

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İDRAR ÖRNEKLERİNDE TRİTYUM SEVİYESİNİN
BELİRLENMESİ ve BAZI BİYOKİMYASAL PARAMETRELERLE
İLİŞKİSİ

SERDAR DİZMAN

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. RECEP KESER

TEZ JÜRİLERİ
PROF. DR. MEHMET NURULLAH KUMRU
PROF. DR. MEHMET ŞAHİN
DOÇ. DR. MUSTAFA ÇAĞATAY TUFAN
DOÇ. DR. MUSA ÖZİL

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE-2015

Her Hakkı Saklıdır

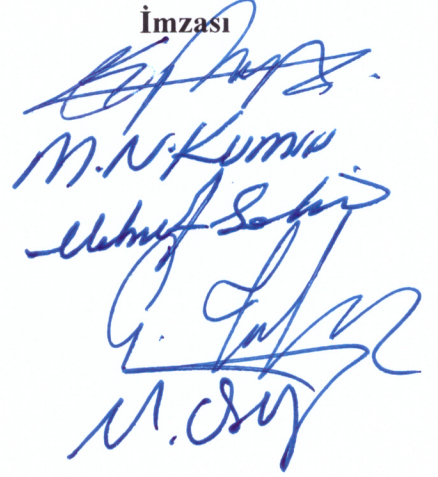
T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**İDRAR ÖRNEKLERİNDE TRİTYUM SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ VE
BAZI BİYOKİMYASAL PARAMETRELERLE İLİŞKİSİ**

Doç. Dr. Recep KESER danışmanlığında, Serdar DİZMAN tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/11/2015 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **DOKTORA** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Doç. Dr. Recep KESER
Üye	: Prof. Dr. Mehmet Nurullah KUMRU
Üye	: Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN
Üye	: Doç. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN
Üye	: Doç. Dr. Musa ÖZİL

İmzası





Prof. Dr. Selami ŞAŞMAZ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar, üniversitemizin Nükleer Fizik Laboratuvarı, Merkezi Araştırma Laboratuvarı ve Eğitim ve Araştırma Hastanesi Acil Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren ve değerli bilgilerinden yararlandığım saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Recep KESER'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Çalışmanın biyokimyasal analizlerinin yapılması ve yorumlanması aşamasında desteğini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Adnan YILMAZ'a çok teşekkür ederim. Sıvı Sintilasyon Sayacı'nın (LSC) kullanılması ile ilgili destek aldığım, Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL'e ve onun doktora öğrencisi Elif GÖREN'e teşekkürlerimi sunuyorum. Ölçüm metodunu oluşturmamda ve ölçüm sonuçlarını karşılaştırma olanağı sağlayan, Finlandiya'da bulunan Radyasyon ve Nükleer Güvenlik Kurumu'nda (STUK) görevli sayın Dr. Tarja HEIKKINEN'e teşekkür ederim. Numunelerin toplanması ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli dostlarım Halil İbrahim GÜRSOY ve Çiğdem Fındıklı KAĞANOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Akademik çalışmalarım süresince maddi ve manevi destekleriyle daima yanımda bulunan ve bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan aileme ve özellikle eşim Dr. Yeşim AKTÜRK DİZMAN'a en içten saygı ve sevgilerimi sunuyorum.

Hazırlanan bu doktora tezi hem Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2013.102.01.2 nolu proje ile hem de Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 214S221 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü RTE Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Serdar DİZMAN

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “İdrar Örneklerinde Trityum Seviyesinin Belirlenmesi ve Bazı Biyokimyasal Parametrelerle İlişkisi” 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.
09/11/2015

Serdar DİZMAN

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

ÖZET

İDRAR ÖRNEKLERİNDE TRİTYUM SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ ve BAZI BİYOKİMYASAL PARAMETRELERLE İLİŞKİSİ

Serdar DİZMAN

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

Bu çalışmanın amacı, Rize il merkezinde yaşayan 100 gönüllü insandan alınan idrar örneklerinin trityum düzeylerini mevsimsel olarak incelemek, mevsimsel olarak yıllık etkin doz oranlarını hesaplamak ve bazı biyokimyasal parametrelerle ilişkisini belirlemektir. Bunun yanında, idrar örneği veren gönüllülerin üriner sistem enfeksiyonlu olup olmadığı da belirlendi ve trityum düzeyleri ile ilişkisi araştırıldı. Araştırmaya katılan 100 gönüllünün 35'i (% 35) kadın, 65'i (% 65) ise erkektir. Araştırmaya katılan gönüllülerin yaşları 21 ile 66 arasında değişmekte olup, yaş ortalamaları $32,91 \pm 9,02$ 'dir. Gönüllülerden alınan idrar örneklerinin sonbahar ve ilkbahar mevsimleri için ortalama trityum aktivite konsantrasyonları sırasıyla, $8,49 \pm 1,98$ Bq/L ve $4,66 \pm 1,94$ Bq/L olarak bulundu. Sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde gönüllülerden alınan idrar örneklerinin ortalama trityum aktivite konsantrasyonları sırasıyla, kadınlar için $7,12 \pm 1,88$ Bq/L ve $4,49 \pm 1,95$ Bq/L, erkekler için ise $9,23 \pm 2,03$ Bq/L ve $4,75 \pm 1,94$ Bq/L olarak bulundu. Sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde trityum için hesaplanan yıllık etkin doz oranları sırasıyla, kadınlar için 5,61 nSv ve 3,54 nSv, erkekler için ise 8,85 nSv ve 4,56 nSv olarak hesaplandı. Hesaplanan yıllık etkin doz oranları, ICRP (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından önerilen referans değerlerden oldukça düşüktür. Üriner sistem enfeksiyonlu olan gönüllüler ile olmayan gönüllüler arasında ortalama trityum aktivitesi yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ($p < 0,05$) bulundu. Yine, gönüllülerden alınan idrar örneklerinin yoğunluğu ile trityum aktivitesi arasında pozitif yönde ve anlamlı bir düzeyde ilişki olduğu ($r = 0,215$, $p < 0,05$) bulundu. İdrar örneklerinin pH'sı 5,0 ile 8,5 arasında değişmekle birlikte pH ile trityum aktivitesi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir.

2015, 122 sayfa

Anahtar Kelimeler: Trityum, İdrar, Etkin Doz, LSC, Rize

ABSTRACT

DETERMINATION OF TRITIUM LEVELS IN URINE SAMPLES and RELATIONSHIP WITH SOME BIOCHEMICAL PARAMETERS

Serdar DİZMAN

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Ph.D. Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Recep KESER**

The aim of this study is to determine the seasonal tritium levels in urine samples taken from 100 volunteers who live in Rize center, to calculate the annual effective dose rate seasonally; determine the relationship with some biochemical parameters. Besides, of the urine samples taken from volunteers were determined whether the samples have urinary tract infection and then relationships with tritium levels were investigated. 100 volunteers participated in this study were 35 females and 65 males. Their ages ranged from 21 to 66 and the average age is 32.91 ± 9.02 . The average tritium activity concentrations for autumn and spring season of urine samples taken from volunteers were found as 8.49 ± 1.98 and 4.66 ± 1.94 , respectively. Moreover, the average tritium activity concentrations for autumn and spring season of urine samples were found as 7.12 ± 1.88 and 4.49 ± 1.95 for females, 9.23 ± 2.03 and 4.75 ± 1.94 for males, respectively. The annual effective dose rates for tritium in autumn and spring season were found as 5.61 and 3.54 nSv for females, 8.85 and 4.56 nSv for males, respectively. Calculated annual effective dose rates are quite lower than the recommended values by ICRP (International Commission on Radiological Protection). Statistically, meaningful differences ($p < 0.05$) between volunteers with and without urinary tract infections were found in terms of average tritium activity. In addition, positive and meaningful relationship ($r = 0.215$, $p < 0.05$) between density of the urine samples taken from the volunteers and their tritium activity were found. pH of the urine samples ranged from 5.0 to 8.5, and statistically no meaningful relationship between pH and tritium activity was observed.

2015, 122 pages

KeyWords: Tritium, Urine, Effective Dose, LSC, Rize

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Radyasyon ve Türleri.....	5
1.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	7
1.2.1.1. Alfa (α) Bozunması.....	8
1.2.1.2. Beta (β) Bozunması.....	10
1.2.1.3. Gama (γ) Bozunması.....	12
1.2.1.4. X-Işınları.....	14
1.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon.....	14
1.3. Radyasyon Kaynakları.....	14
1.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	15
1.3.1.1. Kozmik Radyasyon ve Kozmojenik Radyonüklidler.....	15
1.3.1.2. Karasal Radyasyon.....	17
1.3.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	19
1.3.2.1. Nükleer Silah Denemeleri.....	20
1.3.2.2. Nükleer Güç Üretimi.....	22
1.3.2.3. Nükleer Yakıt Çevrimi.....	23
1.3.2.4. Radyoizotop Üretimi ve Kullanımı.....	26
1.4. Radyasyon Dozu ve Birimleri.....	27
1.4.1. Radyoaktivite Birimleri.....	28
1.4.2. Işınlama Birimi.....	28
1.4.3. Soğurulan Doz Birimi.....	28
1.4.4. Eşdeğer Doz Birimi.....	29
1.4.5. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.....	30

1.5.	Tritiyum.....	30
1.5.1.	Giriş.....	30
1.5.2.	Çevresel Tritiyum.....	32
1.5.3.	Nükleer Reaktörlerde Tritiyum Üretimi.....	35
1.5.4.	Tritiyumun Kullanım Alanları.....	36
1.5.5.	Tritiyumun Ölçülmesi	36
1.5.6.	Tritiyumun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	37
1.6.	Sıvı Sintilasyon Sayacı (LSC).....	38
1.6.1.	Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT)	40
1.6.2.	Sayım Kapları (Vialler).....	42
1.6.3.	Sintilatörler.....	43
1.6.3.1.	İnorganik Sintilatörler	44
1.6.3.2.	Organik Sintilatörler.....	45
1.6.3.3.	Gazlı Sintilatörler	46
1.6.4.	Sönüm (Quench)	46
1.6.5.	tSIE (Dış Standardın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi)	47
1.6.6.	Dedeksiyon Sistemi.....	50
1.7.	İdrar.....	52
1.8.	İdrar Analizi	52
1.8.1.	Fiziksel (Makroskopik) Analiz.....	53
1.8.2.	Kimyasal Analiz.....	53
1.8.2.1.	Dansite (Yoğunluk).....	53
1.8.2.2.	pH.....	53
1.8.2.3.	Protein	54
1.8.2.4.	Nitrit	54
1.8.2.5.	Glikoz.....	54
1.8.2.6.	Bilirubin	54
1.8.2.7.	Ürobilinojen	54
1.8.2.8.	Keton	55
1.8.2.9.	Kan	55
1.8.2.10.	Lökosit Esteraz.....	55
1.8.3.	Mikroskopik Analiz.....	56
1.8.3.1.	Eritrositler.....	56
1.8.3.2.	Lökositler	56

1.8.4.	IRIS-IQ200 Tam Otomatik İdrar Analizörü.....	56
1.9.	SPSS.....	57
1.9.1.	Verilerin Tanımlanması.....	58
1.9.2.	SPSS’te Hipotez Testi ve Anlamlılık.....	58
1.9.3.	Parametrik ve Parametrik Olmayan Testler	60
1.9.4.	İstatistiksel Hesaplamalarda Kullanılan Testler	60
1.9.4.1.	t-Testi	60
1.9.4.2.	Mann-Whitney U Testi.....	61
1.9.4.3.	Pearson ve Spearman Korelasyon Testi	62
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	64
2.1.	Giriş.....	64
2.2.	Çalışma Bölgesi.....	64
2.3.	Numunelerin Toplanması.....	65
2.4.	Numunelerin Analize Hazırlanması	66
2.5.	Deneysel Sistem	67
2.5.1.	LSC Cihazının Kalibre Edilmesi.....	67
2.5.2.	Sönüm Standartlarının Hazırlanması ve Sönüm Eğrisinin Elde Edilmesi	68
2.5.3.	Kalite Kontrol Standartlarının Hazırlanması.....	71
2.5.4.	Background (BKG) Örneğinin Hazırlanması.....	73
2.5.5.	Sayım.....	73
2.5.6.	Otomatik İdrar Analizörünün Sayıma Hazırlanması.....	73
2.6.	Hesaplanan Parametreler	74
2.6.1.	Dedeksiyon Verimi	74
2.6.2.	Trityum Aktivite Hesabı.....	75
2.6.3.	Minimum Ölçülebilir Aktivite (MDA)	75
2.6.4.	Yıllık Etkin Doz Oranı	76
2.7.	Biyokimyasal Parametreler	76
2.8.	İstatistiksel Analizler	76
3.	BULGULAR	78
3.1.	Gönüllü Profili.....	78
3.2.	Eylül Ayı İdrar Örneklerinin Verim, MDA ve Trityum Konsantrasyon Değerleri.....	78
3.3.	Eylül Ayında Alınan İdrar Örneklerinin Biyokimyasal Ölçüm Değerleri	81
3.4.	Mart Ayı İdrar Örneklerinin Verim, MDA ve Trityum Konsantrasyon Değerleri.....	84

3.5.	Mart Ayında Alınan İdrar Örneklerinin Biyokimyasal Ölçüm Değerleri	85
4.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	86
4.1.	Tritiyum Ölçümleri.....	86
4.1.1.	Yıllık Etkin Doz Oranları.....	92
4.1.2.	Kalite Kontrol Standartlarının Ölçümleri.....	92
4.2.	Biyokimyasal Ölçümler.....	94
5.	ÖNERİLER	99
	KAYNAKLAR	100
	EKLER.....	106
	ÖZGEÇMİŞ	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Elektromanyetik Spektrum.....	6
Şekil 2.	Radyasyonun türleri	7
Şekil 3.	Pozitif yüklü iyon oluşumu	8
Şekil 4.	Negatif yüklü iyon oluşumu	8
Şekil 5.	Ra-226 çekirdeğinin α bozunma şeması.....	13
Şekil 6.	Co-60 çekirdeğinin β^- bozunma şeması.....	13
Şekil 7.	Radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları.....	15
Şekil 8.	Dünyada çalışan reaktörlerin ülkelere göre dağılımı	23
Şekil 9.	Döteryum-Döteryum füzyon reaksiyonu	30
Şekil 10.	Hidrojen elementinin izotopları	31
Şekil 11.	Trityumun radyoaktif bozunması	31
Şekil 12.	Trityumun beta bozunması spektrumu	32
Şekil 13.	Trityumun hidrolojik çevrime girişi	33
Şekil 14.	Kuzey yarımkürede trityum konsantrasyonunun yıllara göre değişimi	35
Şekil 15.	Sıvı Sintilasyon Sayacı.....	40
Şekil 16.	Fotoçoğaltıcı tüpün şematik yapısı.....	41
Şekil 17.	Cam (a) ve plastik (b) vialler.....	43
Şekil 18.	Enerji spektrumu üzerinde sönümün etkisi	47
Şekil 19.	Dış standart kaynağın spektral dönüşümü.....	48
Şekil 20.	Dönüştürülmüş spektrumdan kesişim enerji düzeyinin bulunması.....	49
Şekil 21.	Beta aktif maddenin fotona dönüşüm olayı.....	50
Şekil 22.	Vial içerisindeki örneğin sintilasyon mekanizması.....	51
Şekil 23.	Vialden elde edilen pulsların kontrol mekanizması	51
Şekil 24.	Çakışma ve toplama devreleri şeması	52
Şekil 25.	IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörü	57
Şekil 26.	Çalışma bölgesi ve Rize ilinin Türkiye'deki yeri.....	65
Şekil 27.	Sıvı trityum standardının sertifikası	69
Şekil 28.	Sönüm eğrisi.....	71
Şekil 29.	Gönüllülerin yaş gruplarına ve cinsiyete göre dağılımı	78
Şekil 30.	Örnek kodu 50 olan numunenin LSC analiz raporu.....	79
Şekil 31.	İdrar analizöründen alınan mikroskopik sonuç raporu örneği	81
Şekil 32.	İdrar analizöründen alınan kimyasal sonuç raporu örneği	82

Şekil 33. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin örnek koduna göre dağılımı.....	87
Şekil 34. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin kategorik olarak gösterimi ..	88
Şekil 35. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin yaşa göre dağılımı	89
Şekil 36. Kalite kontrol standartlarının ölçüm değerlerinin grafiksel gösterimi	93
Şekil 37. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin yoğunluğa (dansite) göre dağılımı.....	95
Şekil 38. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin pH değerine göre dağılımı ..	97
Şekil 39. İdrar örneklerinin pH değerlerinin sıklığı	98

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.	Kozmojenik radyonüklidlerin üretim hızları ve konsantrasyonları	17
Tablo 2.	Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık etkin dozlar	19
Tablo 3.	Atmosferik nükleer denemeler sonucu ortaya çıkan ve küresel olarak dağılan radyonüklidler	21
Tablo 4.	Reaktörler ve yeniden işleme tesislerinden küresel olarak yayılan radyonüklidlerin aktiviteleri.....	25
Tablo 5.	Nükleer yakıt çevriminden çevreye salınan radyonüklidler sebebiyle alınan yıllık dozlar	25
Tablo 6.	Tıp, eğitim ve endüstri uygulamalarında kullanılan açık radyoaktif kaynaklar ve dozları	26
Tablo 7.	Soğurulan radyasyonlar için kalite faktörleri.....	29
Tablo 8.	LSC cihazı ile birlikte gelen sönümsüz standartların özellikleri	67
Tablo 9.	Sönümsüz standartlarla yapılan kalibrasyon sonuç raporu.....	68
Tablo 10.	Sönüm standartlarına katılan sönüm ajanı oranları.....	70
Tablo 11.	Ana Stok, Laboratuvar standardı (DWS) ve Spike (RWS) çözelti bilgileri ...	72
Tablo 12.	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan temin edilen standardın bilgileri.....	73
Tablo 13.	Eylül ayı idrar örneklerinin verim, MDA ve trityum konsantrasyonları	80
Tablo 14.	Eylül ayı idrar örneklerinin bazı biyokimyasal parametre değerleri	83
Tablo 15.	Mart ayı idrar örneklerinin verim, MDA ve trityum konsantrasyonları	84
Tablo 16.	Mart ayı idrar örneklerinin bazı biyokimyasal parametre değerleri	85
Tablo 17.	Eylül ve mart aylarında gönüllülerden alınan idrar örneklerindeki trityum konsantrasyonları	86
Tablo 18.	İdrar örneklerinin mevsimsel olarak ortalama trityum konsantrasyonları	88
Tablo 19.	Eylül ayı için gönüllülerin yaşı ile idrarlarındaki trityum konsantrasyonları arasında yapılan SPSS analizinin çıktısı	90
Tablo 20.	İdrar örneklerinin mevsimsel olarak cinsiyete göre ortalama trityum konsantrasyonları	90
Tablo 21.	Bu çalışma ve farklı ülkelerde yapılmış olan çalışmaların ortalama trityum konsantrasyon değerleri	91
Tablo 22.	Kadın ve erkekler için mevsimsel olarak yıllık etkin doz oranları	92
Tablo 23.	Kalite kontrol standartlarının ölçüm sonuçları	93
Tablo 24.	Eylül ayında enfeksiyonlu olan ve olmayan gönüllüler arasında yapılan SPSS analizinin çıktısı	95
Tablo 25.	Eylül ve mart ayında alınan idrar örneklerinin yoğunluğu ile trityum konsantrasyonları arasında yapılan SPSS analizlerinin çıktısı	96

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Aktivite
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışını
ϵ	Verim
Bq	Becquerel (birim zamandaki bozunma sayısı)
Rad	Radyasyon dozu
Gy	Gray
Kg	Kilogram
Sv	Sievert
L	Litre
HTO	Trityumlu su
H	Hidrojen
TU	Trityum birimi
n	Nötron
p	Proton
e	Elektron
keV	Kiloelektron volt
cpm	Dakikadaki sayım
dpm	Dakikadaki bozunma sayısı
DWS	Laboratuar standardı
RWS	Spike
MDA	Minimum ölçülebilir aktivite
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
LSC	Sıvı sintilasyon sayacı
PMT	Fotoçoğaltıcı tüp
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi
UNSCEAR	Radyasyonun Etkileri Üzerine Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu var oluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif çekirdekler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Doğal radyasyonlar, uzaydan gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyonlardan gelmektedir. Radyasyon dozu değerlendirmelerinde doğal kaynaklar oldukça önemli yer tutar. Çünkü insanlar yaşamları boyunca doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyonlardan azımsanmayacak oranlarda doz almaktadırlar.

Doğal radyasyona maruz kalma seviyesini belirleyen iki ana katkı vardır. Bunlardan birincisi; dünya'nın atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlar, ikincisi de; çevremizde bulunan ve hatta insan vücudunda bile olan dünyanın kabuğunda bulunan radyoaktif elementlerdir. İnsanlar bu kaynaklardan dolayı hem iç ve hem de dış radyasyona maruz kalmaktadırlar. Kozmik ışınlar ile yer kabuğunda ve havada doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar dış ışınlamalara, havada ve gıda maddelerinde bulunan doğal radyoaktif atomların solunum ve sindirim yoluyla vücuda girmesi de iç ışınlamaya sebep olmaktadır (UNSCEAR, 2000). Deniz seviyesinden yükselerek çıkıldıkça ve ekvatoran kutuplara doğru gidildikçe kozmik ışınların şiddeti artmaktadır (Eisenbud, 1987).

Çevresel radyasyon ölçümlerinin temel amacı, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon dozunun belirlenmesi ve oluşturabileceği sağlık riskinin değerlendirilmesidir. Bunun için doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyoaktif çekirdeklerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ve insanların maruz kaldıkları toplam radyasyon dozuna bunların katkıları ölçülmelidir. Ayrıca çevresel ortamda bulunan radyoaktif çekirdekler ile insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyon dozu arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu tür sistematik araştırmalar sonucu, bir bölgenin doğal radyasyonunun çevre yönünden sağlıklı ve yaşama uygun olup

olmadığına karar verilebilir. Doğal radyasyonun yanı sıra hızla ilerleyen teknolojinin getirdiği insan kaynaklı (yapay) radyasyon kaynakları çevredeki radyasyon konsantrasyonlarını arttırmaktadır. İnsan kaynaklı bu radyasyon kaynaklarının önemlileri şunlardır:

- Nükleer bomba denemelerinden kaynaklanan radyoaktif serpintiler
- Nükleer reaktörlerin işletilmesi sırasında ortaya çıkan radyoaktif maddeler
- Tıpta uygulanan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları
- Bilim ve teknoloji uygulamalarında kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları
- Çeşitli yerlerde ve aygıtlarda kullanılan radyoaktif kaynaklar (gece görünür saatler, havaalanı ışıklandırmaları, yangın ve duman uyarıcıları vb.)

Yapay radyasyon kaynaklarından çevreye salınım olmadan önce insanlardaki ve çevredeki radyasyon düzeylerinin (background) belirlenmesi de son derece önemlidir.

Özellikle nükleer teknolojide insan kaynaklı üretilen ve ayrıca doğal yolla oluşan radyoaktif trityum, izlenmesi gereken radyoizotoplardan birisidir. Çünkü; çağımızda doğal enerji kaynaklarının azalması ile birlikte dünyamızın enerji ihtiyacının karşılanması için nükleer enerjinin kullanılması sonucu oluşan insan kaynaklı yapay radyasyon kaynakları, çevresel ortamdaki radyasyon konsantrasyonlarını arttırmaktadır.

Basınçlı su tipindeki nükleer santrallerin rutin çalışmalarında çevreye trityum saldıkları yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır (Makhijani ve Makhijani, 2009). Ayrıca 2011 yılı Mart ayında Japonya'da meydana gelen deprem sonrası oluşan tsunami, ülkedeki Fukushima Daiichi nükleer santralının zarar görmesine neden olmuştur. Nükleer santral çevresinde yapılan araştırmalar neticesinde, havadaki trityum miktarının ortalamanın üzerine çıktığı yapılan araştırmalarla gösterilmiştir (Matsumoto vd., 2013). Ülkemizde de, biri Mersin diğeri Sinop'ta olmak üzere iki adet nükleer santral kurulumu için anlaşmalar imzalanmıştır. Kurulacak olan her iki nükleer santralde basınçlı su reaktörü tipinde olacaktır (ETKB, 2012, 2013). Mersin Akkuyu'da kurulacak olan reaktörün ilk ünitesinin 2019 yılında, diğeri üç ünitenin ise 2023 yılına kadar devreye girmesi planlanmaktadır.

Bu nedenle, ülkemizde kurulması planlanan nükleer santrallerde çalışacak olan insanların aldığı trityum düzeylerinin, santralden uzakta yaşayan insanlarla karşılaştırılması konusunda mutlaka verilere ihtiyaç vardır. Bu veriler ileride oluşabilecek herhangi bir nükleer sızıntı veya nükleer kaza sonucu çevrede yaşayan halkın maruz kalacağı doz değerinin kıyasının yapılabilmesi için gerekli olacak ve referans değerlerini oluşturacaktır. Bununla birlikte bölgenin Çernobil nükleer santral kazasından sonra radyasyonla kontamine olması ve ülkemizdeki insanlarda trityum seviyelerinin belirlenmesi konusunda önceden yapılmış herhangi bir çalışmanın olmaması nedeniyle bu tür çalışmaların yapılması son derece önemlidir.

Bu çalışmada, hem doğal yolla oluşan hem de yapay olarak üretilen trityum izotopunun insanlardaki düzeyi mevsimsel olarak incelendi, mevsimsel olarak yıllık etkin doz oranları hesaplandı ve bazı biyokimyasal parametrelerle ilişkisi belirlendi. Ayrıca, hesaplanan yıllık etkin doz oranları Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) tarafından önerilen referans değerlerle mukayese edilerek, radyasyon güvenliği açısından değerlendirildi.

İdrar, kan, saç, tırnak, dışkı ve doku örnekleri insanlardaki trityum radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi için kullanılmaktadır (Pietrzak-Flis ve Radwan, 1984; Li vd., 2009; Li vd., 2010). Düşük düzeylerdeki radyonüklidlerin belirlenmesi için yeterli miktarda ve kolayca elde edilebilir olması nedeniyle idrar, insanlardaki trityum düzeyinin belirlenmesinde en çok ve en yaygın olarak kullanılan biyolojik materyaldir (Priest vd., 1999; Epov vd., 2005; Lariviere vd., 2008; Maxwell, 2008; Maxwell ve Jones, 2009)

Dünyanın muhtelif bölgelerinde idrarda trityum radyoaktivite düzeyini belirlemek amacıyla yapılmış birçok çalışmaya, literatürde rastlamak mümkündür. Son yıllarda yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Belloni ve arkadaşları (1983) İtalya'nın farklı bölgelerinde yaşayan insanlardan aldıkları idrar örneklerindeki trityum düzeylerinin minimum ve maksimum değerlerini 18,5 – 148 Bq/L olarak belirlemişlerdir (Belloni vd., 1983). Pietrzak-Flis ve Radwan (1984) çevresel trityum dozunun insandaki düzeyini değerlendirmek amacıyla yaptıkları

çalışmada idrar örneklerindeki trityum aktivite değerlerinin 8 – 19 Bq/L arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Pietrzak-Flis ve Radwan, 1984). Kanada'nın Ontario şehrinde bulunan nükleer reaktörün 200 km doğusunda bulunan Ottawa şehrinde yaşayan halkın idrar örneklerinde yapılan çalışmada, ortalama trityum konsantrasyonu 6,5 Bq/L olarak bulunmuştur (Kotzer ve Trivedi, 2001).

Finlandiya'da yaşayan insanların vücutlarındaki trityum seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan bir başka çalışmada, idrarda trityum konsantrasyonları belirlenmiş ve çalışma sonucunda idrardaki trityum konsantrasyon değerinin ortalama 2,5 Bq/L ve maksimum 18,3 Bq/L olduğu gösterilmiştir (Puhakainen ve Heikkinen, 2008).

Hou (2011), Danimarka'da nükleer reaktörde çalışan işçilerin idrarlarındaki trityumu belirlemek için yaptığı çalışmada maksimum trityum konsantrasyonunu 120000 Bq/L olarak bulmuştur (Hou, 2011). Kim ve Kong (2012), Kore Nükleer Güç Santrali'nde çalışan işçilerden farklı zaman aralıklarında aldıkları idrar örneklerindeki trityum konsantrasyonlarını belirlemişler ve çalışmaya başladıktan 2 saat sonra konsantrasyon değişim aralığını 1000 – 207000 Bq/L olarak bulmuşlardır (Kim ve Kong, 2012).

Chebotina ve Nikolin (2012) Beloyarsk Nükleer Güç Santrali bölgesi ile bu bölgeden farklı uzaklıklarda yaşayan insanlardan aldıkları idrar örneklerinde trityum konsantrasyonlarını belirlemişler ve konsantrasyonların 100 – 800 Bq/L aralığında değiştiğini belirlemişlerdir (Chebotina ve Nikolin, 2012).

Kore'de yapılan başka bir çalışmada, Yoon ve arkadaşları (2013), yaşları 18 ile 66 arasında değişen 50 kişiden aldıkları idrar numunesinde trityum konsantrasyonlarını ölçmüşler ve çalışma sonucunda idrardaki trityum konsantrasyon değerini ortalama $2,8 \pm 1,4$ Bq/L olarak bulmuşlardır. Ölçüm sonuçlarının değişim aralığı 1,8 – 5,6 Bq/L olarak verilmiştir (Yoon vd., 2013).

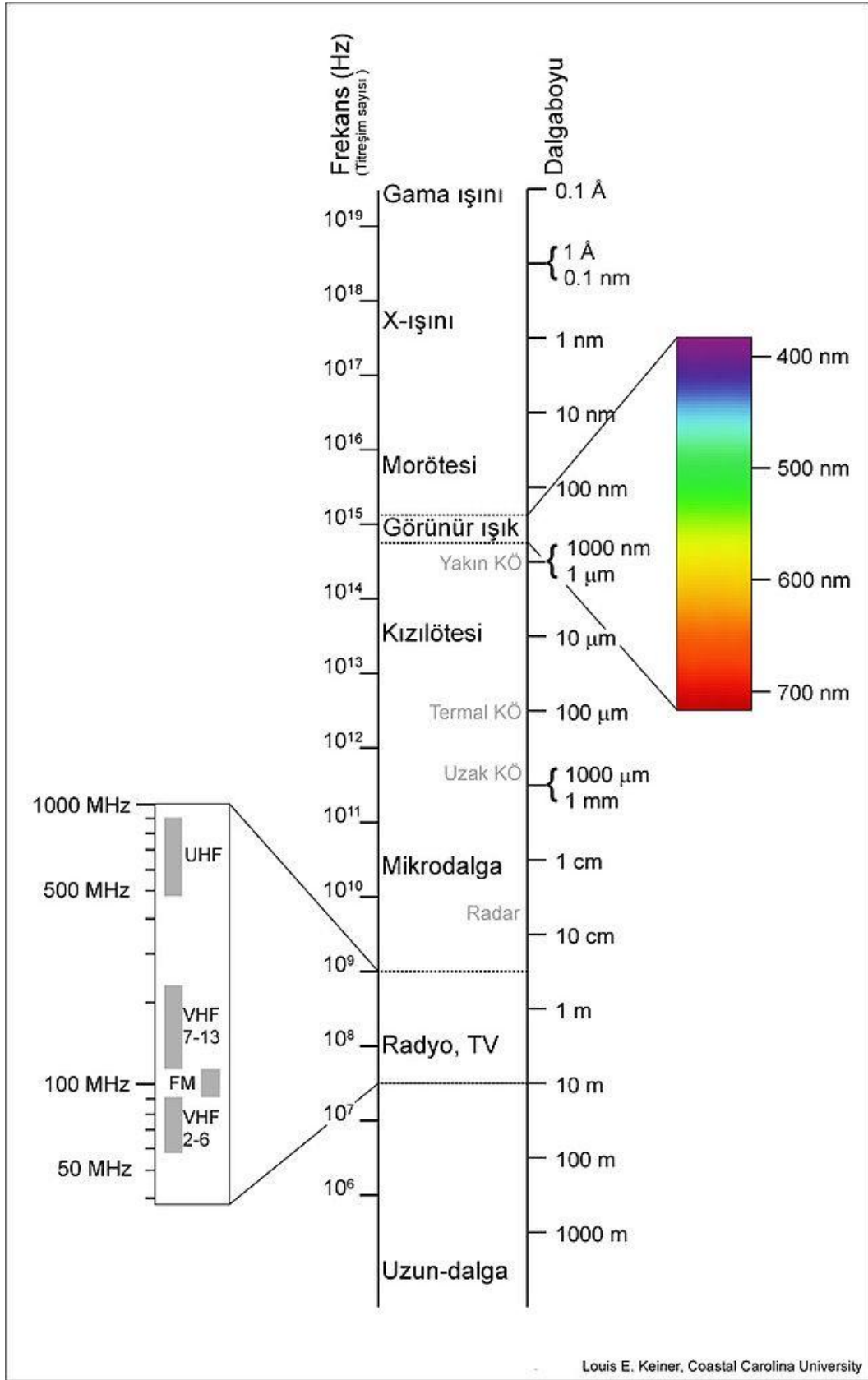
Çin'de, Shen ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları diğer bir çalışmada, Nükleer Güç Santrali'nin 2, 10 ve 22 km uzağında yaşayan 11'i kadın 23'ü erkek olmak üzere toplam 34 katılımcıdan aldıkları idrar numunelerinde trityum konsantrasyonlarını

belirlemişler ve konsantrasyon değerlerinin 1,26 ile 6,73 Bq/L arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Shen vd., 2015).

Ülkemizin değişik bölgelerinin su örneklerinde trityum düzeyinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar da mevcuttur (Top ve Algın, 2009; Pasvanoglu, 2011; Görür ve Genç, 2012) ancak idrar örneklerinde trityum düzeyinin belirlenmesi üzerine yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

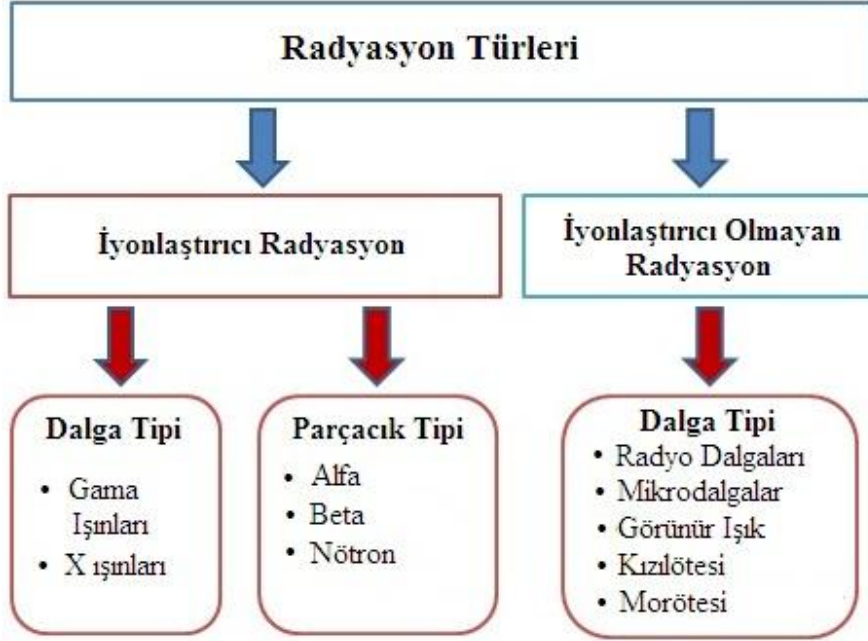
1.2. Radyasyon ve Türleri

Herhangi bir maddenin atom çekirdeğinde, nötron-proton dengesizliği söz konusuysa bu tür maddeler kararsız bir yapı göstermekte ve alfa, beta gibi parçacıklar ve gama ışınları yaymak suretiyle parçalanmaktadırlar. Çevresine bu şekilde parçacık veya ışın saçarak parçalanan maddelere “radyoaktif madde”, çevreye yayılan alfa, beta gibi parçacıklara ve gama gibi ışınlara ise “radyasyon” adı verilmektedir. Başka bir ifadeyle radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımıdır. Elektromanyetik dalgaların tümünün dalga boylarına ve enerji düzeylerine göre sınıflandırıldığı tabloya elektromanyetik spektrum adı verilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Elektromanyetik Spektrum

Maddeyle yaptığı etkileşme açısından radyasyon, temel olarak iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon şeklinde iki ana kategoride sınıflandırılır (Şekil 2).

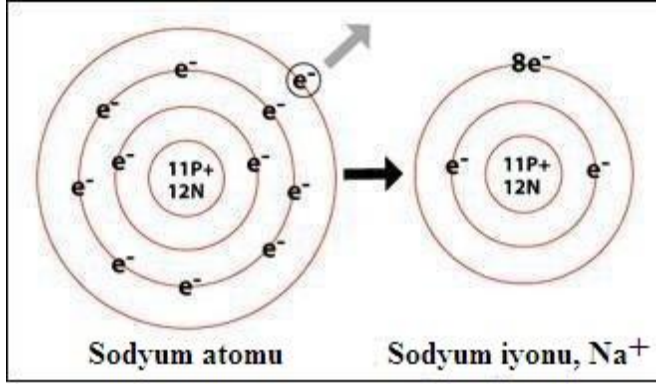


Şekil 2. Radyasyonun türleri

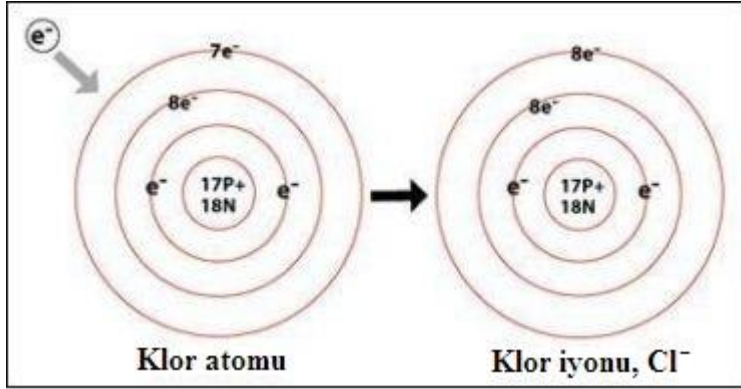
Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları, tıpta ve endüstride kullanılan x-ışınları, güneş ışınları, günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir.

1.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, bir maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon meydana gelmesi yani iyonlaşma olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil tüm canlılarda da oluşabilir. İyonizasyon, genellikle atom yörüngesinden bir elektronun sökülüp ayrılması sonucu meydana gelir. Atom yörüngesinden elektron kaybeden atomlar pozitif yüklü iyon (Şekil 3), atom yörüngesine bir elektron eklenen atomlar da negatif yüklü iyon (Şekil 4) olarak adlandırılır.



Şekil 3. Pozitif yüklü iyon oluşumu



Şekil 4. Negatif yüklü iyon oluşumu

İyonlaştırıcı radyasyonlar önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşididir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları, x – ışınları, γ - ışınları ve nötronlardır.

1.2.1.1. Alfa (α) Bozunması

Rutherford ve Royd tarafından yapılan araştırmalar sonunda alfa radyasyonunun ${}^4_2\text{He}$ çekirdeklerinden ibaret olduğu bulunmuştur. Alfa parçacıkları iki proton ve iki nötrondan oluşmuş olup, +2 pozitif yük taşır. Atom ağırlıkları büyük olan polonyum, toryum, radyum, uranyum gibi kararsız izotoplar tarafından yayınlanmasının yanında, parçacık hızlandırıcılarında da oluşturulur.

Alfa parçacığının kendiliğinden yayınlanması aşağıdaki reaksiyonla ifade edilebilir.



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



reaksiyonudur. Bu reaksiyonda, α -parçacığının kinetik enerjisi yaklaşık 4,8 MeV'dir.

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

$$E_i = E_f \quad (3)$$

olmalıdır. Buradan sistemin bozunma enerjisi (Q),

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

bağıntısı ile verilir. Burada $M(A, Z)$ bozunan, $M_Y(A-4, Z-2)$, ürün çekirdeğin, $M_\alpha(4, 2)$ ise α parçacığının kütlesidir. Kendiliğinden bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gereklidir. Ayrıca Q değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan 4 numaralı denklem,

$$Q = K_{\dot{U}} + K_\alpha \quad (5)$$

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

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

$$K_\alpha = \frac{M}{M + m} Q \quad (6)$$

ifadesini yazabiliriz. Büyük A'larda $(A-4)/A$ ifadesi 1'e yakın olacağından α parçacığının kinetik enerjisi, Q bozunma enerjisinin büyük bir kısmını alacaktır.

Alfa parçacığı yayınlanması, atom numarası büyük olan izotoplarda görülen bir olaydır. Alfa parçacıkları bir madde içinden geçerken sahip oldukları elektrik yükleri dolayısıyla, madde içinde iyonlaşmaya sebep olurlar ve bundan dolayı enerjilerini çabuk kaybederler. Radyoaktif bir çekirdekten $1,6 \times 10^7$ m/s gibi büyük bir hızla dışarı fırlatılan alfa parçacıklarının enerjileri fazla olmasına rağmen kütleleri diğer parçacıklara oranla büyük olduğundan erişim mesafeleri düşüktür. Ayrıca, doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV'in altındadır ve kütleleri sebebiyle alfa parçacıklarını çok küçük kalınlıktaki bir madde ile durdurmak mümkündür. Bu sebeple bir dış radyasyon tehlikesi oluşturmamaktadırlar. Ancak bu parçacıkların sindirim, solunum yollarıyla vücuda girmeleri halinde oluşturacakları iyonizasyon, önemli bir iç radyasyon tehlikesi oluşturabilmektedir.

1.2.1.2. Beta (β) Bozunması

Beta ışınları, kararsız atom çekirdeklerinden yayınlanan yüksek enerjili elektronlardır. Kararsız çekirdeklerde protonlar ve nötronlar arasındaki çekirdek kuvvetleri daha yakından incelendiğinde enerji fazlalığından kurtulmak için nükleonlarda bazı değişiklikler olduğu göze çarpar. Bu değişiklikler protonların nötronlara, nötronların da protonlara dönüşmesi şeklindedir.

Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem 3 farklı şekilde gerçekleşebilir. Her üçünde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir.

β^- **Bozunumu** : β^- yayınlanması işleminde elektrik yükünün korunumu bir nötronun bir protona dönüşmesini, yani atom numarasının bir artmasını gerektirir. Bozunma denklemi,





şeklindedir. Bu ifade, nötronun bozunarak bir proton, bir elektron ve bir antinötrino parçacığının meydana geldiğini göstermektedir.

β^+ Bozunumu: Bu işlem pozitif beta bozunumu veya pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır. β^+ bozunması bir protonun bir nötrona dönüşmesi olayıdır. Böylece çekirdeğin atom numarası bir azalır ve bozunma denklemi,



şeklindedir.

Elektron Yakalama: Bu işlemde ise çekirdek etrafında en yakın yörüngede dönen elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bir proton bir nötrona dönüşür. Bozunma denklemi,



şeklindedir.

Beta parçacıklarının enerjileri 0,8 - 3 MeV olup, hızları ise yayınladığı radyoaktif maddenin çeşidine göre $1,2 \times 10^8 - 2,8 \times 10^8$ m/s arasında değişir. Beta parçacıklarının madde içinden geçmesi ve iyon çifti oluşturmaları alfa parçacıklarına benzer. Ancak yine de aralarında önemli farklar vardır. Beta parçacıklarının kütleleri alfa parçacıklarından küçük olduğundan aynı enerjide oluşturdukları iyonizasyon daha küçüktür. Alfa parçacıkları radyoaktif kaynaktan genellikle aynı enerjide, nadiren iki üç

farklı enerjide çıkarlar. Beta parçacıkları ise sürekli enerji dağılımına sahiptirler. Beta parçacıkları, madde içinden geçerken atom çekirdekleri ve elektronlarla çarpışır ve yönlerinde önemli ölçüde değişiklik olur. Beta parçacıkları, kütlelerinin küçük olması ve bir tek elementer yükleri nedeniyle, alfalar gibi kolayca durdurulamazlar ise de, yüksek enerjilere çıkmadıkça madde içine fazla nüfuz edemezler.

1.2.1.3. Gama (γ) Bozunması

Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlamasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Bir başka deyişle, radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu çekirdek, oluştuğundan çok kısa bir zaman sonra bir veya birkaç gama ışını yayınlayarak üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Çekirdek ne kadar yüksek enerji seviyesinde uyarılmış olarak kalmışsa, çıkacak gama ışınları o kadar yüksek enerjili olacaklardır.

Yüksek bir enerji durumundan; (E_i), daha düşük bir enerji durumuna; (E_f) geçen bir çekirdekten yayınlanan gama ışınının enerjisi;

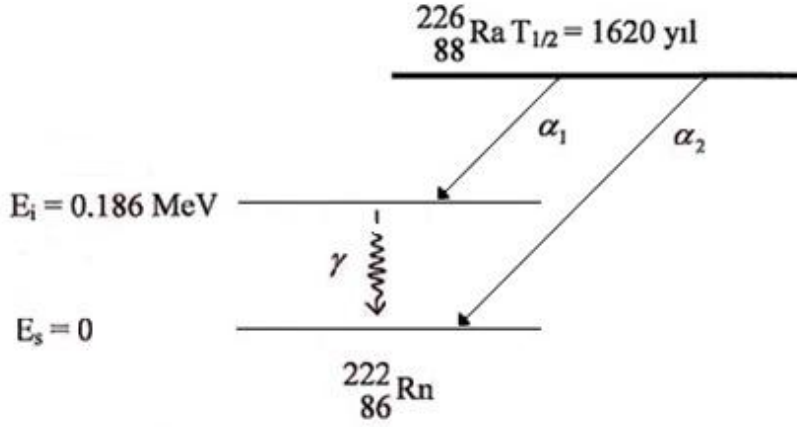
$$E = h\nu = E_i - E_f \quad (13)$$

bağıntısı ile verilir. Şayet E_f temel hale karşılık ise daha fazla foton yayınlanması mümkün olmayacak, ancak aksi halde çekirdek temel hale gitmeden önce bir veya daha fazla foton yayınlayacaktır.

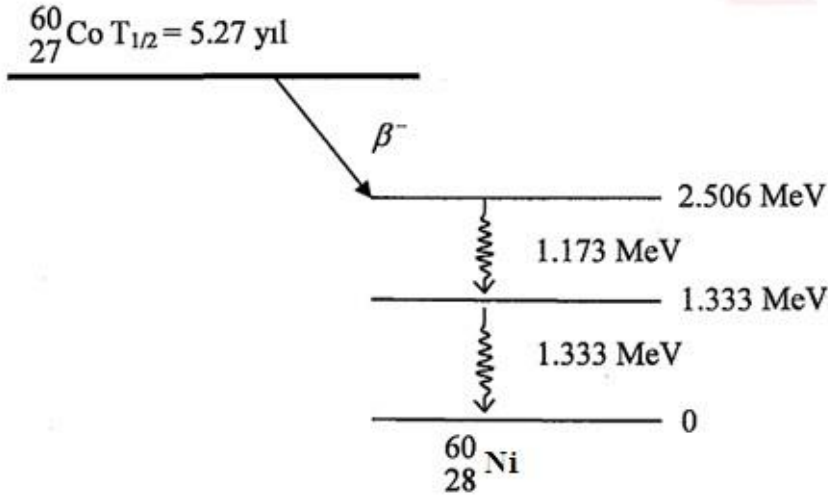
γ yayınlanması ile yarışan bir olay iç dönüşümdür. Bu olayda bir çekirdek enerjisini doğrudan doğruya bir atom elektronuna aktararak bozunur, serbest elektron gözlenir. Bu beta bozunumunda çok farklıdır. Z ve N sayıları değişmez, atom uyarılmış durumda kalır.

Ra-226 çekirdeğinin α bozunma şemasını Şekil 5'teki gibi gösterebiliriz. Yatay düz çizgiler, çekirdeğin enerji düzeylerini göstermektedir. Ra-226 farklı enerjilerde α_1 , α_2 gibi iki alfa parçacığı çıkarmakta ve α_1 'i takiben bir gama ışını yayınlamaktadır.

Co-60'ın β^- bozunma şeması Şekil 6'da gösterilmektedir. Burada, çekirdek β^- bozunumuna uğradıktan sonra taban duruma geçebilmek için iki farklı enerjide gama ışını salmaktadır.



Şekil 5. Ra-226 çekirdeğinin α bozunma şeması



Şekil 6. Co-60 çekirdeğinin β^- bozunma şeması

Alfa ve beta bozunmasından farklı olarak, gama bozunması çekirdeğin atom veya kütle numarasında bir değişikliğe sebep olmaz.

1.2.1.4. X-Işınları

X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları 0,1-100 Å arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. X-ışınları ilk olarak 1895'te Wilhelm Röntgen tarafından keşfedilmiştir. X-ışınlarının frekansı görünür ışığın frekansından ortalama 1000 defa daha büyüktür ve X-ışını fotonu görülen ışığın fotonundan daha yüksek enerjiye sahiptir. Enerjisi yüksek olduğu için giricilik özelliğine sahiptir. İnsan vücudundan, ince katı maddelerden ve diğer birçok opak maddelerden kolayca geçebilen elektromanyetik dalgalardır. Farklı bileşimdeki, yoğunluktaki ve kalınlıktaki maddelerden geçerken farklı soğrulurlar. Kimyasal reaksiyonlar meydana getirdikleri için yaşayan bir hücreyi öldürebilir ve genetik değişime uğratabilirler.

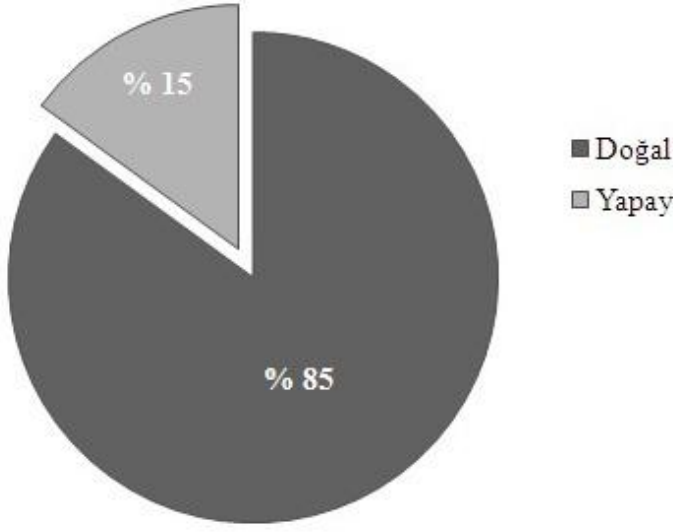
1.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, iyonlaşma meydana getiren x-ışını ve gama ışınlarının enerjilerinden daha küçük ve dalga boyları 100 nm'den daha büyük olan radyasyonlardır. Maddeden geçerken maddede iyonlaşma meydana getirmezler. Bu tür radyasyona mikrodalga, görünür ışık, radyo ve televizyon dalgaları örnek olarak verilebilir.

1.3. Radyasyon Kaynakları

Yeryüzündeki tüm canlılar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ile bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarından ışınlanmaktadır. İnsanların bu doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından aldıkları yıllık etkin doz değerine en büyük katkı doğal kaynaklardan (Şekil 7) oluşan iyonize radyasyondan gelmektedir (NCRP, 1987; Bennett, 1997; UNSCEAR, 2000). Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır.

Radyasyon kaynakları, doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfa ayrılır.



Şekil 7. Radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları

1.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Canlıların doğal kaynaklardan meydana gelen iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaları kaçınılmaz bir süreç olup, canlılığın ortaya çıkmasıyla birlikte başlamıştır. Doğal radyasyon ışınlanmasının iki önemli kaynağı bulunmaktadır. Bunlar; dünya atmosferine giren yüksek enerjili kozmik ışınlar ve parçacıklar ile yer kabuğu orijinli, çevremizde her yerde hatta insan vücudunda bile bulunan radyoaktif maddelerdir. Doğal radyasyon kaynakları genel olarak kozmik ve karasal kökenli olmak üzere iki grupta toplanır.

1.3.1.1. Kozmik Radyasyon ve Kozmojenik Radyonüklidler

Dünya sürekli olarak güneş, galaksi ve ötesinden gelen radyasyona maruz kalmaktadır. Bu kozmik radyasyonlar, canlılar için kalkan görevi yapan dünyanın üst atmosferine çarparlar. Atmosferin üst tabakalarına ulaşan kozmik ışınların, %85'ini protonlar, %12'sini helyum iyonları, %2'sini elektronlar, geri kalanını ise ağır parçacıklar oluşturmaktadır (EC, 2004). Bu ışınlar çok yüksek enerjilere sahiptir. Bu ışınların bazıları 10^{14} MeV enerjiye sahip olmasına rağmen çoğu 10 MeV ile 100 GeV arasındadır.

Kozmik ışınlar dünya dışından gelen radyasyonlardır ve güneş sistemi dışından gelen galaktik parçacıklar ve güneşten yayılan solar (güneş sistemine ait) parçacıklardan oluşur. Kozmik ışınlar atmosfere çarptıklarında, ardışık nükleer etkileşmeler yaparlar, bu etkileşmeler kozmik radyoaktif çekirdeklerin oluşmasında önemli olan ikincil parçacıkları üretirler.

Atmosferin üst tabakalarına ulaşan kozmik radyasyonun yoğunluğu dünyanın manyetik alanının etkisiyle azalmaktadır. Böylece en fazla ışın yoğunluğu ve doz hızı jeomanyetik kutuplarda, en düşük ışın yoğunluğu ve doz hızı ise ekvator bölgesinde ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle, dünyanın manyetik alanı kozmik radyasyona karşı kısmen bir kalkan görevi yapmaktadır.

Kozmik ışınlar atmosfere nüfuz ettikçe karmaşık reaksiyonlar başlatır ve kademeli bir şekilde soğurulurlar. Böylelikle yükseklik azaldıkça doz hızı da düşer. Yer seviyesindeki kozmik radyasyon büyük oranda müonlar ve elektronların sebep olduğu kozmik radyasyondan kaynaklanır ve her ikisi de enlem ve boylamla değişir.

İnsanların büyük çoğunluğu yüksekliği az olan bölgelerde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda, farklılıklar gözlenmez. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon dozundan çok daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır. Yaklaşık olarak her 1829 m’de radyasyon dozu 2 katına çıkar. Böylece ortalama üzerinden deniz seviyesinde oturan bir kimse yaklaşık olarak 0,26 mSv, deniz seviyesinin yaklaşık 3218 m üstünde yaşayan bir kimse ise yaklaşık beşte biri kadar fazla bir doz alır. Yaklaşık olarak 11278 m’de bir jetle seyahat eden bir yolcu aynı zaman uzunluğunda deniz seviyesinde ayakta duran bir kişiye göre kozmik radyasyondan yaklaşık 60 kat daha fazla doz alır (IAEA, 1996).

Yüksek enerjili protonlar (kozmetik radyasyonun %85’i) atmosferdeki elementlerle etkileştiğinde, pek çok kozmik radyoaktif çekirdek üretilir. Böyle etkileşmelerden yayınlanan ikincil parçacıklar (termal nötronlar), nispeten homojen oranlarda özellikle ^3H , ^7Be , ^{14}C ve ^{22}Na gibi radyoaktif çekirdekleri üretir. Tablo 1’de kozmojenik

radyonüklidlerin üretim hızları ve toplam aktiviteleri verilmiştir (UNSCEAR, 2000). Bu etkileşimleri üreten yüksek enerjili (MeV) ikincil nötronlar, dış uzaydan ziyade kozmik ışın etkileşimleriyle atmosferde üretilirler. Serbest nötronlar sadece 12 dakikalık bir yarı ömre sahip oldukları için dış uzaydan gelebilecek kadar uzun yaşayamazlar. Atmosferdeki nötron konsantrasyonları yaklaşık 12192 m²'lik bir maksimum değere kadar yükseklik ile artar, sonra azalır.

Tablo 1. Kozmojenik radyonüklidlerin üretim hızları ve konsantrasyonları

Radyonüklid	İzotop	Yarı Ömür	Üretim Hızı		Küresel Aktivite (PBq)
			atom/m ² s	PBq/yıl	
Hidrojen	³ H	12,35 yıl	2500	72	1275
Berilyum	⁷ Be	53,29 gün	810	1960	413
Karbon	¹⁴ C	5730 yıl	25000	1,54	12750
Sodyum	²² Na	2,602 yıl	0,86	0,12	0,44

Kozmik ışın etkileşimleri, deniz ve yeryüzündeki elementlerle de oluşabilir ancak atmosferik etkileşimler baskındır. Deniz seviyesinde toplam nötron akı yoğunluğu yaklaşık 30 nötron/cm²sa'tir ve bu yüzden yeryüzünde nötron yakalamayla oluşabilecek radyoaktif madde üretimi en küçüktür. Kozmojenik radyonüklidlerin sebep olduğu yıllık etkin doz ¹⁴C için 12 µSv, ²²Na için 0,15 µSv, ³H için 0,01 µSv ve ⁷Be için 0,03 µSv'dir (UNSCEAR, 1993). Kozmojenik radyoizotoplar yoluyla maruz kalınan toplam yıllık ortalama etkin doz hızı ise yaklaşık 12 µSv'dir.

1.3.1.2. Karasal Radyasyon

Yerkabuğunda bulunan radyonüklidler ve bunların bozunma ürünleri karasal radyasyonun temel kaynaklarıdır. Canlıların dış ışınlanmaya maruz kalması en çok U-238 ve Th-232 serisi radyonüklidler ile K-40'tan kaynaklanmaktadır. Bu radyonüklidler ve bunların bozunma ürünleri toprak, kayalar, gıda maddeleri, su ve hava gibi çevresel ortamlarda bulunmakta ve alfa, beta ve gama radyasyonları ile organizmaları ışınlanmaktadır. Karasal radyonüklidler çevresel ortamlarda homojen bir dağılım

göstermediği gibi, bu kaynaklardan iç ve dış ışınlanmalar sonucu alınan dozlar da insan faaliyetine ve alışkanlıklarına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir.

Yeryüzündeki radyonüklidler, insanları hemen hemen düzgün dağılımlı olarak ışınlayan nüfuz edici gama ışınları yayınlamaktadır. Yapı malzemelerinin çoğu yer kökenli olduğundan düşük oranda radyoaktiftir ve insanlar binaların dışında olduğu gibi içinde de ışınlanırlar. İnsanların aldıkları dozlar, hem yaşadıkları bölgenin jeolojik özellikleri hem de yaşadıkları binaların yapısından etkilenir. Fakat doğal gama ışınlarından kaynaklanan ortalama etkin doz, yılda yaklaşık 0,5 mSv'tir. Bazı insanlar, bu ortalama değerlerin birkaç kat üzerinde veya altında doz alabilirler. Hindistan'ın Kerala şehri ile Fransa ve Brezilya'nın bazı bölgeleri gibi yerin nispeten daha yüksek doğal radyonüklid derişimine sahip olduğu birkaç yerde doz, dünya ortalamasının 20 katına kadar ulaşabilir.

Doğal radyasyon ile ışınlamada önemli kaynaktan biri de radon gazıdır. Bunun nedeni, havadaki küçük parçacıklara yapışabilen alfa parçacıklarının akciğer dokularını ışınlaması ve akciğer kanser riskini artıran Rn-222'nin kısa yarılanma süreli bozunum ürünleri olan radyonüklidlerdir. Aynı durum, Rn-220 (toron) içinde doğrudur, fakat akciğerin ışınlanma derecesi oldukça düşüktür. Radon gazı yerden atmosfere girdiğinde havada dağılır, bu nedenle bina dışındaki derişimi düşüktür fakat zeminden geçerek bina içine girdiğinde kapalı hacimdeki aktivite derişimi artar. Binalar iyi havalandırılırsa radon birikimi hemen hemen yok denebilecek seviyeye indirilebilir. Az havalandırılan bina içerisindeki radon derişimi, bina dışındakinden çok daha yüksek olabilir. Binalardaki radon derişimi, yerel jeolojik yapıya oldukça bağlıdır ve ülkenin değişik bölgelerinde hatta aynı alanda binadan binaya farklılık gösterebilir. Dünya genelinde, radon bozunum ürünleri nedeniyle maruz kalınan yıllık ortalama etkin dozun yaklaşık 1,2 mSv olduğu tahmin edilmektedir.

Radyonüklidlerin solunması veya sindirim yoluyla vücuda alınması ile iç ışınlanma oluşur. Solunum yoluyla iç ışınlanma U-238 ve Th-232 bozunma ürünlerinin toz parçacıkları ile havadan teneffüs edilmesi sonucu ortaya çıkar. Solunum yoluyla ışınlanmanın en önemli bileşenini radon ve radonun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri oluşturur. Sindirim yoluyla oluşan ışınlanma ise K-40, U-238 ve Th-232 serisi

radyonüklidlerin gıdalar ve su ile vücuda alınması ile ortaya çıkar. K-40 normal beslenme yoluyla vücuda girer ve radon bozunma ürünleri dışında iç ışınlanmanın ana kaynağıdır. Buna ilaveten, kozmik ışınların atmosferle etkileşimi, iç ışınlamayı arttıran C-14 ve H-3 gibi bir takım radyonüklidleri oluşturur. Bu iç ışınlanma kaynaklarının sebep olduğu yıllık ortalama etkin dozun 0,3 mSv olduğu ve bunun yarısının da K-40'tan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Vücuttaki potasyum ve dolayısıyla K-40 miktarı kas miktarı ile değişir. Genç erkeklerdeki K-40 miktarı, yaşlı bayanlara oranla yaklaşık iki kat daha fazladır. Tablo 2'de doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri verilmiştir (UNSCEAR, 2000).

Tablo 2. Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık etkin dozlar

Kaynak	Dünya Ortalaması (mSv)	Doz Aralığı (mSv)
Kozmik Radyasyon	0,4	0,3 - 1,0
Gama Radyasyonu	0,5	0,3 - 0,6
Radon	1,3	0,2 - 10
İç Işınlanma	0,3	0,2 - 0,8
Toplam	2,4	1,0 – 12,4

1.3.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Atmosferde ve yeraltında yapılan nükleer silah denemeleri, nükleer silah üretimi, nükleer güç üretimi, nükleer yakıt çevrimi, radyoizotop üretimi ve kullanımı ile nükleer kazalardan çevreye verilen radyonüklidler, çevrenin radyoaktivite seviyesinde artışa neden olan yapay radyasyon kaynaklarıdır. Ancak, küresel radyoaktif kirlenmenin en önemli kaynağı, 1945-1980 yılları arasında atmosferde gerçekleştirilen nükleer silah denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintilerdir.

1.3.2.1. Nükleer Silah Denemeleri

Nükleer patlamanın radyoaktivite tehlikesini büyük ölçüde artıran olay fisyonun doğan hızlı nötronların çevredeki maddeleri ışınlamaları ve onları radyoaktif hale getirmeleridir. Yükseklerde gerçekleştirilen patlamalarda, havada askıda duran tozlar ve havanın kendisi aktiflenirken alçalarda veya yer seviyesinde gerçekleştirilen patlamalarda yerdeki maddeler de aktiflenmektedir. Patlamanın etkisiyle aktiflenen maddeler çok yükseklere hatta stratosfere kadar çıkmakta ve burada uzun seneler tutunabilmektedir. Bu sırada kısa ömürlü radyonüklidler sönmekte, fakat yarı ömürleri yıllar mertebesinde olan Sr-90 ve Cs-137 gibi radyoizotoplar zamanla yağmur veya karla yeryüzüne inmekte ve aktivitelerini yerde sürdürmektedir. Tablo 3'te atmosferik nükleer silah denemelerinden küresel olarak dağılan radyonüklidler ve toplam aktiviteleri verilmektedir (UNSCEAR, 2000).

Tablo 3. Atmosferik nükleer denemeler sonucu ortaya çıkan ve küresel olarak dağılan radyonüklidler

Radyonüklid	Yarı Ömür	Aktivite (TBq)
Hidrojen-3	12,35 yıl	186000
Karbon-14	5730 yıl	213
Mangan-54	312,3 gün	3980
Demir-55	2,73 yıl	1530
Stronsiyum-89	50,53 gün	117000
Stronsiyum-90	28,78 yıl	622
İtriyum-91	58,51 gün	120000
Zirkonyum-95	64,02 gün	148000
Rutenyum-103	39,26 gün	247000
Rutenyum-106	373,6 gün	12200
Antimon-125	2,76 yıl	741
İyot-131	8,02 gün	675000
Baryum-140	12,75 gün	759000
Seryum-141	32,50 gün	263000
Seryum-144	284,9 gün	30700
Sezyum-137	30,07 yıl	948
Plütonyum-239	24110 yıl	6,52
Plütonyum-240	6563 yıl	4,35
Plütonyum-241	14,35 yıl	142

Dünya yüzeyinde ve atmosferde değişik yüksekliklerde gerçekleştirilen nükleer silah denemeleri sonucunda patlamanın yerine göre yerel, bölgesel ve küresel çevre etkilenmiştir. Yerüstünde yapılan testlerde radyoaktif serpinti test bölgesinde ve rüzgâr yönünde birkaç bin kilometreye kadar dağılmıştır. Bu oran meteorolojik şartlara, patlamanın yerden yüksekliğine, çevredeki malzemenin ve yüzeyin yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Atmosferik nükleer denemelerin birçoğu kuzey yarımkürede yapıldığından buradaki birikim güney yarımküreye göre daha fazladır.

Nükleer silah denemeleri ile çevreye verilen radyoaktif maddeler yoluyla alınan yıllık maksimum doz 1963 yılında 0,14 mSv olmuştur. Toplam doz miktarı 1979'a

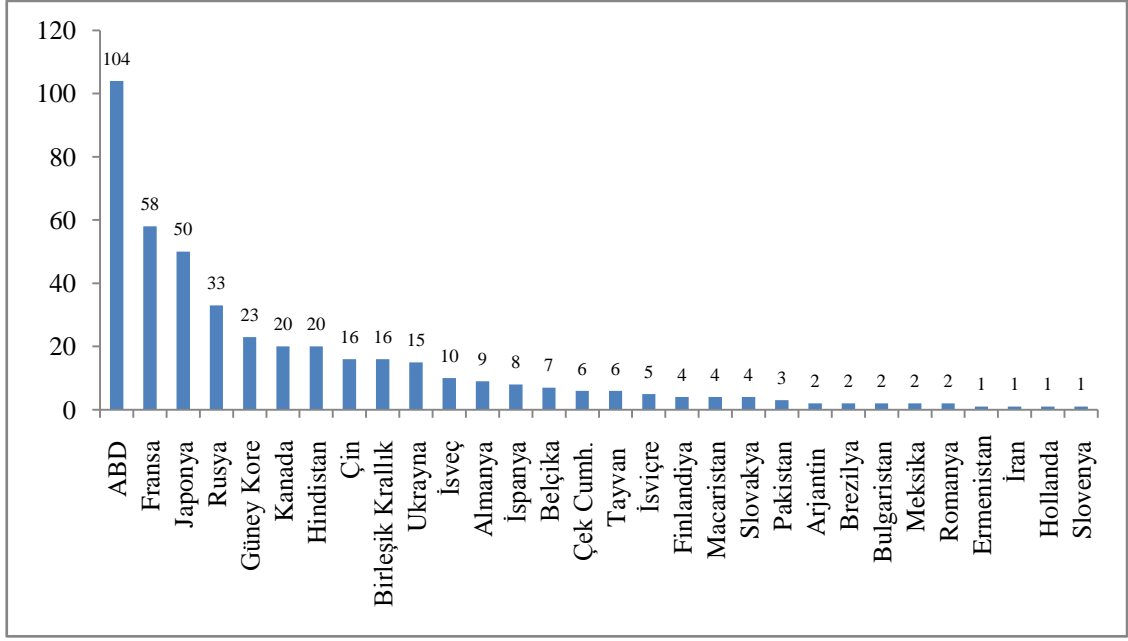
kadar yaklaşık 10 kat azalmış, 1990'larda 0,006 mSv mertebelerine gerilemiştir. Bu güne kadar gerçekleştirilmiş nükleer silah denemeleri sonucunda meydana gelen radyoaktif serpintilerden küresel olarak maruz kalınan yıllık ortalama doz 0,005 mSv'dir (UNSCEAR, 2000).

Nükleer silah denemelerine ilave olarak, nükleer malzemenin üretildiği ve nükleer silahların yapıldığı tesisler de çevreye bir miktar radyonüklid salımına sebep olmaktadır.

1.3.2.2. Nükleer Güç Üretimi

Atom çekirdeğinin parçalanması, yirminci yüzyılın en önemli bilimsel olaylarından biri olarak kabul edilmiş, parçalanma sonucu ortaya çıkan büyük enerji ne yazık ki, ilk olarak atom bombası olarak kullanılmış, daha sonra elektrik enerjisi üretiminde bu enerjiden faydalanılması düşüncesi, nükleer güç reaktörlerini gündeme getirmiştir.

Dünyamızda halen enerji üretiminde ticari olarak kullanılan teknoloji fisyon teknolojisidir. Ağır kütleli çekirdekler belirli şartlar gerçekleştirildiğinde bölünerek daha kararlı çekirdeklere dönüşürler. Bu olaya nükleer fisyon denir. İçerisinde fisyon reaksiyonunun sürekli ve kontrollü olarak gelişmesine imkân verecek şekilde düzenlenmiş olan sisteme nükleer reaktör denir. Nükleer reaktörde fisyon reaksiyonu sonucu oluşan ısı vasıtasıyla su buharı elde edilir ve turbo jeneratörler aracılığıyla elektrik enerjisi üretilir. Nükleer reaktörler kullanım amaçlarına, yakıt cinsine, yavaşlatıcı ve soğutucu maddelerine ve nötronların enerjilerine göre sınıflandırılırlar. İlk nükleer reaktör 1942 yılında Fermi tarafından Şikago'da yapılmıştır. Nükleer kaynaklı elektrik üretimi 1956 yılından sonra hız kazanmış 1970- 1985 yılları arasında hızlı bir gelişme göstermiştir (Şekil 8). Nükleer güç santralleri, günümüzdeki küresel elektrik üretiminin %17'sini sağlamaktadır.



Şekil 8. Dünyada çalışan reaktörlerin ülkelere göre dağılımı (Nisan 2013)

Nükleer santraller işletilirken çevreye gaz ve sıvı formda bir miktar radyoaktif atık bırakılır. Nükleer reaktörde oluşan fisyon ürünlerinin %10 kadarı gazdır.

Tüm reaktörler için reaktör işletimi süresince oluşan radyoaktif madde salımı nedeniyle ortaya çıkan toplam kolektif etkin doz, her bir reaktör tipinin enerji üretimine göre ağırlıklı ortalama alınmış şekliyle yılda 0,43 Sv/GW'dır (UNSCEAR, 2000). Dünyada işletilmekte olan tüm reaktörlerden çıkan ve tüm dünyaya yayılan radyoaktivite nedeni ile bir kişinin maruz kalacağı ortalama yıllık etkin doz 0,2 μ Sv'den daha azdır. Reaktör bölgelerindeki bireysel yıllık etkin dozlar ise 1-500 μ Sv aralığında değişmektedir (UNSCEAR, 2000).

1.3.2.3. Nükleer Yakıt Çevrimi

Nükleer yakıt çevrimi; uranyum arama, çıkarma, arıtma, gerekiyorsa zenginleştirme, yakıt fabrikasyonu, kullanılmış yakıtın depolanması, atık olarak işlem görmesi veya yeniden işlenmesi ve oluşan atıkların işleme tabi tutularak depolanmasına kadar tüm adımları kapsar. Dünyadaki nükleer güç üretim programları paralelinde, nükleer hammadde potansiyeli ve yakıt çevrimi konusundaki çalışmalar ve araştırmalar

birçok ülkede sürdürülmektedir. Nükleer gücün uzun süreli enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi, yakıt olarak kullanılan uranyumun yeterince sağlanabilmesine bağlıdır.

Günümüzde uranyum madenciliğinin % 90'ı 9 ülkede (Avustralya, Kanada, Kazakistan, Namibya, Nijer, Rusya Federasyonu, Güney Afrika, ABD ve Özbekistan) gerçekleştirilmektedir. Uranyum madenciliğinde işlenen cevherden kazanılan uranyumun yaklaşık 525 katı atık olarak elde kalır (Özden, 1983). Cevher atığı nükleer yakıt çevriminin ilk atığıdır. Cevher atığı içinde bulunan radyoaktif maddelerin başında uranyum kalıntısı gelir. Maden cevherinde bulunan uranyumun %5'i kalıntıya karışır. Ayrıca uranyumun uzun bozunum zincirinin her biri radyoaktif olan bozunma ürünleri de atık içinde kalır. Çevre sağlığı açısından en büyük tehlike yaratan iki radyoizotop, Ra-226 ile Rn-222'dir. Katı olan radyum, rüzgâr ve su erozyonu ile çevreye taşınır fakat gaz olan radon bu gibi dış etkenlere hiç gerek kalmadan kendiliğinden havaya karışır (Özden, 1983).

Yakıt çevriminin diğer salımları ile karşılaştırıldığında zenginleştirme tesislerinin salımları oldukça düşüktür. Nükleer yakıt çevriminin radyoaktif atık ve çevre kirliliği yönünden en büyük sorun yaratan aşaması ise kullanılmış yakıtların yeniden işlenmesidir. Reaktörden çıkan yakıt tekrar değerlendirilmek üzere işlendiğinde o ana kadar içinde hapsolmuş bulunan bütün fisyon ürünleri serbest kalır. Bir taraftan aşırı radyoaktif fisyon ürünleri, diğer taraftan işlemler sırasında onların bulaştığı çeşitli malzemeler büyük bir radyoaktif atık sorununu ortaya çıkarır. Yeniden işleme kapalı bir sistem içinde yapılır. Böylece radyoaktif gazların rastgele atmosfere dağılımları önlenir. Bunlar filtrelerden geçirilerek tutulurlar. Gazların beraberlerinde sürükledikleri radyoaktif sıvılar da filtrelerde, elektrostatik tutucularda veya soğurucularda yakalanıp alınırlar (Özden, 1983).

Nükleer güç üretiminden ve yeniden işleme tesislerinden küresel olarak yayılan radyonüklidlerin aktiviteleri Tablo 4'te verilmiştir (UNSCEAR, 2000). Küresel radyoaktif kirliliğe sebep olan bu uzun ömürlü radyoaktif izotoplardan kaynaklı yıllık etkin dozlar, C-14 için 0,16 μ Sv, Kr-85 için 0,1 μ Sv, H-3 ve I-129 için 0,005 μ Sv'dir (UNSCEAR, 2000).

Tablo 4. Reaktörler ve yeniden işleme tesislerinden küresel olarak yayılan radyonüklidlerin aktiviteleri

Yıllar	Salım (TBq)				
	³ H	³ H (Denize)	¹⁴ C	⁸⁵ Kr	¹²⁹ I
..... - 1970	2146	919	38	32030	0,11
1970 - 1974	6543	2809	116	97970	0,32
1975 - 1979	24200	8858	364	308900	1,01
1980 - 1984	44330	13640	523	424400	1,53
1985 - 1989	77960	23660	672	454000	1,79
1990 - 1994	98900	35390	650	823700	3,87
1995 - 1997	42830	40770	442	1102000	6,14
Toplam	296900	126000	2805	3243000	14,8

Nükleer yakıt çevriminin tüm değişik aşamalarında salınan radyonüklidlerden halkın alacağı kolektif etkin doz yılda 0,9 Sv/GW'dır (UNSCEAR, 2000). Nükleer yakıt çevriminden yayılan radyonüklidler sebebiyle halkın aldığı etkin doz miktarları Tablo 5'te verilmiştir (IAEA, 2004).

Tablo 5. Nükleer yakıt çevriminden çevreye salınan radyonüklidler sebebiyle alınan yıllık dozlar

	Salımın Cinsi	En fazla	Kolektif etkin
		ışınlanan kişiler (mSv)	doz (Kişi-Sv)
Yakıt İmalatı	Uçucu	0,01	350
	Sıvı	0,01	
Reaktör İşletme	Uçucu	0,001	380
	Sıvı	0,004	
Yakıtı Yeniden İşleme	Uçucu	0,05	4500
	Sıvı	0,14	

1.3.2.4. Radyoizotop Üretimi ve Kullanımı

Radyoizotoplar endüstri, tıp, tarım, arkeoloji ve araştırmada yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu radyonüklidlerin üretiminde, kullanımında ve bertaraf edilmesinde çevreye radyoaktif madde salımı söz konusudur. Ancak, askeri tesisler dışında bu salımlar küresel kolektif doza çok az katkı yapmaktadır.

Radyoizotop üretimi ve kullanımı sonucu çevreye salınan hidrojen-3, karbon-14, iyot-125, iyot-131 ve ksenon-133 gibi radyonüklidler sebebiyle alınan yıllık kolektif etkin doz yaklaşık 100 Sv'dir. Tıp, eğitim ve endüstri uygulamalarında kullanılan açık radyoaktif kaynakların yıllık üretim miktarları ve sebep oldukları dozlar Tablo 6'da verilmiştir (UNSCEAR, 1993).

Tablo 6. Tıp, eğitim ve endüstri uygulamalarında kullanılan açık radyoaktif kaynaklar ve dozları

Radyonüklid	Yıllık Normalize Üretim (GBq/10⁶ kişi)	Yıllık Küresel Salım (PBq)	Yıllık Kolektif Etkiz Doz (kişi-Sv)
Hidrojen-3	80	0,13	1,4
Karbon-14	30	0,05	86
Kripton-85	10	0,02	0,004
İyot-123	400	0,70	0,01
İyot-125	40	0,06	7
İyot-131	200	0,30	9
Ksenon-133	1600	2,60	0,4

Çevreye salınan yapay radyonüklidler sebebiyle alınan maksimum yıllık etkin doz 0,14 mSv ve küresel nüfus üzerinden ortalama yıllık etkin doz ise 0,001 mSv'dir (IAEA, 2004).

1.4. Radyasyon Dozu ve Birimleri

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan ya da tüketilen miktarı demektir. Radyasyonun dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir sürede soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Bütün zararlı maddeler genellikle, vücutta bir takım biyolojik hasarlara neden olurlar. Bu hasarların büyüklüğü ise, o maddenin cinsinin yanı sıra, vücuda alınış şekli, süresi ve miktarına bağlı olarak değişir. Bunun yanı sıra, yaşam boyu alınan toplam miktar da oluşabilecek zararı belirleyen önemli bir unsur olacaktır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, belli bir sürede belli bir miktarın üzerinde radyasyon enerjisi soğuran yani radyasyon dozu alan canlılarda da bazı zararlı etkilerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu etkinin büyüklüğü ise ancak radyasyonun çeşidi ve soğurulan radyasyonun miktarı bilindiği zaman mümkündür. Bütün bu faktörler bilindiğinde radyasyonun insan sağlığı veya diğer canlı ve cansız varlıklar üzerinde bırakacağı etki kolayca belirlenebilir.

1896 yılında Henrie Becquerel tarafından radyoaktivitenin keşfinden beri, radyoaktivite ve uygulamaları konusuna sürekli artan ilgi, insanların radyasyondan ne kadar doz aldıklarının bilinmesinin önemini ortaya koymuştur. Radyasyondan alınan dozun hesaplanabilmesi için, öncelikle doğal radyoaktivitenin incelenmesinin zorunlu olduğu anlaşılmıştır.

Radyasyonun etkisi geçtiği ortamda oluşturduğu iyonlaşmaya, iyonlaşma da bu ortam tarafından soğurulan radyasyonun enerjisine bağlıdır. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU), aktivite, ışınlama dozu, soğurulan doz ve doz eşdeğeri için sırasıyla Curie (Ci), Röntgen (R), Rad ve Rem birimlerini tanımlamışlardır. Bu özel birimler, 1986 yılından itibaren bırakılmaya başlanmış ve yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile M.K.S. sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (SI) kullanılmıştır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg (C/kg), Gray (Gy) ve Sievert (Sv) olarak seçilmiştir.

1.4.1. Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktif maddenin birim zamanda gerçekleştirdiği bozunma sayısına aktivite denir. Aktivitenin SI birimi Becquerel olarak adlandırılır ve kısaca (Bq) ile sembolize edilir. Eski birim sisteminde Curie olarak kullanılan radyoaktivite birimi (Ci), bir gram radyumun saniyede uğradığı bozunma sayısı ($3,7 \times 10^{10}$ bozunma/saniye) olarak tanımlanmış ve bu sayıda aktivite gösteren tüm diğer radyoaktif maddelerin aktivitesi 1 Curie olarak belirtilmiştir.

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

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

1.4.2. Işınlama Birimi

Işınlama birimi Röntgen, normal hava koşullarında (0 °C ve 1 atm basınç) havanın 1 kilogramında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar meydana getiren x veya γ radyasyon miktarıdır. Yeni radyasyon birimi Coulomb/kg olarak belirlenmiştir.

$$1 \text{ Coulomb/kg} = 3876 \text{ R veya } 1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg'dır.}$$

1.4.3. Soğurulan Doz Birimi

Nükleer teknolojinin ilerlemesi ile elde edilen yüksek enerjili x ışınlarının α , β ve nötron gibi radyasyon kaynaklarının herhangi bir cisimde soğurulduğu enerjisinin ölçümünde coulomb/kg veya röntgen yetersiz kalmıştır. Bu nedenle her çeşit radyasyon ve madde için soğurulan doz birimi olarak Gray tanımlanmıştır. Radyoaktif bir madde tarafından salınan radyasyon etkileştiği maddelere enerji bırakmaktadır. Soğurulmuş doz, ışınlanan maddenin 1 kilogramında 1 Joule'lük enerji soğurması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır ve Gy ile sembolize edilir.

Soğurulmuş dozun eski birimi rad olup,

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$$

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-5} \text{ J/g}$$

$$100 \text{ rad} = 1 \text{ gray (Gy)}$$

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg'dır.}$$

1.4.4. Eşdeğer Doz Birimi

Radyasyona maruz kalan insanlarda meydana gelebilecek zararlı biyolojik etkilerin belirlenebilmesi açısından, ölçülebilen bir radyasyon dozu birimine ihtiyaç duyulmuştur. Işınım sonucu fırlatılan enerji paketleri ve parçacıklar canlı hücrelere çarptığında, enerjisini bu hücrelere aktarmaktadırlar. Soğurulan dozun meydana getirdiği zararlı biyolojik etkiler, hem iyonizasyon yoğunluğuna hem de radyasyonun türüne (α , β , γ vs.) göre farklılık göstermektedir. Yani oluşacak biyolojik etki, iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluğunda kaybettikleri enerji miktarına (Lineer Enerji Transferi) bağlı olarak değişim göstermekte ve LET arttıkça artmaktadır. Bu nedenle eşdeğer doz birimi, radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmalıdır.

Doz eşdeğerinin SI birimi Sievert (Joule/kg) dir ve kısaca "Sv" ile sembolize edilir ve soğurulan doz (D) ile kalite faktörünün (QF) çarpımı olarak tanımlanır.

$$DE = D \times QF \quad (14)$$

Böylece farklı radyasyonların soğurulmaları sonucu oluşan biyolojik etki aynı birimle ifade edilebilmektedir. Soğurulan doz, rad biriminde kullanılırsa doz eşdeğeri rem (Roentgen Equivalent Man), Gray biriminde kullanılırsa doz eşdeğeri Sievert (Sv) biriminde olur. Birim uzunluk başına daha fazla enerji aktaran radyasyonların (α 'lar) QF'leri 20'ye kadar değişir. Tablo 7'te bazı QF değerleri verilmiştir.

Tablo 7. Soğurulan radyasyonlar için kalite faktörleri

Radyasyon	QF
γ , β , X-ışınları	1
Düşük enerjili p, n (~keV)	2 - 5
Yüksek enerjili p,n (~MeV)	5 - 10
α	20

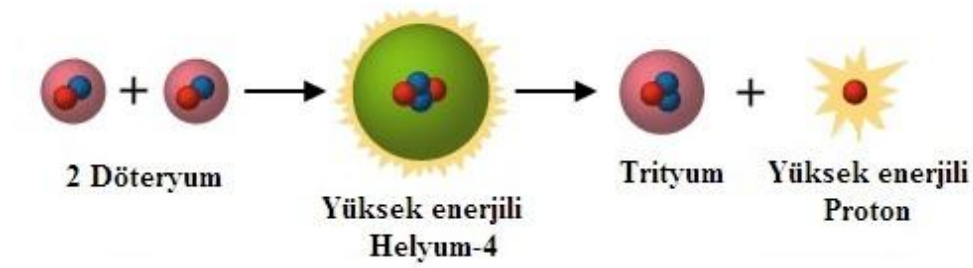
1.4.5. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

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

1.5. Tritiyum

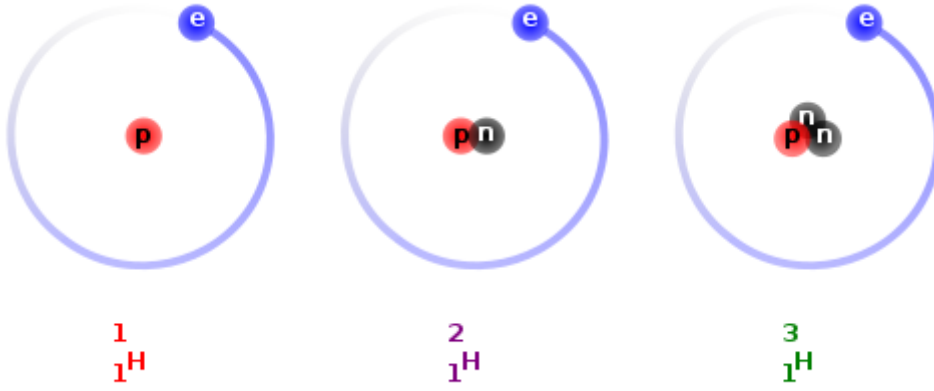
1.5.1. Giriş

Tritiyum; fizikçiler Ernest Rutherford, M. L. Oliphant ve Paul Harteck'in 1934'te yapmış oldukları döteryum - döteryum füzyon reaksiyonu (Şekil 9) sonucunda keşfedilmiştir.



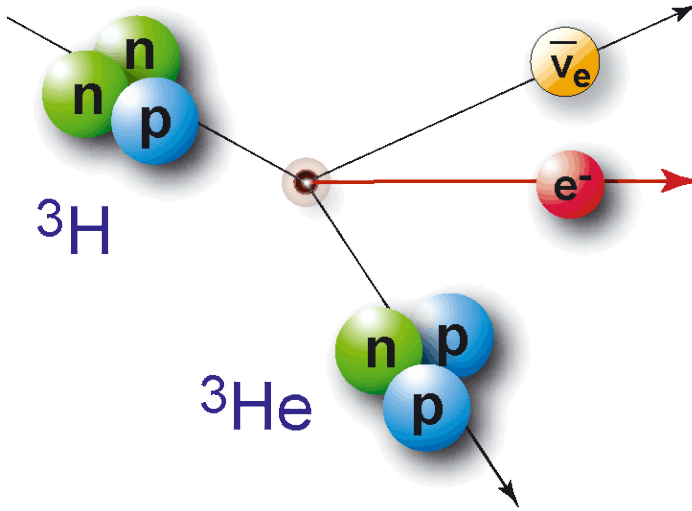
Şekil 9. Döteryum-Döteryum füzyon reaksiyonu

Bir elementin atom numarası aynı fakat kütle numarası farklı atomlarına "izotop" denir. Şekil 10'da gösterildiği gibi hidrojen elementinin üç izotopu vardır.



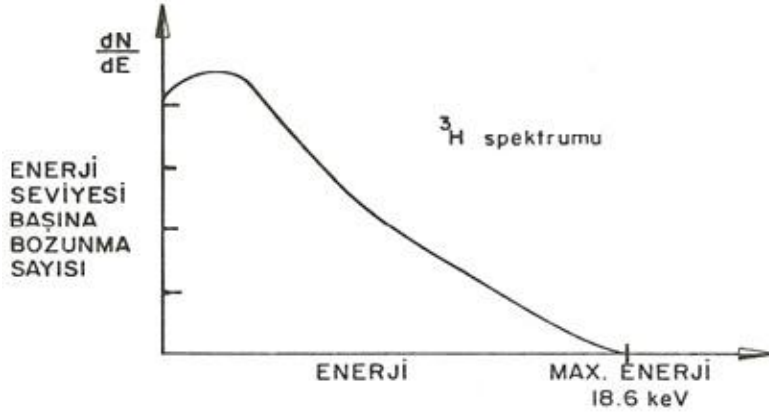
Şekil 10. Hidrojen elementinin izotopları

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



Şekil 11. Trityumun radyoaktif bozunması

Trityumun yarı ömrü 12,32 yıldır (UNSCEAR, 1982). Trityum çekirdeğinden yayınlanan enerjinin maksimum değeri 18,6 keV olup, beta parçacığı ile nötrino arasında rastgele bölüşülür. Bu nedenle beta parçacıklarının enerjisi 0 – 18,6 keV arasında herhangi bir değere sahip olabilir (Şekil 12). Dolayısıyla beta spektrumu süreklilik gösterir.



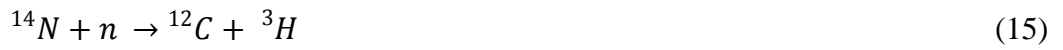
Şekil 12. Tritiyumun beta bozunması spektrumu

Tritiyumun en yaygın formu tritiyum gazı (HT) ve tritiyumlu su olarak adlandırılan tritiyum oksittir (HTO). Suyun kimyasal formu H₂O'dur. Bir tritiyum atomu suda bulunan hidrojen atomlarından biriyle yer değiştirir ve böylece suyun kimyasal formu H₂O'dan HTO'ya değişir. Tritiyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri hidrojeninki ile aynıdır.

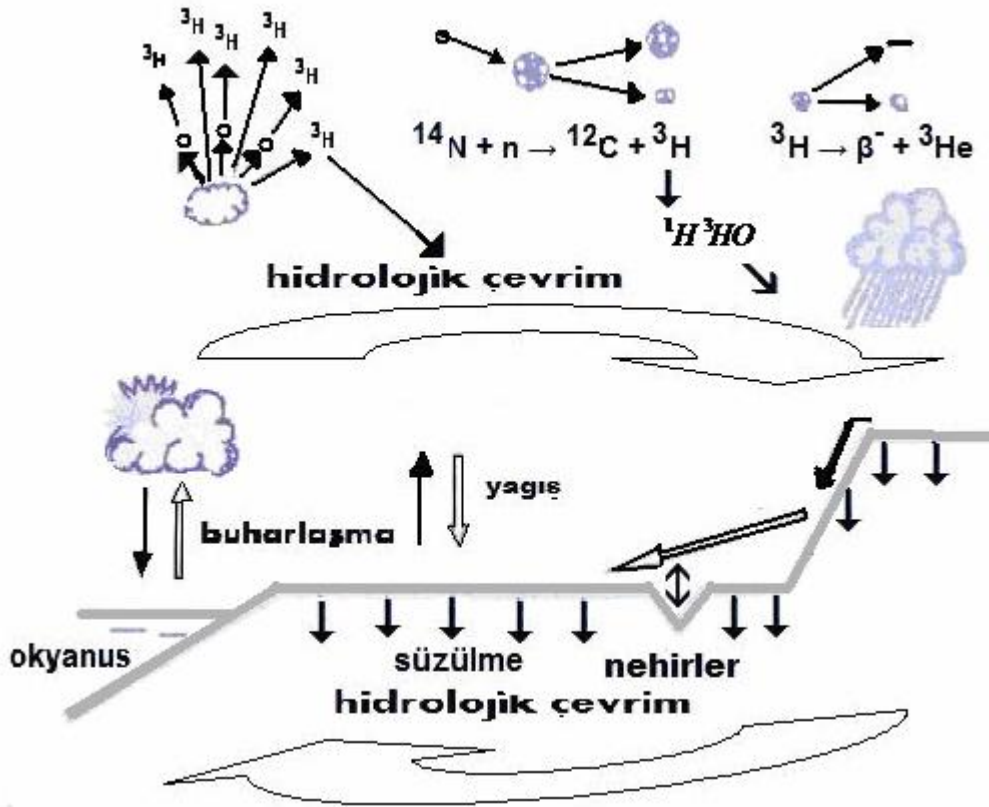
1.5.2. Çevresel Tritiyum

Tritiyum yağışlara iki kaynaktan girerek hidrolojik çevrimde yerini alır ve “çevresel tritiyum” olarak adlandırılır;

1. Atmosferin üst tabakalarındaki azot ve oksijen atomlarının, kozmik nötronlarla etkileşime girmesinden doğal olarak oluşur:



Tritiyum hidrolojik çevrime Şekil 13'te gösterildiği gibi ¹H³HO şekline yükseltgendikten sonra girer (Mook, 2000).



Şekil 13. Tritiyumun hidrolojik çevrime girişi

Tritiyumun atmosferdeki kalış süresinin çok küçük olmasından dolayı doğal olarak oluşum hızı da çok küçüktür. Tritiyumun atmosferdeki doğal oluşum hızı yaklaşık 2500 atom/ m^3s 'dir (Altay ve Çifter, 1996). Atmosferde üretilen tritiyum konsantrasyonu, coğrafi konuma bağlı olarak yaklaşık 5–20 TU (tritiyum birimi) arasında değişiklik gösterir. Tritiyum yağışlara karışarak yeraltına geçtikten sonra uzun yıllar yeraltında bekler ve başka bir yeni suyla karışmazsa konsantrasyonu zamanla azalır.

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, 1×10^{18} hidrojen atomuna karşı bir tritiyum atomunun bulunması “1 tritiyum birimi (TU)” olarak tanımlanır (Watson vd., 1993).

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

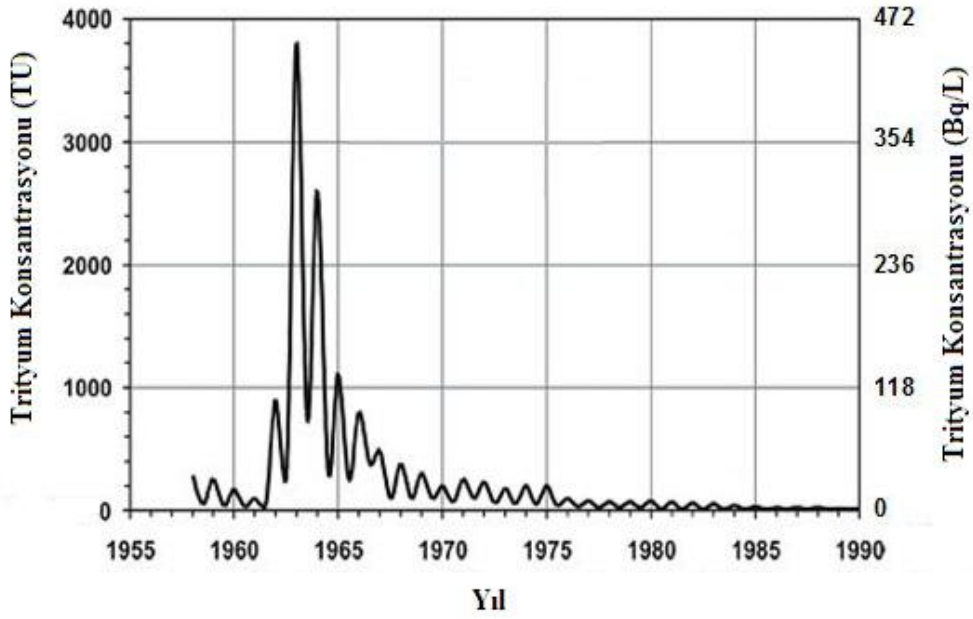
2. Nükleer çalışmalar sonucunda yapay olarak oluşur.

1952–1962 yılları arasında yapılan termonükleer denemelerle atmosfere yüksek miktarda trityum enjekte edilmiştir. Kuzey yarım kürenin atmosfer tabakasına enjekte edilen bu yüksek miktardaki trityumun aşamalı olarak troposfer tabakasına geçmesiyle 1953 yılından sonraki yağışların trityum konsantrasyonunda artış gözlenmiştir (Mook, 2000).

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

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 (Şekil 14). 1963 yılında imzalanan bir antlaşmayla bu denemeler durdurulduktan sonra trityum konsantrasyonunda üstel olarak bir azalma gözlemlenmiştir.

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



Şekil 14. Kuzey yarımkürede trityum konsantrasyonunun yıllara göre değişimi

1.5.3. Nükleer Reaktörlerde Trityum Üretimi

Trityum, nükleer santrallerde reaktörün soğutma sistemine kontrol amaçlı ilave edilen bor ve lityumun, nötronlarla reaksiyona girmesiyle bol miktarda üretilir.



Buradaki uyarılmış lityum çekirdeği de aşağıdaki reaksiyonla bozunarak trityum üretir.



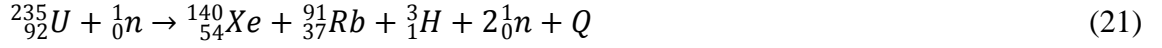
Bor, basınçlı su reaktörlerinin (PWR) soğutma sistemine reaktiviteyi kontrol etmek için 4000 ppm'e kadar ilave edildiğinden bir trityum kaynağı olarak davranır ve bu yüzden soğutmak için bor eklenen PWR'ler, buna ihtiyaç duymayan BWR'lerden (Kaynar Su Reaktörü) daha fazla trityum üretir.

Reaktör soğutucusunun pH değerini kontrol etmek için genellikle lityum hidroksit kullanılır. Bunun sonucu olarak, 7Li ve 6Li çekirdeklerinin nötronlarla reaksiyona girmesi sonucu trityum açığa çıkar.



Doğal lityum, % 92,5 ${}^7\text{Li}$ ve % 7,5 ${}^6\text{Li}$ içerir ancak ${}^6\text{Li}$ yüksek termal nötron tesir kesitine sahip olduğu için reaktör soğutucusu içerisinde trityumun meydana gelmesinin sebebi ${}^6\text{Li}$ varlığıdır. PWR'lerde trityum üretimi, ${}^7\text{LiH}$ 'in kullanılmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir.

Üç ürünün meydana geldiği ${}^{235}\text{U}$ 'in üçlü fisyonu da trityum üretir.



Trityum üretimi için üçlü fisyon verimi % $1,25 \times 10^{-4}$ 'tür, yani her 1 milyon tane fisyon için 1,25 trityum atomu üretilir (Tanır vd., 2013).

1.5.4. Trityumun Kullanım Alanları

Trityum nükleer bombaların patlamasını başlatan nükleer reaksiyonun başlangıcında, 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. Örneğin; biyokimya çalışmalarında trityumla etiketlenmiş (damgalanmış, yani bünyesinde trityum bulunan bileşik) hormonlar, gıdalar, ilaçlar kullanılır ve bu maddelerin vücuttaki davranışı takip edilir. Yine suyun hidrokarbonlardaki çözünmesinin tayininde, suyun difüzyonunda, polimerlerin analizinde, kimya reaksiyonlarının takip ettiği yolu bulmakta trityumla damgalama metodu kullanılır. Trityum ticari amaçla reaktörlerde üretilir (Portakal vd., 1988).

1.5.5. Trityumun Ölçülmesi

Trityum, ${}^3\text{He}$ kütle spektrometresinde ve atomik kütle spektrometresinde (AMS) ölçülebilir. Numune, ${}^3\text{He}$ kütle spektrometresinde ölçüm için ilk önce bütün gazlardan

arıtılır ve ^3He 'un trityum bozunmasından elde edilmesi için bir süre bekletilir. Daha sonra ^3He soygaz kütle spektrometresi ile ölçülür. ^3He kütle spektrometre yöntemi LSC'den daha hassastır ve dedeksiyon limiti 0,5 Bq/L'dir. ^3He metodunun esas dezavantajı numune hazırlığındaki yöntemin karmaşıklığı ve uzun analiz süresidir (Xiaolin ve Per, 2008).

Atomik kütle spektrometresi de trityum tespitine yönelik hassas bir yöntemdir. Bu yöntemin avantajı, biyolojik numunelerin analizi için oldukça uygun olan küçük numunelerin (2 mg hidrojen) analizine imkân tanınmasıdır. AMS yönteminde, trityum ilk önce numuneden serbest bırakılır, daha sonra metal üzerinde soğurulan hidrojen gazına dönüştürülür (örneğin Ti) ve sonra da AMS ile ölçülür. Bu yüzden AMS'nin numune hazırlığı LSC ile karşılaştırıldığında daha karmaşıktır. Bu nedenle çevresel numunelerde trityum tespiti için en sık kullanılan yöntem LSC ölçüm yöntemidir (Xiaolin ve Per, 2008).

Sıvı sintilasyon sayaçlarında daha önceki yıllarda aşağıya çekilemeyen dedeksiyon limitinin, elektronik teknolojisindeki gelişmeler sayesinde çok küçük değerlere indirilmesiyle, atmosferde doğal olarak oluşan trityumun bu sayaçlarla dedeksiyonu mümkün olmuştur. Ayrıca, bu teknikte kullanılan numune hazırlama yönteminin gaz sayma tekniğindeki nazaran daha kolay ve çabuk olması, Sıvı Sintilasyon Sayma Tekniğinin bütün dünyada yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Katı numunelerdeki trityum saptamasına yönelik olarak trityumu THO (trityum hidroksit)'e dönüştürmek için, LSC ile ölçülen yanma (combustion) yöntemi kullanılır.

1.5.6. Trityumun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Trityumun çevrede davranışı, değişik sistemler arasında transferi ve insana geçişi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Trityum su ve süt gibi sıvı gıdalarla alınarak bütün vücutta dolaşım sağlayabilir, havadan gaz formu solunumla alınabilir ve ayrıca deriden soğurulabilir. Trityum sadece vücut içerisine alınırsa bir sağlık tehlikesi doğurur çünkü trityum, düşük enerjili bir beta parçacığı yayınlarken bozunur. Yayımlanan bu beta parçacığı, havada uzun mesafe yol alamayacağı gibi dokuda da derinlere nüfuz edemez. Trityumun vücut içerisine alınımının en muhtemel formu trityum hidroksit

(trityumlu su - HTO) şeklindedir. Trityum gazının alınımı ise genellikle çok düşüktür (% 1'den daha az). Trityumlu su yani HTO hem çevrede hem de insan vücudunda bildiğimiz (sıradan) suyla aynı davranışı gösterir. Bu nedenle solunan ve sindirilen trityumun önemli bir kısmı direkt olarak kan dolaşımına dâhil olur. 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).

1.6. 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 15'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 4π sayım geometrisinde sayılırlar,
- Self-absorbsiyon (öz soğurma) riski yoktur. Beta parçacıklarının menzili kısadır, (1MeV enerjili beta parçacığı için sudaki menzil 0,40 cm) LSC'de beta parçacıkları sıvı sintilatör içinde yakın mesafelere getirilebilir ve diğer 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 ^3H , ^{14}C ve ^{32}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 biręok radyoizotop belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Horrocks, 1974);

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

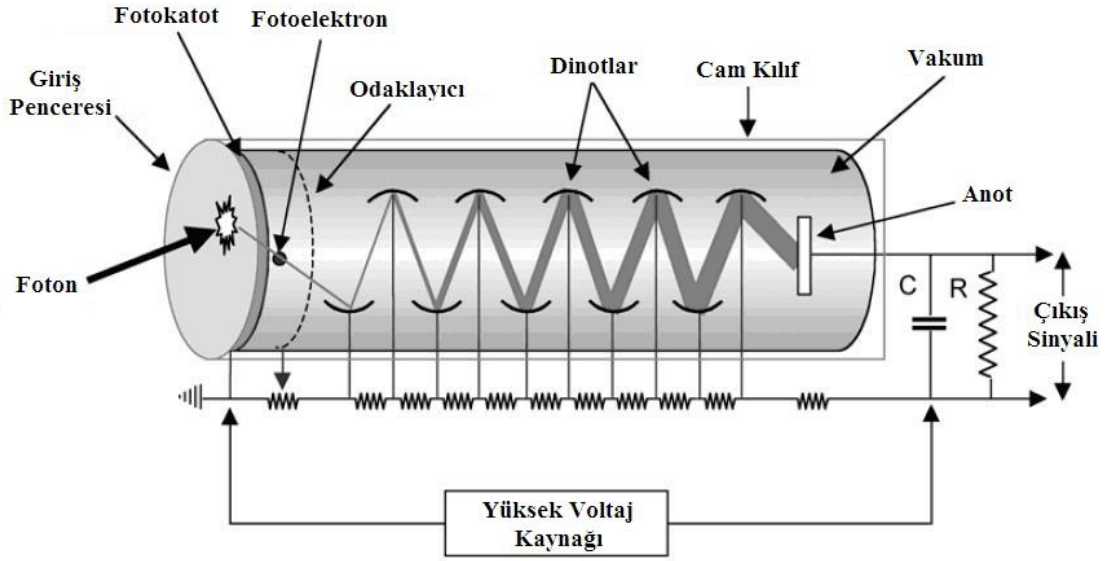
Sıvı sintilasyon sayımı, kendisi radyoaktif olan veya radyoaktif etiketli bir numunenin, nükleer yayım kinetik enerjisini ışık enerjisine çevirme niteliğinde olan sıvı bir kimyasalın içinde homojen olarak dağılması prensibine dayanmaktadır.



Şekil 15. Sıvı Sintilasyon Sayacı

1.6.1. 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 16'da bir PMT'nin şematik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 16. Fotoçoğaltıcı tütün 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 (Tosoufanidis, 1995; Altay ve Çifter, 1996). Çoğaltma işi dinodlar vasıtasıyla yapılır. Dinodlar, ikincil elektron yayınlamasının 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 yayınladıkları 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; Şarer, 2001).

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

1. Işık önce giriş penceresinden geçer.
2. Işık foto katot içinde bulunan elektronları uyarır, böylece fotoelektronlar boşluk içerisinde yayılır.
3. 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.
4. Son dinota çarparak yayılan ikincil elektronlar anot tarafından toplanır.
5. Bu olay kendini tekrarlayarak bir elektron demeti oluşur ve bu demet anotta toplanarak voltaj pulsu oluşur.

Enerji spektrometreleri için iki önemli özellik lineerlik ve kararlılıktır. Lineerlik, son çıkış puls genliğinin, sintilasyon olaylarının sayısı ile dolayısıyla radyasyon tarafından dedektörde depo edilen enerji ile doğru orantılı olması demektir. Her dinottaki artış, voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltajdaki herhangi bir değişme çıkış pulslarındaki değişimlere neden olacaktır; bu yüzden yüksek voltaj kaynağının kararlı olması gereklidir (Şarer, 2001). Yani, tüpe uygulanan gerilimin regülasyonu çok iyi olmalıdır. Şekil 16'da gösterildiği gibi son dinodlar arasına yerleştirilmiş olan kondansatörler ve fotokatotla ilk dinot arasındaki zener diyot, elektrotlar arası ön gerilim değişikliklerini engeller. Böylece voltaj stabilizasyonunun daha düzgün olması ve tüpün sabit kazanç altında çalışması sağlanmış olur (Altay ve Çifter, 1996).

Çok çeşitli fotoçoğaltıcı tüpler mevcuttur. Bu nedenle fotoçoğaltıcı tüp seçimi, fiziksel boyut, gelen farklı dalgaboylu radyasyonlara fotokatodun cevabı, fotokatodun duyarlılığı, kazanç, gürültü seviyesi ve zamanlama karakteristikleri gibi parametreler göz önüne alınarak yapılır (Şarer, 2001).

1.6.2. Sayım Kapları (Vialler)

Sıvı sintilasyon sayım tekniği ile radyoaktivite belirleme analizlerinde kullanılan vialler, genel olarak borosilikat camdan (^{40}K , ^{226}Ra içermeyen) veya plastikten

yapılmaktadır (Şekil 17). Plastik vialler ise yüksek yoğunluklu polietilen ya da polipropilenden üretilir. Plastik vialler, rutin analizlerde cama göre daha düşük background'a sahip olması ve çok daha ucuz olması nedeniyle düşük aktiviteli sayım uygulamaları için tercih edilir. Vialler üzerinde oluşan statik elektrik ise cam viallerin kullanımını en aza indirilebilir.

İçinde sintilatör ile karışmış numune bulunan vialler sıvı sintilasyon sayma sistemindeki fotoçoğaltıcı tüpler arasına girerek numunelerin sayılmasını sağlar. Bunun için viallerin düşük radyasyon içeren maddelerden yapılmış olmaları gerekmektedir (Horrocks, 1974).



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

1.6.3. Sintilatörler

Atom uyarılması sonucu gözle görülen bölgede veya ona yakın bölgede ışık yayınlayan kristal veya amorf maddelere sintilatör denir (Altay and Çifter, 1996). İdeal bir sintilatör; parçacıkların kinetik enerjilerini yüksek sintilasyon verimi ile algılanabilir ışığa çevirmeli, lüminesans süresi kısa olmalı, iyi bir optik kalitesinde olmalı ve boyutu dedektör için uygun büyüklükte olmalıdır (Passo ve Cook, 1994).

Bir sintilatörün çalışmasını anlamak için, enerjinin soğurularak, elektronların uyarılmış durumlara çıkmasıyla ilgili mekanizmayı göz önüne almamız gerekir. Bir molekülün enerji soğurabileceği iki yol vardır: elektronlar daha yüksek uyarılmış duruma geçirilebilirler ve moleküldeki atomlar titreşebilirler. Tipik bir titreşim enerji

aralığı 0,1 eV iken elektronik uyarılma enerjileri için bu birkaç eV civarındadır (Şarer, 2001).

Işık çıktısının büyüklüğü ve yayılan ışığın dalga boyu, her sintilatörün en önemli iki özelliğidir. Işık çıktısı, fotoçoğaltıcı tüpün girdisinde üretilen fotoelektronların sayısını etkilemektedir. Numune hacminin azaltılması bu sinyallerin azalması anlamına gelir. Sintilatörü uygun fotoçoğaltıcı tüple eşleştirmek için dalga boyu hakkındaki bilgi gereklidir. Sintilatörün ışık çıktısı sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterir (Tosoufanidis, 1995). Sintilatörler; inorganik, organik ve gazlı sintilatörler olmak üzere üç çeşittir.

1.6.3.1. İnorganik Sintilatörler

İnorganik sintilatörlerden, en yaygın kullanılanı alkali metallerin tek kristalli olanlarıdır ve NaI(Tl), CsI(Tl), CaI(Na), LiI(Eu) ve CaF₂(Eu) sintilatörleri örnek olarak verilebilir. Parantez içindekiler safsızlık ya da aktivatördür. Aktivatörler nispeten küçük bir konsantrasyondadır. Bunlar arasında en çok kullanılan sintilatör NaI(Tl)'dür (Tosoufanidis, 1995).

Foton yayınlanma olasılığını artırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak için kristale aktivatör denilen küçük miktarda safsızlıklar ilave edilir. Bu tip sintilatörlere katkılı sintilatörler denir. En çok kullanılan aktivatörlerden biri talyumdur ve böyle bir dedektör NaI(Tl) şeklinde gösterilir. Katı maddelerdeki elektronların enerji bant teorisine göre valans bandı ile iletim bandı arasında kalan bölgede saf atomlar için bir valans elektronu bulunmamaktadır. Aktivatör kullanıldığında iletim bandı ile valans bandı arasındaki bölgeye elektron durumları ilave edilerek, uyarılmış durumdaki elektronun iletim bandından taban duruma inerken aktivatör maddesinin uyarılmış enerji seviyesinden, taban duruma inme olasılığının ortaya çıkmasına ve bunun sonucunda katkısız sintilatörlere göre enerjisi daha düşük olan görünür bölgede fotonların yayılmasına sebep olacaktır. NaI'de 303 nm dalga boylu ışık yayınlanırken NaI(Tl)'de 410 nm'lik ışık yayınlanır. Ayrıca katkılı sintilatörlerin bir avantajı da daha büyük kristallerin yapılmasında kullanılmasıdır. Bu da dedektörün verimini arttıracaktır, yani bir kaynaktan çıkan gama ışınlarını gözleme olasılığı artacaktır (Şarer, 2001).

En çok kullanılan inorganik sintilatörlerinden, NaI(Tl) ve CsI(Tl)'ün bazı önemli özellikleri şöyledir; NaI(Tl) çoğunlukla gama ışınları için kullanılan bir sintilatördür. NaI(Tl)'ün emisyon spektrum piki 410 nm'dir ve ışık-dönüşüm (light conversion) verimi inorganik sintilatörlerin en yükseğidir. NaI(Tl) sintilatörü bazı dezavantajlara da sahiptir. Bu dezavantajlar, az bir miktarda potasyum içermesi ve dolayısıyla radyoaktif ⁴⁰K nedeniyle belirli bir background yaratması, kırılma kırılgan olması ve sıcaklık gradyentlerine duyarlı olması şeklinde sıralanabilir. CsI(Tl), NaI'dan daha yüksek atom numarasına ve daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle γ -ışınları dedeksiyonunda NaI(Tl)'den daha yüksek verim sağlar. Işık-dönüşüm verimi oda sıcaklığındaki NaI(Tl)'ün yaklaşık % 45'i kadardır. CsI(Tl)'ün emisyon spektrumu 420 ile 600 nm arasında değişir. NaI'e göre daha yumuşak olması nedeniyle şoklara, ivmelere, titreşimlere, yüksek sıcaklık gradyentlerine, ani sıcaklık değişimlerine daha uygun olduğundan dolayı uzay araştırmaları deneylerinde kullanılır ve ayrıca ⁴⁰K içermez (Tosoufanidis, 1995).

1.6.3.2. Organik Sintilatörler

Organik sintilatörlerde moleküller arası etkileşimler nispeten zayıftır. Etkin organik sintilatör materyalleri aromatik bileşiklerdir. Benzenoid halkalarını oluşturan düzlemsel moleküllerden oluşur. Organik sintilatörler uygun bileşiklerin birleşimiyle şekillenir (Oliver ve Knoll, 1968; Tosoufanidis, 1995). Organik sintilatörler, kristal ve sıvı sintilatörler olmak üzere iki gruba ayrılır.

Organik Kristal Sintilatörleri: En yaygın organik kristal sintilatörler antrasen ve stilben'dir. Antrasen, sintilasyon amacıyla kullanılan en eski materyallerden biridir. Antrasen'in yoğunluğu $1,25 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'tür ve organik sintilatörler içerisinde en yüksek ışık dönüştürme verimine sahiptir. Bozunma süresi ($\sim 30 \text{ ns}$), inorganik kristallerinkinden daha kısadır. Antrasen farklı şekillerde ve boylarda elde edilebilir (Tosoufanidis, 1995). Stilben ise $1,15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa ve kısa bozunma süresine sahiptir (4–8 ns). Işık dönüşüm verimi antrasenin yarısı kadardır. Saydam, renksiz ve çeşitli boyutlarda tek kristal olarak elde edilebilirler. Stilben kristaller, termal ve mekanik şoklara hassastırlar (Knoll, 2000).

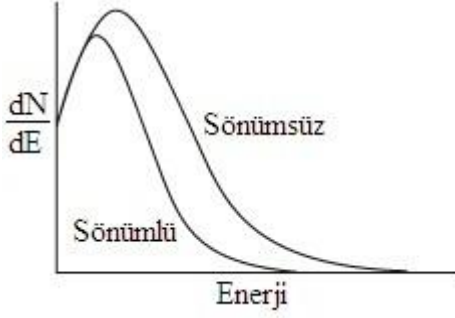
Organik Sıvı Sintilatörler: Bu tür sintilatörler, bir ya da daha fazla çözüneni ihtiva eden bir çözücü karışımından oluşur. İyi çözücülüğe sahip bileşenler ksilen, toluen ve heksametilbenzen içerir. Sıvı sintilatörler, verimi artırmak için büyük hacimli dedektöre ihtiyaç duyulan ölçümlerde oldukça kullanışlıdır. Bu sintilatörler, düşük aktiviteli β yayıcıların sayımı (özellikle ^3H ve ^{14}C) ve kozmik ışınların tespiti ölçümlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Sıvı sintilatörler, uygun ölçüm kapları kullanılarak istenilen boy ve şekildeki dedektörlerde kullanılabilirler. 4π sayım geometrisini sağladıkları için algılama verimleri yüksektir (Tosoufanidis, 1995; Knoll, 2000).

1.6.3.3. Gazlı Sintilatörler

Gazlı sintilatörler, soygazların karışımıdır ve oldukça kısa bozunma zamanları vardır. Soygazlar tarafından yayınlanan ışık ultraviyole bölgesine ait olduğu için, azot gibi diğer gazlar, ana gaza dalga boyu düzenleyici olarak eklenir. Floresans maddenin ince tabakalar halinde iç tabakalara sürülmesi ile de aynı verim elde edilir. Gama dedeksiyonu için düşük verim sağlar. Gazlı sintilatörler, ağır parçacıkların (alfalar, fisyon parçacıkları vb.) enerji ölçümlerine uygundur (Tosoufanidis, 1995).

1.6.4. Sönüm (Quench)

Sönüm, sintilasyon çözeltisindeki enerji kaybının bir sonucu olarak sistem verimindeki azalmadır. Sintilasyon çözeltisi, örnek içinde bulunan radyoizotoptan gelen radyasyon emisyonlarını ışığa çevirir. Bu ışık, dedektörün fotoçoğaltıcı tüpüne ulaştığı anda sıvı sintilasyon sayıcısı tarafından dedekte edilir. Fotokatotda üretilen fotoelektron sayısı (puls yüksekliği) gelen foton sayısıyla orantılıdır. Sönüm olayı fotokatoda ulaşan fotonların sayısında azalmaya neden olur, bu nedenle elektriksel puls yüksekliği azalır (Ross vd., 1991). Bu olay enerji spektrumunun (puls yükseklik spektrumu) düşük enerjiye doğru kaymasına neden olur (Şekil 18). Yani, betaların daha düşük enerjili betalarmış gibi dedekte edilmesine neden olur. Yüksek enerjili nükleitlerin (^{14}C , ^{32}P , alfa yayınlayıcılar) sayımında çok az bir azalma görülür ancak düşük enerjili nükleitler için (^3H) sönüm gerçekleştiği zaman sayımdaki azalma ve spektrumdaki kayma büyük olur (Ross vd., 1991).



Şekil 18. Enerji spektrumu üzerinde sönümün etkisi

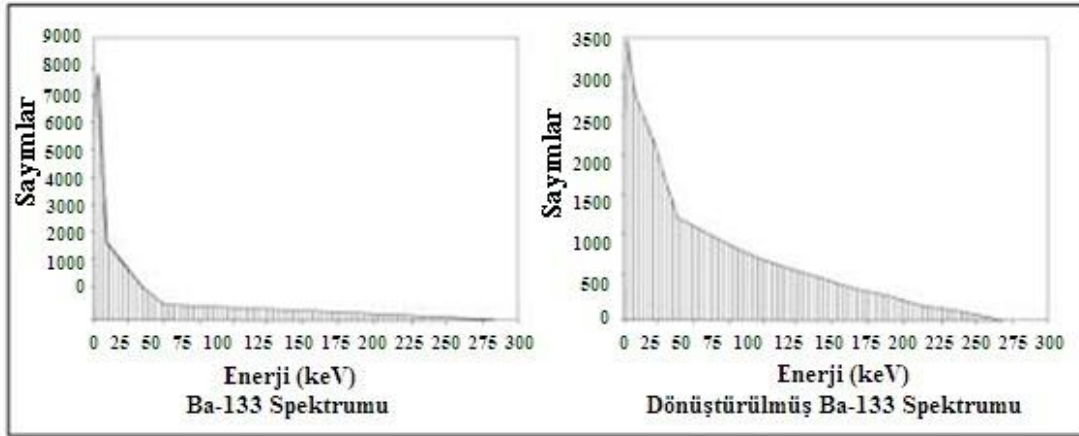
Sönüm, fiziksel, kimyasal (safsızlık) ve renk sönümü olmak üzere üç çeşitte gerçekleşir. Fiziksel sönüm, örneğin fiziksel formu nedeniyle gerçekleşir (Örn. numunenin çökelti ya da parçacık içermesine bağlı olarak ışığın dağılması). Kimyasal sönüm, radyoaktif enerjinin ışığa dönüştürülmeden önce absorblanması sonucunda oluşur. Bu absorblanma, her bir beta parçacığı tarafından üretilen fotonların sayısında azalmaya yol açar. Renk sönümü, sintilatör tarafından yayınlanan ışığın absorblanması sonucu oluşur. Renk sönümü yayınlanan fotonların sayısını değiştirmez fakat fotoçoğaltıcı tüpe ulaşan fotonların sayısını azaltır. Sönüm azalması gözlenirse sönüm düzeltilmesi yapılır (Ross vd., 1991).

1.6.5. tSIE (Dış Standartın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi)

tSIE, bir sönüm gösterim parametresidir ve dış standart spektrumundan elde edilir. Çeşitli örnek tipleri ve hacim oranlarındaki sıvı sintilasyon örnekleri için hızlı, duyarlı ve doğru örnek sönüm değerleri sağlar. Bütün sıvı sintilasyon örnekleri, örnek sayım oranını (CPM) etkileyen bazı sönümlerin düzeylerini gösterir. Bundan ötürü, CPM sonuçları örnekten örneğe değişen sönümün bilinmeyen etkisi nedeniyle geçersiz olabilir. Çoğu durumda sönüm, DPM sonuçlarını elde etmek için CPM sonuçlarını düzeltmek için gereklidir. tSIE, sönüm düzeltilmesinin kabul edilebilir bir metodudur (Ross vd., 1991; Perkin Elmer, 2005).

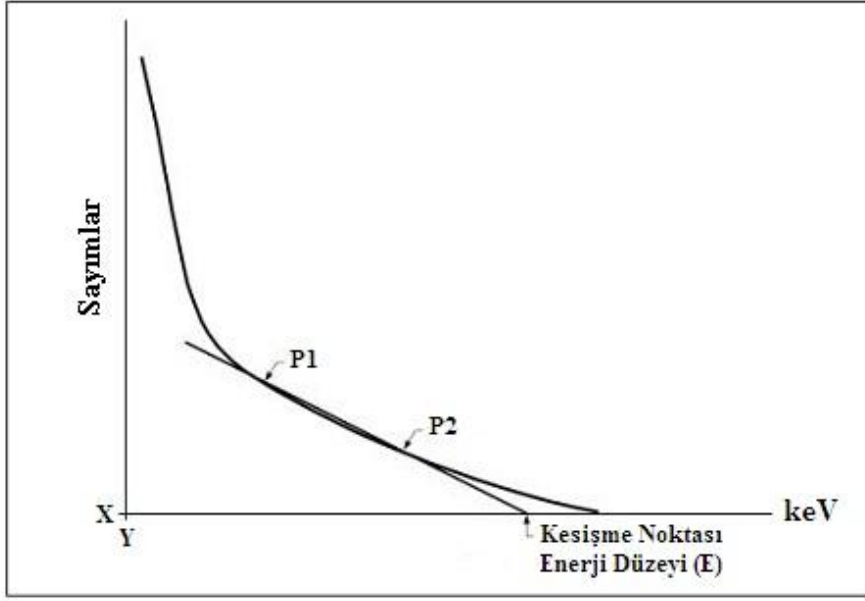
tSIE, MCA tarafından ¹³³Ba dış standart kaynağının compton spektrumu ve örneğin spektrumunun hesaplanmasıyla belirlenir. Bu dış standart kaynak bütün sıvı sintilasyon cihazlarında mevcuttur ve örnek vialinin ölçüldüğü kısmın altında bulunur. Bu kaynak kokteyl solüsyonu içinde compton spektrumu oluşmasına neden olur yani

kokteyl sölüsyonundan elektron sökülmesine yol açar. Bu sökülün elektronu, compton elektronu olarak adlandırılır ve beta parçacıkları gibi davranarak aynı sintilasyon etkisini başlatır. tSIE, compton ve örnek spektrumunun matematiksel dönüşümlerinden hesaplanır. İlk olarak, örneğin ve dış standardın spektrumu sadece örneğin spektrumunun analiz edildiği MCA’da toplanır ve depolanır. Sonra, net dış standart spektrumu örnek spektrumunun çıkarılmasıyla elde edilir. Daha sonra, net dış standart spektrumuna ters (zıt) bir kanal-kanal toplama tekniği ile dönüşüm uygulanır. Dönüşüm şöyle uygulanır, en yüksek enerjili kanalın toplam sayımları (S1) o kanalda depolanmış kalır. Sonra, toplam sayımların değeri (S1) ondan sonra gelen (bir sonraki) daha düşük enerjili kanalın sayımlarına (C1) eklenir ve elde edilen yeni toplam (S2) o kanaldaki depolanmış sayımlarla yer değiştirir. Bu yeni toplam da (S2) ondan sonra gelen (bir sonraki) daha düşük enerjili kanalın sayımlarına (C2) eklenir ve elde edilen yeni toplam (S3) o kanaldaki depolanmış sayımlarla yer değiştirir. Bu işlemler, bütün MCA kanallarının ters toplama tekniği ile dönüştürülmesine kadar sürer (Şekil 19).



Şekil 19. Dış standart kaynağın spektral dönüşümü

tSIE değerini belirlemek için dönüştürülmüş dış standart spektrumu üzerine yazılım tarafından stratejik olarak iki nokta yerleştirilir. Bu iki nokta üzerinden x eksenini kesecek şekilde bir doğru çizilir. Çizilen doğrunun, x eksenini kestiği noktaya kesişim enerji düzeyi (E) denir (Şekil 20) ve LSC cihazının kalibrasyon faktörü ile E'nin çarpımından tSIE değeri bulunur (Perkin Elmer, 2005).



Şekil 20. Dönüştürülmüş spektrumdan kesişim enerji düzeyinin bulunması

tSIE bağıl bir değer olup 0 (çok sönümlü) ile 1000 (sönümsüz) arasında bir değer alır. Hesaplanmış tSIE değeri cihaz kalibre edilirken 1000'e ayarlanır. Sönüm arttıkça, her örnek veya standart için tSIE değeri orantılı olarak azalır. tSIE'nin kullanılmasının avantajları şöyledir (Perkin Elmer, 2005):

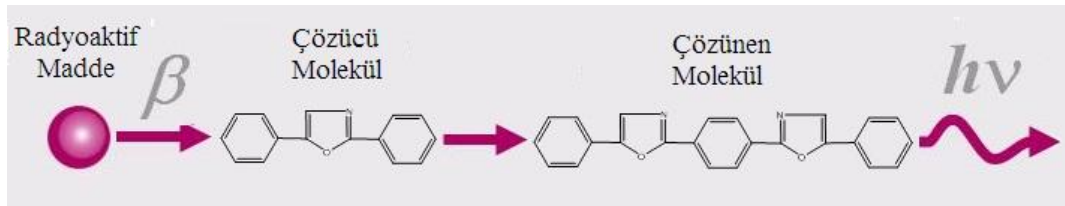
- Sönüm gösterge parametresi tSIE, tekrarlı ölçümlere gerek kalmadan, kısa zamanda en yüksek doğruluğu elde etmek için dış standart sönüm ölçümlerini etkileyen unsurların üstesinden gelir.
- Düşük enerjili ^{133}Ba dış standart kaynağı, ^3H ve ^{14}C gibi düşük enerjili nüklit (çekirdek) içeren örneklerde sönümün izlenmesi için en hassas yoldur ve cihazın ömrü boyunca değiştirilmesi gerekmez.
- ^{133}Ba kaynağının taban seviyesi en uygun geometri sağlar ve hacimden bağımsızdır. 25 μl kadar küçük hacimli örneklerin içerisindeki sönüm, ^{133}Ba dış standart kaynağının düşük enerjisi sayesinde tam olarak belirlenebilir.
- tSIE metodu tüm dış standart spektrumunun ölçülmesiyle son derece yüksek bir tekrarlanabilirlik sağlar. Her numune için sadece tek bir tSIE ölçümü yeterli olmaktadır.

1.6.6. Dedeksiyon Sistemi

LSC cihazında bir beta parçacığının dedeksiyonu ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi gerçekleşir:

a. Numune içindeki radyoaktif atomlar bozunmaya uğrar ve beta parçacığı yayınlanır.

b. Yayınlan bu beta parçacığının enerjisi çözücü molekülleri tarafından absorbe edilir ve çözücü molekülleri uyarılmış duruma geçer. Çözücü molekül olarak genelde 2,5-Difeniloksazol (PPO) kullanılır. Uyarılmış çözücü moleküller enerjilerini UV ışığı (foton) olarak yayınlamaya taban durumuna geri dönerler. Bu yayınlanan UV ışığının enerjisi çözünen maddeye (1,4-bis[5-feniloksazol-2-il]benzen) aktarılır. Bu durumda, çözünen maddenin yörünge elektron bulutunun düzeni bozulur ve çözünen madde uyarılmış duruma yükselir. Çözünen molekülün uyarılmış yörünge elektronları taban duruma geri dönerken ışık yayınlamaya başlar (Şekil 21). Nükleer bozunma olayları keV enerji mertebesi başına yaklaşık 10 foton üretir. Nükleer bozunma enerjisi 5 ns gibi çok kısa bir zaman içerisinde tüketilir. Uyarılmış çözünen molekülleri tarafından üretilen toplam foton sayısı, sintilasyonu oluşturur. Işığın şiddeti yayınlanan beta parçacığının enerjisiyle orantılıdır (Altay ve Çifter, 1996).



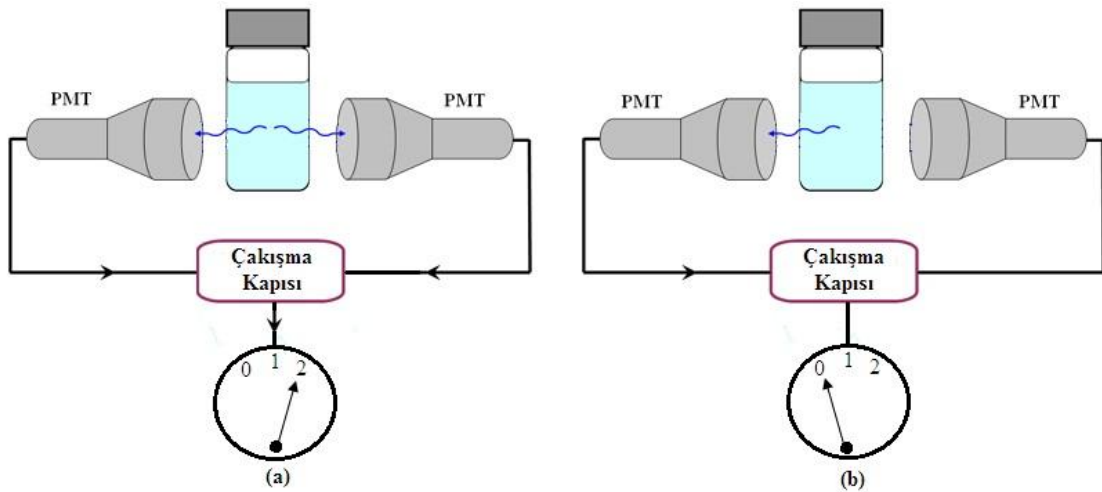
Şekil 21. Beta aktif maddenin fotona dönüşüm olayı

c. Çözünen molekülden yayınlanan fotonlar fotoçoğaltıcı tüpün (PMT) fotokatot yüzeyine çarpar (Şekil 22) ve elektron salınımına neden olur. Fotokatottan yayınlanan bu ikincil elektronlar foto çoğaltıcı tüpte çoğaltılır hızlandırılır ve çıkış pulsları şekline dönüştürülür. LSC en az iki PMT'den oluşur. PMT pulsunun genliği olayın vialde gerçekleşme yerine bağlıdır. PMT' ye yakın bir yerde gerçekleşen olay, uzak bir yerde gerçekleşene göre daha yüksek puls üretir. PMT' den kaynaklanan gürültüler çakışan puls dedeksiyon sistemi ile giderilir (Şekil 23). Yani, karşılıklı iki PMT sadece fotonları

aynı anda çözümlerse devre çıkışı pulsu oluşur. Devrenin çözme zamanı yaklaşık 20 ns'dir (çakışma devresi). Vial içerisindeki radyonüklidlerin PMT'ye farklı uzaklıklarda bulunması sorunu da toplama devreleri ile yok edilir. İki PMT'de aynı anda oluşan pulslar bu devre ile toplanır ve çıkışta oluşan pulslar toplam sintilasyon şiddetiyle orantılı olur. Pulslar sürekli bir spektrum oluşturur (Altay ve Çifter, 1996).

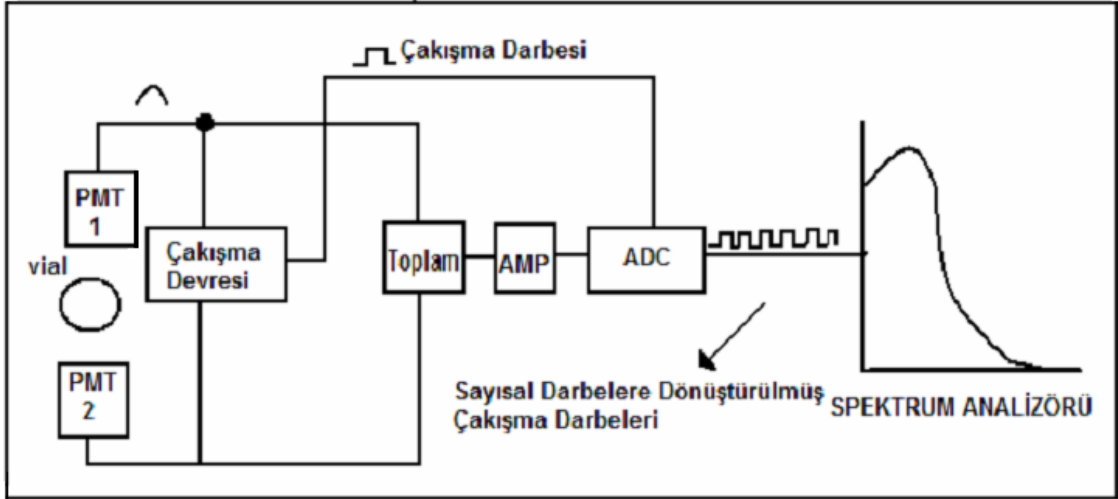


Şekil 22. Vial içerisindeki örneğin sintilasyon mekanizması



Şekil 23. Vialden elde edilen pulsların kontrol mekanizması

d. Çakışma devresi ve toplama devresi çakışma kapısı ile birleştirilir. Pulslar yükselticiyle sayılabilecek seviyelere yükseltirler ve daha sonra analog sayısal dönüştürücüye (ADC) gönderilir (Şekil 24). Elektriksel pulsun genliği burada sayısal değerlere çevrilir ve beta parçacığının enerjisini temsil eden bu sayısal değerler mukayese edilerek, LSC' deki çok kanallı analizörlerde (MCA) uygun kanallara yerleştirilirler ve bilgisayar ekranında görüntülenirler (Altay ve Çifter, 1996).



Şekil 24. Çakışma ve toplama devreleri şeması

1.7. İdrar

İdrar, böbreklerden ürinasyon işlemiyle salgılanan ve üretra vasıtasıyla boşaltılan genellikle steril durumda, vücudun yan ürünü olan bir sıvıdır. Asidik kökenli olmayan bu sıvı, çözeltilerini barındıran memeli canlıların vücutlarındaki suyun muhtevastaki mineral, inorganik ve diğer maddelerin dengesini sağlamak amacıyla idrar torbasından dışarıya atılır. İdrar oluşumu, vücutta mineral ve diğer maddelerin dengesinin sağlanmasında etkilidir. Vücutta olması gerekenden fazla olan veya vücuda zararlı olan maddeler idrar yolu ile dışarı atılır. İdrarın % 95'ini su, kalan %5'lik kısmını ise gıda ve metabolizma sonucu oluşan çözünmeyen artıklar oluşturur (Brunzel, 2004). Erişkin bir insan vücudundan, 1 günde 600 ile 1800 ml arasında idrar atılır (Wu Alan, 2006).

1.8. İdrar Analizi

İdrar analizi ucuz, kolayca uygulanabilir ve böbrek fonksiyonları hakkında önemli bilgiler veren bir tanı aracıdır. Günümüzde klinik laboratuarlarda en fazla kullanılan testlerden biridir ve tam idrar analizi olarak bilinir.

Tam idrar analizi kavramı içinde, fiziksel (Makroskopik) analiz, kimyasal analiz ve mikroskopik analiz olmak üzere 3 kısım vardır (Memişoğulları vd., 2010).

1.8.1. Fiziksel (Makroskopik) Analiz

İdrarın renginin, berraklığının ve kokusunun değerlendirilmesini kapsar. Renk, berraklık ve kokunun önem taşıdığı az sayıda durum mevcut olsa da, dikkate alınması gereken özelliklerdir. Alışılmışın dışında renk, berraklık ve koku ile karşılaşıldığında bu durum analiz raporunda belirtilir.

1.8.2. Kimyasal Analiz

İdrarın kimyasal analizi rutin laboratuvarlarda genellikle reaktif emdirilmiş pedler içeren idrar stripleri ile yapılmaktadır. Bu stripler dansite, pH, protein, nitrit, glikoz, bilirubin, ürobilinojen, keton, kan ve lökosit esteraz için reaktif pedlerini içerir. Bu pedleri kısaca açıklamak gerekirse;

1.8.2.1. Dansite (Yoğunluk)

Bir çözeltide birim hacimdeki solütlerin (NaCl, Sulfat, Fosfat, K, Cl) ölçümüdür. Birim hacimdeki idrarın dansitesinin, sabit sıcaklıkta eşit hacimdeki distile suyun birim hacimdeki dansitesine oranıdır. Normalde 1002-1025 (1015-1025) arasındadır (Heil vd., 2004). Böbreğin idrarı konsantre etme yeteneğini gösterir.

1.8.2.2. pH

Normal diyetle beslenen yetişkin bir insan idrarının pH'sı 5-6 civarındadır. Normal idrarların pH'sı 4,8-7,4 arasında değişebilir (Heil et al., 2004). pH'ın ölçülmesi; böbrek enfeksiyonları, taşları ve bazı ilaçların etkilerinin izlenmesi için gereklidir (Brunzel, 2004; Wilson, 2005). İki saatten fazla bekletilen idrarda amonyak oluşumu sonucu pH artar. Asidik komşu pedlerden bulaşmada düşük pH'a yol açabilir. Protein yönünden zengin beslenme, uyku, metabolik asidoz, respiratuar asidoz, diyare ve dehidratasyon asidik idrar oluşumuna neden olan faktörlerdir. Bikarbonat alınımı, meyve ve sebzelerle tek taraflı beslenme, üriner enfeksiyon, metabolik alkaloz, respiratuar alkaloz gibi nedenler de bazik idrar oluşumuna neden olabilir (Benejam ve Narayana, 1985; Sheets ve Lyman, 1986; Brunzel, 2004; Sözmen vd., 2004; Wilson, 2005).

1.8.2.3. Protein

Normal idrarda <150 mg/gün veya <10 mg/dl protein bulunur (Heil et al., 2004). İdrarda strip protein ölçümünde özellikle albümin için hassas olan pH indikatörleri kullanılır. Bu test indikatörün protein hatası prensibine dayanır. Belirli bir pH'da (pH=3) izlenen renk değişimi protein varlığını gösterir. Strip idrarın içinde uzun süre kalırsa tampon yok olur ve proteinden bağımsız mavi renk oluşur.

1.8.2.4. Nitrit

Gram negatif bakterilerin nitrati nitrite indirgemesiyle oluşur. Sabah ilk idrar veya spot bakılacaksa en az 4 saat mesanede beklemiş idrar olmalıdır. Strip nitrit tayini, nitritin, asidik ortamda aromatik aminlerle (arsanilik ve sulfanilik asit) diazonyum tuzu oluşturması prensibine dayanır.

1.8.2.5. Glikoz

Kan glukoz düzeyi 180-200 mg/dl (renal eşik)'den fazla ise glukoz renal tübüllerden emilemez ve idrarla atılır. Normal idrarda <15 mg/dl glukoz bulunabilir (Sözmen vd., 2004). Strip glukoz ölçümünün prensibi glukoz oksidazın, glukozu glukonik asite okside ederken, havadaki oksijeni hidrojen perokside indirgemesine dayanır.

1.8.2.6. Bilirubin

Kanda bulunan indirekt bilirubin böbrekte glomerüler bariyeri geçemezken karaciğerde glukuronik asitle konjuge edilen bilirubin idrara geçebilmektedir. Yetişkin insanın idrarında bilirubin tespit edilemez. Ancak hassas yöntemlerle idrarda <0,2 mg/dl bilirubin bulunabilir (Heil vd., 2004).

1.8.2.7. Ürobilinojen

Bakteriler tarafından bağırsakta oluşturulur ve sterkobilinojene çevrilerek dışkıyla atılır. Bir kısmı karaciğere geri döner ancak buradan tekrar bağırsağa atılır. %99'u

dışkıyla atılır. İdrarla atılan ürobilinojen <1 mg/dl'dir (Heil vd., 2004). İdrar ürobilinojen düzeyleri 24 saatlik, 2 saatlik veya spot örneklerde çalışılabilir.

1.8.2.8. Keton

Yağ asidi ve yağ metabolizması sonucunda oluşan ketonlar , β hidroksi bütirik asit (%78), asetoasetik asit (%20) ve aseton (%2)' dir (Sözmen vd., 2004). Çoğu keton testleri sadece asetoasetik asiti ölçer. Sağlıklı kişilerin idrarında önemsiz miktarlarda bulunur. Açlık, dehidratasyon, yüksek ateş, kusma, diyare, ağır karaciğer hastalığı gibi durumlarda idrarda keton cisimleri artar.

1.8.2.9. Kan

İdrarda stripe kan analizi eritrosit, hemoglobin veya miyoglobin varlığını gösterir. Yani her üçüyle de pozitif reaksiyon verir. Eritrositler, özgül ağırlığı düşük veya alkali idrarda hızla parçalanırlar. Sedimentte eritrositlerin görülememesi hematüri olmadığı anlamına gelmez. Bu yüzden idrar hem stripe ve hem de mikroskopik olarak analiz edilmelidir. Travmatik kas yaralanması veya ezilmesi, aşırı kas egzersizi, enfeksiyonlar nedeniyle oluşan miyoglobinüri ve hemoliz sonucu oluşan hemoglobinüri de testi pozitif yapar (Sözmen vd., 2004).

1.8.2.10. Lökosit Esteraz

Granülositik lökositlerin (nötrofil, eozinofil, bazofil) primer granüllerinde bulunan lökosit esteraz ölçümü ile indirekt olarak lökosit ölçülür. Polimorf nüveli lökositler hızla parçalanırsa idrar sedimentinde görülmeyebilirler. Ama granüllerden esteraz salındığı için lökositler parçalanmış olsa da reaksiyon gerçekleşir. Testin pozitif olması için her sahada 5–15 lökosit bulunması gerekir (Sözmen vd., 2004; Memişoğulları vd., 2010). İnflamatuar durumlarda bakteri olmaksızın da lökosit esteraz aktivitesinde artış olabilir. Antibiyotikler (sefaleksim, sefalotin, tetrasiklin, gentamisin), glukoz, özgül ağırlık, albümin ve askorbik asit yüksekliğinde yanlış negatif sonuçlar görülebilir (Sözmen vd., 2004).

1.8.3. Mikroskopik Analiz

Mikroskopik inceleme sırasında idrar sedimentinde görülebilecek en önemli yapılar eritrositler ve lökositlerdir.

1.8.3.1. Eritrositler

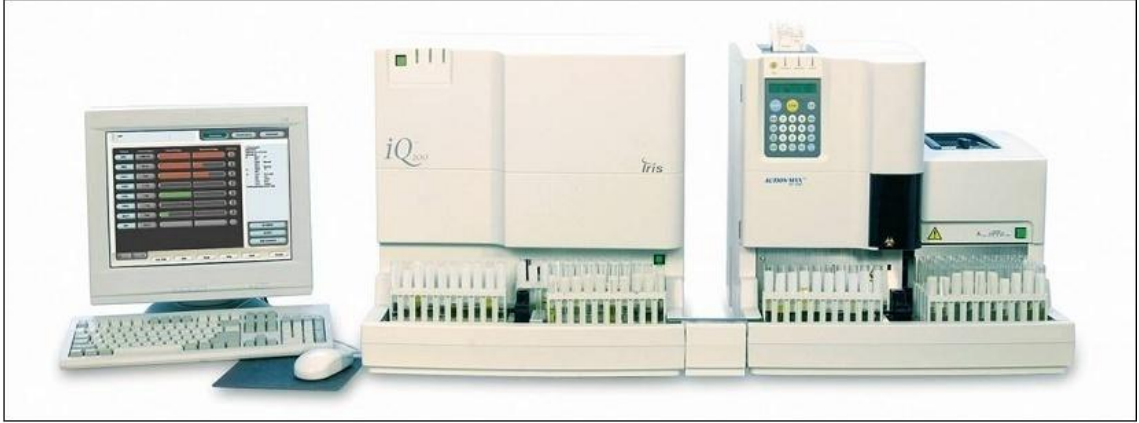
400X büyütmede her sahada 0-1 eritrosit normaldir (Heil vd., 2004). Bazı kaynaklarda da 3 eritrosite kadar normal olduğu bildirilmektedir (Sheets ve Lyman, 1986). Ancak eritrositler idrar dansitesinden ve pH'dan etkilenirler. %2'lik asetik asit çözeltisinde ise eritrositler erir (Sözmen vd., 2004). Eritrositler, lenfositler, mayalar ve küçük kalsiyum oksalat kristalleri ile karışabilir.

1.8.3.2. Lökositler

Lökositler, eritrositlerin 2 katı büyüklüğünde, büyük parçalı çekirdekli, sitoplazması granüllü hücrelerdir. İdrarda lenfositler ve eozinofillerin saptanması tanısal değer taşır. X400' de her sahada 0–4 lökosit normaldir (>5 piyüri) (Düşünsel vd., 2002; Sözmen vd., 2004; Memişoğulları vd., 2010). Lökositler, alt üriner sistem enfeksiyonunda bakterilerle birlikte; üst üriner sistem enfeksiyonunda ise bakteri ve proteinlerle birlikte ve silindirlerin içinde bulunabilir. Lenfositler, eritrositlerle karışır. Ancak hemen hemen tüm hücreyi kaplayan çekirdeği ayırt edicidir (Dursun ve Süleymanlar, 2003; Sözmen vd., 2004). Granülosit yapıda olmadığı için triple reaksiyon vermezler.

1.8.4. IRIS-IQ200 Tam Otomatik İdrar Analizörü

Tam idrar analizi için en çok kullanılan cihazların başında IRIS- IQ200 tam otomatik idrar analizörü gelmektedir (Şekil 25).



Şekil 25. IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörü

IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörü dipstik kimyasal analiz ve mikroskopik incelemeyi tam otomatik olarak gerçekleştiren bir sistemdir. Otomasyondan dolayı her dipstik reaksiyonunun zamanlama ve değerlendirmesi tutarlıdır. Cihazının içinde gerçek bir mikroskop bulunmaktadır ve çalışma şekli, bir idrar numunesinden 20 adet saha resmi çekilerek bunların incelenmesi, bulunan şekilli elemanların sınıflandırılması ve ekranda gösterilmesi şeklindedir. Cihazın akış hücresine emilen numuneler otomatik parçacık tanıma yazılımı (APR, IRIS Diagnostics) ile tanınarak nicel sonuçlar rapor edilir (Burtis vd., 2006). IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörünün idrar testini gerçekleştirebilmesi için minimum 3 mL idrar örneği gereklidir (Alves vd., 2005). IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörü 1 saatte 60 idrar örneğini analiz edebilir (Wah vd., 2005)

1.9. SPSS

SPSS istatistik yöntemler açısından oldukça zengin bir paket programdır. Temel istatistik yöntemlerden başlayarak oldukça karmaşık ve zor işlemleri kısa sürede yapmaya izin verir. Adı bir kısaltmadan gelen SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), geçmişi 1968'lere uzanan ve günümüzde IBM şirketinin piyasaya sunduğu, oldukça yaygın kullanılan bir istatistiksel analiz programıdır. Günümüzde en son 22 olan sürümü kullanımdadır.

SPSS, sosyal bilimlerde, pazar araştırmalarında, sağlık araştırmalarında başta anket şirketleri, hükümetler ve eğitim kurumları olmak üzere pek çok kurum tarafından

kullanılmaktadır. Kullanımı grafiksel bir kullanıcı ara yüzüne bağlı olup, açılır menüler yardımıyla kolaylaştırılmıştır. Ayrıca makro dilleri yardımıyla kullanıcı kendi amaçları doğrultusunda programı yönlendirebilmektedir.

1.9.1. Verilerin Tanımlanması

Araştırmacının konusu ile ilgili verilerini doğru olarak toplaması, özetlemesi, tanıtıcı değerleri hesaplaması, araştırmada dikkate alınan faktörlere göre analiz etmesi, eğer araştırmada birden fazla özellik dikkate alınmış ise bu özellikler arasındaki ilişkiyi araştırması, analizler sonucunda bulunan sonuçları değerlendirmesi, yorumlaması ve genelleştirmesi istatistik metotlar olarak bilinir.

Bir araştırma yürütülürken üzerinde durulan topluluğun bütün bireylerinden veri toplamak çok zor hatta olanaksızdır. Çünkü araştırma için ayrılan zaman ve maddi olanaklar bütün bireylerden veri toplanmasını sınırlar. Bu sınırlayıcı faktörleri aşmak mümkün olsa da yine gereksiz yere para ve zaman harcanmış olur. Bu nedenle veriler sınırlı sayıdaki bireylerden toplanır. Bu sınırlı sayıda bireylerin oluşturduğu gruba örnek denir. Örneğe giren özellikteki bireylerin tümünün oluşturduğu topluluğa (kitleye, yığına) ise popülasyon denir. Biyolojik anlamda popülasyon canlıların topluluğudur. Örneğin; öğrenciler, kuşlar, balıklar biyolojik anlamda popülasyonu oluşturur. İstatistik anlamda popülasyon ise üzerinde çalışılan özelliktir. Örneğin; öğrencilerin ağırlıkları, boyları, kanlarında ölçülen potasyum, bakır, çinko değerleri gibi özellikler bir popülasyondur. Popülasyondan hesaplanan değerlere parametre, parametrelere karşılık gelen ve örnekten hesaplanan değerlere istatistik, örnekteki birey sayısına da “örnek genişliği” denir (Kesici ve Kocabaş, 2007).

1.9.2. SPSS’te Hipotez Testi ve Anlamlılık

Özellikle deneysel araştırmalarda, araştırmacının doğru olup olmadığını yapacağı bir deney ile test edeceği ve araştırma sonunda ortaya çıkan sonuçlarla doğru ya da yanlış olduğuna karar vereceği bir önermesi vardır. Doğruluğu istatistiksel tekniklerle irdelenecek bu önermelere hipotez (ya da “denence”) adı verilir (Ural ve Kılıç, 2006).

Genel olarak hipotezler araştırma hipotezi ve yokluk hipotezi şeklinde ikiye ayrılır (Ho, 2006).

Uygulamada hipotezlerin doğruluk testlerinde, örneklemin içinden alındığı evrene ilişkin (evrenin ortalaması, standart sapması gibi) önceden belirlenmiş bir dizi parametre değer örneklemden elde edilen değerlerle karşılaştırılır.

Hipotez testi, hipotezde belirtilen parametre değer ile gerçekleşen değer arasında “fark yoktur” ilkesine dayanır. Araştırmalarda doğruluğu, belli bir anlamlılık derecesiyle test edilmeye çalışılan bu hipoteze “yokluk hipotezi” denir. SPSS’in test ettiği hipotez işte bu yokluk hipotezidir.

Her ne kadar araştırmacı, bir araştırma hipotezi (ya da alternatif hipotez) formüle etmiş de olsa, hipotez hakkında karar verme işi yokluk hipotezinin kabul edilmesi ya da reddedilmesi yoluyla yapılır (Baykul, 1999). Örneklemden elde edilen bilgiler desteklerse yokluk hipotezi kabul edilir. Yokluk hipotezi kabul edilince de dolayısıyla araştırma hipotezi (alternatif hipotez) reddedilmiş olur. Başka bir ifadeyle, alternatif hipotezin kabul edildiği durumlar, yokluk hipotezinin reddedildiği durumlardır. Kızların erkeklerden daha başarılı olduğunu öne süren matematik öğretmeni, kızların ve erkeklerin matematik sınav puanlarının ortalamaları arasında fark olup olmadığına ilişkin farklı hipotezler öne sürebilir. Ancak SPSS bu tür işlemleri yaparken (hipotez test etme işlemindeki istatistiksel süreçleri izleyerek) “iki grubun ortalamaları arasında fark yoktur” şeklindeki yokluk hipotezini test eder. SPSS bu yokluk hipotezini, beklenen durumun ortaya çıkma olasılığının göstergesi olan (0 ile 1 arası değer alabilen) bir p değerine göre test eder. Bu p değerinin (anlamlılık testinde kullanılan) birisi daha çok kesinlik ifade eden ($P=0,01$ [%1]), diğeri de kabul edilebilirliğin sınırı sayılabilecek ($P=0,05$ [%5]) iki sınır değeri vardır.

SPSS’in hesapladığı p değeri 0,05 veya daha küçük çıkarsa yokluk hipotezi reddedilmiş sayılır. Eğer p değeri 0,01 veya daha küçük çıkarsa zaten reddedilmiş olan yokluk hipotezi, daha yüksek bir olasılıkla reddedilmiş sayılır.

SPSS'in hesapladığı p değerinin 0,05 veya daha küçük çıktığı durumda yokluk hipotezi reddediliyorsa, p değerinin 0,05'ten büyük çıkması durumunda da yokluk hipotezi kabul edilmiş olacaktır.

1.9.3. Parametrik ve Parametrik Olmayan Testler

İstatistiksel işlemlerde, evrene ait parametreler hakkında bazı varsayımlarda bulunulur. Bu varsayımların karşılanması için de mevcut verilerin en az “ aralık ölçeğinde olması”, bağımlı değişken üzerinde etkisi araştırılan faktörün her düzeyinde “normal dağılım göstermesi” gibi (ilgili evrende gözlenen) bazı koşulların sağlanması gerekir. İşte evrene ilişkin parametreler hakkındaki varsayımların karşılanabilmesi için gereken koşulların sağlanabildiği verilere yapılan istatistiksel işlemlere parametrik testler, parametrik testlerin gerektirdiği ölçütlerin karşılanamadığı, normal dağılımı gerektirmeyen ve değişkenlerin sınıflama, sıralama ölçeğinde olduğu durumlarda kullanılan testlere de parametrik olmayan testler denir (Can, 2013).

1.9.4. İstatistiksel Hesaplamalarda Kullanılan Testler

1.9.4.1. t-Testi

Parametrik test varsayımları (normallik) sağlandığında, farklı gruplardan elde edilen veri değerlerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak bir fark olup olmadığını test etmek için kullanılan bir önemlilik testidir. Bu testin güvenilir sonuçlar verebilmesi için şu koşullar gerekir (Oğuzlar, 2007; Can, 2013):

1. Ortalamaları kıyaslanacak (en az aralık ölçeğinde olan) verilerin her birisinin dağılımı normal dağılım özelliklerini taşımalıdır.
2. İki örneklemin ait oldukları evrenlerin varyansları homojen (eşit) olmalıdır.
3. Her bir veri diğerinden bağımsız olmalıdır.

Bağımsız iki örnekleme test istatistiği şu şekilde hesaplanır:

- Seçilen bağımsız iki örnekleme için beklenti yönüne göre araştırma hipotezi yazılır.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 , H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

- Örneklem arasındaki fark için t değeri (Denklem 22) hesaplanır.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (22)$$

Burada; \bar{X}_1 : Birinci grubun ortalaması, \bar{X}_2 : İkinci grubun ortalaması, S_1^2 : Birinci grubun varyansı, S_2^2 : İkinci grubun varyansı, n_1 : Birinci gruptaki denek sayısı ve n_2 : İkinci gruptaki denek sayısıdır.

t dağılımı tablosundan (Ek G) testin anlamlılık seviyesi (t_{kritik}), serbestlik derecesi değerine göre belirlenir.

$|t_{hesap}| \geq |t_{kritik}|$ ise H_0 reddedilir. Bu durum, örneklem gruplarının ortalamaları arasında anlamlı bir fark vardır sonucunu gösterir.

$|t_{hesap}| < |t_{kritik}|$ ise H_0 kabul edilir. Bu durumda, örneklem gruplarının ortalamaları arasında anlamlı bir fark yoktur sonucunu gösterir.

1.9.4.2. Mann-Whitney U Testi

n_1 ve n_2 hacimli bağımsız iki örneğin aynı medyanlı populasyondan alınmış rasgele örnekler olup olmadığını test etmek için Mann-Whitney U testi uygulanır. Bağımsız iki örneklem t testinin parametrik olmayan karşılığıdır.

Mann-Whitney-U testinde şu şekilde hesaplama yapılır (Üstündağ, 2005);

- Araştırma hipotezi yazılır. H_0 : İki dağılım arasında fark yoktur, H_1 : İki dağılım arasında fark vardır.
- Testi uygulamak için n_1 ve n_2 hacimli iki örnek bir tek dizi (genel dizi) haline getirilir ve dizideki gözlemlerin sıralama puanları bulunur.
- Küçükten büyüğe doğru her gözlemin genel dizide kaçınıcı sırada yer aldığı belirlenir. Sıralı dizi yeniden ele alınır ve her verinin hangi örneğe ait olduğu dikkate alınarak sıralama puanları örneklere göre toplanır.
- Birim sayıları ve toplam sıralama puanlarından yararlanarak U_1 (Denklem 23) ve U_2 (Denklem 24) test istatistikleri hesaplanır.

$$U_1 = n_1 x n_2 + \frac{n_1 x (n_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (23)$$

$$U_2 = n_1 x n_2 + \frac{n_2 x (n_2 + 1)}{2} - R_2 \quad (24)$$

Burada, R_1 : 1. gruba ait gözlemlerin sıralama puanları toplamı, R_2 : 2. gruba ait gözlemlerin sıralama puanları toplamı, n_1 : Birinci gruptaki denek sayısı ve n_2 : İkinci gruptaki denek sayısıdır. Eğer $U_1 \leq U_2$ ise $U=U_1$, $U_1 > U_2$ ise $U=U_2$ alınır. Daha sonra, z test istatistiği Denklem 25 ile hesaplanır.

$$Z = \frac{U - \frac{n_1 x n_2}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 x n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \quad (25)$$

ve son olarak z test istatistiğinin önemine göre $|Z| < 1,96$ ise $P > 0,05$ olur ve H_0 kabul edilir. $|Z| \geq 1,96$ ise $P < 0,05$ olur ve H_0 reddedilir.

1.9.4.3. Pearson ve Spearman Korelasyon Testi

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü, derecesini ve önemini ortaya koyan istatistiksel bir yöntemdir. İlişkinin yönünü ve derecesini belirten katsayıya korelasyon katsayısı denir. Korelasyon katsayısı küçük r harfi ile gösterilir ve r değeri -1 ile +1 arasında değerler alır. Eğer r değeri -1'e yakın değerler alıyor ise değişkenler arasında negatif yönde, +1'e yakın değerler alıyor ise pozitif yönde bir ilişki olduğu belirlenir. Eğer r değeri sıfıra yakın değerler alıyor ise iki değişken arasında bir ilişki olmadığı sonucuna varılır (Oğuzlar, 2007; Can, 2013). Genel olarak, korelasyon katsayısının (r) değerine göre ilişki düzeyi aşağıdaki gibi özetlenebilir.

r	İlişkinin Derecesi
0,90 - 1,00	Çok kuvvetli
0,70 - 0,89	Kuvvetli
0,50 - 0,69	Orta
0,30 - 0,49	Zayıf
0,00 - 0,29	Çok Zayıf

Çok sayıda korelasyon analizi mevcuttur. Ancak en yaygın kullanılan korelasyon analizleri; Pearson ve Spearman korelasyon analizleridir. Değişkenler oransal ya da aralıklı ölçek ile elde edilmiş ve normal dağılıma uygunluk gösteriyorsa bu durumda Pearson korelasyon analizi, değişkenler oransal ya da aralıklı ölçek ile elde edilmiş ancak normal dağılıma uygunluk göstermiyorsa Spearman korelasyon analizi yapılır. Pearson korelasyon katsayısı Denklem 26 ile, Spearman korelasyon katsayısı ise Denklem 27 ile bulunur.

$$r_p = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (26)$$

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \quad (27)$$

Burada, d: x ve y değişkenlerinin sıralamaları arasındaki fark, n: örneklemin büyüklüğüdür.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

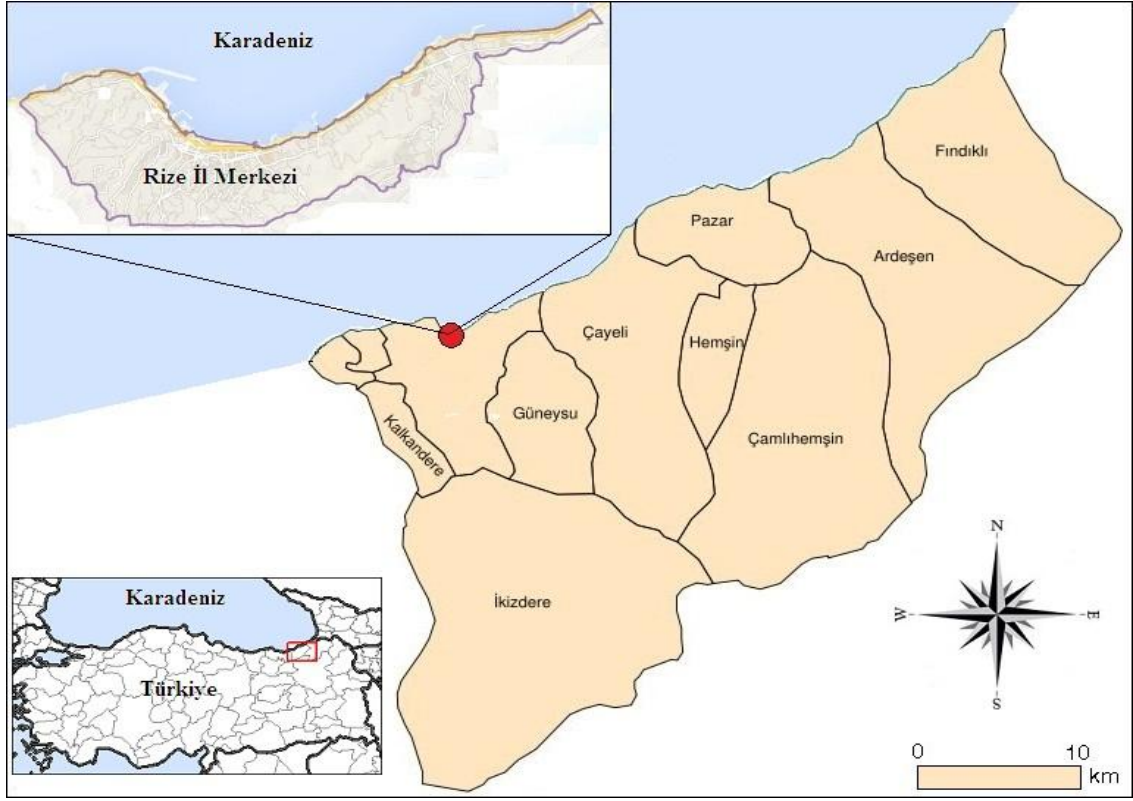
Bu çalışmada, Rize il merkezinde yaşayan insanların trityum düzeylerinin mevsimsel olarak incelenmesi, mevsimsel olarak yıllık efektif doz oranlarının hesaplanması ve bazı biyokimyasal parametrelerle ilişkisinin belirlenmeye çalışılması amaçlandı. Bu çalışma dört aşamada gerçekleştirildi. Bu dört aşama, örneklerin toplanması için örneklem çalışması, örneklerin ölçümlere hazırlanması için laboratuvar çalışmaları, elde edilen sonuçların hesaplanması ve bazı parametrelerle ilişkisinin bulunması için SPSS analizlerinin yapılmasıdır. Ayrıca hesaplanan doz oranları ICRP (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından önerilen referans değerlerle mukayese edilerek, radyasyon güvenliği açısından değerlendirildi. Örneklerdeki trityum düzeyini belirlemek için üniversitemizin Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan sıvı sintilasyon sayacı (Perkin Elmer Tricarb 2910 TR), örneklerin bazı biyokimyasal parametrelerini belirlemek için de üniversitemiz Eğitim ve Araştırma Hastanesi Acil Laboratuvarı'nda bulunan IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörü kullanıldı. Bu çalışmanın yapılabilmesi için hem Sağlık Bakanlığı hem de RTEÜ Eğitim ve Araştırma Hastanesi Etik Kurulu'na başvuru yapılarak olur raporu alındı.

2.2. Çalışma Bölgesi

Rize, Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde 40° 21' ve 41° 25' doğu boylamları ile 40° 33' ve 41° 20' kuzey enlemleri arasında yer alan küçük bir ildir (Şekil 26). Batıdan Trabzon'un Of, güneyden Erzurum'un İspir, doğudan Artvin'in Yusufeli ve Arhavi ilçeleri ve kuzeyden Karadeniz ile çevrili olan Rize'nin yüzölçümü 3920 km²'dir. İl topraklarının %78 gibi bir bölümü dağlarla kaplıdır. Rize ilinin toplam nüfusu 325.208 olup merkez nüfusu da yaklaşık 104.600'dür (TÜİK, 2013).

Rize ilinin en önemli iklimsel özelliği her mevsim yağışlı olmasıdır. Yazlar serin, kışlar ise ılıman geçmektedir. Nem oranı her zaman % 75'in üzerindedir. Yıllık yağış miktarı 2239 kg/m² olan Rize (Türkiye ortalaması 735 kg/m²), Türkiye'nin en çok yağış

alan ilidir (Reis ve ark., 2008). Yılın hemen hemen bütün aylarında yağışlıdır. Rize’de en az yağış ilkbaharda (137,43 kg/m²), en çok yağış sonbaharda (285,17 kg/m²) görülür (TÜİK, 2010).



Şekil 26. Çalışma bölgesi ve Rize ilinin Türkiye’deki yeri

2.3. Numunelerin Toplanması

Bu çalışmada, Rize ilinin halkını temsilen seçilecek bir nüfusa ulaşılması hedeflendi ve bunun için yeterli minimum örnek hacminin hesaplanması için daha önce yapılmış ulusal bir çalışma olmaması sebebi ile Yoon ve arkadaşlarının 2013 tarihli yayınından yararlanıldı (Yoon vd., 2013). Örneklem hacmi Epi Info 7 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı (Epi Info, 2013). Belirtilen çalışmada tespit edildiği şekilde idrarda ölçülebilir düzeyde trityum tayininin % 88 olduğu bilgisi, \pm % 9 mutlak sapma, alfa hata payı 0,05 ve çalışmanın istenen gücü % 80 olduğunda, desen etkisi 2 kabul edilerek, gerekli örneklem hacminin en az 100 kişi olması gerektiği hesaplandı. Daha sonra Rize il merkezinde yaşayan halkı temsilen (Rize il merkezine bağlı her mahalleden eşit sayıda olmak üzere) idrar örneği alınacak 100 sağlıklı gönüllü belirlendi.

Rize’de en az yağışın ilkbaharda, en çok yağışın sonbaharda görülmesi nedeniyle çalışmamızda yağışlara göre kıyaslama yapılabilmesi açısından sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinin örnekleme için uygun olduğu belirlendi. Bu 100 gönüllüden 2013 yılı sonbaharının eylül ayında ve 2014 yılı ilkbaharının mart ayında, 40 ml’i trityum ölçümleri, 5 ml’i de biyokimyasal ölçümler olmak üzere iki farklı tüpte toplamda 45 ml idrar örneği alındı.

Gönüllülerden örnek alınması işlemi; 2 günde bir, günde 10 kişi olacak şekilde gerçekleştirildi. Alınan idrar tüpleri, açık örnek kodu, cinsiyet, yaş ve örnekleme tarihini içerecek şekilde etiketlendi. Alınan örneklerin, uygun şartlarda (idrar taşıma kapları ile) taşınmasına büyük özen gösterildi. Ayrıca gönüllülere ekte yer alan onam formu okunarak imzalatıldı. Biyokimyasal ölçümler için alınan örnek tüpleri iki saati geçmeden, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Acil Laboratuvarı’na götürülerek zaman kaybedilmeden ölçümleri gerçekleştirildi. Trityum ölçümleri için alınan örnek tüpleri de aynı gün içerisinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Araştırma Laboratuvarı’na getirildi ve örnek hazırlama işlemleri gerçekleştirildi. Örnek hazırlama işlemine alınamayan örnekler kapakları açılmadan buzdolabında bekletildi.

2.4. Numunelerin Analize Hazırlanması

Laboratuvara ulaştırılan örnekler aşağıdaki işlemlerden geçirildi (Mingote vd., 2006);

- 50 ml’lik beher içerisine 30 ml idrar örneği aktarıldı. Üzerine 3 gr toz aktif karbon eklendi ve arada bir çalkalanmak suretiyle 2 saat bekletildi.
- Bekletilen örnek, whatman 42 filtre kâğıdı kullanılarak 50 ml’lik bir kap içerisine filtre edildi.
- Filtre edilmiş örnekten ayarlı pipetle 10 ml alınarak polipropilen sayım vialine aktarıldı ve üzerine 10 ml Ultima Gold LLT sintilasyon kokteyli eklendi.

- Polipropilen sayım vialinin kapağı sıkıca kapatıldı ve etiketlendi. Vial, homojen bir karışım olması için yavaşça (yaklaşık 20 saniye) çalkalandı ve vialin kapak dışındaki tüm yüzeyi hafif etanolü bir bezle silindi.
- Hazırlanan vial, kemilüminesans olayından kaynaklanan ışıdamaları elimine etmek için ışık almayan bir ortamda en az iki gün bekletildi.

2.5. Deneysel Sistem

Numunelerin içerisindeki trityum konsantrasyonlarını belirlemek için üniversitemizin Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan sıvı sintilasyon sayacı (Perkin Elmer Tricarb 2910 TR) kullanıldı. Ancak hazırlanan numunelerin sıvı sintilasyon sayacında ölçülebilmeleri için cihazın ölçüme hazır hale getirilmesi gereklidir. Bunun için aşağıda belirtilen işlemler uygulanır.

2.5.1. LSC Cihazının Kalibre Edilmesi

LSC cihazıyla birlikte gelen 3 adet sönümsüz standart mevcuttur. Bunlar Karbon-14, Trityum ve Background standartlarıdır. Bu üç standardın özellikleri Tablo 8'de verilmiştir. LSC cihazını kalibre etmek için bu üç standart LSC cihazı kasetlerinden birine C-14, H-3 ve BKG sırası ile konarak ölçüm gerçekleştirilir. Cihazın ölçüm sonucunda verdiği kalibrasyon sonucuna bakılarak yapılan kalibrasyonun geçerli olup olmadığına karar verilir.

Tablo 8. LSC cihazı ile birlikte gelen sönümsüz standartların özellikleri

	C-14	H-3	Background
Referans Tarihi	23.04.2009	23.04.2009	Nisan 2009
Aktivitesi (μCi)	< 0.1	< 0.2	-
Aktivitesi (Dpm)	131700	264300	-

Yapılan kalibrasyonda dikkat edilmesi gereken nokta cihazın sayım verimi ve background temelinde cihazın duyarlılığının bir ölçüsü olan FOM (Figure of Merit) değeridir. Bu değerlerin sırasıyla trityum ve karbon-14 için 180 ve 340 değerinin

üzerinde olması gerekmektedir. Yaptığımız kalibrasyon sonuç raporu Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 9. Sönümsüz standartlarla yapılan kalibrasyon sonuç raporu

Calibration Information
Software Version IC: 2.12
Software Version EC: 3.00
Instrument Model: Tri-Carb 2910TR
Instrument Serial Number: 084531
3H Chi Square: 13.85 Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
14C Chi Square: 16.78 Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
3H E ² /B (1-18.6 keV): 393.20 Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
14C E ² /B (4-156 keV): 683.93 Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
3H Efficiency (1-18.6 keV): 61.81 Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
14C Efficiency (4-156 keV): 92.52 Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
IPA Background Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
3H Background CPM (1-18.6 keV): 9.72 Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
14C Background CPM (4-156 keV): 12.52 Date Processed: 3/10/2014 12:54:50 PM
3H Calibration DPM: 264300
3H Reference Date: 4/23/2009
14C Calibration DPM: 131700

2.5.2. Sönüm Standartlarının Hazırlanması ve Sönüm Eğrisinin Elde Edilmesi

Sönüm eğrisinin oluşturulması, bir serideki her vialin içerdiği doğru radyoaktivite değerlerinin (DPM) ölçülmesi ve vialden vialine bir miktar artan sönümlerin ölçülmesidir. Vialden vialine artan sönüm, viallerin içerisine sönüm ajanı eklenmesi ile olur. Sönüm ajanı radyoaktif standardın sayma verimi içerisinde birbirini takip eden düşüselere sebep olan kimyasal ya da renk materyalleri eklenmiş maddelerdir. Genellikle her radyonüklid için 6’dan 10’a kadar hazırlanmış sönüm standartları bulunmaktadır. Eklenen bu sönüm materyalleri karbon tetra klorür (CCl₄), aseton (CH₃CH₃CO), kloroform (CHCl₃) ve nitrometan (CH₃NO₂) gibi maddelerdir.

Sönüm standartlarını hazırlamak için Bilimsel Araştırmalar Projesi kapsamında Eckert & Ziegler Isotopes Product firmasından sıvı trityum standardı alındı. Trityum standardının özellikleri Şekil 27’de verilmektedir.

CERTIFICATE OF CALIBRATION BETA STANDARD SOLUTION

Radionuclide:	H-3	Customer:	ECKERT & ZIEGLER NUCLITEC GMBH
Half-life:	12.35 ± 0.01 years	P.O. No.:	P700723
Catalog No.:	7003	Reference Date:	1-Jun-13 12:00 PST
Source No.:	1676-44	Contained Radioactivity:	2.788 µCi 103.2 kBq

Physical Description:

A. Mass of solution:	20.65551 g in 20 mL glass serum vial
B. Chemical form:	T ₂ O in H ₂ O
C. Carrier content:	None
D. Density:	0.9982 g/mL @ 20°C

Radioimpurities:

None detected

Radionuclide Concentration: 0.1350 µCi/g, 4.995 kBq/g

Method of Calibration:

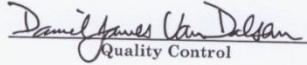
This source was prepared from a weighed aliquot of solution whose activity in µCi/g was determined using a liquid scintillation counter.

Uncertainty of Measurement:

A. Type A (random) uncertainty:	± 0.5 %
B. Type B (systematic) uncertainty:	± 3.2 %
C. Uncertainty in aliquot weighing:	± 0.0 %
D. Total uncertainty at the 99% confidence level:	± 3.2 %

Notes:

- See reverse side for leak test(s) performed on this source.
- EZIP participates in a NIST measurement assurance program to establish and maintain implicit traceability for a number of nuclides, based on the blind assay (and later NIST certification) of Standard Reference Materials (as in NRC Regulatory Guide 4.15).
- Nuclear data was taken from NCRP Report No. 58, 1985.
- This solution has a working life of 5 years.


Quality Control

14-May-13
Date

EZIP Ref. No.: 1676-44

ISO 9001 CERTIFIED

Medical Imaging Laboratory
24937 Avenue Tibbitts Valencia, California 91355

Industrial Gauging Laboratory
1800 North Keystone Street Burbank, California 91504

Şekil 27. Sıvı trityum standardının sertifikası

Sönüm standartlarını hazırlamak için önce 10 adet vial alındı ve bu vialler 1'den 10'a kadar numaralandırıldı. Daha sonra aşağıdaki işlemler uygulandı;

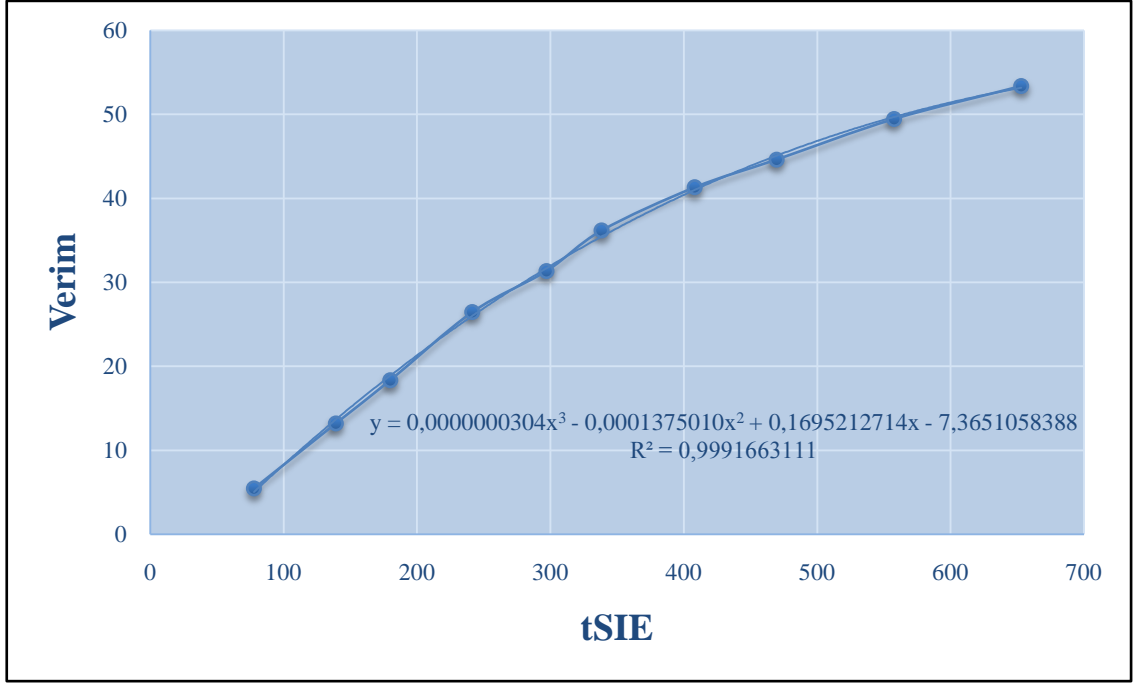
- Bu 10 vialin aktivitesi yaklaşık 30000 dpm olacak şekilde ayarlandı. Bunun için, trityum standardından mikro pipetle 100 µL alındı ve bütün viallere aktarıldı.

- Bu 10 vial LSC cihazında sayılarak cpm değerleri elde edildi. Elde edilen cpm değerlerine bakılarak, ortalamadan % 2 sapan vialler seriden çıkarıldı. Çıkarılan viallerin yerine yenileri hazırlandı ve vialler LSC cihazında tekrar ölçüldü. Viallerin ölçülen cpm değeri, ortalamadan % 2 sapma olmayana kadar bu işlemler tekrarlandı.
- Birinci vial hariç diğer viallere Tablo 10’da belirtilen oranlarda trityum sönüm ajanı (karbon tetra klorür) katıldı.

Tablo 10. Sönüm standartlarına katılan sönüm ajanı oranları

Vial No	Eklenen sönüm ajanı (CCl ₄) miktarı (µL)
1	0
2	20
3	40
4	60
5	90
6	120
7	160
8	200
9	300
10	500

- Hazırlanan vialler LSC cihazında sönüm standartları olarak ölçüldü ve sönüm eğrisi elde edildi (Şekil 28). Sönüm eğrisi üçüncü derece polinoma fit edilerek sönüm göstergesine (TSIE) karşılık verim denklemi elde edildi.



Şekil 28. Sönüm eğrisi

2.5.3. Kalite Kontrol Standartlarının Hazırlanması

LSC cihazında yapılan ölçümlerin doğruluğunu kontrol etmek ve dedeksiyon verimini hesaplamak için Bilimsel Araştırmalar Projesi kapsamında satın alınan sertifikalı sıvı trityum standardı kullanılarak üç adet standart hazırlandı. Hazırlanan bu üç adet standart, yüksek aktiviteli standart (YAS), Laboratuar standardı (DWS) ve Spike (RWS) standardıdır (Tablo 11). Ayrıca bir adet standart da Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan (TAEK) temin edildi (Tablo 12).

Yüksek Aktiviteli Standart (YAS): Radyoaktif referans standart sağlayan, uluslar arası izlenebilir organizasyonlardan temin edilen standart çözeltinin kendisidir. Yüksek aktiviteli standart vialı hazırlamak için satın alınmış olan sertifikalı referans çözeltiden mikropipetle 0,8 ml alındı ve içerisinde 20 ml Ultima Gold LLT sintilatör bulunan vialin içerisine aktarıldı. Daha sonra homojen bir karışım olması için yaklaşık 20 s hafifçe sallanarak yüksek aktiviteli standart vialı hazırlandı.

Ana Stok Çözeltisi: Yüksek Aktiviteli standart çözeltiden (YAS), laboratuvarların kendi ihtiyaçlarını karşılayacak derişimde hazırladıkları H-3 içeriği bilinen standart çözeltidir.

Tablo 11. Ana Stok, Laboratuar standardı (DWS) ve Spike (RWS) çözelti bilgileri

(A) Sertifikalı Trityum Çözeltisi (YAS)	
Referans tarihi	01.06.2013
Aktivite (Bq/ml)	4995 ± 159,84

(B) Ana Stok Çözeltisi	
A'dan alınan miktar (ml)	5
Hazırlanan B miktarı (ml)	12
Hazırlama tarihi	30.07.2013
Zaman farkı (B-A) (gün)	59
B'nin aktivitesi (Bq/ml)	2062,46 ± 65,99

(C) Laboratuar Standardı (DWS)	
B'den alınan miktar (ml)	4
Hazırlanan C miktarı (ml)	2000
Hazırlama tarihi	30.07.2013
Zaman farkı (C-B) (gün)	0
C'nin aktivitesi Bq/ml)	4,1249 ± 0,13

(D) Spike (RWS)	
C'den alınan miktar (ml)	200
Hazırlanan D miktarı (ml)	2000
Hazırlama tarihi	30.07.2013
Zaman farkı (D-C) (gün)	0
D'nin aktivitesi (Bq/ml)	0,4125 ± 0,01

Laboratuvar Standardı (DWS): Ana stok çözeltilisinden, laboratuvarların kendi ihtiyaçlarını karşılayacak derişimde hazırladıkları trityum içeriği bilinen standart çözeltilidir. Hiçbir kimyasal işlemden geçmeden sadece sayım aşamasında kullanılır. LSC cihazının verim değerini hesaplamak için DWS kullanılır.

Spike (RWS): Laboratuvar standardı çözeltilisinden hazırlanan, örneklerin hazırlanması aşamasında ve trityum analiz süreçlerindeki problemlerin gözlenmesini sağlamak amacı ile kullanılan ve H-3 içeriği bilinen çözeltilidir. Analizi yapılacak örneklerin geçtiği tüm süreçlerden, RWS örneği de geçer.

Tablo 12. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan temin edilen standardın bilgileri

Referans tarihi	07.05.2008
Aktivite (Bq/L)	20,05 ± 0,25

2.5.4. Background (BKG) Örneğinin Hazırlanması

Trityum içermediği kabul edilen su örneğidir. BKG sadece sayım aşamasında kullanılır ve hiçbir işleme tabi tutulmaz. LSC cihazının trityum izotopu için background değerini verir. Bu çalışmada, Zeneer Power marka su arıtma cihazından elde edilen ultra saf su background örneği olarak kullanıldı.

2.5.5. Sayım

Hazırlanan standartlar ve örnekler sıvı sintilasyon sayacında (Perkin Elmer Tricarb 2910 TR) bir sayım turunda her bir örnek için 75 dakika olmak üzere 7 tur saydırıldı. Bu durumda her bir örnek 525 dakika sayılmış oldu.

2.5.6. Otomatik İdrar Analizörünün Sayıma Hazırlanması

İdrar analizörünün kalibrasyonu üretici firma tarafından sağlanan IQ Calibrator Pack'i (REF: 80-3103) ile doğruluk testi ise yine üretici firma tarafından sağlanan IQ Pozitif ve IQ Negatif kontrolleri ile yapılır. IQ Calibrator Pack, parçacık içermeyen

solüsyon içinde insan kırmızı kan hücrelerinin bir süspansiyonudur ve IQ 200 serisi otomatik idrar analizörlerini kalibre etmek için kullanılır (Alves vd., 2005). Kalibrasyon seti, 4x125 mL kalibrasyon örneği ve barkot etiketlerinden oluşur. Bu kalibrasyon örnekleri cihazla sayılır ve çıkan sonuçlar beklenen değer içerisinde ise ekranda görüntülenir. IQ pozitif kontrolü, kararlaştırılmış insan eritrositlerinin sayısının bilindiği bir çözeltilidir. IQ negatif kontrol ise eritrosit içermeyen bir tampondur. IQ200 otomatik idrar analizöründe idrar örnekleri test edilmeden önce her gün bu pozitif ve negatif kontrol örnekleri üreticinin talimatları doğrultusunda analiz edilerek cihazın doğruluğu kontrol edilmiş olur (Wah vd., 2005).

2.6. Hesaplanan Parametreler

2.6.1. Dedeksiyon Verimi

Dedeksiyon verimi iki şekilde hesaplanabilir. Birincisi, Denklem 28 kullanılarak hesaplanır.

$$E = \frac{a_{st} - b}{dpm_{st}} \quad (28)$$

Burada;

E = LSC'nin sayım verimi

a_{st} = DWS standardının sayım konsantrasyonunun ortalaması (cpm)

b = Background örneğinin sayım konsantrasyonunun ortalaması (cpm)

dpm_{st} = DWS standardının ölçüm tarihindeki aktivitesi (dpm)

İkincisi ise 2.5.2 nolu başlık altındaki Şekil 28'de verilen sönüm gösterge parametresine karşılık verim eğrisinin fit edilmesi sonucu bulunan verim denklemi (Denklem 29) kullanılarak hesaplanır (Dianu vd., 2007). Burada, ölçümü gerçekleştirilen her bir örnek için verim değeri ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

$$\text{Verim} = 3,04 \times 10^{-8} (tSIE)^3 - 13,75 \times 10^{-5} (tSIE)^2 + 0,1695 (tSIE) - 7,3651 \quad (29)$$

2.6.2. Tritiyum Aktivite Hesabı

Tritiyum aktivite konsantrasyonu Bq/L biriminde Denklem 30 kullanılarak hesaplanır.

$$A = \frac{(s-b).1000}{60.E.V} \quad (30)$$

Burada;

A = Tritiyum aktivite konsantrasyonu (Bq/L)

s = Örneklerin sayım konsantrasyonunun ortalaması (cpm)

b = Background örneğinin sayım konsantrasyonunun ortalaması (cpm)

E = Dedeksiyon verimi

V = Örneğin miktarı (mL)

2.6.3. Minimum Ölçülebilir Aktivite (MDA)

Örneklerin içerisindeki tritiyum düzeylerini belirlemeye ilişkin minimum ölçülebilir aktivite her bir örnek için ayrı ayrı Denklem 31 kullanılarak hesaplanır (Currie, 1968).

$$MDA = \frac{3,29 \sqrt{\frac{R_b}{t_s} + \frac{R_b}{t_b} + \frac{2,71}{t_s}}}{60.E.V} \quad (31)$$

Burada;

MDA = Minimum ölçülebilir aktivite (Bq/L)

R_b = Background örneğinin sayım konsantrasyonu (cpm)

t_s = Örneklerin sayım süresi (dk)

t_b = Background örneğinin sayım süresi (dk)

E = Dedeksiyon verimi

V = Örnek miktarı (L)

2.6.4. Yıllık Etkin Doz Oranı

Tritiyum için yıllık etkin doz oranı, ölçüm sonuçları ve ICRP tarafından belirlenmiş referans değerler temelinde hesaplanır ve ICRP 78 (ICRP, 1997) tarafından belirlenmiş olan formülü, Denklem 32’de gösterilmektedir.

$$H_{eq} (Sv) = 0,73 \times m \times cH_{eq} \times C_u \quad (32)$$

Burada,

H_{eq} = Yıllık etkin doz oranı (Sv)

m = Vücut ağırlığı (kg)

cH_{eq} = Etkin doz katsayısı ($1,8 \times 10^{-11}$ Sv/Bq)

C_u = İdrar örneklerinin ortalama trityum konsantrasyonu (Bq/L)

0,73 = Vücuttaki su kütlesi oranı

2.7. Biyokimyasal Parametreler

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Acil Laboratuvarı’nda bulunan IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörü kullanılarak, gönüllülerden alınan idrar örneklerinin içerisindeki bazı biyokimyasal parametreler (pH, Kan, Dansite, Eritrosit, Lokosit ve Lokosit kümesi) belirlendi. Ayrıca, “Lokosit” ve “Lokosit kümesi” parametreleri değerlendirilerek, gönüllülerin üriner sistem enfeksiyon şüphesi içerip içermediği de tespit edildi.

2.8. İstatistiksel Analizler

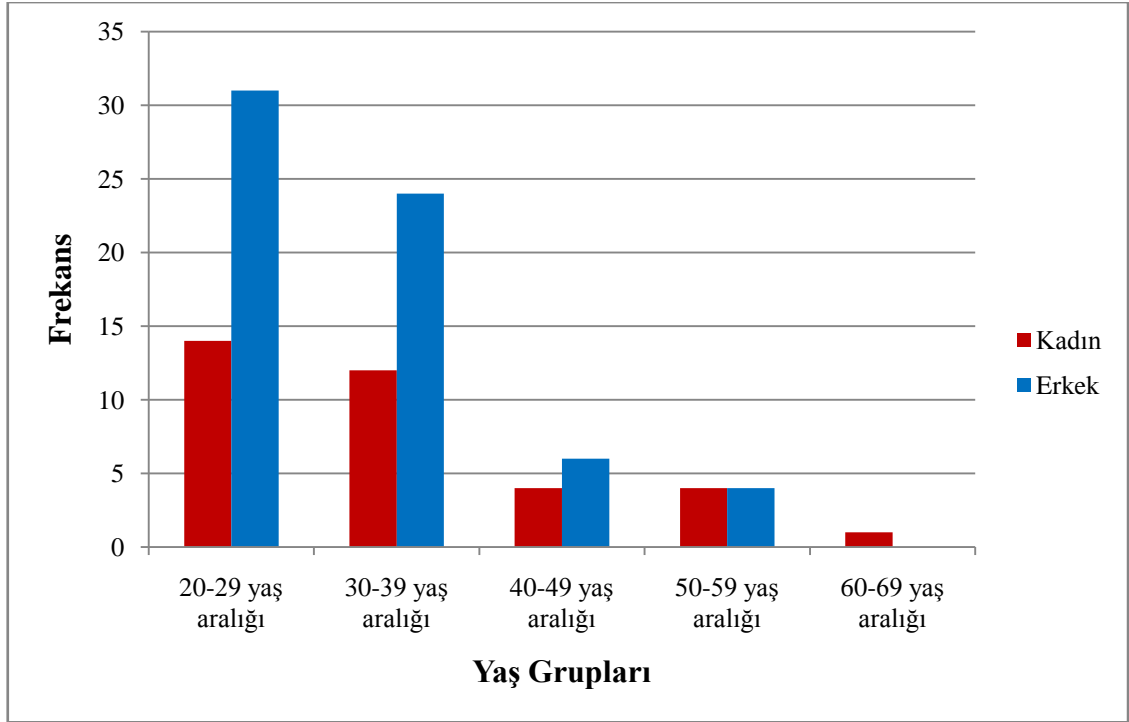
İstatistik analizler SPSS paket programı (versiyon 21) kullanılarak gerçekleştirildi. Normal dağılım gösteren veriler için tanımlayıcı istatistikler ortalama \pm standart sapma, kategorik yapıdaki veriler için de sayı ve yüzde olarak ifade edildi. Normal dağılıma uygunluğun testi için Kolmogorov-Smirnov Testi’nden faydalandı. İki grubun ortalamalarının karşılaştırılması, parametrik test varsayımları sağlandığında iki ortalama arasındaki farkın önemlilik testi (t-test), sağlanmadığında ise Mann-Whitney U testi kullanılarak yapıldı. Değişkenler arası korelasyonlar Spearman

korelasyon katsayısı ile değerlendirildi. Sonuçlar % 95 güven aralığında değerlendirildi ve $p < 0,05$ değeri anlamlı kabul edildi.

3. BULGULAR

3.1. Gönüllü Profili

Araştırmaya katılarak idrar örneği veren 100 gönüllünün 65'i erkek (% 65), 35'i kadındır (% 35). Araştırmaya katılan gönüllülerin yaşları 21 ile 66 arasında değişmekte olup yaş ortalamaları $32,91 \pm 9,02$ 'dir. Gönüllülerin yaşları 20-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69 olarak yaş gruplarına bölündü. Toplam gönüllü sayısının, yaş gruplarına ve cinsiyete göre dağılımı Şekil 29'da gösterilmektedir.



Şekil 29. Gönüllülerin yaş gruplarına ve cinsiyete göre dağılımı

3.2. Eylül Ayı İdrar Örneklerinin Verim, MDA ve Tritiyum Konsantrasyon Değerleri

Eylül ayı için background örneği ölçüldü ve ortalama değeri 3,43 cpm olarak elde edildi. Eylül ayında gönüllülerden alınan örneklerin sıvı sintilasyon sayacında analiz edilmesi sonucu elde edilen rapor örneklerinden bir tanesi Şekil 30'da gösterilmektedir.

Assay Definition

Assay Type: DPM (Single)
Report Name: Report1
Output Data Path: C:\Packard\Tricarb\Results\Default\dpm-single-eylul 2013
\20131013_1728
Raw Results Path: C:\Packard\Tricarb\Results\Default\dpm-single-eylul 2013
\20131013_1728\20131113_1728.results
RTF File Name: C:\Packard\Tricarb\Results\Default\dpm-single-eylul 2013
\20131013_1728\13-Kasim-2013-Numune olcumu-9.rtf
Assay File Name: C:\Packard\TriCarb\Assays\dpm-single-eylul 2013.lsa

Count Conditions

Nuclide: h3g
Quench Indicator: tSIE/AEC
External Std Terminator (sec): 0.5 2s%
Pre-Count Delay (min): 0.00
Quench Set:
Low Energy: h3g
Count Time (min): 75.00
Count Mode: Normal
Assay Count Cycles: 1 Repeat Sample Count: 7
#Vials/Sample: 1 Calculate % Reference: Off

Cycle 1 Results

S#	Count Time	CPMA	DPM1	SIS	tSIE	MESSAGES
1	75	4.92	23.20	728.37	294.93	
1	75	4.99	24.41	737.38	294.83	
1	75	4.96	22.95	731.88	295.44	
1	75	4.89	25.22	749.21	294.82	
1	75	4.87	25.14	717.51	294.88	
1	75	4.94	23.73	744.08	294.80	
1	75	4.95	24.34	732.96	295.24	
OK-50	525	4.93	24.14	734.48	294.99	A

Şekil 30. Örnek kodu 50 olan numunenin LSC analiz raporu

Analiz raporlarına göre eylül ayında alınan her bir örnek için hesaplar yapılarak verim, MDA ve trityum konsantrasyon değerleri Tablo 13'deki gibi elde edildi.

Tablo 13. Eylül ayı idrar örneklerinin verim, MDA ve trityum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyeti (K/E)	Yaşı	Verim (%)	MDA (Bq/L)	Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)
1	K	43	31,09	2,044	23,639 ± 2,954
2	E	29	27,99	2,270	<MDA
3	E	33	30,41	2,090	13,264 ± 3,552
4	E	42	31,37	2,026	11,318 ± 1,532
5	E	26	32,66	1,946	8,983 ± 1,870
6	E	27	30,69	2,070	9,665 ± 1,528
7	K	31	29,16	2,179	<MDA
8	E	30	29,38	2,163	<MDA
9	K	28	28,04	2,266	<MDA
10	K	27	31,64	2,008	25,179 ± 2,233
11	E	47	31,85	1,995	13,764 ± 1,923
12	E	26	28,12	2,260	<MDA
13	E	31	28,48	2,231	2,516 ± 1,410
14	E	28	26,55	2,393	<MDA
15	E	34	25,91	2,452	<MDA
16	E	28	28,75	2,210	3,884 ± 1,750
17	E	43	27,28	2,329	<MDA
18	E	25	30,80	2,063	11,582 ± 3,364
19	K	25	29,25	2,172	2,507 ± 1,584
20	K	26	28,23	2,251	8,149 ± 1,648
21	E	26	29,27	2,171	4,385 ± 1,793
22	E	30	30,41	2,090	8,989 ± 1,847
23	K	31	27,66	2,297	<MDA
24	E	32	31,22	2,035	37,688 ± 2,875
25	E	31	30,80	2,063	11,744 ± 1,634
26	E	27	29,28	2,170	2,447 ± 1,608
27	K	23	29,16	2,179	<MDA
28	K	23	28,60	2,221	2,389 ± 0,447
29	K	25	28,45	2,233	<MDA
30	K	27	29,16	2,179	3,715 ± 1,568
31	E	35	30,09	2,111	17,390 ± 2,572
32	E	34	31,89	1,993	10,767 ± 1,684
33	E	33	30,07	2,113	15,851 ± 4,596
34	E	33	32,72	1,942	23,432 ± 2,181
35	E	33	30,91	2,056	8,251 ± 2,304
36	E	53	31,26	2,032	9,862 ± 1,617

* Tablonun devamı Ekler bölümündedir.

3.3. Eylül Ayında Alınan İdrar Örneklerinin Biyokimyasal Ölçüm Değerleri

Eylül ayında gönüllülerden alınan idrar örnekleri, IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizöründe analiz edilerek örneklerin içerisindeki bazı biyokimyasal parametre (pH, Kan, Dansite, Eritrosit, Lokosit ve Lokosit kümesi) değerleri belirlendi. IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörünün, örnek analizi sonucu verdiği rapor örneklerinden biri Şekil 31 ve Şekil 32’de verilmektedir.

Urinalysis Report Page 1 of 1

Urinalysis Report

T.C.
SAGLIK BAKANLIGI
RIZE EGITIM ARASTIRMA HASTANESI
ACIL LAB

Specimen Identifier: 29
System Identifier: AP
Operator: [auto]
Analysis Time Stamp: 2013-09-24 14:38:51
Chemistry Time Stamp:
Microscopy Time Stamp: 2013-09-24 14:40:04
Report Time Stamp: 2013-09-24 14:55:07
Rack Number: 13
Rack Position: 8
Sequence Number: 35657
Dilution: 1:1

Chemistry: (not done)

Microscopy:

Test	Result	Reference
Eritrosit:	< 1 /HPF	< 3 /HPF
Lokosit:	< 1 /HPF	< 5 /HPF

Flags:
ID: CHEM N/A

Şekil 31. İdrar analizöründen alınan mikroskopik sonuç raporu örneği

Urinalysis Report

T.C.
SAGLIK BAKANLIGI
RIZE EGITIM ARASTIRMA HASTANESI
ACIL LAB

Specimen Identifier: 29
System Identifier: AP
Operator: b
Analysis Time Stamp: 2013-09-24 14:32:52
Chemistry Time Stamp: 2013-09-24 14:32:52
Microscopy Time Stamp:
Report Time Stamp: 2013-09-24 14:55:00
Rack Number: 6
Rack Position: 8
Sequence Number: 159
Dilution: 1:1

Chemistry:

Test	Result	Reference
Glukoz:	Negatif	< +
Protein:	Negatif	< +
Bilirubin:	Negatif	< +
Urobilinojen:	Normal	< +
pH:	6.5	< 7.0
Kan:	Negatif	< +
Keton:	Negatif	< +
Nitrite:	Negatif	< +
Lokosit Esteraz:	Negatif	< +
Berraklik:	Berrak	< Cok Bulanik
Dansite:	1.018	< 1.030
Renk:	Renksiz	< Turuncu

Microscopy: (not done)

Flags:

ID

Comment:

29

Şekil 32. İdrar analizöründen alınan kimyasal sonuç raporu örneği

IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizöründe analiz edilen idrar örneklerinin biyokimyasal parametre değerleri Tablo 14'deki gibi elde edildi.

Tablo 14. Eylül ayı idrar örneklerinin bazı biyokimyasal parametre değerleri

Numune Kodu	pH	Kan	Dansite	Eritrosit	Lokosit	Lokosit Kümesi
1	7,0	Negatif	1,021	1	1	
2	6,5	Negatif	1,012		1	
3	7,0	Negatif	1,022	1		
4	5,0	Negatif	1,020		4	2
5	5,5	Negatif	1,019	1	1	
6	6,5	++	1,019	5		
7	7,0	Negatif	1,012	1	1	
8	7,5	Negatif	1,012	1	1	
9	6,5	++	1,013	11	1	
10	6,0	Negatif	1,018	2	6	3
11	5,0	++	1,018	7	23	
12	5,5	Negatif	1,011	1		
13	7,5	Negatif	1,010	2	1	
14	6,0	Negatif	1,007	1	1	
15	7,5	Negatif	1,007		1	
16	6,5	Negatif	1,011		1	
17	5,0	Negatif	1,009	1	10	
18	8,0	Negatif	1,020	1	1	
19	6,0	++	1,017	5	1	
20	6,0	+	1,024	7	6	
21	6,0	Negatif	1,027	1	1	
22	5,0	Negatif	1,017	1	1	
23	5,0	Negatif	1,007		1	
24	5,5	Negatif	1,009		1	
25	5,0	Negatif	1,018	1	1	
26	5,0	Negatif	1,021		1	
27	5,0	Eser	1,018	1	1	
28	5,0	Eser	1,014	1	1	
29	6,0	Negatif	1,016	2	1	
30	5,5	Negatif	1,023	1	1	
31	5,0	Negatif	1,021	1	1	
32	6,5	Negatif	1,018	1	1	
33	8,5	Negatif	1,015		14	16
34	5,0	Negatif	1,021	1	1	
35	5,5	Eser	1,024		2	

* Tablonun devamı Ekler bölümündedir.

3.4. Mart Ayı İdrar Örneklerinin Verim, MDA ve Tritiyum Konsantrasyon Değerleri

Mart ayı için background örneği ölçüldü ve ortalama değeri 3,23 cpm olarak elde edildi. Mart ayı içerisinde gönüllülerden alınan idrar örneklerinin sıvı sintilasyon sayacında analiz edilmesi sonucu elde edilen analiz raporlarına göre her bir örnek için hesaplar yapılarak verim, MDA ve tritiyum aktivite konsantrasyon değerleri Tablo 15'deki gibi elde edildi.

Tablo 15. Mart ayı idrar örneklerinin verim, MDA ve tritiyum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyeti (K/E)	Yaşı	Verim (%)	MDA (Bq/L)	Tritiyum Konsantrasyonu (Bq/L)
1	K	43	24,08	2,562	9,414 ± 1,939
2	E	29	26,37	2,339	6,004 ± 2,052
3	E	33	26,68	2,312	<MDA
4	E	42	26,88	2,295	2,666 ± 1,850
5	E	26	27,05	2,280	<MDA
6	E	27	26,44	2,333	6,240 ± 1,805
7	K	31	26,13	2,361	9,695 ± 2,244
8	E	30	26,78	2,303	3,609 ± 1,840
9	K	28	26,47	2,331	2,897 ± 2,018
10	K	27	27,09	2,277	<MDA
11	E	47	26,65	2,314	6,378 ± 1,895
12	E	26	26,14	2,360	<MDA
13	E	31	26,88	2,295	2,914 ± 1,810
14	E	28	25,80	2,391	6,331 ± 1,922
15	E	34	26,26	2,349	<MDA
16	E	28	25,92	2,380	2,829 ± 2,080
17	E	43	26,63	2,316	<MDA
18	E	25	26,17	2,357	5,476 ± 1,851
19	K	25	25,60	2,410	18,167 ± 1,993
20	K	26	25,99	2,374	6,478 ± 1,889
21	E	26	26,13	2,361	10,015 ± 1,788
22	E	30	26,68	2,312	6,997 ± 1,929
23	K	31	26,31	2,345	4,371 ± 1,943
24	E	32	25,08	2,460	7,112 ± 1,780
25	E	31	26,36	2,340	5,310 ± 1,934

* Tablonun devamı Ekler bölümündedir.

3.5. Mart Ayında Alınan İdrar Örneklerinin Biyokimyasal Ölçüm Değerleri

Mart ayında gönüllülerden alınan idrar örnekleri, IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizöründe analiz edilerek örneklerin içerisindeki bazı biyokimyasal parametre (pH, Kan, Dansite, Eritrosit, Lokosit ve Lokosit kümesi) değerleri Tablo 16'daki gibi elde edildi.

Tablo 16. Mart ayı idrar örneklerinin bazı biyokimyasal parametre değerleri

Numune Kodu	pH	Kan	Dansite	Eritrosit	Lokosit	Lokosit Kümesi
1	5,5	Negatif	1,030	1	1	
2	7,0	Negatif	1,017	1		
3	7,0	Negatif	1,011	1	1	
4	6,0	Negatif	1,016	1	1	
5	6,0	Negatif	1,010	1	1	
6	6,5	++	1,025	5	2	
7	7,0	Negatif	1,015		1	
8	6,0	Negatif	1,019	1	1	
9	6,0	++	1,010	12	1	
10	6,5	Eser	1,005	1		
11	5,0	Eser	1,021			8
12	7,0	Negatif	1,014	1	1	
13	5,0	Negatif	1,011	1		
14	5,0	Negatif	1,008	2	1	
15	7,0	Negatif	1,016	1	1	
16	7,5	Negatif	1,012		1	
17	6,0	Negatif	1,018	1	1	
18	5,0	Negatif	1,024	1	1	
19	5,0	Eser	1,022	3	1	
20	5,5	Eser	1,020	5	2	
21	6,5	Negatif	1,022	1	1	
22	5,5	Negatif	1,020	1	1	
23	6,0	+	1,015	5	1	
24	5,5	Negatif	1,018	1	1	
25	6,5	Negatif	1,019	2	1	
26	5,5	Negatif	1,020			
27	5,0	+	1,015	3	1	
28	6,0	+++	1,030	22		2

* Tablonun devamı Ekler bölümündedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

4.1. Tritiyum Ölçümleri

Araştırmaya 65'i erkek (% 65) 35'i kadın (% 35) olmak üzere toplamda 100 gönüllü katıldı. Eylül ve mart aylarında gönüllülerden alınan idrar örneklerindeki tritiyum konsantrasyon değerleri Tablo 17'de verilmektedir.

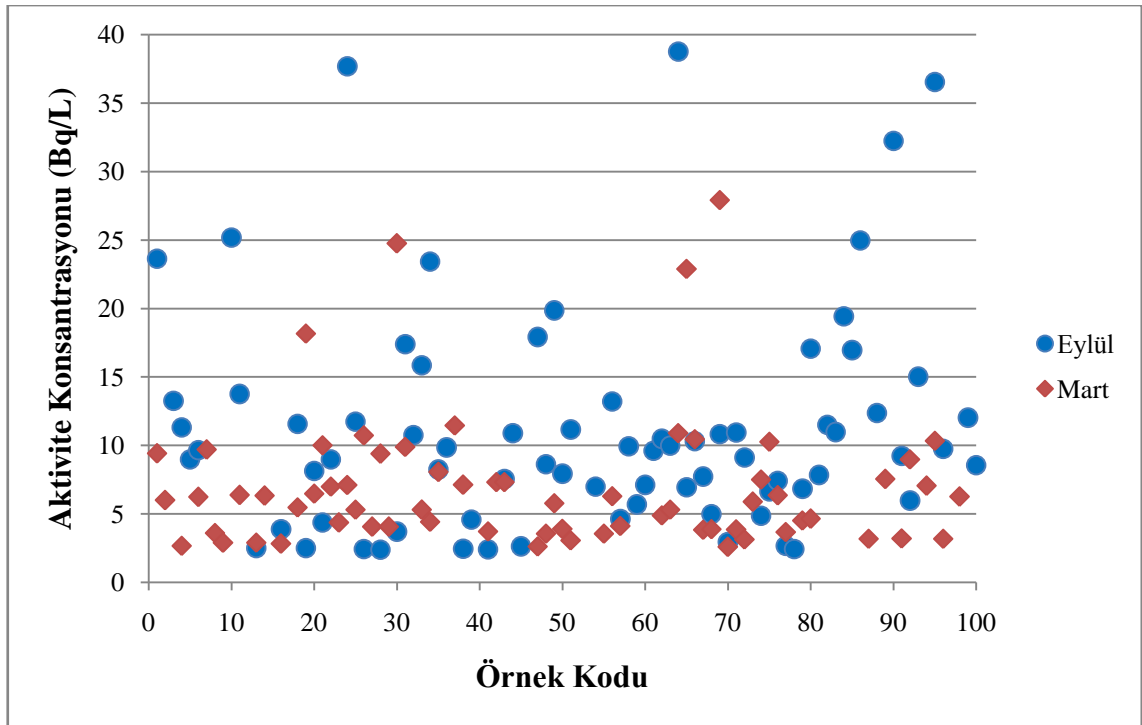
Tablo 17. Eylül ve mart aylarında gönüllülerden alınan idrar örneklerindeki tritiyum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyet	Yaş	Eylül ayı Tritiyum Konsantrasyonu (Bq/L)	Mart ayı Tritiyum Konsantrasyonu (Bq/L)
1	Kadın	43	23,639	9,414
2	Erkek	29	<MDA	6,004
3	Erkek	33	13,264	<MDA
4	Erkek	42	11,318	2,666
5	Erkek	26	8,983	<MDA
6	Erkek	27	9,665	6,240
7	Kadın	31	<MDA	9,695
8	Erkek	30	<MDA	3,609
9	Kadın	28	<MDA	2,897
10	Kadın	27	25,179	<MDA
11	Erkek	47	13,764	6,378
12	Erkek	26	<MDA	<MDA
13	Erkek	31	2,516	2,914
14	Erkek	28	<MDA	6,331
15	Erkek	34	<MDA	<MDA
16	Erkek	28	3,884	2,829
17	Erkek	43	<MDA	<MDA
18	Erkek	25	11,582	5,476
19	Kadın	25	2,507	18,167
20	Kadın	26	8,149	6,478
21	Erkek	26	4,385	10,015
22	Erkek	30	8,989	6,997
23	Kadın	31	<MDA	4,371
24	Erkek	32	37,688	7,112
25	Erkek	31	11,744	5,310

* Tablonun devamı Ekler bölümündedir.

8 örneğin trityum aktivite değeri hem eylül hem de mart ayında MDA'nın altında, 41 örneğin trityum aktivite değeri ya eylül ya da mart ayında MDA'nın altında, 51 örneğin trityum aktivite değerlerinin ise hem eylül hem de mart ayında MDA'nın üstünde olduğu bulundu. Eylül ve Mart ayı arasında en yüksek aktivite değişimi yaklaşık 7 kat ile 19, 47 ve 30 nolu örneklerde görüldü. Bu örneklerin tümünün kadın gönüllülere ait olması dikkat çekmektedir.

Eylül ve mart aylarında gönüllülerden alınan idrar örneklerindeki trityum aktivite düzeylerinin örnek koduna göre grafiği Şekil 33'te gösterilmektedir.



Şekil 33. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin örnek koduna göre dağılımı

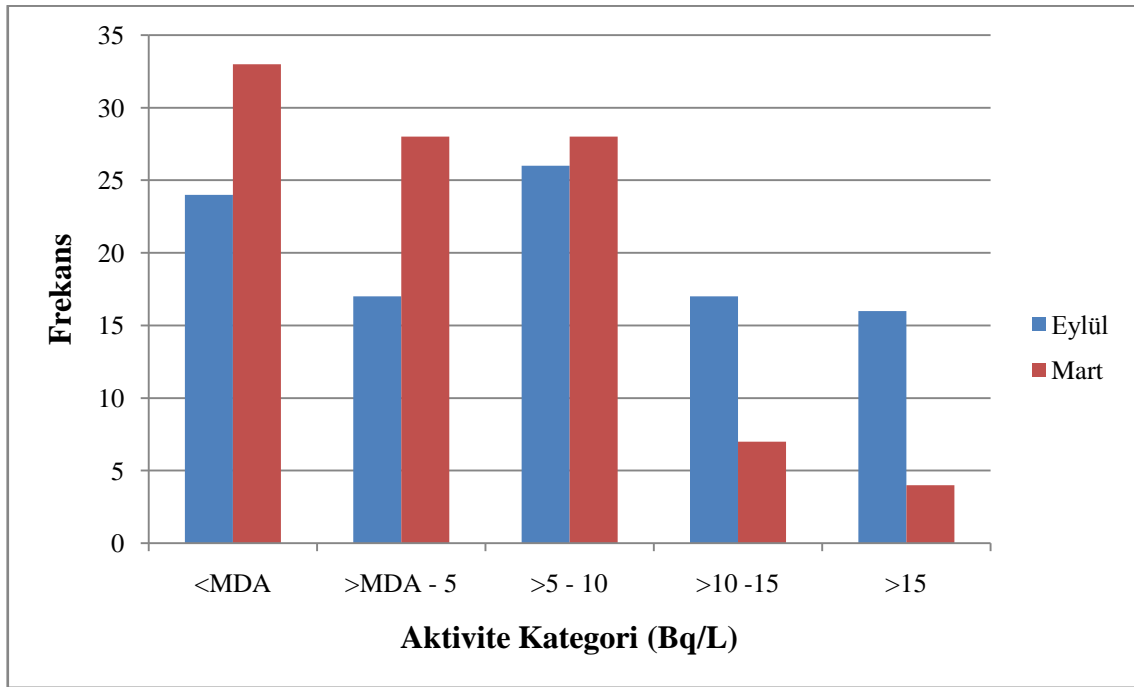
Şekil 33'e bakıldığında, idrar örneklerinin eylül ayındaki trityum aktivite konsantrasyon değerlerinin mart ayına göre daha homojen olduğu söylenebilir.

Gönüllülerden alınan idrar örneklerinin hem sonbahar hem de ilkbahar mevsimleri için ortalama trityum aktivite konsantrasyonları ve maksimum değerleri Tablo 18'de verilmektedir.

Tablo 18. İdrar örneklerinin mevsimsel olarak ortalama trityum konsantrasyonları

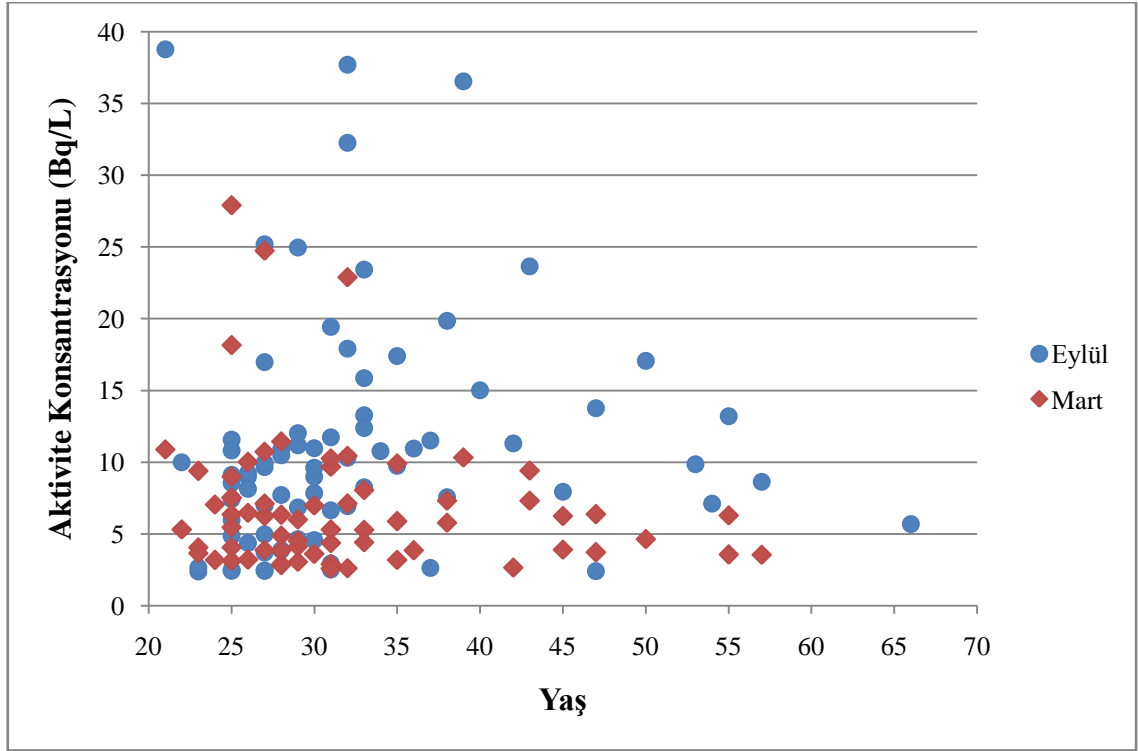
Mevsim	Ortalama Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)	Maksimum (Bq/L)
Sonbahar	8,49 ± 1,98	38,76
İlkbahar	4,66 ± 1,94	27,91

Mart ayı için bulunan ortalama trityum konsantrasyonu, eylül ayı için bulunan ortalama trityum konsantrasyonunun yaklaşık yarısı kadardır. Dolayısıyla, Rize ilinde sonbahar mevsiminin ilkbahar mevsimine göre daha yağışlı olması sebebiyle yağışların trityum konsantrasyonunu arttırdığını söyleyebiliriz. Ayrıca başka bir etken olarak, eylül ayının mart ayına göre daha sıcak olması ve dolayısıyla eylül ayındaki su tüketiminin mart ayına göre daha fazla olmasından kaynaklandığı da söylenebilir. Eylül ayında alınan idrar örneklerinin % 24 'ü yani 24 örnek MDA'nın altında çıkmıştır. Dahası, idrar örneklerinin % 67'si 10 Bq/L'nin altındadır. Mart ayında alınan idrar örneklerinin, % 33'ü MDA'nın % 61'inin ise 5 Bq/L'nin altında olduğu belirlendi. Aktivite değerleri "<MDA", ">MDA- 5", ">5-10", ">10-15" ve ">15" (Bq/L) olarak gruplandırıldığında, eylül ve mart ayları için frekans değerleri Şekil 34'teki gibidir.



Şekil 34. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin kategorik olarak gösterimi

Araştırmaya katılan gönüllülerin yaşları 21 ile 66 arasında değişmekte olup yaş ortalamaları $32,91 \pm 9,02$ 'dir. Kadın gönüllülerin yaşları 23 ile 66 arasında değişmekte olup yaş ortalamaları $34,66 \pm 10,41$ 'dir. Erkek gönüllülerin yaşları ise 21 ile 55 arasında değişmekte olup yaş ortalamaları $31,97 \pm 8,10$ 'dur. Gönüllülerin yaşlarına göre her iki mevsim için trityum aktivite konsantrasyon dağılımları Şekil 35'te gösterilmektedir.



Şekil 35. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin yaşa göre dağılımı

Şekil 35'e bakıldığında, her iki mevsim için de trityum aktivite konsantrasyonunun homojen dağılım göstermediği söylenebilir. Kadın gönüllülerin yaş ortalaması erkek gönüllülerin yaş ortalamasından daha yüksektir.

Gönüllülerin yaşı ile idrarlarındaki trityum konsantrasyonu arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığını belirlemek için SPSS analizi (Spearman korelasyon testi) yapıldı ve sonuçları Tablo 19'da verilmektedir. Eylül ayı için gönüllülerin yaşı ile idrarlarındaki trityum konsantrasyonu arasında istatistiksel olarak pozitif yönde ve anlamlı düzeyde ilişki olduğu ($r=0,307$, $p < 0,05$) ancak mart ayı için istatistiksel olarak fark olmadığı ($p > 0,05$) neticesi elde edildi.

Tablo 19. Eylül ayı için gönüllülerin yaşı ile idrarlarındaki trityum konsantrasyonları arasında yapılan SPSS analizinin çıktısı

Correlations				
			Yaş	Aktivite_Eylül
Spearman's rho	Yaş	Correlation Coefficient	1,000	,307**
		Sig. (2-tailed)	.	,007
		N	76	76
	Aktivite_Eylül	Correlation Coefficient	,307**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,007	.
		N	76	76

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Gönüllülerden alınan idrar örneklerinin hem sonbahar hem de ilkbahar mevsimleri için cinsiyete göre ortalama trityum aktivite konsantrasyonları ve maksimum değerleri Tablo 20’de verilmektedir.

Tablo 20. İdrar örneklerinin mevsimsel olarak cinsiyete göre ortalama trityum konsantrasyonları

Mevsim	Kadın		Erkek	
	Ortalama Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)	Maksimum (Bq/L)	Ortalama Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)	Maksimum (Bq/L)
Sonbahar	7,12 ± 1,88	32,24	9,23 ± 2,03	38,76
İlkbahar	4,49 ± 1,95	24,75	4,75 ± 1,94	27,91

Her iki mevsimde de kadınların ortalama ve maksimum trityum aktivitesi, erkeklerinkinden daha düşüktür. Kadınlar ile erkekler arasında ortalama trityum aktivitesi yönünden istatistiksel olarak fark olup olmadığını belirlemek için SPSS analizi (Mann-Whitney U) yapıldı ve sonuç olarak, hem sonbahar hem de ilkbahar mevsimlerinde kadınlarla erkekler arasında ortalama trityum aktivitesi yönünden istatistiksel olarak fark yoktur ($p > 0,05$) neticesi elde edildi.

2012 yılında yapılan bir çalışmada, Rize ili içme sularında ortalama trityum konsantrasyonu 0,89 Bq/L olarak belirlenmiştir (Görür ve Genç, 2012). Hem sonbahar hem de ilkbahar mevsiminde alınan idrar örneklerinin ortalama trityum konsantrasyonu içme sularındakinden daha yüksektir. İdrar ve su örneklerinin ortalama trityum

konsantrasyonları karşılaştırıldığında, insanlar tarafından vücuda alınan trityumun farklı kaynaklardan alındığı söylenebilir. Bununla ilgili Japonya’da 1993 yılında yapılan bir çalışmada, trityum alımının % 52’sinin içme sularıyla, % 39’unun yiyeceklerden ve % 9’unun da havadan alındığı gösterilmiştir (Okada ve Momoshima, 1993). Rize’de yiyeceklerdeki trityum aktivite konsantrasyonları henüz belirlenmemiştir. Bunun yanında, araştırmaya katılan gönüllüler trityum içeren boyalardaki trityumlanmış organik bileşikler solumayla veya trityum barındıran ve kendi kendine parılayan ürünlerin kullanılması neticesinde trityuma maruz kalmış olabilirler.

Dünyanın farklı ülkelerinde idrar örneklerinde trityum düzeyini belirlemek üzerine yapılmış çalışmalar mevcuttur. İdrar örneklerinde trityum düzeyinin belirlendiği bu çalışma ve farklı ülkelerde yapılmış olan çalışmaların ortalama trityum konsantrasyon değerleri Tablo 21’de verilmektedir.

Tablo 21. Bu çalışma ve farklı ülkelerde yapılmış olan çalışmaların ortalama trityum konsantrasyon değerleri

Ülkeler	İdrarda Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)	Referanslar
İtalya	28,86	Belloni vd., 1983
Finlandiya	2,55	Puhakainen ve Heikkinen, 2008
Kore	2,80	Yoon vd., 2013
Çin	3,53	Shen vd. 2015
Türkiye	4,66	Bu çalışma

Tablo 21’de görüldüğü üzere, Rize’de yaşayan insanların idrar örneklerinin ortalama trityum konsantrasyonu, İtalyan halkının idrar örneklerindeki ortalama trityum konsantrasyonundan düşük fakat Finlandiya, Kore ve Çin halkının idrar örneklerindeki ortalama trityum konsantrasyonundan ise yüksektir. Ülkeler arasındaki bu trityum konsantrasyon farklılığı, farklı ekosistemlerde çevresel trityum konsantrasyonunun değişkenliğiyle ve davranışıyla açıklanabilir. Başka bir neden de, idrar örneklerinin sıvı sintilasyon sayacında analiz edilmesi için uygulanan farklı örnek hazırlama işlemleridir.

4.1.1. Yıllık Etkin Doz Oranları

İdrardaki trityumun aktivite konsantrasyonu vücut suyundaki trityum aktivite konsantrasyonuna eşittir (ICRP, 1997), çünkü trityum vücuda alındıktan 2-4 saat içerisinde bütün vücut sularına dâhil olur (dağılır). ICRP 89'a (ICRP, 1999) göre doz dönüşüm katsayısı $1,8 \times 10^{11}$ Sv/Bq ve kadınlar ve erkekler için vücut ağırlığı sırasıyla 60 ve 73 kg'dır. Ölçüm sonuçları temelinde Denklem 32 kullanılarak yıllık etkin doz oranları Tablo 22'deki gibi elde edildi.

Tablo 22. Kadın ve erkekler için mevsimsel olarak yıllık etkin doz oranları

Mevsim	Yıllık Etkin Doz Oranı (nSv)	
	Kadın	Erkek
Sonbahar	5,61	8,85
İlkbahar	3,54	4,56

Her iki mevsimde de kadınların yıllık etkin doz oranı, erkeklerinkinden daha düşüktür. Ayrıca, ilkbahardaki yıllık etkin doz oranları, sonbahardaki yıllık etkin doz oranlarından daha düşüktür. Vücutta trityum için müsaade edilen yıllık etkin doz oranı 40000 nSv'dir (ICRP, 1994). Mevsimsel ve cinsiyete göre bulunan yıllık etkin doz oranları müsaade edilen doz limitlerinden oldukça düşüktür. Dolayısıyla bu çalışmaya katılan gönüllüler için trityum açısından risk olmadığı söylenebilir.

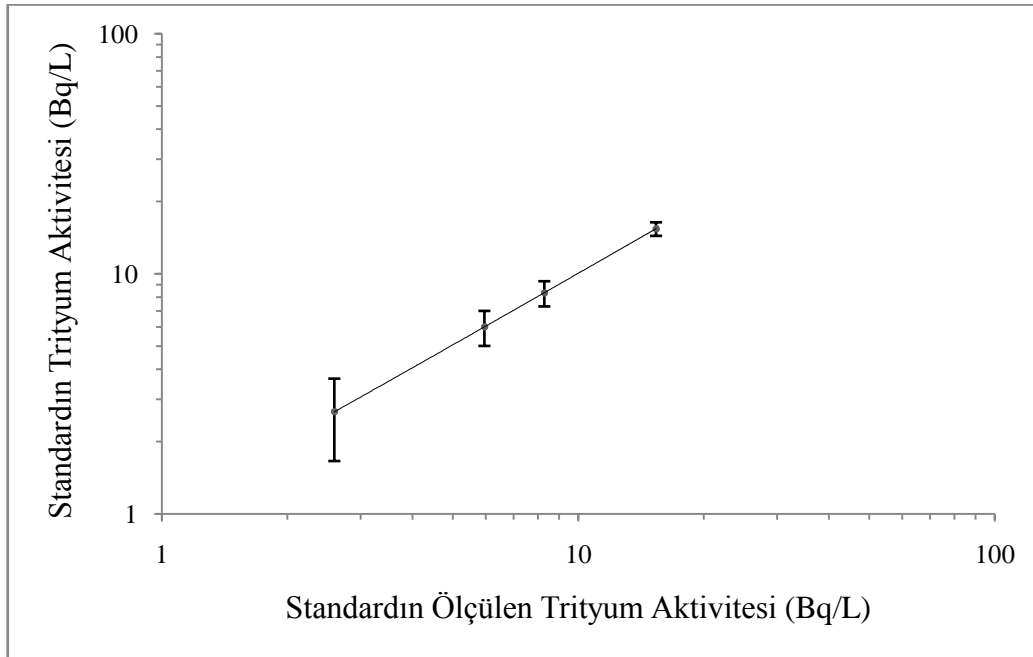
4.1.2. Kalite Kontrol Standartlarının Ölçümleri

Yaptığımız ölçümlerin doğruluğunu kontrol etmek için hazırlanan YAS, DWS ve RWS standartları ile Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan temin edilen başka bir standart (STD) olmak üzere toplamda dört adet standart kullanıldı. Bu standartların ölçüm tarihindeki aktiviteleri ve sıvı sintilasyon cihazında ölçülmesi ile hesaplanan aktivite değerleri Tablo 23'de verilmektedir.

Tablo 23. Kalite kontrol standartlarının ölçüm sonuçları

Standart Adı	Aktivitesi (Bq/L)	Belirsizlik (%)	Ölçüm Aktivitesi (Bq/L)	Belirsizlik (%)	Bağlı Hata (%)
YAS	$4,84 \times 10^6$	3,2	$4,75 \times 10^6$	5,0	1,9
DWS	$4,08 \times 10^3$	3,2	$3,98 \times 10^3$	5,4	2,5
RWS	$4,07 \times 10^2$	3,2	$3,84 \times 10^2$	6,1	5,7
STD	$1,43 \times 10^1$	1,3	$1,34 \times 10^1$	7,1	6,3

Tablo 23'deki ölçüm sonuçları temelinde, sonuçlar arasında önemli farklılıklar olmadığı görülmekle birlikte kullanılan LSC cihazımızın yüksek doğrulukla sonuç verdiğini söyleyebiliriz (Şekil 36). Sonuçlara bakıldığında, yüksek aktiviteli standarttan daha düşük aktiviteli standartlara doğru belirsizliğin ve bağlı hatanın arttığı görülmektedir.



Şekil 36. Kalite kontrol standartlarının ölçüm değerlerinin grafiksel gösterimi

4.2. Biyokimyasal Ölçümler

Gönüllülerden alınan idrar örnekleri içerisindeki bazı biyokimyasal parametre değerleri (pH, Kan, Dansite, Eritrosit, Lokosit ve Lokosit kümesi) IRIS-IQ200 tam otomatik idrar analizörü kullanılarak belirlendi (Tablo 13 ve Tablo 15). Bu parametre değerlerinden, özellikle ‐Lokosit‐ ve ‐Lokosit kümesi‐ parametrelerinin değerlendirilmesi ile araştırmaya katılan gönüllülerden üriner sistem enfeksiyon şüphesi olanlar belirlendi. Enfeksiyon araştırmalarında idrar kültürü gereksinimi tartışmasız kabul edilir. Lokositüri, kesin olmamakla birlikte üriner sistem enfeksiyonlarının göstergelerinden biridir ve üriner sistem enfeksiyonlarının araştırılmasında ilk çıkış kaynağıdır (Cattell vd., 1974; Earley ve Gottschalk, 1979; Turgut vd., 1979).

Sonbahar mevsimi 2013 yılı Eylül ayında alınan idrar örneklerinin biyokimyasal ölçümleri neticesinde 15 gönüllünün üriner sistem enfeksiyon şüphesi içerdiği belirlendi. Yine, ilkbahar mevsimi 2014 yılı Mart ayında alınan idrar örneklerinin biyokimyasal ölçümleri neticesinde de 6 gönüllünün üriner sistem enfeksiyon şüphesi içerdiği tespit edildi.

Sonbahar mevsimi eylül ayı için üriner sistem enfeksiyon şüphesi olanlarla olmayanlar arasında ortalama trityum aktivitesi yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için SPSS analizi (Mann-Whitney U) yapıldı ve sonuçlar Tablo 24’te verilmektedir. Eylül ayı SPSS analizi sonucuna bakıldığında üriner sistem enfeksiyon şüphesi olanlarla olmayanlar arasında ortalama trityum aktivitesi yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ($p < 0,05$) neticesi elde edildi. Elde edilen trityum aktivite konsantrasyonlarının tümü limit değerlerin altındadır. İlkbahar mevsiminde üriner sistem enfeksiyon şüphesi içeren örnek sayısı yeterli sayıda olmadığı için SPSS analizi gerçekleştirilemedi.

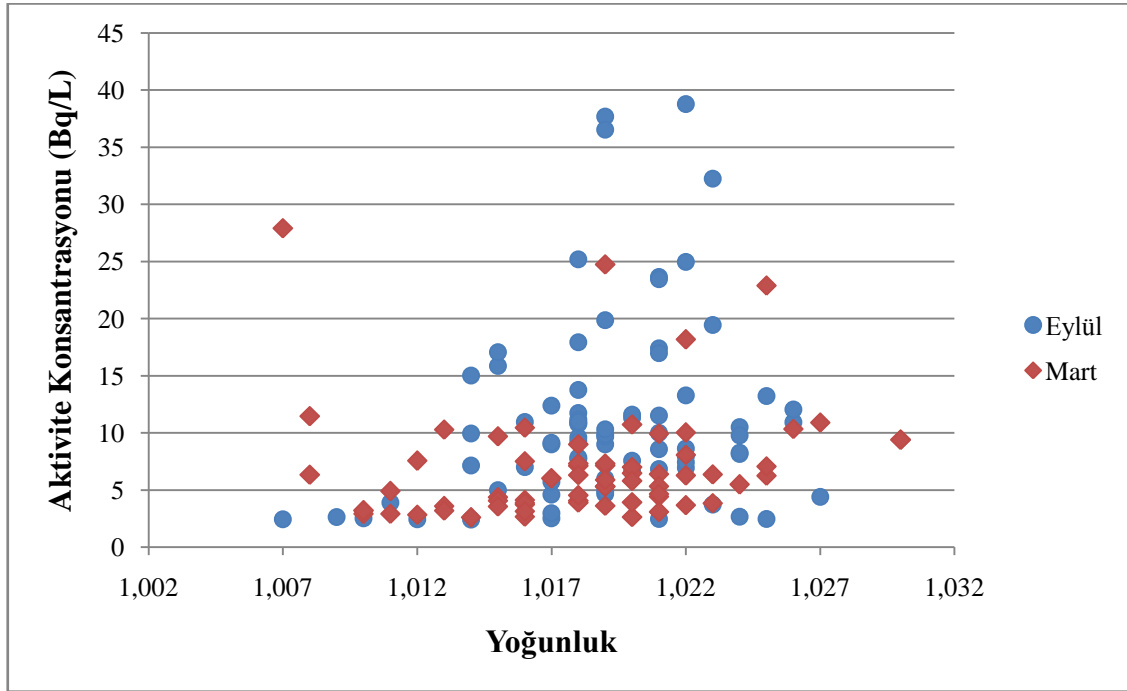
Tablo 24. Eylül ayında enfeksiyonlu olan ve olmayan gönüllüler arasında yapılan SPSS analizinin çıktısı

Ranks				
	Enfeksiyon	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Aktivite_Eylül	Yok	61	35,72	2179,00
	Var	15	49,80	747,00
	Total	76		

Test Statistics ^a	
	Aktivite_Eylül
Mann-Whitney U	288,000
Wilcoxon W	2179,000
Z	-2,212
Asymp. Sig. (2-tailed)	,027

a. Grouping Variable: Enfeksiyon

Sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde gönüllülerden alınan idrar örneklerinin trityum aktivite konsantrasyonlarının yoğunluğa (dansite) göre değişimi Şekil 37’de gösterilmektedir.



Şekil 37. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin yoğunluğa (dansite) göre dağılımı

Şekil 37'ye bakıldığında her iki ay için de idrarın yoğunluğu arttıkça idrardaki trityum konsantrasyonunun arttığı söylenebilir. Bu söylemin doğruluğunu istatistiksel olarak doğrulamak için SPSS analizleri (Spearman korelasyon testi) yapıldı ve sonuçları Tablo 25'te verilmektedir. Eylül ayı SPSS analizi sonucuna göre, idrarın yoğunluğu ile idrardaki trityum konsantrasyonu arasında, pozitif yönde ve anlamlı düzeyde bir ilişki olduğu görüldü ($r = 0,215$, $p < 0,05$). Mart ayı SPSS analizi sonucuna göre de, idrarın yoğunluğu ile idrardaki trityum konsantrasyonu arasında, pozitif yönde ve anlamlı düzeyde bir ilişki olduğu görüldü ($r = 0,328$, $p < 0,05$). Mart ayının ilişki düzeyinin eylül ayına göre daha kuvvetli olduğu söylenebilir ($r_{\text{mart}} > r_{\text{eylül}}$).

Tablo 25. Eylül ve mart ayında alınan idrar örneklerinin yoğunluğu ile trityum konsantrasyonları arasında yapılan SPSS analizlerinin çıktısı

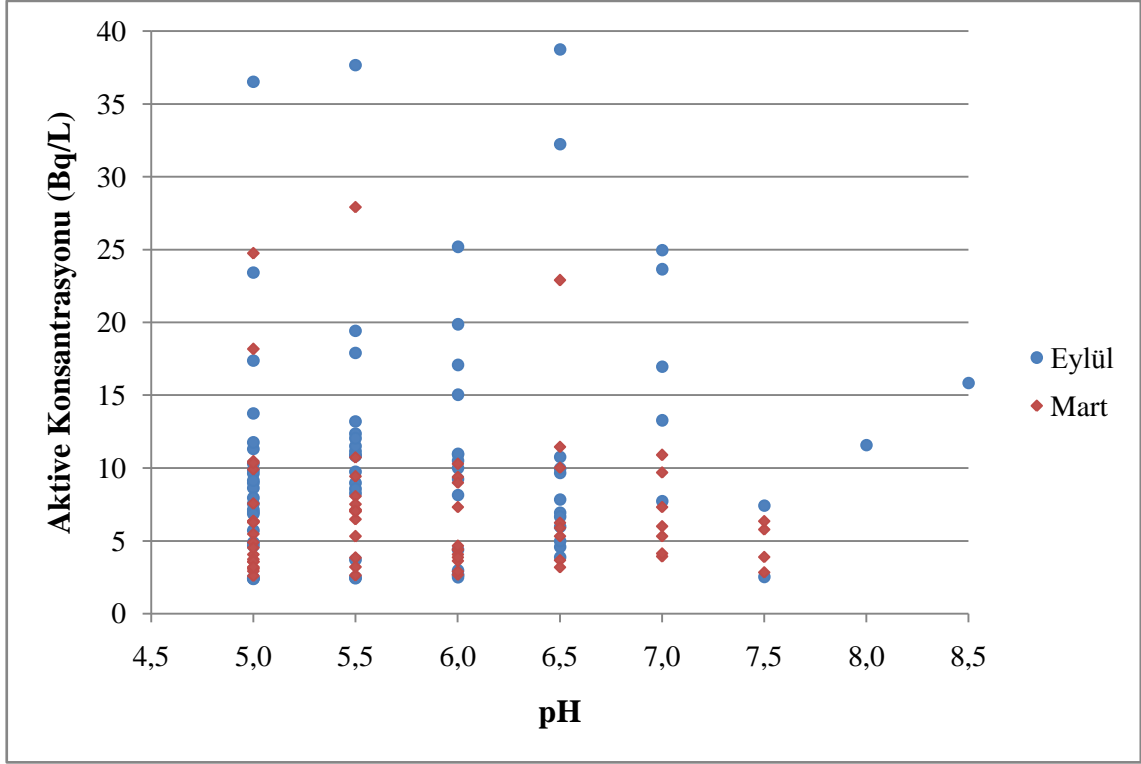
Correlations				
			Aktivite_Eylül	Yoğunluk
Spearman's rho	Aktivite_Eylül	Correlation Coefficient	1,000	,215*
		Sig. (1-tailed)	.	,031
		N	76	76
	Yoğunluk	Correlation Coefficient	,215*	1,000
		Sig. (1-tailed)	,031	.
		N	76	76

*. Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

Correlations				
			Aktivite_Mart	Yoğunluk
Spearman's rho	Aktivite_Mart	Correlation Coefficient	1,000	,328**
		Sig. (1-tailed)	.	,003
		N	67	67
	Yoğunluk	Correlation Coefficient	,328**	1,000
		Sig. (1-tailed)	,003	.
		N	67	67

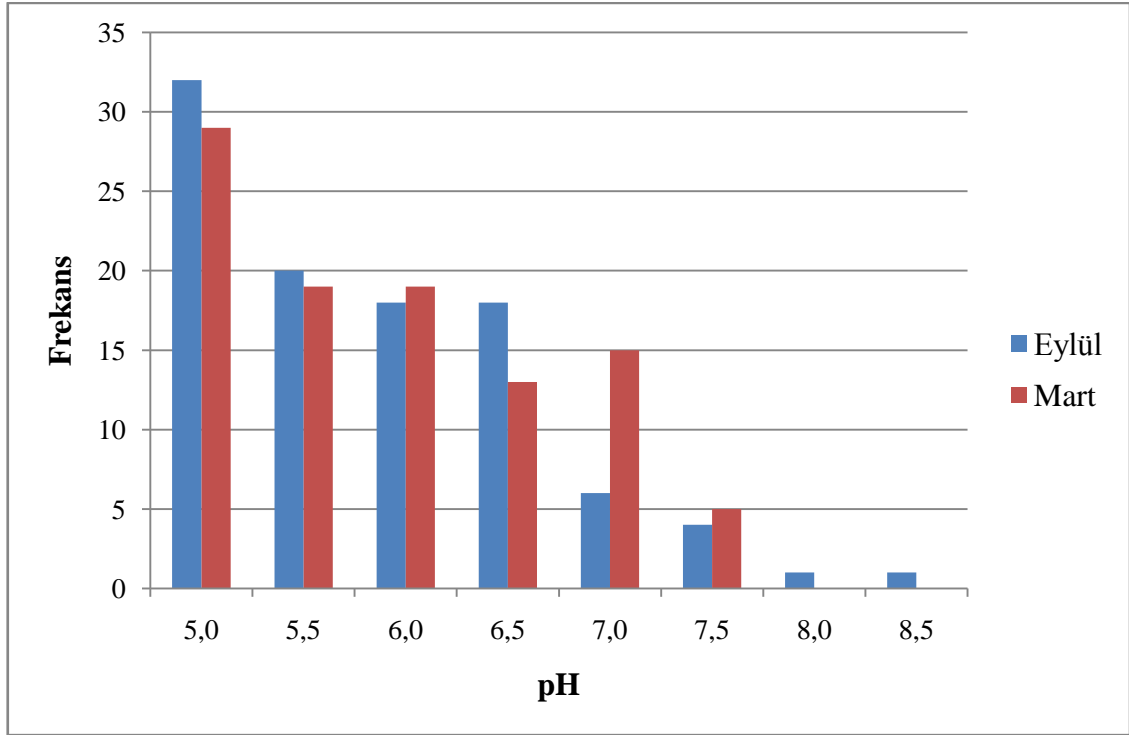
** . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde gönüllülerden alınan idrar örneklerinin trityum aktivite konsantrasyonlarının pH değerine göre değişimi Şekil 38'de verilmektedir.



Şekil 38. İdrar örneklerinin trityum aktivite değerlerinin pH değerine göre dağılımı

Hem eylül hem de mart ayı için pH değeri 7,0'dan büyük olan idrar örneklerinde trityum konsantrasyonunun azaldığı söylenebilir. pH değeri ile trityum aktivite konsantrasyonu arasında ilişki olup olmadığını belirlemek için SPSS analizi (Spearman korelasyon testi) yapıldı ve SPSS analizi sonucuna göre pH değeri ile trityum aktivite konsantrasyonu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ($p>0,05$) bulundu. Eylül ayında alınan kadın idrar örneklerinin pH değeri en yüksek 7,0 iken erkek idrar örneklerinin pH'sının 8,5'lere kadar çıkması dikkat çekmektedir. Mart ayında ise, hem erkeklerde hem de kadınlarda en yüksek pH 7,5 olarak bulundu. Eylül ve mart aylarında alınan idrar örneklerinin pH değerlerinin frekansları Şekil 39'da gösterilmektedir.



Şekil 39. İdrar örneklerinin pH değerlerinin sıklığı

Şekil 39'a bakıldığında, her pH seviyesinde eylül ve mart aylarında alınan örneklerin frekansı hemen hemen eşit iken, 7,0 pH seviyesinde mart ayında alınan örneklerin frekansının eylül ayında alınan örneklerin frekansından 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Sonbahar mevsimi eylül ayında alınan idrar örneklerinin biyokimyasal ölçümleri neticesinde, 13 gönüllünün idrarında kan olduğu tespit edildi. Yine, ilkbahar mevsimi mart ayında alınan idrar örneklerinin biyokimyasal ölçümleri neticesinde, 14 gönüllünün idrarında kan olduğu belirlendi.

Sonbahar mevsimi eylül ayı için idrarında kan olanlarla olmayanlar arasında trityum aktivite konsantrasyonu yönünden anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek için SPSS analizi (Mann-Whitney U) yapıldı ve aralarında ortalama trityum aktivitesi yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı ($p > 0,05$) neticesi elde edildi. Yine, ilkbahar mevsimi mart ayı için idrarında kan olanlarla olmayanlar arasında trityum aktivite konsantrasyonu yönünden anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek için SPSS analizi (Mann-Whitney U) yapıldı ve aralarında ortalama trityum aktivitesi yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı ($p > 0,05$) neticesi elde edildi.

5. ÖNERİLER

Bu çalışma sağlıklı gönüllü grubu ile gerçekleştirildi ve çalışma sonucunda üriner sistem enfeksiyon şüphesi olanlar ile olmayanlar arasında trityum aktivite konsantrasyonu yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu bulundu. Bu nedenle enfeksiyona neden olan madde ya da organizma belirlenerek, trityum ile ilişkisi daha detaylı olarak araştırılabilir. Öte yandan hastanelerde idrar yolu enfeksiyon teşhisi konmuş hasta gönüllüler üzerinde de böyle bir çalışma yapılabilir.

Çağımızda doğal enerji kaynaklarının azalması ile birlikte enerji umutları nükleer enerjiye bağlanmıştır. Bu bağlamda ülkemizde de iki adet nükleer santral kurulması için çalışmalar yürütülmektedir. Hatta Mersin –Akkuyu bölgesinde kurulacak olan nükleer santral inşa aşamasına gelmiş durumdadır. PWR (basınçlı su reaktörleri) tipi nükleer santrallerin rutin çalışmalarında trityum saldıkları gösterilmiştir (Makhijani and Makhijani, 2009; Matsumoto et al., 2013). Ülkemizde kurulması düşünülen nükleer reaktörlerin de PWR tipinde olacağı açıklanmıştır. Bu nedenle, özellikle nükleer santrallerin kurulacağı illerde nükleer santraller faaliyete geçmeden önce o ilde yaşayan insanlardaki trityum düzeylerinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Zira bu tür çalışmalardan elde edilecek sonuçlar, ileride oluşabilecek herhangi bir nükleer sızıntı veya nükleer kaza sonucu çevrede yaşayan halkın maruz kalacağı doz değerinin kıyasının yapılabilmesi için gerekli olacaktır. Bunun yanında, nükleer santrallerde çalışacak olan insanların aldığı trityum düzeyleri ile santralden uzakta yaşayan insanların aldığı trityum düzeylerinin karşılaştırılması konusunda bilimsel veri sağlayacağı aşikârdır.

KAYNAKLAR

- Altay, T. and Çifter, C., 1996.** Tritiyum Laboratuvarı El Kitabı. T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, yayın no: İZ-903, 83 sayfa.
- Alves, L., Ballester, F., Camps, J. and Joven, J., 2005.** Preliminary evaluation of the Iris IQ200 automated urine analyser. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 43(9), 967-970.
- Baykul, Y., 1999.** İstatistik metodlar ve uygulamalar. Anı Yayıncılık, ISBN: 9759489651, 441 sayfa.
- Belloni, P., Clemente, G. F., Di Pietro, S. and Ingraio, G., 1983.** Tritium levels in blood and urine samples of the members of the Italian general population and some exposed subject. *Radiation Protection Dosimetry*, 4(2), 109-113.
- Benejam, R. and Narayana, A., 1985.** Urinalysis: the physician's responsibility. *American Family Physician*, 31, 103-111.
- Bennett, B., 1997.** Exposure to natural radiation worldwide. In *Proceedings of the Fourth International Conference on High Levels of Natural Radiation*, Tokyo, Elsevier, 15-23.
- Brunzel, N., 2004.** Fundamentals of urine and body fluid analysis. Elsevier, 3. edition, ISBN: 978-1437709896, 441 s.
- Burtis, C., Ashwood, E. and Bruns, D., 2006.** Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics. Elsevier Saunders, ISBN: 978-1-4557-3412-2, 2448 s.
- Can, A., 2013.** SPSS ile Bilimsel Araştırma Sürecinde Nicel Veri Analizi. Pegem Akademi, 1. Baskı, ISBN: 978-605-364-448-4, 363 s.
- Cattell, W. R., Mcsherry, M. A., Northeast, A., Powell, E., Brooks, H. J. L. and Ogrady, F., 1974.** Periurethral enterobacterial carriage in pathogenesis of recurrent urinary infection. *British Medical Journal*, 4, 136-139.
- Chebotina, M. Y. and Nikolin, O. A., 2012.** The current tritium concentrations in human urine in the area of nuclear fuel cycle facilities. *Doklady Biological Sciences*, 447, 390-391.
- Currie, L. A., 1968.** Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Analytical Chemistry*, 40, 586-593.
- Dianu, M., Podina, C. and Zaharescu, T., 2007.** A method for the activity evaluation of low energy beta emitters by liquid scintillation counter technique. *Revista de Chimie*, 58(12), 1194-1197.
- Dobson, R. L. and Cooper, M. F., 1974.** Tritium Toxicity: Effect of Low-Level ^3H Exposure on Developing Female Germ Cells in the Mouse. *Radiation Research*, 58, 91-100.

- Dobson, R. L. and Kwan, T. C., 1976.** The RBE of Tritium Radiation Measured in Mouse Oocytes: Increase at Low Exposure Levels. *Radiation Research*, 66, 615-625.
- Dursun, B. and Süleymanlar, G., 2003.** İdrar sedimentine entegre bir bakış. Palme Yayıncılık, 1. Baskı, ISBN: 9758624741, 194 sayfa.
- Düşünel, R., Berkarda, C., Tahan, F. and Gündüz, Z., 2002.** The role of humoral and cell-mediated immunity and phagocytic system on the pathogenesis of uncomplicated recurrent urinary tract infection. *Türk Nefroloji Diyaliz ve Transplantasyon Dergisi*, 10(3), 173-178.
- Earley, L. E. and Gottschalk, C. W., 1979.** Strauss and Welts diseases of the kidney. Little Brown and Company, 3rd edition, ISBN: 9780316203142, 47 s.
- EC, 2004.** Radiation Protection 140: Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew. European Commission, ISBN: 92-894-8448-9, 271 s.
- Eisenbud, M., 1987.** Environmental Radioactivity. Academic Press, ISBN: 0-12-235153, 656 s.
- Epi Info, 2013.** Epi Info version 7, a word processing, database, and statistics program for public health on IBM-compatible microcomputers. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention (CDC).
- Epov, V., Benkhedda, K., Cornett, R. and Evans, R., 2005.** Rapid determination of plutonium in urine using flow injection on-line preconcentration and ICP-MS. *Journal Analytical Atomic Spectrometry*, 20, 424-430.
- ETKB, 2012.** Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, yayın no: 1, 61 s.
- ETKB, 2013.** Nükleer Güç Santralleri ve Türkiye. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, yayın no: 2, 28 s.
- Görür, F. K. and Genç, E., 2012.** The tritium, deuterium and oxygen-18 isotope levels determination in various waters in Rize and Trabzon. *Desalination and Water Treatment*, 44(1-3), 215-222.
- Hakamata, T., 2006.** Photomultiplier Tubes: Basics and Applications. Hamamatsu Photonics K.K., 3rd edition, 323 s.
- Heil, W., Koberstain, R. and Zawta, B., 2004.** Reference ranges for adults and children. Roche Diagnostics GmbH, 240 s.
- Ho, R., 2006.** Handbook of Univariate and Multivariate Data Analysis and Interpretation with SPSS. CRC Press, ISBN: 1-58488-602-1, 406 s.
- Horrocks, D., 1974.** Applications of Liquid Scintillation Counting. Academic Press, ISBN: 0-12-356240-6, 357 s.

- Hou, X., 2011.** Analysis of urine for pure beta emitters: methods and application. Health Physics, 101(2), 159-169.
- ICRP, 1994.** Limits for intakes of radionuclides by workers. 2, International Commission on Radiological Protection.
- ICRP, 1997.** Individual monitoring for internal exposure of workers. 27, International Commission on Radiological Protection.
- ICRP, 1999.** Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. 29, International Commission on Radiological Protection.
- 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.
- IAEA, 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.
- Kesici, T. and Kocabaş, Z., 2007.** Biyoistatistik. Ankara Üniversitesi, yayın no: 94, 2. baskı, 378 s.
- Kim, H. G. and Kong, T. Y., 2012.** An analysis of workers' tritium concentration in urine samples as a function of time after intake at Korean pressurised heavy water reactors. Radiation Protection Dosimetry, 152(4), 406-409.
- Knoll, G., 2000.** Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, 3. edition, ISBN: 0-471-07338-5, 796 s.
- Lariviere, D., Cumming, T., Kiser, S., Li, C. and Cornett, R., 2008.** Automated flow injection system using extraction chromatography for the determination of plutonium in urine by inductively coupled plasma mass spectrometry. Journal Analytical Atomic Spectrometry, 23, 352-360.
- Li, C. S., Benkhedda, K., Tolmachev, S., Carty, L., Ko, R., Mior, D., Cornett, J. and Kramer, G., 2010.** Measurement of U-236 in human tissue samples using solid phase extraction coupled to ICP-MS. Journal Analytical Atomic Spectrometry, 25, 730-734.
- Li, C. S., Benkhedda, K., Varve, Z., Kochemin, V., Sadi, B., Lai, E., Kramer, G. and Cornett, J., 2009.** Fast method for Pu-239 faecal bioassay. Journal Analytical Atomic Spectrometry, 24, 1429-1433.
- Makhijani, A. and Makhijani, A., 2009.** Radioactive Rivers and Rain: Routine Releases of Tritiated Water From Nuclear Power Plants. 16, Institute for Energy and Environmental Research.

- Matsumoto, T., Maruoka, T., Shimoda, G., Obata, H., Kagi, H., Suzuki, K., Yamamoto, K., Mitsuguchi, T., Hagino, K., Tomioka, N., Sambandam, C., Brummer, D., Klaus, P. M. and Aggarwal, P., 2013.** Tritium in Japanese precipitation following the March 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident. *Science of the Total Environment*, 445, 365-370.
- Maxwell, S., 2008.** Rapid analysis of emergency urine and water samples. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, 275, 497-502.
- Maxwell, S. and Jones, V., 2009.** Rapid determination of actinides in urine by ICP-MS and alpha spectrometry: a hybrid approach. *Talanta*, 80, 143-150.
- Memişoğulları, R., Yüksel, H., Yıldırım, H. and Yavuz, Ö., 2010.** Performance characteristics of dipstick and microscopic urinalysis for diagnosis of urinary tract infection. *European Journal of General Medicine*, 7(2), 174-178.
- Mingote, R. M., Barbeira, P. J. S. and Rocha, Z., 2006.** Methodology for rapid tritium determination in urine. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 269(2), 475-479.
- Mook, W. G., 2000.** *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle: Principles and Applications*. Unesco, Publication number: 39, 164 s.
- NCRP, 1987.** Exposure of the population of the United States and Canada from natural background radiation. Report no: 94, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland
- Oğuzlar, A., 2007.** İstatistiksel Veri Analizi-1. Ezgi Kitapevi Yayınları, 1. Baskı, 163 s.
- Okada, S. and Momoshima, N., 1993.** Overview of Tritium - Characteristics, Sources, and Problems. *Health Physics*, 65(6), 595-609.
- Oliver, D. and Knoll, G., 1968.** Anisotropy of Scintillation Response of Recoil Protons and Carbon Ion. *Transactions on Nuclear Science*, 15(3), 122-126.
- Özden, N., 1983.** Nükleer Çağın ilk 40 Yılı. İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Genel Yayınları, yayın no: 2, 638 sayfa.
- Passo, C. and Cook, G., 1994.** *Handbook of Environmental Liquid Scintillation Spectrometry*. Packard, Publication Number: PMC0387, 156 s.
- Pasvanoglu, S., 2011.** Hydrogeochemical and isotopic investigation of the Bursa-Oylat thermal waters, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 64(4), 1157-1167.
- Perkin Elmer, 2005.** *Features and Benefits Guide for Tricarb Liquid Scintillation Analyzers*. Perkin Elmer Life and Analytical Sciences, USA, Publication number: 007357, 24 s.
- Pietrzak-Flis, Z. and Radwan, I., 1984.** Dose estimation from chronic tritium exposure using tritium concentrations in urine and hair. *Health Physics*, 46(2), 460-464.

- Portakal, S., Birol, E., Ünlü, Y., Topçuoğlu, S., Varinlioğlu, A. and Bayülgen, N., 1988.** Tritiyumun elektrolizle zenginleştirilmesi ve sayım yöntemi. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, yayın no: AR-251.
- Priest, N., Pich, G., Fifield, L. and Cresswell, R., 1999.** AMS for the detection of ultra-low level of plutonium in urine, including that excreted after the ingestion of Irish Sea sediment. Radiation Research, 152, 16-18.
- Puhakainen, M. and Heikkinen, T., 2008.** Tritium in the urine in Finnish people. Radiation Protection Dosimetry, 128(2), 254-257.
- Reis, S., Bayrak, T., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R. ve Ekercin, S., 2008.** Rize bölgesinde yağış heyelan ilişkisi. Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Dergisi, 99(2), 5-9.
- Ross, H., Noakes, J. and Spaulding, J., 1991.** Liquid Scintillation Counter and Organic Scintillators. Lewis, ISBN: 0-87371-246-3, 746 s.
- Sheets, C. and Lyman, J., 1986.** Urinalysis. Emergency Medicine Clinics of North America, 4, 263-280.
- Shen, B. M., Ji, Y. Q., Tian, Q., Shao, X. Z., Yin, L. L. and Su, X., 2015.** Determination of Total Tritium in Urine from Residents Living in the Vicinity of Nuclear Power Plants in Qinshan, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(1), 888-894.
- Sözmen, E., Akçay, Y. and Sezer, E., 2004.** İdrar Analizi ve Klinik Kullanımı. Meta yayınları, 98 s.
- Şarer, B., 2001.** Nükleer Fizik. Palme Yayıncılık, yayın no: 173, 1. Baskı, ISBN: 975-7477-82-6, 404 s.
- Tanır, G., Bölükdemir, M. and Koç, K., 2013.** Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği. Palme Yayıncılık, yayın no: 788, 2. Baskı, ISBN: 978-605-355-163-8, 815 sayfa
- Top, G. and Algin, E., 2009.** Tritium measurements in drinking water in Eskişehir, Turkey. Balkan Physics Letter, 16(161019).
- Tosoufanidis, N., 1995.** Measurement and Detection of Radiation. Taylor & Francis, 2. Edition, ISBN: 1-56032-317-5, 636 s.
- Trivedi, A., Galeriu, D. and Lamothe, E. S., 2000.** Dose contribution from metabolized organically bound tritium after chronic tritiated water intakes in humans. Health Physics, 78(1), 2-7.
- TÜİK, 2010.** Türkiye istatistik yılı 2009. Türkiye İstatistik Kurumu, Türkiye.
- TÜİK, 2013.** Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi. Türkiye İstatistik Kurumu, Türkiye.

- Turgut, K., San, A. and Karaca, E., 1979.** Çeşitli böbrek hastalıkları ve üriner sistem enfeksiyonlarından idrar kültürü ve antibiyogramların retrospektif olarak incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Bülteni, Cilt: II(Sayı: 3), 225-232.
- UNSCEAR, 1982.** Sources and effects of ionising radiation: sources and biological effects, Report to the General Assembly with annexes,. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York
- UNSCEAR, 1993.** Sources, effects and risks of ionizing radiation: Report to the General Assembly with annexes,. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, USA
- UNSCEAR, 2000.** Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly with annexes,. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, USA
- Ural, A. and Kılıç, İ., 2006.** Bilimsel Araştırma Süreci ve SPSS İle Veri Analizi. Detay Yayıncılık, ISBN: 975896917, 320 sayfa.
- Üstündağ, G., 2005.** Bazı Parametrik Olmayan İstatistiksel Yöntemlerin İncelenmesi. Yüksek Lisans tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 191 s.
- Wah, D. T., Wises, P. K. and Butch, A. W., 2005.** Analytic Performance of the iQ200 Automated Urine Microscopy Analyzer and Comparison With Manual Counts Using Fuchs-Rosenthal Cell Chambers. American Journal of Clinical Pathology, 123, 290-296.
- Watson, J., Evans, J. and Mabry, A., 1993.** Analysis of Ra-226 concentration in North Caroline household water supplies derived from private wells. Health Physics, 65, 156-160.
- Wilson, L., 2005.** Urinalysis. Nursing Standard, 19, 51-54.
- Wu Alan, H., 2006.** Tietz clinical guide to laboratory tests. Saunders, 4. edition, ISBN: 978-0721679754, 1856 s.
- Xiaolin, H. and Per, R., 2008.** Critical comparison of radiometric and mass spectrometric methods for the determination of radionuclides in environmental, biological and nuclear waste samples. Analytica Chemica Acta, 608, 105-139.
- Yoon, S., Ha, W. H. and Lee, S. S., 2013.** Tritium analysis of urine samples from the general Korean public. Applied Radiation and Isotopes, 81, 276-278.

EKLER

Ek A. Gönüllü Onam Formu

T.C.

**RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ KLİNİK
ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU BAŞKANLIĞI
SAĞLIKLI GÖNÜLLÜLER İÇİN BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ
ONAM FORMU**

Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde, Doç. Dr. Recep KESER'in sorumlu araştırmacısı olduğu, "İdrar Örneklerinde Tritiyum Analizi" isimli bir araştırma yapılması planlanmaktadır.

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. Tritiyumun biyolojik yarı ömrü 12 gün, fiziksel yarı ömrü ise 12,3 yıldır. İnsan sağlığı açısından, gaz halinde suda çözünürlüğünün az olması nedeniyle daha az zararlı olduğu, içinde 10^{-6} $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ tritiyum bulunan havanın bir hafta içinde 48 saat teneffüs edildiğinde insan vücudunda yaklaşık 200 μCi tritiyum biriktiği ispatlanmıştır. Yapılan deneyler tritiyumun hayvan karaciğer hücrelerinde aberasyona, kemik iliği hücrelerinde sitolojik zararlı etkiye neden olduğunu, DNA sentezini yavaşlattığını ve çeşitli doku hücrelerinde ölümlere neden olduğunu ortaya koymuştur. Kansere yol açar ancak diğer radyonüklidlere göre tehlikelisi daha azdır. Çünkü zayıf beta yayınlar ve vücudu erken terk eder. Herkes doğada var olan az miktarda tritiyuma maruz kalmaktadır. Bu araştırmada, maruz kalınan tritiyumun insanda hangi düzeyde bulunduğunu belirlemek için gönüllülerin idrarı kullanılacaktır. Bu aşamada izlenecek yol ise gönüllülerden 12 ay boyunca 6 ayda bir 45 ml idrar örneği almak olacaktır.

Çalışmanın amacı, idrar içerisindeki tritiyum konsantrasyonunun ölçülmesi suretiyle insan vücudundaki tritiyum seviyesini belirlemektir. Bu kapsamda çalışmaya

katılacaklar gönüllü olacak olup, gönüllülerden sadece idrar örneği alınacaktır. Bunun dışında herhangi bir şey talep edilmeyecektir.

Bu çalışmaya katılmayı kabul ederseniz, sizden istenen 2 kez 45 ml idrar vermenizdir. Vereceğiniz idrarda, trityum konsantrasyonu araştırılacaktır. Yapılacak işlemler, alınan idrar örneklerinin ön hazırlık işlemlerini takiben sıvı sintilasyon sayacında ölçülmesi işlemlerinden ibarettir. Çalışma yürütücüsü sizden elde edilen sonuçları, araştırmayı ve istatistiksel analizleri yürütmek için kullanacaktır ancak bunun yanında kimliğiniz kesinlikle gizli tutulacaktır.

İdrar vermek dışında size herhangi bir tahlil yapılmayacaktır.

Bu çalışmada yer alıp almamak tamamen size bağlıdır. Eğer katılmaya karar verirseniz bu yazılı bilgilendirilmiş olur formu imzalanmak için size verilecektir.

(Katılımcının Beyanı)

RTEÜ, Nükleer Fizik Anabilim dalında Doç. Dr. Recep KESER tarafından tıbbi bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı ve ilgili metni okudum. Bu koşullarla “**gönüllü**” olarak, 2 kez, 45 ml idrar vermeyi kabul ediyorum.

İmzalı bu form kâğıdının bir kopyası bana verilecektir.

Katılımcı

Adı, soyadı:

Adres:

Tel:

İmza:

Tarih:

Katılımcı ile görüşen Kişi

Adı soyadı, unvanı:

Adres:

Tel:

İmza:

Tarih:

Ek B (Tablo 13'ün devamı). Eylül ayı idrar örneklerinin verim, MDA ve trityum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyeti (K/E)	Yaşı	Verim (%)	MDA (Bq/L)	Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)
37	E	28	29,81	2,131	<MDA
38	E	27	29,07	2,186	2,466 ± 1,788
39	K	30	31,97	1,987	4,587 ± 1,646
40	E	30	27,13	2,342	<MDA
41	E	47	28,23	2,251	2,420 ± 1,782
42	K	43	28,46	2,233	<MDA
43	K	38	32,18	1,975	7,562 ± 1,646
44	E	28	31,63	2,009	10,907 ± 2,226
45	K	37	30,99	2,051	2,636 ± 1,594
46	K	42	27,17	2,339	<MDA
47	K	32	31,34	2,027	17,921 ± 1,837
48	K	57	31,87	1,994	8,629 ± 1,722
49	K	38	31,47	2,019	19,860 ± 1,673
50	E	45	31,46	2,020	7,947 ± 1,606
51	K	29	32,09	1,980	11,168 ± 2,204
52	K	50	27,74	2,291	<MDA
53	K	50	26,25	2,421	<MDA
54	K	27	30,98	2,051	6,994 ± 1,586
55	E	55	29,08	2,185	<MDA
56	E	55	32,29	1,968	13,213 ± 1,706
57	K	29	32,30	1,967	4,644 ± 1,517
58	K	27	31,16	2,039	9,948 ± 1,979
59	K	66	31,57	2,013	5,701 ± 2,271
60	K	54	31,81	1,998	7,127 ± 2,588
61	E	30	32,60	1,949	9,613 ± 4,889
62	E	28	32,56	1,951	10,493 ± 1,773
63	E	22	30,86	2,059	9,992 ± 1,670
64	E	21	32,29	1,968	38,761 ± 1,964
65	E	32	32,64	1,947	6,945 ± 1,724
66	E	32	31,84	1,995	10,311 ± 1,451
67	K	28	30,39	2,091	7,733 ± 1,610
68	E	27	31,09	2,044	4,985 ± 1,544
69	E	25	31,25	2,033	10,826 ± 1,918
70	K	31	30,48	2,085	2,953 ± 1,513
71	E	36	30,45	2,087	10,946 ± 1,534
72	E	25	31,22	2,035	9,130 ± 1,919
73	K	35	28,19	2,254	<MDA
74	E	25	29,10	2,184	4,868 ± 1,829

EK B (devam). Eylül ayı idrar örneklerinin verim, MDA ve trityum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyeti (K/E)	Yaşı	Verim (%)	MDA (Bq/L)	Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)
75	K	31	31,61	2,010	6,643 ± 1,866
76	E	25	28,74	2,211	7,423 ± 1,793
77	E	23	27,51	2,310	2,666 ± 1,439
78	E	25	30,69	2,070	2,443 ± 1,598
79	E	29	30,93	2,054	6,843 ± 1,797
80	E	50	31,64	2,008	17,069 ± 2,172
81	E	30	31,42	2,023	7,852 ± 2,603
82	E	37	30,98	2,051	11,514 ± 1,679
83	E	30	32,77	1,939	10,985 ± 1,689
84	E	31	32,16	1,976	19,433 ± 1,938
85	E	27	29,96	2,121	16,968 ± 2,625
86	E	29	30,57	2,078	24,966 ± 2,092
87	E	24	29,07	2,186	<MDA
88	K	33	32,46	1,957	12,374 ± 1,551
89	K	25	28,97	2,194	<MDA
90	K	32	30,34	2,094	32,243 ± 2,457
91	E	26	28,11	2,260	9,248 ± 3,102
92	E	25	30,65	2,073	5,982 ± 1,395
93	K	40	30,29	2,098	15,024 ± 2,430
94	E	24	28,50	2,230	<MDA
95	E	39	31,25	2,034	36,538 ± 1,956
96	E	35	31,59	2,012	9,761 ± 1,569
97	E	36	27,74	2,291	<MDA
98	E	45	28,94	2,196	<MDA
99	E	29	29,92	2,124	12,031 ± 1,343
100	E	25	32,14	1,977	8,556 ± 1,681

Ek C (Tablo 14'ün devamı). Eylül ayı idrar örneklerinin bazı biyokimyasal parametre değerleri

Numune Kodu	pH	Kan	Dansite	Eritrosit	Lokosit	Lokosit Kümesi
36	5,0	Eser	1,019		22	14
37	6,5	Negatif	1,006	1		
38	5,5	Negatif	1,025	1	1	
39	6,5	Negatif	1,017	1	1	
40	6,0	Negatif	1,008	1	1	
41	5,0	Eser	1,012	1	1	
42	6,5	Negatif	1,005	1	1	
43	5,0	++	1,020	6	1	
44	5,5	Negatif	1,026	1	2	
45	6,0	+	1,009	3	1	
46	6,5	Negatif	1,008	1	1	
47	5,5	Eser	1,018	1	6	
48	5,0	Negatif	1,022	1	16	
49	6,0	+	1,019	3	1	
50	5,0	Negatif	1,022	1	1	
51	5,5	Eser	1,018	3	7	
52	5,0	Negatif	1,009		1	
53	5,0	Negatif	1,007		1	
54	5,0	Negatif	1,016	1	1	
55	5,0	Negatif	1,009		1	
56	5,5	Eser	1,025	58	29	1
57	5,0	Negatif	1,019	2	1	
58	6,5	Negatif	1,014	1	1	
59	5,0	Negatif	1,017	1	4	
60	5,0	+	1,014	2	1	
61	5,0	Eser	1,018	1	1	
62	6,0	Negatif	1,024	1	1	
63	6,0	Negatif	1,021	1	1	
64	6,5	Negatif	1,022		35	17
65	6,5	Negatif	1,022	1	1	
66	5,0	Negatif	1,019		45	6
67	7,0	Negatif	1,018	1	15	
68	6,5	++	1,015	28	3	
69	5,5	Eser	1,018	1	1	
70	6,0	Negatif	1,017	1	2	
71	6,0	Negatif	1,016			
72	5,0	Negatif	1,017	1	1	
73	5,0	Negatif	1,005	1	1	
74	5,0	Negatif	1,019	1	1	

Ek C (devam). Eylül ayı idrar örneklerinin bazı biyokimyasal parametre değerleri

Numune Kodu	pH	Kan	Dansite	Eritrosit	Lokosit	Lokosit Kümesi
75	6,5	Eser	1,020	2	1	
76	7,5	Negatif	1,022		6	17
77	6,0	+	1,024	4	1	
78	5,5	Negatif	1,007	1	1	
79	5,0	Negatif	1,021	1	1	
80	6,0	Negatif	1,015		17	33
81	6,5	Negatif	1,018	1	1	
82	5,5	Negatif	1,021		1	
83	6,0	+	1,018	2	1	
84	5,5	Negatif	1,023	1	1	
85	7,0	Negatif	1,021	1	1	
86	7,0	Negatif	1,022	1	1	
87	5,0	Negatif	1,009	1		
88	5,5	Negatif	1,017	1	1	
89	5,5	Negatif	1,018	1	2	
90	6,5	Negatif	1,023	1	1	
91	6,0	Negatif	1,018		3	19
92	6,5	Negatif	1,019		1	
93	6,0	Eser	1,014	1	1	
94	5,0	Negatif	1,011		1	
95	5,0	Negatif	1,019	1	1	
96	5,5	Negatif	1,024	2	1	
97	6,5	Negatif	1,009			
98	5,5	Negatif	1,021	3	3	
99	5,5	Negatif	1,026	1	1	
100	5,5	+	1,021	4	1	

Ek D (Tablo 15'in devamı). Mart ayı idrar örneklerinin verim, MDA ve trityum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyeti (K/E)	Yaşı	Verim (%)	MDA (Bq/L)	Tritiyum Konsantrasyonu (Bq/L)
26	E	27	25,63	2,407	10,729 ± 2,064
27	K	23	26,66	2,314	4,064 ± 1,916
28	K	23	26,09	2,364	9,390 ± 2,205
29	K	25	25,03	2,464	4,061 ± 1,842
30	K	27	24,58	2,509	24,745 ± 2,164
31	E	35	26,26	2,349	9,900 ± 2,282
32	E	34	26,67	2,313	<MDA
33	E	33	26,09	2,364	5,302 ± 1,774
34	E	33	26,38	2,338	4,423 ± 2,003
35	E	33	25,43	2,425	8,060 ± 2,005
36	E	53	26,33	2,343	<MDA
37	E	28	26,19	2,356	11,456 ± 1,961
38	E	27	26,19	2,355	7,127 ± 1,815
39	K	30	25,06	2,461	<MDA
40	E	30	26,01	2,372	<MDA
41	E	47	25,08	2,460	3,722 ± 2,054
42	K	43	25,28	2,440	7,318 ± 1,912
43	K	38	26,65	2,315	7,318 ± 1,731
44	E	28	26,52	2,326	<MDA
45	K	37	26,47	2,331	<MDA
46	K	42	26,95	2,289	<MDA
47	K	32	26,05	2,368	2,623 ± 1,766
48	K	57	25,27	2,441	3,561 ± 1,928
49	K	38	25,08	2,460	5,782 ± 1,813
50	E	45	25,95	2,377	3,918 ± 1,801
51	K	29	26,09	2,365	3,067 ± 1,836
52	K	50	27,60	2,235	<MDA
53	K	50	27,06	2,280	<MDA
54	K	27	27,45	2,247	<MDA
55	E	55	24,29	2,539	3,568 ± 1,812
56	E	55	26,21	2,354	6,296 ± 2,033
57	K	29	25,07	2,460	4,122 ± 2,065
58	K	27	26,22	2,353	<MDA
59	K	66	26,09	2,365	<MDA
60	K	54	26,23	2,352	<MDA
61	E	30	24,12	2,558	<MDA
62	E	28	27,62	2,234	4,888 ± 1,828

Ek D (devam). Mart ayı idrar örneklerinin verim, MDA ve trityum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyeti (K/E)	Yaşı	Verim (%)	MDA (Bq/L)	Tritiyum Konsantrasyonu (Bq/L)
63	E	22	26,05	2,368	5,310 ± 2,064
64	E	21	22,95	2,687	10,892 ± 1,847
65	E	32	27,08	2,278	22,896 ± 2,631
66	E	32	26,31	2,344	10,450 ± 2,052
67	K	28	25,21	2,447	3,835 ± 1,879
68	E	27	24,45	2,523	3,885 ± 1,908
69	E	25	24,84	2,483	27,912 ± 1,991
70	K	31	26,35	2,341	2,593 ± 1,878
71	E	36	25,51	2,418	3,854 ± 1,898
72	E	25	26,05	2,368	3,135 ± 1,841
73	K	35	25,77	2,394	5,885 ± 2,077
74	E	25	25,28	2,440	7,515 ± 1,984
75	K	31	26,28	2,347	10,274 ± 1,942
76	E	25	24,40	2,528	6,351 ± 2,046
77	E	23	24,96	2,471	3,672 ± 1,808
78	E	25	26,67	2,313	<MDA
79	E	29	24,68	2,499	4,525 ± 2,141
80	E	50	26,17	2,357	4,649 ± 1,835
81	E	30	25,29	2,439	<MDA
82	E	37	26,26	2,349	<MDA
83	E	30	26,30	2,346	<MDA
84	E	31	26,71	2,310	<MDA
85	E	27	25,38	2,431	<MDA
86	E	29	26,06	2,367	<MDA
87	E	24	25,65	2,405	3,184 ± 1,813
88	K	33	26,70	2,310	<MDA
89	K	25	23,18	2,661	7,548 ± 1,827
90	K	32	25,17	2,451	<MDA
91	E	26	24,42	2,526	3,208 ± 1,942
92	E	25	22,99	2,684	8,991 ± 1,940
93	K	40	27,34	2,256	<MDA
94	E	24	27,64	2,232	7,055 ± 1,739
95	E	39	25,30	2,438	10,341 ± 2,117
96	E	35	25,04	2,463	3,195 ± 1,825
97	E	36	25,94	2,378	<MDA
98	E	45	24,49	2,519	6,261 ± 2,007
99	E	29	25,53	2,417	<MDA
100	E	25	26,07	2,366	<MDA

Ek E (Tablo 16'nın devamı). Mart ayı idrar örneklerinin bazı biyokimyasal parametre değerleri

Numune Kodu	pH	Kan	Dansite	Eritrosit	Lokosit	Lokosit Kümesi
29	6,0	+++	1,018	2	1	
30	5,0	Negatif	1,019		3	
31	5,0	Negatif	1,021	1	1	
32	5,0	Negatif	1,011	1	1	
33	5,5	Negatif	1,019	2	3	
34	6,0	Negatif	1,021	1		
35	5,5	Eser	1,022	1	1	
36	5,0	Eser	1,011	1	1	
37	6,5	Negatif	1,008	1	1	
38	5,5	+	1,019	4	25	
39	5,0	Negatif	1,009		3	
40	7,0	Negatif	1,007	1		
41	5,0	Negatif	1,016	1	2	
42	7,0	Negatif	1,018	1	3	
43	6,0	+	1,019	6	1	
44	5,0	Negatif	1,019	1		
45	7,0	+	1,010	8	4	
46	7,0	++	1,005	9	1	
47	5,5	+	1,020	4	1	
48	5,0	Negatif	1,015	1	2	
49	7,5	Eser	1,020	1	2	
50	7,0	Negatif	1,020			
51	5,0	Negatif	1,021	1	3	
52	5,5	Negatif	1,007	1	1	
53	5,0	Negatif	1,005			
54	6,0	Negatif	1,007		1	
55	5,0	Negatif	1,013	1	1	
56	5,0	Negatif	1,018		1	
57	7,0	Negatif	1,016	1	3	
58	5,5	Negatif	1,016			
59	6,5	Negatif	1,016	1	5	
60	5,5	+	1,018	6	2	
61	7,0	Negatif	1,019	1		
62	5,0	Negatif	1,011		1	
63	7,0	Negatif	1,021			
64	7,0	Negatif	1,027	1	1	
65	6,5	Negatif	1,025	1		
66	5,0	Eser	1,016	2	4	

Ek E (devam). Mart ayı idrar örneklerinin bazı biyokimyasal parametre değerleri

Numune Kodu	pH	Kan	Dansite	Eritrosit	Lokosit	Lokosit Kümesi
67	5,5	Negatif	1,023	4	7	
68	7,5	Negatif	1,018	2	1	
69	5,5	Negatif	1,007	1	1	
70	5,0	Negatif	1,014		1	
71	6,0	Negatif	1,016	1	1	
72	5,0	Negatif	1,016	1	1	
73	6,5	Negatif	1,019	4	1	
74	5,5	Negatif	1,016	1		
75	6,0	Eser	1,013	2	1	
76	7,5	Negatif	1,023	1	1	
77	6,5	Negatif	1,022	1	2	
78	6,0	Negatif	1,015	1		
79	5,0	Negatif	1,018	1	1	
80	6,0	Negatif	1,021	1	1	
81	6,0	Negatif	1,019		1	
82	5,0	Negatif	1,009		1	
83	5,5	Negatif	1,010	1		
84	5,5	Negatif	1,008		1	
85	7,5	Negatif	1,010	1	1	
86	6,5	Negatif	1,017		1	
87	6,5	Negatif	1,013		1	
88	7,0	Negatif	1,009	1	1	
89	5,0	Negatif	1,012		46	14
90	6,0	Negatif	1,005		1	
91	5,0	Negatif	1,010	1	4	
92	6,0	Negatif	1,018	1	2	
93	5,0	Negatif	1,008	1	1	
94	5,5	Negatif	1,025		13	
95	5,0	Negatif	1,026	1	1	
96	5,5	Negatif	1,010		1	
97	6,5	Negatif	1,020	1	1	
98	5,0	+	1,022	2	1	
99	6,5	Negatif	1,014		1	
100	6,0	+	1,018	5	1	

Ek F (Tablo 17'nin devamı). Eylül ve mart aylarında gönüllülerden alınan idrar örneklerindeki trityum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyet	Yaş	Eylül ayı Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)	Mart ayı Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)
26	Erkek	27	2,447	10,729
27	Kadın	23	<MDA	4,064
28	Kadın	23	2,389	9,390
29	Kadın	25	<MDA	4,061
30	Kadın	27	3,715	24,745
31	Erkek	35	17,39	9,900
32	Erkek	34	10,767	<MDA
33	Erkek	33	15,851	5,302
34	Erkek	33	23,432	4,423
35	Erkek	33	8,251	8,060
36	Erkek	53	9,862	<MDA
37	Erkek	28	<MDA	11,456
38	Erkek	27	2,466	7,127
39	Kadın	30	4,587	<MDA
40	Erkek	30	<MDA	<MDA
41	Erkek	47	2,420	3,722
42	Kadın	43	<MDA	7,318
43	Kadın	38	7,562	7,318
44	Erkek	28	10,907	<MDA
45	Kadın	37	2,636	<MDA
46	Kadın	42	<MDA	<MDA
47	Kadın	32	17,921	2,623
48	Kadın	57	8,629	3,561
49	Kadın	38	19,860	5,782
50	Erkek	45	7,947	3,918
51	Kadın	29	11,168	3,067
52	Kadın	50	<MDA	<MDA
53	Kadın	50	<MDA	<MDA
54	Kadın	27	6,994	<MDA
55	Erkek	55	<MDA	3,568
56	Erkek	55	13,213	6,296
57	Kadın	29	4,644	4,122
58	Kadın	27	9,948	<MDA
59	Kadın	66	5,701	<MDA
60	Kadın	54	7,127	<MDA
61	Erkek	30	9,613	<MDA
62	Erkek	28	10,493	4,888

Ek F (devam). Eylül ve mart aylarında gönüllülerden alınan idrar örneklerindeki trityum konsantrasyonları

Örnek Kodu	Cinsiyet	Yaş	Eylül ayı Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)	Mart ayı Trityum Konsantrasyonu (Bq/L)
63	Erkek	22	9,992	5,310
64	Erkek	21	38,761	10,892
65	Erkek	32	6,945	22,896
66	Erkek	32	10,311	10,45
67	Kadın	28	7,733	3,835
68	Erkek	27	4,985	3,885
69	Erkek	25	10,826	27,912
70	Kadın	31	2,953	2,593
71	Erkek	36	10,946	3,854
72	Erkek	25	9,130	3,135
73	Kadın	35	<MDA	5,885
74	Erkek	25	4,868	7,515
75	Kadın	31	6,643	10,274
76	Erkek	25	7,423	6,351
77	Erkek	23	2,666	3,672
78	Erkek	25	2,443	<MDA
79	Erkek	29	6,843	4,525
80	Erkek	50	17,069	4,649
81	Erkek	30	7,852	<MDA
82	Erkek	37	11,514	<MDA
83	Erkek	30	10,985	<MDA
84	Erkek	31	19,433	<MDA
85	Erkek	27	16,968	<MDA
86	Erkek	29	24,966	<MDA
87	Erkek	24	<MDA	3,184
88	Kadın	33	12,374	<MDA
89	Kadın	25	<MDA	7,548
90	Kadın	32	32,243	<MDA
91	Erkek	26	9,248	3,208
92	Erkek	25	5,982	8,991
93	Kadın	40	15,024	<MDA
94	Erkek	24	<MDA	7,055
95	Erkek	39	36,538	10,341
96	Erkek	35	9,761	3,195
97	Erkek	36	<MDA	<MDA
98	Erkek	45	<MDA	6,261
99	Erkek	29	12,031	<MDA
100	Erkek	25	8,556	<MDA

Ek G. t dağılımı

df	α				
	0,05	0,025	0,02	0,01	0,005
1	6,314	12,710	15,890	31,820	63,660
2	2,920	4,303	4,849	6,965	9,925
3	2,353	3,182	3,482	4,541	5,841
4	2,132	2,776	2,999	3,747	4,604
5	2,015	2,571	2,757	3,365	4,032
6	1,943	2,447	2,612	3,143	3,707
7	1,895	2,365	2,517	2,998	3,499
8	1,860	2,306	2,449	2,896	3,355
9	1,833	2,262	2,398	2,821	3,250
10	1,812	2,228	2,359	2,764	3,169
11	1,796	2,201	2,328	2,718	3,106
12	1,782	2,179	2,303	2,681	3,055
13	1,771	2,160	2,282	2,650	3,012
14	1,761	2,145	2,264	2,624	2,977
15	1,753	2,131	2,249	2,602	2,947
16	1,746	2,120	2,235	2,583	2,921
17	1,740	2,110	2,224	2,567	2,898
18	1,734	2,101	2,214	2,552	2,878
19	1,729	2,093	2,205	2,539	2,861
20	1,725	2,086	2,197	2,528	2,845
21	1,721	2,080	2,189	2,518	2,831
22	1,717	2,074	2,183	2,508	2,819
23	1,714	2,069	2,177	2,500	2,807
24	1,711	2,064	2,172	2,492	2,797
25	1,708	2,060	2,167	2,485	2,787
26	1,706	2,056	2,162	2,479	2,779
27	1,703	2,052	2,150	2,473	2,771
28	1,701	2,048	2,154	2,467	2,763
29	1,699	2,045	2,150	2,462	2,756
30	1,697	2,042	2,147	2,457	2,750
40	1,684	2,021	2,123	2,423	2,704
50	1,676	2,009	2,109	2,403	2,678
60	1,671	2,000	2,099	2,390	2,660
80	1,664	1,990	2,088	2,374	2,639
100	1,660	1,984	2,081	2,364	2,626
1000	1,646	1,962	2,056	2,330	2,581
∞	1,640	1,960	2,054	2,326	2,576

ÖZGEÇMİŞ

Serdar DİZMAN, 10/06/1981 tarihinde Rize-Pazar'da doğdu. İlköğretimini 1994 yılında Pazar ilçesindeki İkiztepe İlköğretim Okulu'nda ve Ortaöğretimini 1997 yılında Pazar ilçesindeki Pazar Lisesi'nde tamamladı. 21/09/1998 tarihinde başladığı lisans eğitimini 22/06/2002 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde tamamladı. 2010 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü'nde başladığı doktora öğrenimini halen devam ettirmektedir. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi kurumunda öğretim elemanı olarak 2003 yılı itibariyle görev yapmaktadır. Orta seviyede İngilizce bilen Serdar Dizman, evli ve 2 çocuk babasıdır.

Bilimsel Çalışmaları ve Yayınları;

- Korkmaz Görür, F., Keser, R., Akçay, N., Dizman, S., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Radionuclides and heavy metals concentrations in Turkish market tea. Food Control, 22, 2065-2070.
- Korkmaz Görür, F., Keser, R., Dizman, S., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey. Desalination, 279, 135-139.
- Korkmaz Görür, F., Keser, R., Akçay, N., Dizman, S., As, N., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Radioactivity and heavy metal concentrations in food samples from Rize, Turkey. Journal of the Science of Food and Agriculture, 92(2), 307-312.
- Korkmaz Görür, F., Keser, R., Akçay, N., As, N., Dizman, S., 2012.** Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in Turkish market tea. Iranian Journal of Radiation Research, 10(2), 67-72.
- Korkmaz Görür, F., Keser, R., Akçay, N., Dizman, S., 2012.** Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey. Chemosphere, 87, 356-361.
- Dizman, S., Yılmaz, A., Keser, R., 2015.** Determination of tritium concentrations in humans before the development of a nuclear power plant in Turkey. Isotopes in Environmental and Health Studies, 51(3), 478-484.
- Altekin, E., Dizman, S., Keser, R., 2015.** Radioactivity and heavy metal concentrations in various honey samples. Journal of Environmental Protection and Ecology, 16(2), 716-722.

- Keser, R., Dizman, S., Korkmaz Görür, F., Okumuşoğlu, N.T., 2006.** Rize ve İlçelerindeki Gama Radyoaktivitesi Düzeyi, 1. Rize Sempozyumu, Rize/Türkiye, 5 Kasım 2006.
- Keser, R., Dizman, S., Korkmaz Görür, F., Okumuşoğlu, N.T., 2006.** Measurement of Background Gamma Radioactivity Level in Rize and Its Towns. International Symposium on In-situ Nuclear Metrology as a Tool for Radioecology (INSINUME), Kuşadası/Turkey, 06-08 September 2006, 102.
- Dizman, S., Akçay, N., Korkmaz Görür, F., Keser, R., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Rize İli Alabalık Çiftliklerinde Üretilen Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Karadeniz Alabalığının (*Salmo trutta labrax*) Deri ve Kas Dokularındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi. 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.
- Korkmaz Görür, F., Akçay, N., Keser, R., Dizman, S., Karayunus, B., As, N., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in Turkish market tea. 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.
- Akçay, N., Korkmaz Görür, F., Keser, R., As, N., Dizman, S., Karayunus, B., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Radionuclides and heavy metals concentrations in Turkish market tea. 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.
- Keser, R., Karayunus, B., Korkmaz Görür, F., Akçay, N., Dizman, S., As, N., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Determination of radioactivity levels of soil samples and the excess of lifetime cancer risk in Rize province, Turkey. 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.
- Karayunus, B., Akçay, N., As, N., Korkmaz Görür, F., Keser, R., Dizman, S., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Radioactivity and heavy metal concentrations in food samples from Rize, Turkey. 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.
- Korkmaz Görür, F., Dizman, S., Keser, R., As, N., Akçay, N., Karayunus, B., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey. 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.
- As, N., Dizman, S., Karayunus, B., Akçay, N., Korkmaz Görür, F., Keser, R., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in The Black Sea Region of Turkey. 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.
- Akçay, N., Dizman, S., Korkmaz Görür, F., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Determination of natural and artificial radionuclides concentration after The Fukushima accident, in Rize. 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.

- Dizman, S., Keser, R., Korkmaz Görür, F., 2012.** Gamma and XRF analysis of Pileki cave stone and soil in Rize, Turkey. 29th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 5-8 September 2012.
- Akçay, N. and Dizman, S., 2012.** Monitoring of heavy metals in some cigarette brands in Turkey using EDXRF spectrometry. 29th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 5-8 September 2012.
- Altekin, E., Dizman, S., Akçay, N., Korkmaz Görür, F., Keser, R., 2013.** Radioactivity and heavy metal concentrations in various honey samples. 30th International Physics Congress, İstanbul/Turkey, 2-5 September 2013.
- Dizman, S., İpek, N., Keser, R., 2014.** Tritium levels in bottled water sold in Rize, Turkey. 31th International Physics Congress, Muğla/Turkey, 21-24 July 2014.
- Dizman, S., Yılmaz, A., Keser, R., 2014.** Determination of tritium levels in urine samples of general Rize public, Turkey. 31th International Physics Congress, Muğla/Turkey, 21-24 July 2014.
- Dizman, S., Yılmaz, A., Keser, R., 2014.** İnsanlardaki trityum düzeylerinin mevsimsel değişimi ve yıllık efektif doz oranları.. 8th International Conference on Luminescence and ESR Dosimetry, Ankara/Turkey, 27-29 August 2014.
- Dizman, S., İpek, N., Keser, R., 2014.** Tritium levels in bottled mineral waters sold in Rize, Turkey. 8th International Conference on Luminescence and ESR Dosimetry, Ankara/Turkey, 27-29 August 2014.
- Dizman, S., Yılmaz, A., Keser, R., 2015.** İdrar örneklerinde trityum konsantrasyonu ile bazı biyokimyasal parametreler arasındaki ilişkinin araştırılması. XV. Ulusal Medikal Fizik Kongresi, Trabzon/Türkiye, 16-19 Mayıs 2015.
- İpek, N., Fındıklı Kağanoğlu, Ç., Dizman, S., Keser, R., 2015.** Tritium analysis in sea water samples along the coastline of Rize. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union, İstanbul/Turkey, 24-27 August 2015.
- Fındıklı Kağanoğlu, Ç., Dizman, S., İpek, N., Keser, R., 2015.** Tritium concentrations in Fırtına and Hemsin River Waters in Rize, Turkey. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union, İstanbul/Turkey, 24-27 August 2015.
- Fındıklı Kağanoğlu, Ç., Dizman, S., İpek, N., Keser, R., 2015.** Investigation of relationship between altitude and tritium concentration in river waters. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union, İstanbul/Turkey, 24-27 August 2015.
- Dizman, S., Yılmaz, A., Keser, R., 2015.** Investigation of Relationship Between Density and Tritium Concentration in Urine Samples. 9th International Conference on Luminescence and ESR Dosimetry, Antalya/Turkey, 2-4 September 2015.

Dizman, S., Keser, R., Yilmaz, A., Cakir, B., 2015. A comparison of efficiency methods for determination of tritium concentration in biological samples by liquid scintillation counter. 1th International Conference on Environmental Science and Technology, Sarajevo/Bosnia and Herzegovina, 9-13 September 2015.

İpek, N., Dizman, S., Fındıklı Kağanoğlu, Ç., Keser, R., 2015. Relationship with altitude and tritium activity levels of ikizdere river waters in Rize, Turkey. 1th International Conference on Environmental Science and Technology, Sarajevo/Bosnia and Herzegovina, 9-13 September 2015.