum aktivitesi en düşük olan damıtılmış su örneğidir. Sadece sayım aşamasında kullanılır. Damıtılmış su, borosilikat cam şişede ağzı iyice kapatılmış olarak, karanlıkta ve sabit sıcaklıkta saklanır. Blank (ölü su) hazırlamak için stokta



yeterli miktarda su bulundurulması ve acil durumlarda az miktarda örneklerin hazırlanması önerilir (Ayçık ve vd., TAEK).

10 tekrarlı 150 dk'lık toplamda 1500 dk'lık ölçüm sonucunda ölü su BLNK değerinin 3 (CPM) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 12).

**Tablo 12.** Ölü Su olarak kabul edilen DW'ye ait sayım verileri

	DW(ÖLÜ SU)	
1	2,97	$x/\sigma=1,96$
2	2,93	$x=1,96*\sigma$
3	2,89	
4	2,99	
5	3,21	
6	2,94	
7	2,99	
8	2,77	
9	3,00	
10	3,29	
Average	3,00	
St.Dev.	0,142395	
Error	0,00075	

### 2.3.3. Laboratuvar Standardı (DWS)

Bilimsel amaçlı laboratuvarlar için radyoaktif standart sağlayan kurumlardan temin edilen stok standarttan laboratuvarların kendi ihtiyaçlarını karşılayacak derişimde hazırladıkları <sup>3</sup>H içeriği bilinen çözeltilerdir. "Laboratuvar Standardı" sayım aşamasında kullanılır.

**Tablo 13.** DWS (8 mL örnek ,12 mL kokteyl oranlarında hazırlanmıştır.)

<b>Laboratuar Standardı (DWS)</b>	
Ana stok çözeltisinden alınan miktar (g)	4
Laboratuar standardından hazırlanmak istenen miktar (g)	2000
Hazırlama tarihi	30/7/2013
Zaman farkı (Laboratuar standardı- Ana stok çözeltisi) (gün)	0
Ana stok çözeltisinin şimdiki aktivitesi (Bq/g)	2062,4665
Laboratuar standardının aktivitesi (Bq/g)	4,1249

Laboratuarımızda hazırlanan bir destile edilerek birde destile edilmeden hazırlanan farklı DWS örneklerinden aşağıdaki tabloda verdiğim DWS örnek sonucunun analiz hesaplamalarında verimi en çok arttıran değer olduğu tespit edilmiştir. Ve DWS örneği olarak DWS=591,12 (CPM) değeri kullanılmıştır (Tablo 14).

**Tablo 14.** Lab Standardı olarak kabul edilen DWS'na ait sayım verileri

	DWS	
1	589,52	$x/\sigma=1,96$
2	590,27	$x=1,96*\sigma$
3	591,54	
4	593,05	
5	587,31	
6	593,62	
7	591,83	
8	590,06	
9	588,06	
10	595,93	
Average	591,12	
St.Dev.	2,6263	
Errors	0,01384	

### 2.3.4. Spike(RWS)

Spike olarak adlandırılan çözelti  $^3\text{H}$  analiz sürecinde ve sonrasında oluşacak problemlerin gözlenmesini sağlamak amacı ile kullanılan  $^3\text{H}$  içeriği bilenen çözeltidir (Tablo 15).

**Tablo 15.** RWS (8 mL örnek ,12 mL kokteyl oranlarında hazırlanmıştır.)

<b>Laboratuar Standardı (RWS)</b>	
Laboratuar standardından alınacak miktar (g)	200
Spike çözeltisinden hazırlanmak istenen miktar (g)	2000
Hazırlama tarihi	30/7/2013
Zaman farkı (Spike çözeltisi-Laboratuar standardı) (gün)	0
Laboratuar standardının şimdiki aktivitesi (Bq/g)	4,1249
Spike çözeltisinin aktivitesi (Bq/g)	0,4125

Laboratuarımızda hazırlanan bir destile edilerek birde destile edilmeden hazırlanan farklı spike örneklerinden yukarıda ki tabloda verdiğim spike örnek sonucunun analiz hesaplamalarında F etkin değere en uygun değer olduğu tespit edilmiştir. Ve spike örneği olarak RWS=59,349 (CPM) değeri kullanılmıştır (Tablo 16).

**Tablo 16.** Spike olarak kabul edilen RWS'na ait sayım verileri

	RWS	
1	58,63	$x/\sigma=1,96$
2	58,99	$x=1,96*\sigma$
3	60,13	
4	59,56	
5	59,20	
6	59,47	
7	59,69	
8	58,53	
9	59,48	
10	59,81	
Average	59,35	
St.Dev.	0,511413	
Erors	0,002695	

### 2.3.5. Destilasyon

Bu prosedür içme sularına, yer altı sularına ve yüzey sularına da uygulanabilir. En az 0,5 L örnek gerekmektedir. Laboratuara ulaştırılan örnekler analiz sırası gelinceye kadar kapakları açılmadan güneş almayacak şekilde, soğuk odada ayrılan kısımda bekletildi. Örneklerin laboratuarda geçirdikleri ilk işlem ‘‘Destilasyon’’olarak adlandırılan destilasyon-saflaştırma-ayrıştırarak arıtma sürecidir. Bu aşamanın amacı analize girecek örneklerin içerisindeki kimyasal bileşikleri sudan ayırmaktır. Destilasyon işlemi ile örneğin saflaştırılması, örnekler arasında farklılığa neden olabilecek kimyasal bileşikler nedeni ile sayım sırasında oluşabilecek hatalı parıldamaların engellenmesini sağlar. Destilasyon sistemindeki yoğunlaştırma işlemi sürekli çeşme suyu ile soğutulan geri soğutucular tarafından sağlandı. Destillenmiş su ise balon jode toplandı (Şekil 22).



Şekil 22. Destilasyon Ünitesi

Örnek hemen destilasyona alınmayacaksa soğuk odada destillenmemiş örnekler için ayrılan kısımda muhafaza edildi.

- 250 mL lik destilasyon balonuna örnekten 20 mL koyularak çalkalanıp döküldü.
- Balona 200 mL su örneği koyuldu.
- 0,05 N  $\text{KMnO}_4$ 'den birkaç damla ilave edildi, (ısı ile ayrılmayan organik bileşikleri kimyasal olarak parçalayıp ayrılabilir duruma getirmek için, yani organik safsızlığı gidermek için)
- 6 M'lık NaOH çözeltisinden birkaç damla ilave edildi, (radyo karbon ve radyoaktif iyot gibi maddeleri uzaklaştırmak için) balon ısıstıcıya yerleştirildi.
- Balonun üzerine vigreux kolon takılıp soğutucuya bağlandı,
- 250 mL'lik nuçe erleni takıldı,
- Sistem kontrol edildikten sonra musluk ve ısıstıcı açıldı,
- Başlangıçta oluşan destilatın 10-15 mL ile toplama kapları çalkalandı ve bu su atıldı,
- Balonlarda 5-10 mL örnek kalıncaya kadar destilasyona devam edildi,
- Isıtıcı kapatılıp 20 dk soğuması beklendi,
- Balon jojelerinde toplanan destilat, üzeri örnek kodu ve destilasyon tarihi ile örnek saklama kaplarına konuldu,

Örnek sayım sisteminde analize hazır hale getirildi.

#### 2.4. Sistemin Sayıma Hazırlanması

Sayım zamanı değerlendirilen örneğin aktivite ölçümü için gereklidir. Minimum algılanabilir aktivite (MDA) değeri işlemsel süreçler kısmında ilgili formül boyunca gözlenebilen bu parametreden etkilenir. Çevresel örneklerde, trityum aktivitesi genellikle çok düşük, bu nedenle yapılacak en iyi yöntem uzun ölçüm zamanı seçmektir böylece MDA değeri mümkün olduğunca düşük olacaktır (M.Palomo vd., 2007).

Bunun içinde aşağıda belirtilen tüm detaylara dikkat edildi.

- Cihazın düzgün çalışabilmesi için ortam sıcaklığı ve rölatif nem dengesi sağlandı,
- Sayıma başlamadan 24 saat önce cihaz açıldı ve cihazın iç sıcaklığının dengeye gelmesi beklenildi.

- Sayıma konulacak örnekler etil alkolle silindi ve çalkalanıp sayım kasetlerine konuldu (Şekil 23).



**Şekil 23.** Örneklerin cihazda sayım kasetlerine yerleştirilmesi

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

#### **2.4.1. Sayım**

Sayım için damıtılan numunelerin 8 mL'si ile sintilasyon çözeltisinin (ultimagold) 12 mL si, darası alınmış 20 mL'lik plastik kapaklı viallere konuldu. Plastik vialler <sup>40</sup>K içermediği için ve cam viallere göre daha düşük beta içerdikleri için fon sayım hızını (background) azaltma etkisine sahiptir. Ağız sıkıca kapatılarak hazırlanan örnekler karanlık ortamda ya da cihaz içerisinde 24 saat bekletildikten sonra sayıma başlatıldı.

Sayımlarımız sırasında su örneklerinin yanı sıra 4124,9 Bq/L' ye seyreltilmiş laboratuvar standardı (DWS), destillenmiş spike (RWS) ve ölü su da (DW) eş zamanlı olarak Packart-Tri-Carb 2900 TR Düşük Sintilasyon Sayma Sistemi ile sayımlarımız gerçekleştirildi. Bir örnek 10 kez 150 şer dakikalık sayıma tabi tutuldu. Bu durumda her bir örnek için toplam 1500 dakikalık sayım gerçekleştirildi.

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

- Sayım programı oluşturuldu (Örn: Sayım süresi 10 tur ve her sayım 1500dk/tur).
- Su örnekleri için trityum sayımları açılan bir klasöre kaydedildi,
- Protokol adı olarak örneklerin sayıma koyulduğu tarih kullanıldı (gg.aa.yy)
- Sayım süresi 10 tur ve 1500 dk/tur olarak ayarlandı.

## 2.4.2. Sayım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

**Chauvenet Kriteri:** Bu kriter gere, 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 kriter gere ortalamadan sapan değerler veri setinden atılır (Tablo 17).

**Tablo 17.** N24 numunesine ait veri setine Chauvenet Kriterinin uygulanması

N24				N24			
1	3,75	$x/\sigma=1.96$		1			1
2	3,39	$x=1.96*\sigma$		2	3,39		Chauvenet
3	3,45			3	3,45		Kriteri
4	3,15	0,39		4	3,15		çkarılır
5	3,14	2,94	3,72	5	3,14		
6	3,25			6	3,25		
7	3,41			7	3,41		
8	3,07			8	3,07		
9	3,42			9	3,42		
10	3,24			10	3,24		
Ortalama	3,33			Ortalama	3,28		Yeni ortalama hesaplanır
St.Sapma	0,1998			St.Sapma	0,14169		
Hata	0,0011			Hata	0,00075		

±2σ aralığı hesaplanıp bu aralık dışında kalan değerler ortalamadan çkarılır. Ve yeni ortalama hesaplanır. N24 de yaptığımız gibi.

## 2.5. Hesaplamalar

### 2.5.1. Trityum Aktivite Hesabı

Tanımlar;

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

4. **B:** Tritiyum içermeyen(ölü su) suyun ortalama sayım hızı(fon sayım hızı).
5. **E:** Sayım verimi
6. **V:** Örneğin hacmi, ml
7. **F:** Geri kazanım düzeltme faktörü.
8. **DWS:** Tritiyum konsantrasyonu bilinen ana standardın hazırlanmış, H-3 içeriği bilinen laboratuvar standardının ortalama sayım hızı.
9. **RWS:** Tritiyum konsantrasyonun bilinen laboratuvar standardından hazırlanmış destilasyonu kontrol standardının (spike) ortalama sayım hızı.
10. **Cps:** Saniyedeki sayım hızı
11. **Dps:** Saniyedeki bozunma hızı
12. **A:** Örneğin trityum aktivitesi, Bq/L
13. **N:** Örneğin ortalama net sayım hızı

Su numunelerinin trityum konsantrasyonlarının hesaplanabilmesi için ölçümde su numunelerinin dışında trityum konsantrasyonu bilinen laboratuvar standardı, bu standarttan seyreltilerek hazırlanmış spike ve 3 defa distile edilmiş ölü suyun (blank) bulunması gereklidir. Örneğin trityum konsantrasyonu, sayım verimi ve kimyasal verimi için Denklem 14,15 ve 16'da kullanılmıştır.

$$A(Bq/l) = \frac{R - B}{\varepsilon \times V \times F} \times 1000 \quad (14)$$

### 2.5.2. Sayım verimi

$$\varepsilon = \frac{DWS_{cps} - B_{cps}}{DWS_{dps}} \quad (15)$$

- $\varepsilon \pm 2\sigma, B \pm 2\sigma$  kabul edilebilirlik sınırları içerisindedir.
- Sayım setine ait verim ve fon sayım değeri  $\varepsilon \pm 3\sigma, B \pm 3\sigma$  ulaştığında deney ve sayım sistemi gözden geçirilmelidir.



### 2.5.3. Geri kazanım düzeltme faktörü:

Destile edilmiş örnekler için verim düzeltme faktörü aşağıdaki formüle göre hesaplanır

$$F = \frac{DWS_{cps} - B_{cps}}{\mathcal{E} \times RWS_{dps}} \quad (16)$$

### 2.5.4. Belirsizlik Hesabı

Örneklerin trityum aktivitesinin belirsizliği  $\pm 2\sigma$  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 sayımı

$$\sigma(Bq/l) = A(Bq/l) \times \sqrt{\left(\frac{\sigma N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \mathcal{E}}{\mathcal{E}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F}{F}\right)^2} \quad (17)$$

$$N = R - B \quad (18)$$

$$\sigma N = \sqrt{\sigma R^2 + \sigma B^2} \quad (19)$$

$$\sigma_R = \frac{\sigma_{S,R}}{\sqrt{n}}, \quad (20)$$

$$\sigma_B = \frac{\sigma_{S,B}}{\sqrt{n}} \quad (21)$$

### 2.5.5. Minimum Algılanabilir Aktivite (MDA) Değerinin Hesaplanması

Tritiyum örneklerine ilişkin minimum algılanabilir aktivite (MDA) değerleri aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

Tanımlar:

**cpm<sub>b</sub>** (dakikadaki sayım oranı) ölü su (DW) sayım oranını,

**ts** spike (RWS) sayım zamanı (1500dk),

**tb** DW sayım zamanını (1500 dk),

**V** litre olarak hacimi,

**ε** sayım verimini,

**MDA** Minimum dedekte edilebilir aktivite değerini (Bq)

**MDC** Minimum dedekte edilebilir konsantrasyon değerini (Bq/L) ifade etmektedir.

$$\text{MDC} = \frac{16,7 * 3,29 * \sqrt{cpm_b * t_s * \left(1 + \frac{t_s}{t_b}\right) + 3}}{\varepsilon * t_s * V} \quad (22)$$

$$\text{MDC} = \frac{16,7 * 3,29 * \sqrt{\frac{3}{60} * 1500 * \left(1 + \frac{1500}{1500}\right) + 3}}{0,32 * 1500 * 0,008} = 1,36 \quad (23)$$

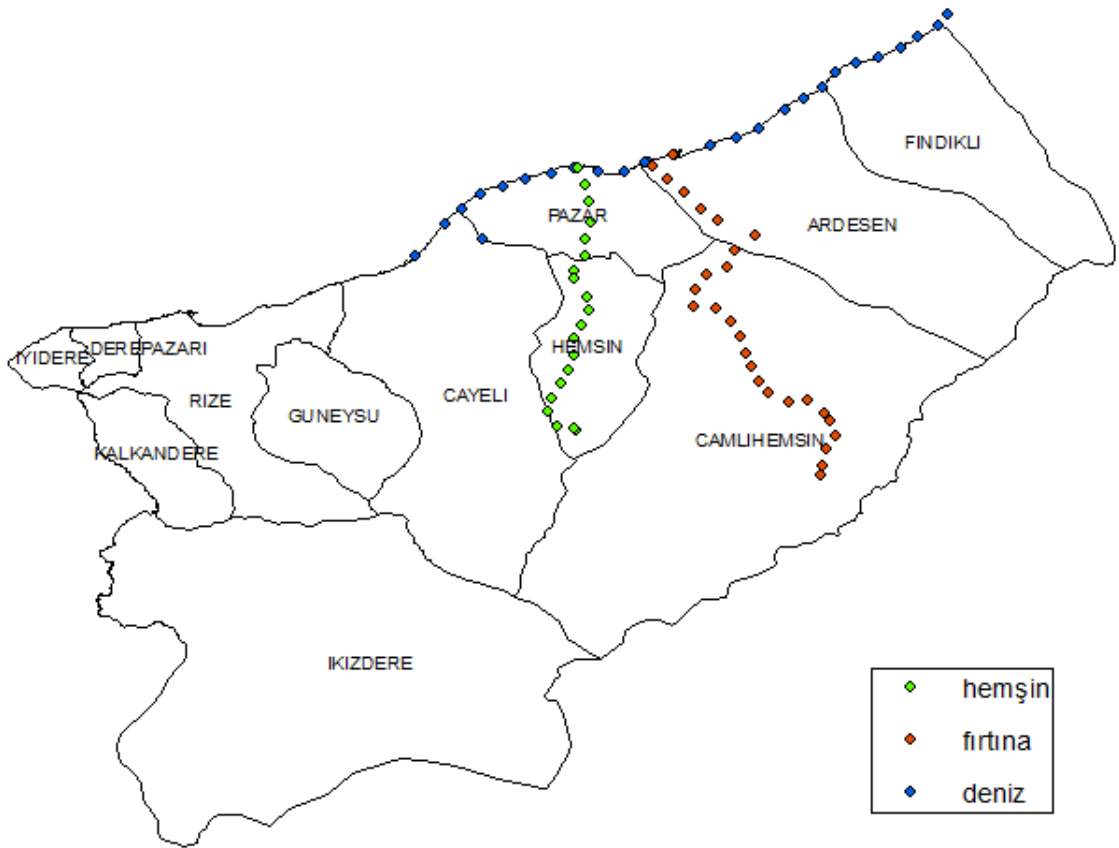
$$\text{MDA} = \text{MDC} * V \quad (24)$$

$$\text{MDA} = 1,36 * \frac{8}{1000} = 0,011 \quad (25)$$

### 3. BULGULAR

Önceki bölümde anlatılan yöntemlerle hazırlanan nehir ve deniz suyu numunelerinde doğal beta radyoaktivite düzeyinin ayrıntılı incelemesinin ve radyoaktivite dağılım ilişkilerinin belirlenebilmesi için trityum analizleri, ASTM D4107-08 yöntemi kullanılarak incelendi. Sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.

Örnek istasyonları aşağıdaki Şekil 24’de gösterilmektedir.



Şekil 24. Örneklerin alındığı noktaların haritadaki gösterimi

### 3.1. Numune ve Standartlara Ait Sayımlar

**Tablo 18.** Fırtına Nehir Suyu Numunelerine ait sayım verileri

Numunenin Adı	Saymalar (Sayma/dk)										Ortalama (Sayma/dk)
N1	3,48	3,62	3,31	3,57	3,21	3,48	3,40	3,26	3,25	3,49	3,41
N2	3,47	3,03	3,42	3,05	3,15	3,10	3,11	3,49	3,15	2,97	3,19
N3	3,20	3,26	3,26	3,64	3,54	3,12	3,24	3,40	3,49	3,44	3,36
N4	3,20	3,43	3,24	3,30	3,31	3,64	3,29	3,19	3,34	3,50	3,31
N5	3,41	3,30	3,05	3,21	3,43	3,26	3,33	3,12	3,48	3,34	3,29
N6	3,23	3,47	3,41	3,17	3,40	3,39	3,07	3,20	3,41	3,03	3,28
N7	3,51	2,91	2,93	3,13	3,39	3,24	3,07	3,33	3,02	2,94	3,15
N8	3,58	3,46	3,30	3,46	3,32	3,27	3,20	3,29	3,19	3,27	3,29
N9	3,47	3,47	3,25	3,46	3,35	3,32	3,17	3,38	3,22	3,06	3,32
N10	3,60	3,41	3,25	3,02	3,37	3,44	3,54	3,33	3,68	3,46	3,41
N11	3,57	3,33	3,54	3,40	3,40	3,36	3,48	3,51	3,61	3,92	3,47
N12	3,71	3,81	3,52	3,47	3,14	3,36	3,74	3,36	3,39	3,58	3,51
N13	3,58	3,24	3,64	3,76	3,45	3,11	3,10	3,42	3,47	3,36	3,41
N14	3,62	3,41	3,42	3,55	3,60	3,53	3,38	3,23	3,28	3,44	3,45
N15	3,31	3,41	3,58	3,26	3,50	3,33	3,39	3,48	3,40	3,27	3,39
N16	3,56	3,58	3,55	3,82	3,48	3,47	3,36	3,44	3,39	3,27	3,46
N17	3,58	3,65	3,56	3,58	3,76	3,57	3,39	3,47	3,24	3,21	3,50
N18	3,58	3,66	3,38	3,64	3,55	3,45	3,47	3,84	3,49	3,41	3,51
N19	3,63	3,44	3,52	3,49	3,41	3,08	3,48	3,21	3,30	3,27	3,38
N20	3,38	3,23	3,40	3,66	3,26	3,25	3,58	3,38	3,36	3,49	3,40
N21	3,74	3,56	3,69	3,64	3,53	3,44	3,36	3,37	3,17	3,42	3,49
N22	3,49	3,26	3,31	3,35	3,54	3,34	3,63	3,33	3,39	3,44	3,41
N23	4,00	3,72	3,32	3,55	3,46	3,47	3,52	3,35	3,52	3,43	3,45
N24	3,75	3,39	3,45	3,15	3,14	3,25	3,41	3,07	3,42	3,24	3,33
N25	3,52	3,44	3,29	3,23	3,37	3,37	3,45	3,37	3,42	3,20	3,37
N26	3,26	3,67	3,35	3,46	3,20	3,57	3,55	3,56	3,31	3,47	3,44

**Tablo 19.** Hemşin Nehir Suyu Numunelerine ait sayım verileri

Numunenin Adı	Saymalar (Sayma/dk)											Ortalama (Sayma/dk)
P1	3,23	3,22	3,35	3,30	3,24	2,92	3,12	3,01	2,95	2,92	3,13	
P2	3,52	3,24	3,29	3,41	3,02	3,17	3,40	3,52	3,39	3,36	3,33	
P3	3,28	3,13	3,01	3,40	3,47	3,09	3,18	2,96	3,31	3,13	3,20	
P4	3,43	3,84	3,73	3,65	3,62	3,69	3,68	3,64	3,58	3,65	3,65	
P5	3,35	3,48	3,31	3,34	3,40	3,36	3,56	3,44	3,38	3,16	3,38	
P6	3,85	3,74	3,79	3,39	3,31	3,34	3,53	3,36	3,41	3,28	3,50	
P7	3,40	3,40	3,28	3,47	3,47	3,36	3,17	3,63	3,48	3,29	3,40	
P8	3,01	3,45	3,22	3,26	3,05	3,51	3,37	3,07	3,35	3,14	3,24	
P9	3,34	3,05	3,31	3,36	3,17	3,38	3,36	3,41	3,34	3,47	3,36	
P10	3,03	3,17	3,01	3,06	3,35	3,05	3,24	3,27	3,31	3,04	3,15	
P11	3,61	3,55	3,22	3,44	3,40	3,43	3,23	3,27	3,38	3,29	3,38	
P12	2,82	2,81	2,66	2,69	2,74	2,68	2,57	3,27	2,65	2,52	2,74	
P13	3,21	3,36	3,07	3,48	3,27	3,25	3,39	3,27	3,31	3,47	3,31	
P14	3,23	3,38	3,22	3,49	3,25	3,32	3,63	3,27	3,32	3,46	3,36	
P15	3,13	3,41	3,46	3,49	3,40	3,40	3,22	3,27	3,19	3,27	3,32	
P16	3,25	3,32	3,26	3,41	3,14	3,35	2,96	3,27	3,44	3,25	3,33	
P17	3,34	3,05	3,31	3,36	3,47	3,38	3,36	3,27	3,34	3,17	3,37	
P18	3,03	3,17	3,01	3,06	3,35	3,05	3,24	3,27	3,31	3,04	3,15	
P19	3,61	3,55	3,22	3,44	3,40	3,43	3,23	3,27	3,38	3,33	3,37	
P20	2,82	2,81	2,66	2,69	2,74	2,68	2,57	3,27	2,65	2,52	2,74	
P21	3,21	3,36	3,07	3,48	3,27	3,25	3,39	3,27	3,31	3,47	3,31	
P22	3,23	3,38	3,22	3,49	3,25	3,32	3,63	3,27	3,32	3,46	3,36	
P23	3,13	3,41	3,46	3,49	3,40	3,40	3,22	3,27	3,19	3,27	3,32	

**Tablo 20.**Background ve Standartlara ait sayım verileri

Numune Adı	Saymalar (Sayma/dk)											Ortalama (Sayma/dk)
(DW)	2,97	2,93	2,89	2,99	3,21	2,94	2,99	2,77	3,00	3,29	3,00	
(DWS)	589,52	590,27	591,54	593,05	587,31	593,62	591,83	590,06	588,06	595,93	591,12	
(RWS)	58,63	58,99	60,13	59,56	59,20	59,47	59,69	58,53	59,48	59,81	59,35	

**Tablo 21.**Deniz Suyu Numunelerine ait sayım verileri

Numunenin Adı	Saymalar (Sayma/dk)										Ortalama (Sayma/dk)
D1	3,20	3,26	3,26	3,64	3,54	3,12	3,24	3,40	3,49	3,44	3,36
D2	3,71	3,03	3,50	3,46	3,24	3,18	3,21	3,44	2,83	3,06	3,27
D3	3,06	2,96	3,04	3,39	3,22	3,18	3,12	3,35	3,22	3,07	3,16
D4	3,43	3,15	3,30	3,52	3,51	3,23	3,28	3,40	3,10	3,26	3,31
D5	3,39	3,31	3,24	3,68	3,18	3,36	3,44	3,42	3,21	3,14	3,34
D6	3,20	3,26	3,26	3,64	3,54	3,12	3,24	3,40	3,49	3,44	3,36
D7	3,33	3,26	3,19	3,17	3,30	3,28	3,45	3,18	3,40	3,22	3,28
D8	3,73	3,31	3,58	3,69	3,66	3,58	3,71	3,57	3,21	3,43	3,29
D9	3,52	3,09	3,41	3,22	3,24	3,34	3,48	3,16	3,17	3,37	3,30
D10	3,18	2,78	2,99	2,93	3,15	3,01	3,24	3,00	3,07	2,96	3,03
D11	3,01	3,19	3,03	3,11	2,92	3,05	3,07	3,12	2,75	3,11	3,47
D12	3,27	3,14	3,05	3,01	3,07	3,15	3,10	2,92	2,84	3,21	3,08
D13	3,20	2,95	3,07	3,21	3,02	2,91	2,91	2,92	2,98	3,34	3,05
D14	2,90	2,85	3,22	3,13	3,18	3,05	3,00	2,98	3,28	3,31	3,09
D15	3,25	3,32	3,26	3,41	3,14	3,35	2,96	3,44	3,44	3,25	3,28
D16	3,46	3,21	3,73	3,25	3,53	3,09	3,69	3,62	3,27	3,22	3,46
D17	3,37	3,47	3,39	3,20	3,35	3,26	3,42	3,08	3,26	3,30	3,31
D18	3,54	3,28	3,30	3,44	3,49	3,73	3,25	3,14	3,23	3,20	3,51
D19	3,52	3,30	3,23	3,32	3,43	3,42	3,54	3,17	2,88	3,09	3,29
D20	3,11	3,07	3,30	3,24	3,02	3,60	3,44	3,28	2,94	3,39	3,24
D21	3,41	3,27	3,47	3,21	3,39	3,14	3,18	3,37	3,28	3,56	3,33
D22	3,34	3,07	3,23	3,25	3,38	3,19	3,14	3,26	3,33	3,03	3,22
D23	3,48	3,32	3,46	3,21	3,34	3,26	3,22	3,26	3,14	2,99	3,45
D24	3,35	3,41	3,32	3,24	3,06	3,13	3,39	3,28	3,28	3,12	3,26
D25	3,10	3,22	3,13	3,31	2,99	3,15	3,20	3,22	3,24	3,00	3,16
D26	3,59	3,06	3,43	3,10	3,40	3,02	3,16	3,26	3,55	3,42	3,30
D27	3,26	3,16	3,16	3,12	3,17	3,27	3,31	3,47	3,61	3,16	3,27
D28	3,17	3,02	3,37	3,19	3,17	3,36	3,45	2,93	3,44	3,54	3,26

### 3.2. Toplanan Numunelerde Belirlenen Tritiyum Konsantrasyonu

Tritiyum limit değeri 100 Bq/L olarak tanımlanmıştır. Bu amaç için analiz talepleri ağırlıklı olarak işletme belgelerini devam ettirmek isteyen içme suyu şişeleme tesislerinden gelmektedir. Bu standart, insani tüketim amaçlı suları kapsar. Maden suyu (TS 9130), içme suyu ve kaplıca suyu gibi şifalı suları, gıda maddesi ile doğrudan teması olmayan sanayide kullanılan suları, tıbbi amaçlarla kullanılan suları ve analitik laboratuvarında kullanılan suları (TS EN ISO 3696) kapsamaz ( Top, 2008).

Fırtına ve Hemşin Nehir suları ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca alınan su örnekleri için trityum konsantrasyonu sonuçları aşağıdaki gibidir Tablo (22-23-24).

**Tablo 22.** Fırtına nehir suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu ve rakım bilgileri

<b>FIRTINA NEHİR SUYU TRİTYUM KONSANTRASYONLARI</b>		
<b>Örnek Kodu</b>	<b>Örneklemeye Noktasının Rakımı(m)</b>	<b>Trityum Konsantrasyonu (Bq/l)</b>
N1	2268	2,740±1,28
N2	2200	<MDC
N3	1945	2,409±0,921
N4	1754	2,075±1,241
N5	1585	1,941±1,381
N6	1492	1,874±1,162
N7	1379	<MDC
N8	1173	1,740±1,271
N9	1032	2,141±1,111
N10	1043	2,744±1,112
N11	782	3,145±1,112
N12	696	3,413±1,112
N13	590	2,744±1,112
N14	551	3,011±1,112
N15	518	2,610±1,112
N16	289	3,078±1,112
N17	282	3,346±1,112
N18	222	3,413±1,112
N19	181	2,543±1,112
N20	148	2,677±1,112
N21	124	3,279±1,112
N22	109	2,744±1,112
N23	70	3,011±1,112
N24	47	1,874±1,111
N25	24	2,476±1,112
N26	0	2,944±1,288
Maximum		3,413±1,112
Minimum		1,740±1,271
Ortalama		2,666±1,136

**Tablo 23.** Hemşin nehir suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu ve rakım bilgileri

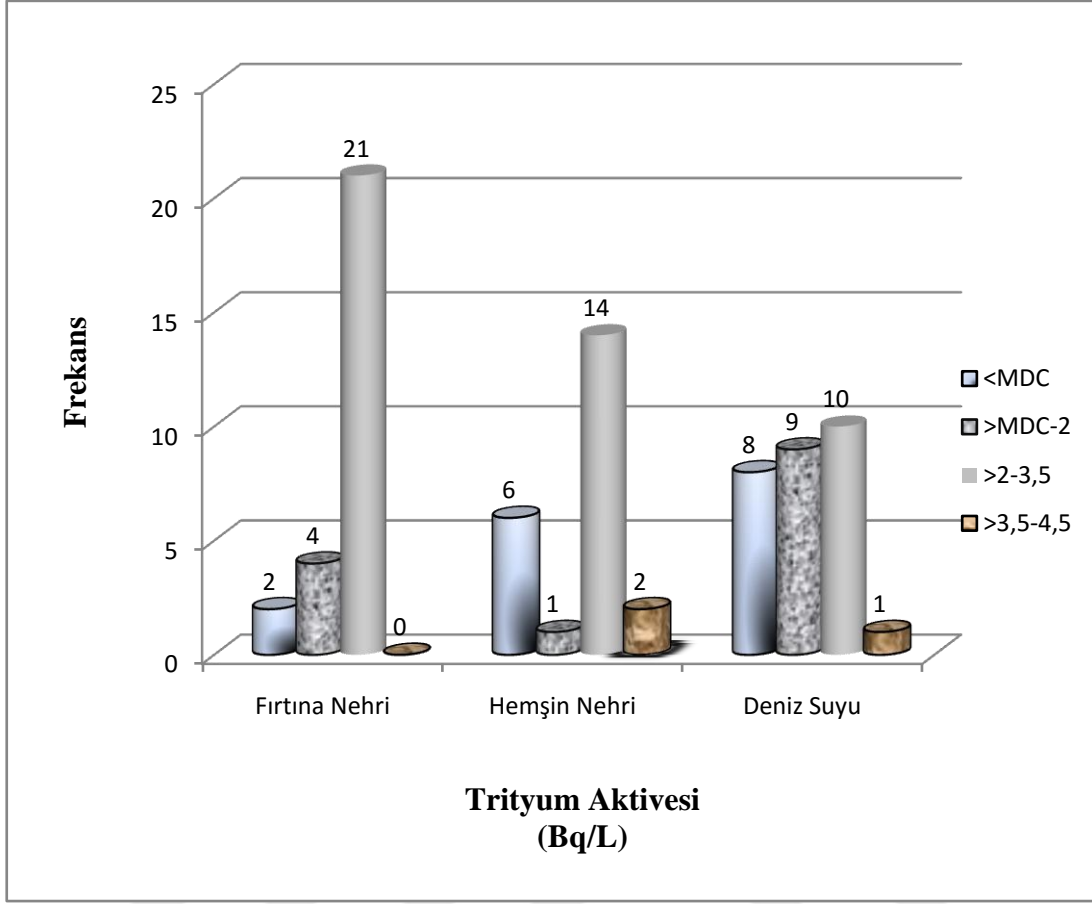
<b>HEMŞİN NEHİR SUYU TRİTYUM KONSANTRASYONLARI</b>		
<b>Örnek Kodu</b>	<b>Örnekleme Noktasının Rakımı(m)</b>	<b>Trityum Konsantrasyonu (Bq/l)</b>
P1	1165m	<MDC
P2	1130m	2,476±1,257
P3	967m	<MDC
P4	818m	4,417±1,242
P5	809m	2,677±1,381
P6	688m	3,346±1,163
P7	701m	2,610±1,305
P8	580m	1,606±1,271
P9	432m	2,409±1,111
P10	356m	<MDC
P11	318m	2,476±1,112
P12	259m	<MDC
P13	438m	2,075±1,111
P14	164m	2,543±1,112
P15	140m	2,075±1,111
P16	135m	2,141±1,111
P17	124m	2,409±1,111
P18	109m	<MDC
P19	70m	2,476±1,112
P20	67m	<MDC
P21	39m	2,275±1,111
P22	11m	2,543±1,112
P23	0	2,075±1,111
Maximum		4,417±1,242
Minimum		1,606±1,271
Ortalama		2,298±1,111



**Tablo 24.** Deniz suyu örneklerinde trityum konsantrasyonu

<b>DENİZ SUYU TRİTYUM KONSANTRASYONLARI</b>	
<b>Örnek Kodu</b>	<b>Trityum Konsantrasyonu(Bq/l)</b>
D1	2,409±1,288
D2	1,740±1,257
D3	<MDC
D4	<MDC
D5	2,275±1,381
D6	2,141±1,162
D7	1,874±1,305
D8	3,681±1,272
D9	2,008±1,111
D10	<MDC
D11	<MDC
D12	<MDC
D13	<MDC
D14	<MDC
D15	2,128±1,111
D16	2,744±1,112
D17	2,075±1,111
D18	2,128±1,111
D19	1,941±1,111
D20	1,606±1,111
D21	2,208±1,111
D22	1,472±1,111
D23	1,807±1,111
D24	1,740±1,111
D25	<MDC
D26	2,008±1,111
D27	1,807±1,111
D28	1,807±1,111
Maximum	3,681±1,272
Minimum	1,472±1,111
Ortalama	1,874±1,161

Fırtına Nehri ve Hemşin Nehri ile Deniz suyu örneklerinin trityum aktivitelerinin kategorik olarak gösterimi aşağıdaki grafikte gösterilmektedir (Şekil 25).



Şekil 25. Fırtına, Hemşin Nehri ve Deniz suyu örneklerinin kategorik gösterimi.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

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

Fırtına nehrinden alınan 26 örnek için ortalama trityum konsantrasyonu  $2,666 \pm 1,136$  Bq/L ( $22,593 \pm 9,627$  TU) olarak hesaplandı. En yüksek trityum konsantrasyonu  $3,413 \pm 1,112$  Bq/L ( $28,924 \pm 9,424$  TU) değerinde, 45,40985 K – 06,72970D koordinatlarında 696 m rakıma sahip, örnek kodu N-12 ve 45,44551 K – 06,69425D koordinatlarında 222 m rakıma sahip, örnek kodu N-18 olan numunelerde bulundu. En düşük trityum konsantrasyonu ise  $1,74 \pm 1,271$  Bq/L ( $14,746 \pm 10,771$  TU) değerinde 45,35807 K – 06,76575 D koordinatlarında 1173 m rakıma sahip, örnek kodu N-8 olan numunede bulundu. 2 örnek ise MDC' nin altında kaldı.

Hemşin nehrinden alınan 23 örnek için ortalama trityum konsantrasyonu  $2,298 \pm 1,111$  Bq/L ( $19,475 \pm 9,415$  TU) olarak hesaplandı. En yüksek trityum konsantrasyonu  $4,417 \pm 1,242$  Bq/L ( $37,432 \pm 10,525$  TU) değerinde, 45,34244 K – 06,56770 D koordinatlarında 818 m rakıma sahip, örnek kodu P-4 olan numunede bulundu. En düşük trityum konsantrasyonu ise  $1,606 \pm 1,271$  Bq/L ( $13,610 \pm 10,771$  TU) değerinde 45,40544 K – 06,58703 D koordinatlarında 580 m rakıma sahip, örnek kodu P-8 olan numunede bulundu. 6 örnek ise MDC' nin altında kaldı.

Deniz suyu örneklerinden alınan 28 örnek için ortalama trityum konsantrasyonu  $1,874 \pm 1,161$  Bq/L ( $15,881 \pm 9,839$  TU) olarak hesaplandı. En yüksek trityum konsantrasyonu  $3,681 \pm 1,272$  Bq/L ( $31,195 \pm 10,780$  TU) değerinde, 45,58654 K-06,52483 D koordinatlarında, örnek kodu D-8 olan numunede bulundu. En düşük trityum konsantrasyonu ise  $1,472 \pm 1,111$  Bq/L ( $12,475 \pm 9,415$  TU) değerinde 45,68705 K – 06,77067 D koordinatlarında, örnek kodu D-22 olan numunede bulundu. 8 örnek ise MDC' nin altında kaldı. Toplamda 77 su numunesi için yapılan trityum konsantrasyonu analizi sonucunda 16 örneğin MDC' nin altında kaldığı tespit edildi. Fırtına Nehir suyundaki trityum konsantrasyonu Hemşin Nehir suyuna göre daha yüksek çıktı.

#### 4.1. İçme Suları İçin Radyoaktivite Limitler

İçme sularındaki radyoaktivite analizlerinde Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 17/02/2005 tarih ve 25730 sayılı resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren ‘‘İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik’’te verilen içme suyuna ilişkin radyolojik parametre ve sınır değerler Tablo 25’de verilmiştir (TAEK Raporu, 2009).

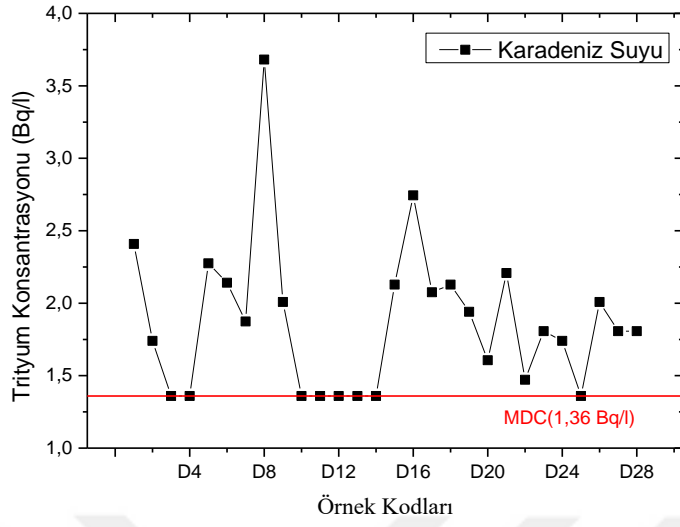
**Tablo 25.** Su radyoaktivite analizinde kullanılan radyolojik parametreler ve limitler

Parametre	Parametrik Değer	Birim
Trityum ( $^3\text{H}_1$ )	$\leq 100$	Bq/L
Toplam Gösterge Dozu (TGD)	$\leq 0,10$	mSv/yıl
Alfa yayınlayıcılar ( $\alpha$ )	$\leq 0,1$	Bq/L
Beta yayınlayıcılar ( $\beta$ )	$\leq 1$	Bq/L

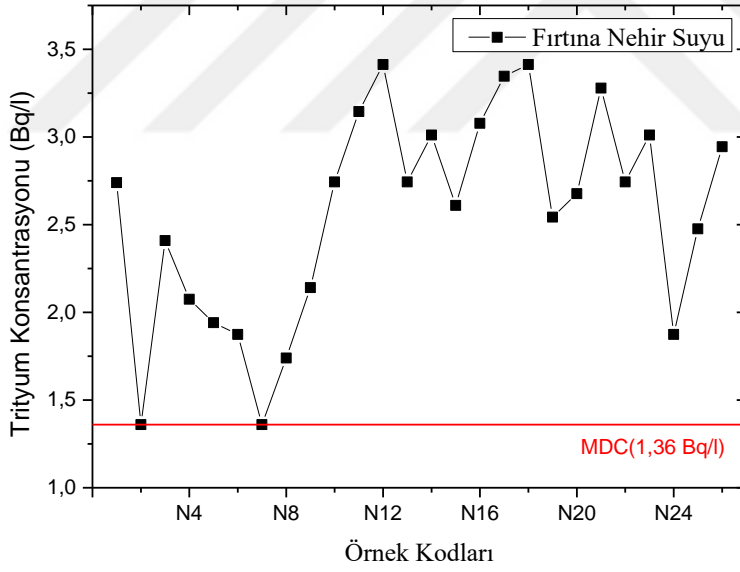
Dünyanın farklı bölgelerine ait nehir ve deniz sularında trityum aktivite seviyelerine ilişkin birçok çalışma bulunmaktadır. Mevcut çalışmayla ilgili kıyaslamada bulunabilmek için, bu çalışmalardan bazılarının trityum konsantrasyonu ortalama veya değişim değerleri Tablo 26’da verilmektedir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar, Japonya (Kuzey ada) nehir suyu örnekleri (Momoshima vd., 1991), elde edilen sonuçlarla yakın değişim aralığındayken, İspanya nehir suyu örnekleri (Paloma vd., 2007) nehir suyu örneklerinden elde edilen sonuçlardan ise oldukça düşüktür. Aynı zamanda Tablo 26’dan da görüldüğü üzere, Rize’nin Fırtına ve Hemşin nehir suyu örnekleri, Japonya (Güney ada) nehir suyu örnekleri (Momoshima vd., 1991), Finlandiya nehir suyu örnekleri (Marianna ve Alena, 2011) , Hindistan (Varahi-Markandeya) nehir suyu örnekleri (Ravikumar ve Somashekar, 2011) ve İrlanda (Currivan vd., 2013) nehir suyu örneklerine göre yüksek trityum konsantrasyonuna sahiptir.

**Tablo 26.** Dünyada yapılan çalışmalar

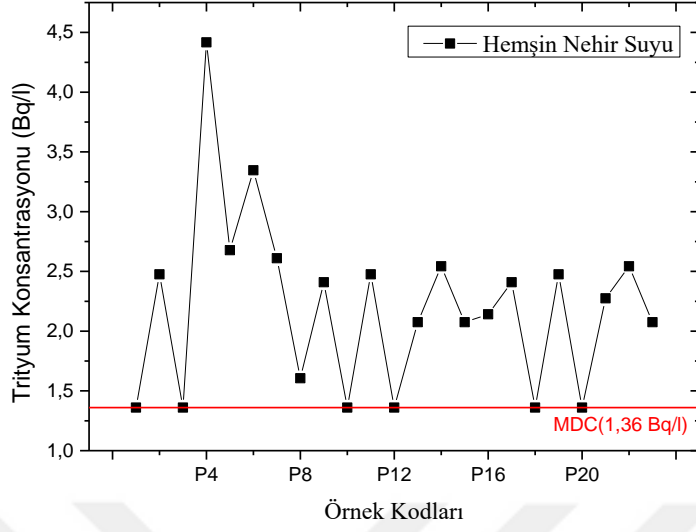
Ülke	Tritiyum Konsantrasyonu(Bq/L)	Örnek çeşidi	Referans
Japonya (Kuzey ada)	2,42 ± 0,81 Bq/L (20,48±6,85 TU)	Nehir suyu	(Momoshima vd., 1991)
Japonya (Güney ada)	1,00 ± 0,36 Bq/L (8,46±3,05 TU)	Nehir suyu	(Momoshima vd., 1991)
Yugoslavya	2,4-15,9 Bq/L (20,31-134,56 TU)	Nehir suyu	(Hadzisehovic vd., 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)
Türkiye	1,64±0,94 Bq/L (13,88±7,95 TU)	Nehir suyu (Büyükdere)	İpek, 2015
Türkiye	1,72±0,94 Bq/L (14,56±7,95 TU)	Nehir suyu (İkizdere)	İpek, 2015
Bu çalışma	2,66±1,13Bq/L (22,59±9,62 TU)	Nehir suyu (Fırtına)	(Fındıklı Kağanoğlu, 2015)
Bu çalışma	2,29±1,11Bq/L (19,48±9,42 TU)	Nehir suyu (Hemşin)	(Fındıklı Kağanoğlu, 2015)
Bu çalışma	2,29±1,11Bq/L (19,48±9,42 TU)	Deniz suyu	(Fındıklı Kağanoğlu, 2015)



Şekil 26. Deniz suyu örneklerinin trityum aktivite dağılımı

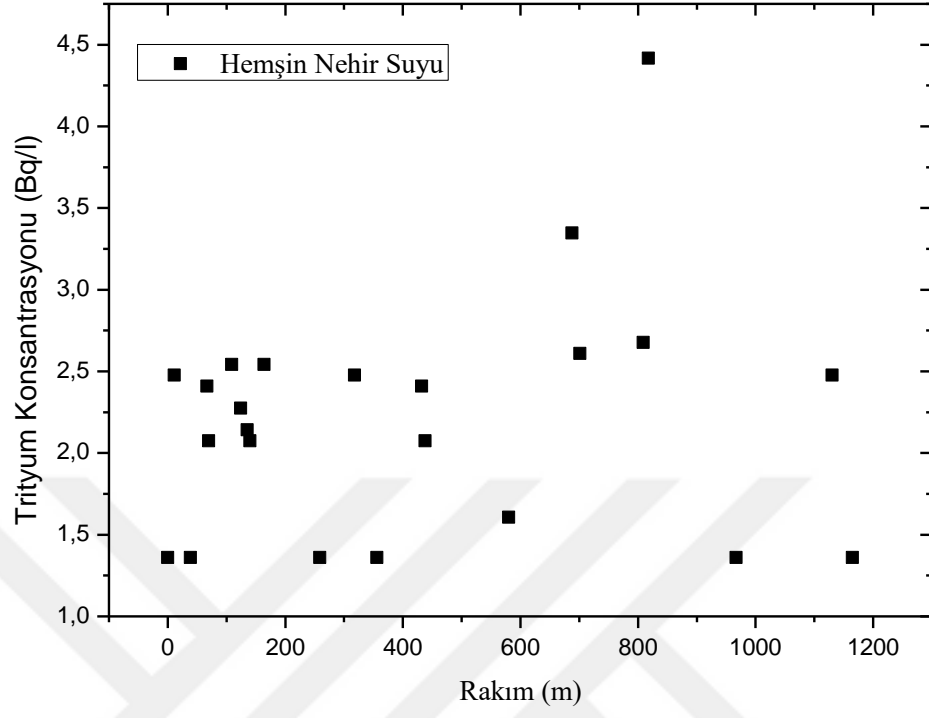


Şekil 27. Fırtına Nehir suyu örneklerinin trityum aktivite dağılımı



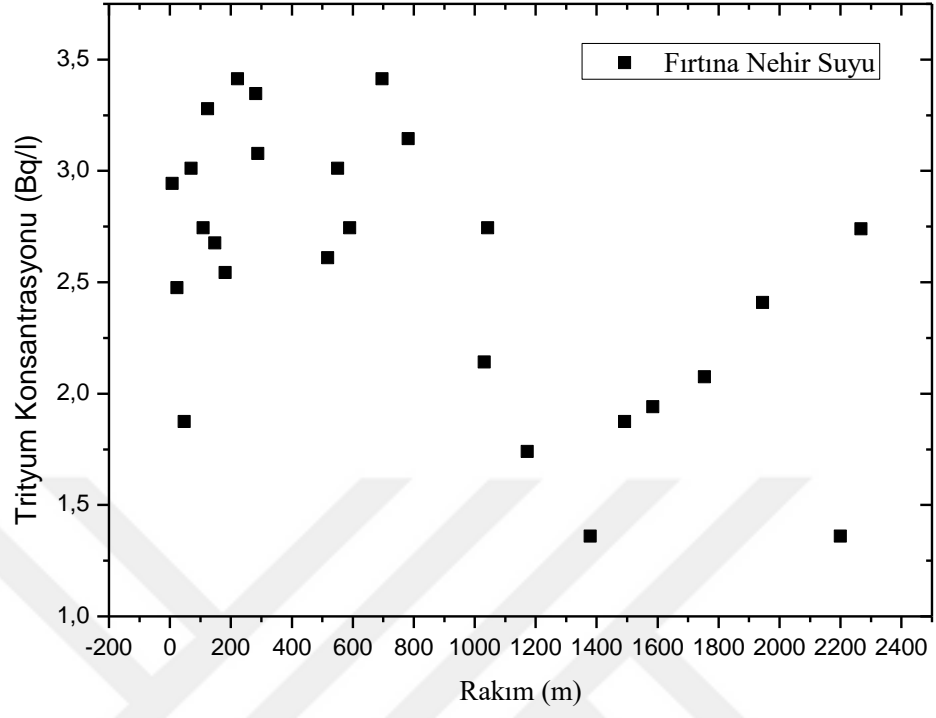
**Şekil 28.** Hemşin Nehir suyu örneklerinin trityum aktivite dağılımı

Fırtına ve Hemşin Nehri ve bu nehirlerin döküldüğü sahil şeridi boyunca deniz suyu örneklerinin alındığı noktaların koordinatları ve rakım değerleri GPS cihazı ile kayıt edilmiştir. Aşağıdaki grafiklerde Fırtına ve Hemşin Nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı verilmektedir (Şekil 29 ve Şekil 30).



**Şekil 29.** Hemşin nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı





**Şekil 30.** Fırtına nehir sularının rakıma karşı trityum aktivite dağılımı

## 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 ülkemizin farklı bölgelerinde farklı örnekler üzerinde trityum analizi yapılabilir.

Ülkemizin radyoaktif kaynaklarının tam olarak bilinmemesi, insan sağlığının korunması açısından radyolojik risk tahminine yönelik bilgi vermesi, gelecekte radyoaktif kirliliğin değişiminin değerlendirilmesine ve izlenmesine yönelik kontrolün sağlanması açısından bu konularda bilimsel çalışmalar düzenli olarak yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Altay, T. and Çifter, C., 1996.** Tritiyum Laboratuvarı El Kitabı. T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, yayın no: İZ-903, 83 s.
- Anonimous,2004.** Principles and applications of liquid scintillation counting, National diagnostics laboratory staff ,15s.
- Arankytö, P., Paso, C, and Kaihola, L., 1994.** Nuclear counters in environmental applications, Perkin Elmer, 29s.
- ASTM D-3648, 1987.** Standart practices for the measurement of radioactivity, AnnualBook of ASTM (The American Society for Testing and Materials) Standarts 330–356.
- Cansoy, Ç., 1978.** Teorik fizik dersleri çekirdek teorisi, İstanbul Üniversitesi, cilt 10, 192s.
- Charles, J, and Passa, Jr., 1994.** Handbook of environmental liquid scintillation spectrometry, Packard, 156s.
- Curri van, L., Kelleher. K., McGinnity, P., Wong, J. and McMahon, C., 2013.** A survey of tritium in Irish seawater, Radiological Protection Institute of Ireland, RPII 13/02, 30s.
- Çelebi, N., 1995.** Çevresel örneklerde uranyum, radyum ve radon ölçüm tekniklerinin geliştirilmesi, Doktora Tezi İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,Türkiye, 21–22.
- Çelebi, N., and Yaşar, S., 1998.** Sularda radyoaktivite, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- Dashek, W., 2000.** Methods in plant elektron microscopy cytochemistry, Humana Pres, 300 s.
- Dawis, R.M., and Watson, J.E., 1990.** Influence of <sup>226</sup>Ra concentration in surrounding rock on <sup>222</sup>Ra concentration in ground water, Health Physics, 58, 369- 371.
- Dizman, S., 2015.** İdrar örneklerinde trityum seviyesinin belirlenmesi ve bazı biyokimyasal parametrelerle ilişkisi, Doktora Tezi,Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 136 s.
- DSİ Takk Dairesi Başkanlığı, 2003.** Elektroliz zenginleştirilmesi ve sıvı sintilasyon sayma sistemi kullanılarak su numunelerinin trityum içeriği üzerindeki belirsizliklerin saptanması, Ankara, Türkiye, İZ–903.

- 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., 1981.** Stable isotope hydrology, IAEA Technical Reports Series n<sup>0</sup> 210, 35 s.
- Gören, E., 2011.** Adana içme sularında trityum 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, 424 s.
- 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 covariance among seismicity, ground chemistry, and groundwater Radonin Southern California, Geophysical Research Letters, 445-448.
- IAEA, 1996.** International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. International Atomic Energy Agency, Publication number: STI/PUB-115, ISBN: 92-0-104295-7, 48 s.
- IEAE, 2004.** Application of the concepts of exclusion, exemption and clearance : safety guide. International Atomic Energy Agency, Publication number: RS-G-1.7, ISBN: 92-0-109404-3, 29 s.
- 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.
- İpek, N., 2015.**Rize bölgesindeki bazı nehir ve deniz suyu örneklerindeki trityum seviyesinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 84s.
- Johnson, H. and Tuitah, M., 1983.**Radiation is part of your life, Nuclear Information Series, Atomic Energy of Canada Limited Public Affairs.
- Keser, R., 2009.** Rize ili sahil kumlarında ve bazı kayalarda 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 Detection and Measurement, John Wiley and Sons, Inc., U.S.A., 754s.
- Knoll, G.F., 2000.** Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons, 3rd. Edition, ISBN: 0-471-07338-5, 796 s.
- Krane, K., 1988.** Introductory Nuclear Physics. Oregon State University, Printed by Kim Hup Lee Printing Co. Pte Ltd, QC777. K73, Singapore.
- Krane, K., 2002.** Nükleer Fizik, Palme yayıncılık, Şarer, B.(Ç.Ed.), Ankara, 2. Cilt.
- Perkin Elmer, 2005.** Features and Benefits Guide for Tricarb Liquid Scintillation Analyzers. Perkin Elmer Life and Analytical Sciences, USA, Publication number: 007357, 24 s.
- TAEK.,2009.** Türkiye'deki çevre radyoaktivitesinin incelenmesi raporu 2007, Türkiye Atom Enerji Kurumu, Ankara.
- Top, G., 2008.** Sıvı sintilasyon cihazı ile içme sularında trityum seviyelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 68s.
- Top, G. and Algin, E., 2009.** Tritium measurements in drinking water in Eskişehir, Turkey. Balkan Physics Letter, 16(161019).
- TS 226, 1965.** İçme Suları. T.S.E. Ankara, III. Baskı.
- TS 226, 2005.** İnsani Tüketim Amaçlı Sular. T.S.E. Ankara, 1. Baskı.
- Tsoufanidis, N., 1995.** Measurement and detection of radiation, Taylor and Francis, London, 636 s.
- URL-1, 2007.** [www.nuclear.gazi.edu.tr/sunu/buyukuslu.ppt](http://www.nuclear.gazi.edu.tr/sunu/buyukuslu.ppt) (14 Mart 2016)
- URL-2, 2016.** <http://slideplayer.biz.tr/slide/5582597/> (24 Ekim 2016)
- URL-3, 2016.** [www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm](http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm) (14 Mart 2016)
- URL-4, 2016.** <https://tr.wikipedia.org/wiki/Trityum> (14 Mart 2016)
- URL-5, 2016.** [http://legacy.ehs.psu.edu/radprot/Packard\\_quench\\_curves\\_calibration.pdf](http://legacy.ehs.psu.edu/radprot/Packard_quench_curves_calibration.pdf) (28 Ekim 2016)
- URL-6, 2016.** [http://www.bio.huji.ac.il/upload/beta\\_counter\\_protocol.pdf](http://www.bio.huji.ac.il/upload/beta_counter_protocol.pdf) (5 Kasım 2016)
- Watanabe, Y. and Kywabara, J., 2006.** Ultraviolet photolysis of urine for suppression of color quenching prior to liquid scintillation counting of tritium. 384, 547–550.
- Watson J.E., Evans, J.P. and Mabry, A.M., 1993.** Analysis of <sup>222</sup>Ra concentration in North Carolina household water supplies derived from private wells.

**Xiaolin, H. and Per, R., 2008.** Critical comparison of radiometric and mass Spectrometric methods for the determination of radionuclides in environmental, biological and nuclear waste samples. *Analytica Chimica Acta*, 608, 105-139.



## EKLER

### EK 1.

#### Sodyumhidroksit (NaOH) ve Potasyumpermanganat (KMnO4) Miktarının Hesaplanması

Trityum analizlerinde distile su numunesi elde etmek için asitliğin giderilmesi ve su numunesini içindeki diğer kimyasallardan ayırmak amacıyla distilasyondan önce örneğe 6 M NaOH ve 0,05 N KMnO4 eklenir,

*Molarite:* 1 L çözeltilerdeki çözülmüş olan madde miktarına *molarite* denir,

$$M = \frac{n}{V} = \frac{mol}{L} = \text{Molarite}$$

*Normalite:* 1 L çözeltilerdeki çözünen maddenin eşdeğer gr sayısına *normalite* denir,

$$N = M \times T_d = \text{molarite} \times \text{tesirdeğerliği}$$

Td, tuzlarda katyonun yüküdür, Redoksta alınan yada verilen elektronun yüküdür,

*6 M NaOH hazırlığı*

$$M_A = 40 \text{ g/mol} \quad V = 500 \text{ mL}$$

$$M = \frac{n}{V} \quad N = \frac{m}{M_A}$$

$$6M = \frac{n}{0,5} \Rightarrow n = 3mol$$

$$3 = \frac{m}{40} \Rightarrow m = 120g$$

6 M NaOH çözeltisinden 500 mL hazırlamak için 120 g katı NaOH gerekli, Yani 120g NaOH' ı 0,5 L suyla çözerek tamamla, Çözeltiyi önce beherde bir miktar suyla çözerek, daha sonra balon jode hazırla.

0,05 N KMnO4 hazırlığı

MA=158,04 g/mol V=500 mL

$$N = M \times T_d \Rightarrow 0,05 = M \times 5 \Rightarrow M \Rightarrow 0,01 \text{ mol / L}$$

$$M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0,01 = \frac{n}{0,5} \Rightarrow n = 0,005 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M_A} \Rightarrow 0,005 = \frac{m}{158,04} \Rightarrow m = 0,79 \text{ g}$$

120 g NaOH, 0,79 g KMnO4 ı 500 mL ye tamamla ve destilasyonda 1-2 damla kullan,

*Not:* Hazırlanan çözeltileri ışık görmeyecek bir şekilde sakla, Çözeltilerin bozulduğunu mor rengin kahverengine dönüşmesinden anlarız.



## ÖZGEÇMİŞ

Çiğdem FINDIKLI KAĞANOĞLU, 11/10/1981 yılında Kilis’de doğdu, İlköğretimini 1992 yılında Mersin ili Erdemli ilçesinde Akdeniz İlköğretim Okulu’nda ve Ortaöğretimini 1995 yılında Mersin ili Atatürk Çok Programlı Lisesi’nde tamamladı. 23/09/1999 tarihinde başladığı lisans eğitimini 24/02/2003 tarihinde Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde tamamladı. 2012 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü’nde başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir. 2003-2011 yılları arasında M.E.B’ nin ilk, orta ve lise dengi birçok okulunda ücretli öğretmen olarak görev yapmıştır. Orta seviyede İngilizce bilen Çiğdem Fındıklı Kağanoğlu, evli ve 2 çocuk annesidir.

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

- 1- F. Kağanoğlu, Ç., Dizman, S, İpek, N, and Keser, R., 2015,** Tritium Concentrations in Fırtına and Hemşin River Waters in Rize, Turkey, 9<sup>th</sup> International Physics Conference of the Balkan Physical Union, (BPU-9) August 24 – 27, 2015.
- 2- F. Kağanoğlu, Ç., Dizman, S., İpek, N, and Keser, R., 2015,** Investigation of Relationship Between Altitude and tritium concentrations in river waters, 9<sup>th</sup> International Physics Conference of the Balkan Physical Union, (BPU-9) August 24 – 27, 2015.
- 3- İpek, N., F,Kağanoğlu Ç., Dizman, S, and Keser, R., 2015,** Tritium Analysis In Sea Water Samples Along The Coastline Of Rize, 9<sup>th</sup> International Physics Conference of the Balkan Physical Union, (BPU-9) August 24 – 27, 2015.
- 4- İpek, N., F,Kağanoğlu Ç., Dizman, S., 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.