

Türkiye’de Nükleer Enerji Öncesi Trabzon İlinde Yaşayan Bazı İnsanlarda Tritiyum Konsantrasyonları

Serdar DİZMAN^{1*}

ÖZET: Çalışma, Türkiye’nin kuzey doğusunda ve Karadeniz sahilinde yer alan Trabzon ilinde gerçekleştirilmiştir. Trabzon ilinin merkez ilçesinde 317 520 kişi yaşamaktadır. İnsanlardaki trityum konsantrasyonu, idrarlarındaki trityum aktivite konsantrasyonunun ölçülmesi suretiyle belirlenir. Bu kapsamda, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından belirlenen hanelerde yaşayan 100 katılımcıdan idrar örnekleri alındı ve analiz edildi. Örneklerdeki trityum konsantrasyonları sıvı sintilasyon sayacı (LSC) ile belirlendi. Katılımcıların yaşı 18 ile 65 arasında değişmekte olup, yaş ortalaması 34.99’dur. Katılımcıların idrar örneklerinde ortalama trityum konsantrasyonu 13.37 ± 2.33 Bq L⁻¹, maksimum konsantrasyon 33.23 Bq L⁻¹ olarak bulundu. Uygulanan metodun MDA’sı 2.59 Bq L⁻¹ olarak belirlendi. 23 örneğin (%23) trityum konsantrasyonu MDA’nın altında tespit edildi. Kadın ve erkeklerin idrar örneklerinde ortalama trityum konsantrasyonları sırasıyla 13.45 ± 2.39 Bq L⁻¹ ve 13.32 ± 2.30 Bq L⁻¹ olarak bulundu. Ayrıca, yıllık etkin doz oranları kadınlar için 11.13 nSv ve erkekler için 12.78 nSv olarak hesaplandı. Hesaplanan bu yıllık etkin doz oranları, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) tarafından önerilen değerlerden oldukça düşüktür.

Anahtar Kelimeler: Tritiyum, insan, yıllık etkin doz, Trabzon.

Tritium Concentrations in Some People Living in Trabzon Ahead of Nuclear Energy in Turkey

ABSTRACT: The study was conducted in Trabzon province wherein north-east Turkey and situated on the Black Sea coast. The population of Trabzon city center is 317 520 people. The tritium concentration in the human body is estimated by measuring the activity concentration of tritium in urine. In this context, urine samples was taken and analyzed from 100 participants living in households determined by Turkey Statistical Institute. Tritium concentrations in the samples were measured by the liquid scintillation counter (LSC). The ages of participants range from 18 to 65, with the average is 34.99. The average tritium concentration in their urine samples was found as 13.37 ± 2.33 Bq L⁻¹ and the maximum 33.23 Bq L⁻¹. The MDA for this method was 2.59 Bq L⁻¹. The tritium concentrations of 23 samples (23%) were below of the MDA. The average tritium concentrations in urine samples of females and males were found as 13.45 ± 2.39 Bq L⁻¹ and 13.32 ± 2.30 Bq L⁻¹, respectively. Also, the annual effective dose rates were calculated as 11.13 nSv for females and 12.78 nSv for males. Calculated annual effective dose rates are quite lower than the recommended values by International Commission on Radiological Protection (ICRP).

Keywords: Tritium, people, annual effective dose, Trabzon.

¹Serdar DİZMAN (Orcid ID: 0000-0002-6511-9526), Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Rize, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Serdar DİZMAN, e-mail: serdar.dizman@erdogan.edu.tr

ETİK KURUL ONAYI / ETHICS COMMITTEE APPROVAL: Bu makalede yer alan insan deneyi için “Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmaları Etik Kurulu Başkanlığı”nın Tarih: 05.10.2012, Dosya No: 2012-145 ve Karar No: 2012/139 sayılı kararı ile Etik Kurul Onayı alınmıştır.

Geliş tarihi / Received: 26-11-2019

Kabul tarihi / Accepted: 05-01-2020

GİRİŞ

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, Güneş ve yıldızlardan gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyonlardan ileri gelmektedir. Doğal radyasyonun yanı sıra hızla ilerleyen teknolojinin getirdiği insan kaynaklı (yapay) radyasyon kaynakları çevredeki radyasyon konsantrasyonlarını arttırmaktadır. İnsan kaynaklı yapay radyasyon kaynakları çevreye kontamine olmadan önce insanlardaki ve çevredeki radyasyon düzeylerinin (background) belirlenmesi son derece önemlidir.

Tritiyum, hidrojenin radyoaktif bir izotopudur ve maksimum enerjisi 18.6 keV olan düşük enerjili bir beta parçacığı yayınlar (UNSCEAR, 1982). Tritiyumun yarı ömrü 12.35 yıldır. Tritiyum atmosferin üst tabakalarındaki kozmik nötronların azot atomlarıyla reaksiyona girmesi sonucu doğal olarak, insan aktiviteleri sonucunda ise yapay olarak oluşur. Özellikle nükleer teknolojiye insan kaynaklı üretilen ve ayrıca doğal yolla oluşan radyoaktif tritiyum, 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. Tritiyum, atmosfere salındığında hızlı bir şekilde oksitlenerek, tritiumlanmış su (HTO veya T2O) formuna geçer. HTO, insan sağlığı için zararlı olan tritiyum formlarından biridir ve insanlarda iç ışınlanmaya sebep olur (Okada ve Momoshima, 1993; Hill ve Johnson, 1993). HTO, su ve süt gibi sıvı gıdalarla, yiyeceklerle, havadan gaz formu solunumla ve ayrıca deriden soğurularak insan vücuduna girebilir ve tüm vücutta dolaşım sağlayabilir (Belloni ve ark., 1983; Cawley ve ark., 1985; Hill ve Johnson, 1993).

Nükleer santrallerin rutin çalışmalarında çevreye tritiyum 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 tritiyum miktarının ortalamanın üzerine çıktığı yapılan araştırmalarla gösterilmiştir (Matsumoto ve ark., 2013). Ülkemizde de, biri Mersin diğeri Sinop olmak üzere iki adet nükleer santral kurulumu için anlaşmalar imzalanmıştır. Kurulacak olan her iki nükleer santralde basınçlı su reaktörü tipinde olacaktır (ETKB, 2012; ETKB, 2013). Mersin Akkuyu’da kurulacak olan reaktörün ilk ünitesinin 2023 yılında, diğeri üç ünitenin ise birer yıl arayla devreye girmesi planlanmaktadır. Bu nedenle, ülkemizde kurulması planlanan nükleer santrallerde çalışacak olan insanların aldığı tritiyum düzeylerinin, santralden uzakta yaşayan insanlarla karşılaştırılması konusunda mutlaka verilere ihtiyaç duyulacaktır. 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.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’nin nükleer enerjiye geçmeden önce Trabzon ilinde yaşayan bazı insanların idrar örneklerinde tritiyum radyoizotopunun düzeylerini belirlemek ve örnek alınan insanların yıllık olarak alacağı etkin doz oranlarını hesaplamaktır. Ayrıca, hesaplanan yıllık etkin doz oranlarını ICRP (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından önerilen referans değerlerle mukayese ederek, radyasyon güvenliği açısından değerlendirmektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın etik kurul onayı, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmaları Etik Kurulu Başkanlığı’ndan 05.10.2012 tarih ve 2012/139 nolu kararla alınmıştır.

Çalışma Bölgesi

Trabzon, Türkiye’nin kuzey doğusunda, Karadeniz sahili kenarında yer alan bir ildir (Şekil 1). Trabzon ili $38^{\circ} 30'$ – $40^{\circ} 30'$ doğu meridyenleri ile $40^{\circ} 30'$ – $41^{\circ} 30'$ kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Trabzon ilinin alanı 6934 km^2 'dir. Trabzon’un merkez ilçe nüfusu 317 520 olup, bu nüfusun 155 450’si erkek, 162 070’i ise kadındır (TÜİK, 2019). Trabzon nüfus sıralamasına göre Türkiye'nin 28. büyük şehridir.



Şekil 1. Türkiye haritasında Trabzon ilinin konumu ve il merkezi

Örneklerin Toplanması ve Ölçüme Hazırlanması

Çalışmada, idrar örneği alınacak hane adresleri TÜİK tarafından rastgele belirlenmiş olup, her haneden bir kişi çalışmaya dâhil edilmiştir.

Trabzon ilinde yaşayan ve yaşları 18 ile 65 arasında değişen 100 gönüllüden 100 mL’lik polietilen kaplarla 50 mL idrar örneği alındı. Alınan örnekler hızlı bir şekilde laboratuvara ulaştırıldı. İdrar örneklerinden 25 mL alındı ve üzerine 1.25 g aktif karbon eklenerek yaklaşık 5 dk karıştırıldı. Karışım bir süre bekletildi ve ardından süzülerek temiz idrar örneği elde edildi. Filtre edilen örnekler hem idrarın rengini hem de içindeki bazı kimyasal maddeleri yok etmek için destile edildi. Destile örneklerden ayarlı pipetle 10 mL alınarak plastik ölçüm vialleri (Zinsser Analytics, 20 ml) içerisine aktarıldı ve üzerine 10 mL de sintilasyon kokteyli (Ultima Gold LLT, Perkin Elmer Inc) eklenerek ölçüm vialleri hazırlandı. Hazırlanan vialler homojen bir karışım olması için yavaş bir şekilde yaklaşık 1 dk kadar çalkalandı ve vialler, kimyasal etkileşimlerin neden olduğu istenmeyen lüminesans etkilerini yok etmek için karanlık bir ortamda 2 gün saklandı (Puhakainen ve Heikkinen, 2008). Ayrıca, viallerin kapak dışındaki tüm dış yüzeyi kirliliklerin neden olacağı kontaminasyonu önlemek için saf alkollü ve iz bırakmayan bir bezle silindi. Background örneği, trityum içermeyen ultra saf sudan hazırlandı.

Trityum Konsantrasyonlarının Hesaplanması

Ölçümler, Perkin Elmer Tricarb 2910 TR Sıvı Sintilasyon Sayacı ile gerçekleştirildi. Sıvı sintilasyon sayım yöntemi çevresel ve biyolojik örneklerde trityumun belirlenmesi için en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Ölçüm süresi 60 dk ve 10 tur olmak üzere toplamda 600 dk olarak ayarlandı. Sıvı

sintilasyon sayacında ölçülen örneklerin sonuçları count per minute (cpm) biriminde alındı ve bu sonuçlardan idrar örneklerindeki trityum aktivite konsantrasyonu Eşitlik 1 kullanılarak hesaplandı.

$$A(Bq L^{-1}) = \frac{S - B}{60 \cdot \varepsilon \cdot V} \quad (1)$$

formülde, S örneğin ortalama sayım hızı (cpm), B background örneğinin ortalama sayım hızı (cpm), ε sayım verimi, V örneğin hacmi (litre) ve 60 cpm biriminden cps birimine dönüşüm katsayısıdır.

Sayım verimini hesaplamak için sertifikalı trityum standart kaynağından (Eckert & Ziegler, P.O. No.: P700723, Kaynak No: 1676–44) DWS standart vialı hazırlandı ($4124.90 \pm 132.50 Bq L^{-1}$). DWS standart vialinin ölçüm sonucu temelinde uygulanan analiz yönteminin sayım verimi Eşitlik 2 kullanılarak hesaplandı.

$$\varepsilon = \frac{DWS_m - B}{60 \cdot DWS_A} \quad (2)$$

formülde, DWS_m DWS standardının ortalama sayım hızı (cpm), B background örneğinin ortalama sayım hızı (cpm) ve DWS_A DWS standardının ölçüm tarihindeki aktivitesidir (dps).

Ölçüm belirsizliği %95 güven düzeyinde değerlendirildi. Bu çalışmada uygulanan ölçüm metodunun minimum dedekte edilebilir aktivitesi (MDA) Eşitlik 3 kullanılarak hesaplandı (Currie, 1968).

$$MDA (Bq L^{-1}) = \frac{3.29 \sqrt{\frac{B}{t_s} + \frac{B}{t_b} + \frac{2.71}{t_s}}}{60 \cdot \varepsilon \cdot V} \quad (3)$$

formülde, B background örneğinin ortalama sayım hızı (cpm), t_s örneğin sayım süresi (dakika), t_b background örneğinin sayım süresi (dakika), ε sayım verimi ve V örnek hacmidir (litre). Yıllık etkin doz oranları Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) tarafından tavsiye edilen referans değerler ve ölçüm sonuçları temelinde Eşitlik 4 kullanılarak hesaplandı (ICRP, 1997).

$$H (Sv) = 0.73 \times M \times EDK \times A \quad (4)$$

formülde, M vücut ağırlığı (kg), EDK etkin doz katsayısı ($1.8 \times 10^{-11} Sv Bq^{-1}$), A idrarda bulunan trityum konsantrasyonu ($Bq L^{-1}$) ve 0.73 vücuttaki su kütlelerinin dönüşüm katsayısıdır.

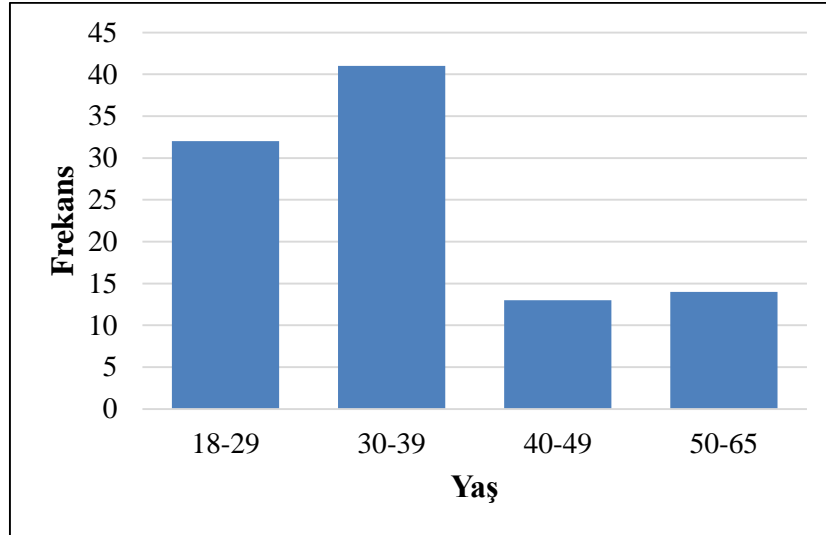
İstatistiksel Analizler

İstatistiksel analizlerde SPSS yazılımı (IBM, sürüm 21) kullanıldı ve istatistiksel olarak $p < 0.05$ düzeyi anlamlı kabul edildi. Cinsiyete göre trityum aktivite konsantrasyonları arasında fark olup olmadığı, Mann-Whitney U testi ile değerlendirilmiştir.

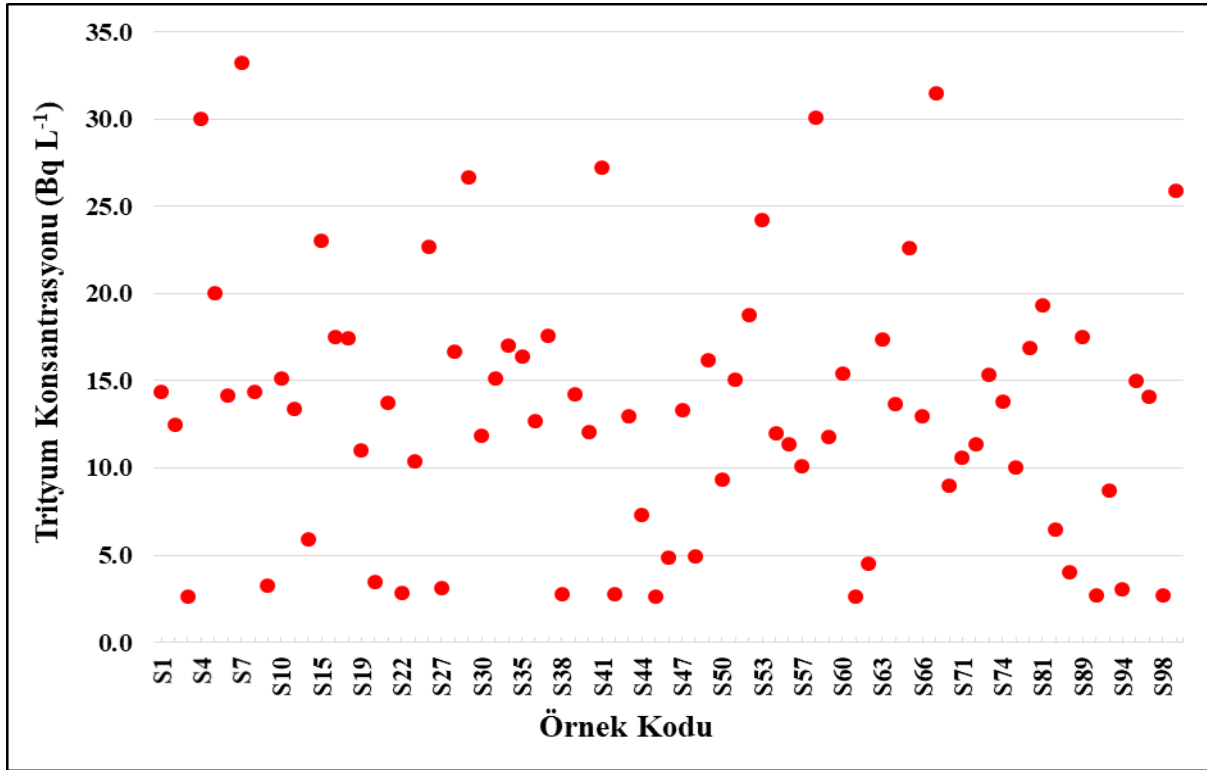
BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmaya katılarak idrar örneği veren 100 gönüllünün 58’i erkek (%58), 42’si kadındır (%42). Araştırmaya katılan gönüllülerin yaşları 18 ile 65 arasında değişmekte olup yaş ortalaması 34.99 olarak hesaplandı. Bu gönüllülerin yaşları 18-29, 30-39, 40-49 ve 50-65 olarak yaş gruplarına bölündüğünde, oluşan frekans dağılımı Şekil 2’de gösterilmektedir.

Araştırmaya katılanlardan alınan idrar örneklerinde bulunan trityum aktivite konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 3’de verilmektedir. İdrar örneklerinde belirlenen trityum aktivite konsantrasyonları $< MDA$ ile $33.23 Bq L^{-1}$ aralığında değişmekte olup, ortalama trityum konsantrasyonu $13.37 \pm 2.33 Bq L^{-1}$ olarak bulundu.



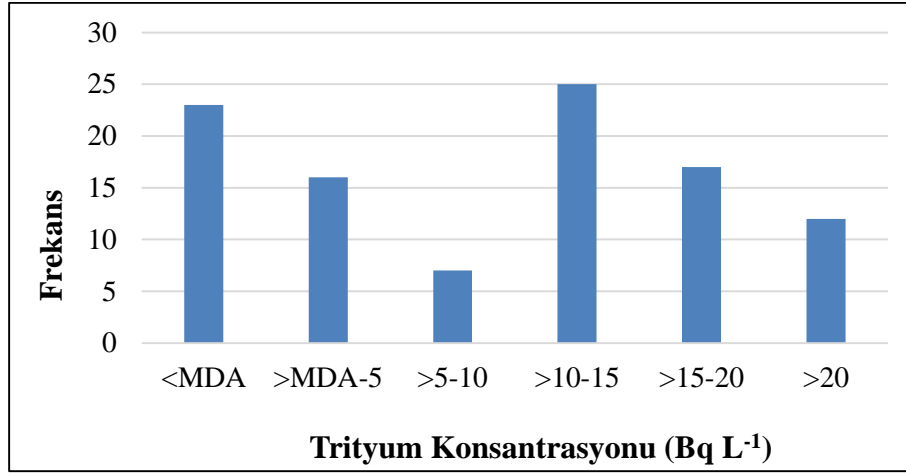
Şekil 2. Katılımcıların yaşlarının frekans dağılımı



Şekil 3. İdrar örneklerinde trityum konsantrasyonlarının dağılımı

Uygulanan analiz yönteminin MDA'sı 2.59 Bq L^{-1} olarak hesaplandı ve idrar örneklerinin 23 tanesinin (%23) trityum aktivite konsantrasyonu MDA'nın altında kaldı. İdrar örneklerindeki trityum aktivite konsantrasyonları kategorik olarak gruplandırıldığında, elde edilen frekans dağılımı Şekil 4'de gösterilmektedir.

Kadınların idrar örneklerinde ortalama trityum konsantrasyonu $13.45 \pm 2.39 \text{ Bq L}^{-1}$ ve maksimum konsantrasyon 33.23 Bq L^{-1} olarak bulundu. Erkeklerin idrar örneklerinde ortalama trityum konsantrasyonu $13.32 \pm 2.30 \text{ Bq L}^{-1}$ ve maksimum konsantrasyon 31.48 Bq L^{-1} olarak bulundu. Kadınların idrar örneklerindeki ortalama trityum konsantrasyonu erkeklerinkinden biraz daha yüksek bulundu. Uygulanan istatistiksel test sonucunda, cinsiyete göre trityum aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir fark olmadığı ($p > 0.05$) bulundu.



Şekil 4. Tritiyum konsantrasyonlarının frekans dağılımı

İnsanlar tarafından vücuda alınan trityumun, içme sularının dışında yiyecek ve diğer kaynaklardan alındığı bilinmektedir. 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). Bunun yanında, araştırmaya katılan gönüllüler trityum içeren boyalardaki trityumlanmış organik bileşikleri solumayla veya trityum barındıran ve kendi kendine parıldayan ürünlerin kullanılması neticesinde trityuma maruz kalmış olabilirler.

ICRP 89 raporunda, kadınlar ve erkekler için ortalama vücut ağırlıkları sırasıyla 60 ve 73 kg olarak verilmektedir. Eşitlik 4’te ilgili değerler yerine konulduğunda, kadınlar ve erkekler için ortalama yıllık etkin dozlar sırasıyla 11.13 ve 12.78 nSv olarak bulundu. Erkeklerin ortalama yıllık etkin doz oranı, kadınların ortalama yıllık etkin doz oranından daha yüksektir. Bununla birlikte vücutta trityum için müsaade edilen yıllık etkin doz oranı 40 000 nSv’dir (ICRP, 1994). Cinsiyete göre bulunan bu yıllık etkin doz oranları müsaade edilen doz limitlerinden oldukça düşüktür. Dolayısıyla, bu çalışmaya katılan gönüllüler için trityum açısından herhangi bir risk olmadığı söylenebilir.

Dünyanın farklı ülkelerinde ve ülkemizde idrar örneklerinde trityum düzeyini belirlemek üzerine yapılmış çalışmalar mevcuttur. İdrar örneklerinde trityum düzeyinin belirlendiği bu çalışma ile ülkemiz ve farklı ülkelerde yapılmış olan çalışmaların ortalama trityum konsantrasyon değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Trabzon ilinde yaşayan insanların idrar örneklerinin ortalama trityum konsantrasyonu, İtalyan ve Türkiye-Giresun halkının idrar örneklerindeki ortalama trityum konsantrasyonundan düşük olmakla birlikte Finlandiya, Kore, Çin ve Türkiye-Rize halkının idrar örneklerindeki ortalama trityum konsantrasyonundan ise yüksektir. Çizelge 1’de görüldüğü üzere, ülkeler arasındaki bu trityum konsantrasyon farklılığı, farklı ekosistemlerde çevresel trityum konsantrasyonunun değişkenliğiyle ve davranışıyla açıklanabilir.

Çizelge 1. Bu çalışmada bulunan trityum konsantrasyonlarının literatür değerleriyle karşılaştırılması

Ülkeler	Tritiyum Konsantrasyonu (Bq L ⁻¹)	Referans
İtalya	28.86	Belloni ve ark., 1983
Finlandiya	2.55	Puhakainen ve Heikkinen, 2008
Kore	2.80	Yoon ve ark., 2013
Çin	3.53	Shen ve ark., 2015
Türkiye-Giresun	14.35	Dizman ve ark., 2018
Türkiye-Rize	4.66	Dizman ve ark., 2015
Türkiye-Trabzon	13.37	Bu çalışma

SONUÇ

Trabzon’da yaşayan 100 katılımcıdan alınan idrar örneklerinde ortalama trityum konsantrasyonu $13.37 \pm 2.33 \text{ Bq L}^{-1}$ ve maksimum konsantrasyon 33.23 Bq L^{-1} olarak bulundu. Sonuçların %23’ünün (23 örnek) MDA’nın altında olduğu görüldü. Kadınlar ve erkeklerin idrar örneklerindeki trityum konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı belirlendi ($p>0.05$). Elde edilen sonuçlar ülkemizde ve farklı ülkelerde yapılan çalışmalarla kıyaslandı. Kadınlar ve erkekler için yıllık etkin doz oranları hesaplandı ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen değerlerle karşılaştırıldı. Hesaplanan bu yıllık etkin doz oranlarının müsaade edilen doz limitlerinin oldukça altında olduğu tespit edildi. Sonuç olarak, bu çalışmaya katılan gönüllülerde trityum açısından herhangi bir risk olmadığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından “214S221” kodlu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Belloni P, Clemente GF, Di Pietro S, Ingra 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: 109–113.
- Cawley CN, Lewis BA, Cannon LA, 1985. Possible parameters in the urinary excretion of tritium. *Transactions of the American Nuclear Society*, 50: 39–44.
- Currie LA, 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Analytical Chemistry*, 40: 586–593.
- Dizman S, Keser R, Yılmaz A, Çakır B, 2018. Giresun ilinde yaşayan insanlarda trityum düzeyleri. *Nature Sciences*, 13(1): 1-6.
- 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: 478-484.
- ETKB, 2012. Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 1: 1-61.
- ETKB, 2013. Nükleer Güç Santralleri ve Türkiye. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 2: 1-28.
- Etnier EL, Travis CC, Hetrick DM, 1984. Metabolism of organically bound tritium in man. *Radiation Research*, 100: 487–502.
- Hill RL, Johnson JR, 1993. Metabolism and dosimetry of tritium. *Health Physics*, 65: 628–647.
- ICRP, 1999. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. *International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 82, Ann. ICRP 29, Ottawa.*
- ICRP, 1997. Individual monitoring for internal exposure of workers. *International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 78, Ann. ICRP 27, Ottawa.*
- ICRP, 1994. Limits for intakes of radionuclides by workers. *International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 30, Ann. ICRP 2, Ottawa.*
- Makhijani A, Makhijani A, 2009. Radioactive Rivers and Rain: Routine Releases of Tritiated Water from Nuclear Power Plants. *Science for Democratic Action*, 16: 1-10.
- 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, Aggarwal P, 2013. Tritium in Japanese precipitation following the March 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident. *Science of the Total Environment*, 445: 365-370.
- Okada S, Momoshima N, 1993. Overview of tritium characteristics, sources, and problems. *Health Physics*, 65: 595–609.
- Puhakainen M, Heikkinen T, 2008. Tritium in the urine in Finnish people. *Radiation Protection Dosimetry*, 128: 254–257.

- Shen BM, Ji YQ, Tian Q, Shao XZ, Yin LL, 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: 888–894.
- TÜİK, 2019. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt sistemi. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- UNSCEAR, 1982. Sources and Effects of Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. Report to the General Assembly with Annexes, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.
- Yoon S, Ha WH, Lee SS, 2013. Tritium analysis of urine samples from the general Korean public. *Applied Radiation and Isotopes*, 81: 276–278.