Maden Tetkik ve Arama Dergisi

http://dergi.mta.gov.tr



Güneybatı Nijerya Odo Oba'da çiftçilerin radyasyona maruz kalma risklerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Statistical assessment of radiation exposure risks of farmers in Odo Oba, Southwestern Nigeria

Theophilus Aanuoluwa ADAGUNODO[a,*], Lukman Ayobami SUNMONU[b], Moruffdeen Adedapo ADABANIJA[c], Maxwell OMEJE[a], Oluwole Akinwumi ODETUNMİBİ[e] ve Victor IJEH[f]

[a] *Covenant Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ota, Ogun Eyaleti, Nijerya orcid.org/0000-0001-7810-3323*
[b] *Ladoke Akintola Teknoloji Üniversitesi, Teorik ve Uygulamalı Fizik Bölümü, Ogbomoso, Oyo Eyaleti, Nijerya. orcid.org/0000-0002-4305-8363*
[c] *Ladoke Akintola Teknoloji Üniversitesi, Yer Bilimleri Bölümü, Ogbomoso, Oyo Eyaleti, Nijerya. orcid.org/0000-0002-3737-0350*
[d] *Covenant Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ota, Ogun Eyaleti, Nijerya. orcid.org/0000-0001-9124-1093*
[e] *Covenant Üniversitesi, Matematik Bölümü, Ota, Ogun Eyaleti, Nijerya. orcid.org/0000-0003-1395-579X*
[f] *Ladoke Akintola Teknoloji Üniversitesi, Teorik ve Uygulamalı Fizik Bölümü, Ogbomoso, Oyo Eyaleti, Nijerya. orcid.org/0000-0002-1649-6915*

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler: Radyasyon maruziyeti, Çiftçilerin maruz kalma riskleri, İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi, Radyolojik riskler, İstatistiksel değerlendirme.

ÖZ

Çevrelerindeki iyonize radyasyona aşırı maruz kalmanın zehirleyici riskleri, bilim adamları için büyük bir endişe kaynağıdır. Çiftçilerin, radyoaktif çekirdeklere maruz kalmalarının radyolojik risklerini belirlemek için Güneybatı Nijerya'daki Odo Oba'da bulunan on (10) çiftlik bölgesinden rastgele seçilmiş toprak örneklerinde toryum, uranyum ve potasyum radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı incelenmiştir. Toryum, potasyum ve uranyumun radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla 11.37 ile 101.91 Bq kg^{-1}, 788.76 ile 1693.30 Bq kg^{-1} ve 12.35 ile 50.64 Bq kg^{-1} arasında değişmektedir. Uranyumun küresel ortalamanın altına düşmesine rağmen, toryum ve potasyumun tahmini ortalaması, küresel ortalamadan 1.5 ve 2.7 kat fazladır. Radyoaktivite oranlarının tahmin edilmesi, çalışma alanında uranyumun azalıp ve toryumun zenginleştiğini göstermiştir. Tahmin edilen radyolojik riskler, Doz Oranı (DO), Yıllık Etkin Doz (YED), Yıllık Gonadal Eşdeğer Doz (YGED), Ömür Boyu Aşırı Kanser Riski (ÖAKR) ve Gama Işıması Tehlike İndeksinin (Iγr) ortalama değerlerinin küresel ortalamanın sırasıyla 1,42, 1,43, 2,04, 1,24 ve 1,36 katı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, Harici Radyasyon Tehlike İndeksi (H_{Ext}) ortalaması, global ortalamanın altına düşmüştür. Tanımsal analiz, analiz edilen değişkenlerin % 92,3'ünün pozitif eğrilik gösterdiğini, % 69'unun da kürtosisinin pozitif olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, veri kümeleri arasındaki korelasyonları açıklamak için Pearson korelasyonu, Faktör Analizi (FA), Hiyerarşik Küme Analizi (HKA) gibi çok değişkenli analizler kullanılmıştır. Çok değişkenli analizden, radyolojik tehlikelerin, doğal olarak oluşan üç radyonüklid (yani, toryum, uranyum ve potasyum) katkısının bir sonucu olarak ortaya çıktığı doğrulanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, örneklenen lokasyonların çiftçiler için kirlenmiş bölgeler olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Geliş Tarihi: 26.02.2018
Kabul Tarihi: 09.07.2018

Keywords: Radiation exposure, Farmers' exposure risks, Inductively coupled plasma mass spectrometry, Radiological risks, Statistical assessment.

ABSTRACT

The toxicity risks of being over exposed to ionizing radiation in the environments are of great concern to environmental and health scientists. The distribution of radioactivity concentrations of thorium, uranium and potassium were studied in randomly selected soil samples from ten (10) farm locations in Odo Oba, southwestern Nigeria in order to determine the radiological risks of farmers' exposure to radionuclides. The mean estimation of thorium and potassium are greater than the

Atıf Bilgisi: Adagunodo, T. A., Sunmonu, L. A., Adabanija, M. A., Omeje, M., Odetunmibi, O. A., Ijeh, V. 2019. Statistical assessment of radiation exposure risks of farmers in Odo Oba, Southwestern Nigeria. Bulletin of Mineral Research and Exploration, 159, 205-222. *http://dx.doi.org/10.19111/bulletinofmre.495321*

** Başvurulacak yazar: Theophilus Aanuoluwa ADAGUNODO, theophilus.adagunodo@covenantuniversity.edu.ng*

global average by factors of 1.5 and 2.7, while that of uranium fall below the global average. The estimation of radioactivity ratios showed a depletion of uranium and enrichment of thorium in the study area. Further analysis on the radioelements (that is, thorium, uranium and potassium) showed that 83% of the estimated radiological risks are above the global average. The multivariate analyses involving Pearson's correlation, Factor Analysis, Hierarchical Cluster Analysis were also used to explain the correlations among the data sets. It was affirmed from the multivariate analysis that the radiological hazards occur as a result of contributions from the three naturally occurring radionuclides. The values obtained in this study revealed that the sampled locations are contaminated zones for farmers.

1. Giriş

Toprak, ilksel ve/veya doğal olarak mevcut olan kozmojenik radyonüklidlerin bir sonucu olarak radyoaktiftir. Radyonüklidler, toprak kaynaklı fotosentez ve su emiliminin yanı sıra doğal radyoaktif elementlerden olan potasyum (^{40}K), uranyum, toryum ve radyojenik izotoplar aracılığıyla toprağa ulaşırlar. İlksel süreç, radyoaktif karbon (karbon-14) ve radyoaktif hidrojenin (trityum) atmosferdeki kozmik ışınlar etkisiyle oluşmasıyla başlar, daha sonraki süreçte yeryüzüne düşerler. Yeryüzüne düşmeleriyle birlikte, oluşan toprağın yapısına katılırlar. Doğada radyoaktif olarak kirlenmiş bir alanda gerekli süreden daha fazla kalmak, solunan radyonüklidlerin izin verilen sınırdan daha fazla olabileceğinden dolayı, insan sağlığı için tehlikeli olabilir (ATSDR, 1990). İnsanlar, ortamdaki radyoaktif kimyasallara (solunum, içme, yeme veya radyoaktif bileşenli sigara maddeleri), fiziksel temas (deri gibi) yoluyla veya endüstriyel kazalar veya tehlikeli atık alanlarında, yüksek konsantrasyonlarda radyoaktif kimyasallar içeren yerlere çok yakın olabilirler. Tehlikeli kimyasallara zehirlilik maruziyetini belirleyen faktörlerden bazıları; doz, maruz kalma şekli, maruz kalınan kimyasalların sayısı ve bireysel özelliklerdir (örneğin yeme alışkanlıkları, cinsiyet, yaş, sağlık durumu, aile özellikleri ve yaşam tarzı gibi) (ATSDR, 1990). Nijeryalı çiftçiler genellikle ilkel (rençper) çiftçiler olarak adlandırılır. Bunun nedeni, Nijerya'daki makinalaşma oranının FAO (2013) tarafından önerilen 1,5 hp/hektar oranının bir düşük standardı olan 0.27 hp/hektar olmasıdır. Dünyada kullanılmayan bu yöntem, radyoaktif materyallerce kirlenmiş bir tarım arazisine cahilce maruz kalmak için bir kanal görevi de görmektedir. Doğal radyoaktiflerce kirlenmiş bir bölgedeki radyonüklidlere maruz kalmaktan kaçınılmalı veya koruyucu kıyafetlerle araziye erişilmelidir. Solunum yoluyla radyuma ve uranyuma uzun süreli maruz kalma, kronik akciğer hastalıkları, anemi, akut lökopeni, nekrotizan periodontal hastalıklar, kemiklerde, burun ve kranial sinirlerde tümör gibi çeşitli etkilere sahiptir. Toryuma aşırı maruz kalmak, akciğer, kemik, pankreas, böbrek ve karaciğer gibi insan vücudunda farklı türdeki kanserlere neden olur. Karaciğer hastalıkları ve lösemiye de neden olabilir (Ramasamy vd., 2009). Bu nedenle, radyonüklid aktivitesi konsantrasyonları ve çiftçinin bu radyoaktif elementlere maruz kalmasıyla ilgili riskler izlenmelidir.

Doğal radyoaktiviteye maruz kalmak, o bölgedeki doğal radyoaktif elementlerin bir fonksiyonudur (UNSCEAR, 2000). Bir alanın radyoaktivitesi, radyoaktiflerce kirli bölgedeki doğal radyonüklidlere aşırı miktarda maruz kalınan doz oranlarını ve riskleri tahmin etmek için kullanılabilir (Alzubaidi vd., 2016). Toryum -232 ve Uranyum-238 bozunma serilerinin yanı sıra potasyum -40, yeraltındaki toryum, uranyum ve potasyum miktarını tahmin etmek için kullanılan doğal radyonüklidlerdir. Bu doğal elementler, insanlar tarafından alınan doza büyük ölçüde katkıda bulunur. Radyonüklidler, önemli miktarda radyoaktif element içerirler ve bu elementler besin zincirine toprak, kayaç ve su kütleleri yoluyla aktarılabilirler (Alzubaidi vd., 2016).

Çiftlik arazisinde bulunan doğal radyoaktivite bilgisi, solunum yoluyla radyasyona maruz kalmayla ilişkili olası risklerin değerlendirilmesinde rehberlik edecektir. Bu nedenle, bu çalışma, Güneybatı Nijerya Odo Oba'daki çiftçilerin radyasyona maruz kalma risklerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmanın gerekliliği, ağırlıklı olarak tarım (çiftçilik ve balıkçılık) ve nüfus artışının yol açtığı yazlık sektörü kaynaklı artan ekonomik faaliyetlerden ileri gelir. Odo Oba, Ogbomoso ve çevresinin gıda ürünleri kaynağıdır. Tarımsal uygulamalar, muhtemelen Oba nehrinin sağladığı suyun kullanılabilirliğinden dolayı çalışma alanında en çok tercih edilen konulardır. Yeraltından yayılan radyoaktivite konsantrasyonu ve riskleri üzerinde çalışan araştırmacılar arasında şunlar yer almaktadır: Odunaike vd. (2008), Gbadebo ve Amos (2010), Akinloye vd. (2012), Avwiri vd.

(2012), Chandrasakaran vd., (2014), Qureshi vd. (2014), Rafique vd. (2014), Usikalu vd. (2014, 2017), Ademola vd. (2015), Ravisankar vd. (2015), Alzubaidi vd. (2016), Adagunodo vd. (2017*b*), Adagunodo vd. (2018*a*, *b*).

2. Çalışma Alanı ve Jeolojisi

Odo Oba, enlemi 8° 2′ 46,7″ ile 8° 2′ 58,5″ K ve boylamı 4° 8′ 00″ ile 4° 9′ 15″ D olan alan içerisinde yer alır (Şekil 1a). Güneybatı Nijerya'daki Ogbomoso'nun güneybatısında yer alan bir yerleşim yeridir. Çalışma alanının ortalama yüksekliği yaklaşık 267 m'dir. Oba nehri etrafındaki düzlük alanda, yıllardır nehrin kolları tarafından taşınan malzeme depolanmıştır (Şekil 1b). Bu, Odo Oba'daki Kuvaterner sedimanlarının çökelmesini artırmıştır. Odo Oba'nın drenaj deseni dendrittir. Çalışma alanının iklimi, ortalama yüksek sıcaklık ile ayırt edilir. Çalışma alanında Mart-Temmuz döneminde yıllık ortalama yağış miktarı, 1.247 mm'dir. Bağıl Nem (RH), günün erken saatlerinde doruğa ulaşır ve öğleden sonra azalır. Yıllık olarak minimum ve maksimum RH, sırasıyla Aralık - Şubat ve Temmuz - Eylül aylarında yaşanır. Karasal hava akımı, yağış olmayan mevsim boyunca bölgeye kuru hava (nemli veya az nemli) getirir. Buna karşılık, tropikal hava kütlesi, yağışlı mevsimde etkili olur (Adagunodo vd., 2017*b*).

Nijerya'da, literatürde dört hidrojeolojik bölge tanımlanmış olup bunlar; volkanik, Prekambriyen temel, konsolide ve konsolide olmayan sedimanter kayaçlardır. Odo Oba, > 550 Ma (Sunmonu vd., 2012) yaşlı metamorfik ve kristalin kayaçlardan oluşan GB Nijerya'nın (Şekil 2) Prekambriyen temel kayaçları üzerinde yer almaktadır. Bu bölge, gnays, metasedimanter ve yaşlı granitlerden oluşmaktadır (Jones ve Hockey, 1964; Adagunodo ve Sunmonu, 2012; Olafisoye vd., 2012; Sunmonu vd., 2012; Adagunodo vd., 2013*a*; 2013*b*; 2013*c*; Oladejo vd. 2013, Olafisoye vd., 2013, Adagunodo vd., 2017*a*, 2017*b*). Bantlı ve granitik gnayslar, Odo Oba'daki baskın kayaç tipidir. İnceleme alanındaki başlıca diğer kayaçlar, kuvarsit ve seyrek olarak görünen pegmatittir (Adagunodo vd., 2017*b*; 2018*c*; Şekil 2).

3. Materyal ve Metodlar

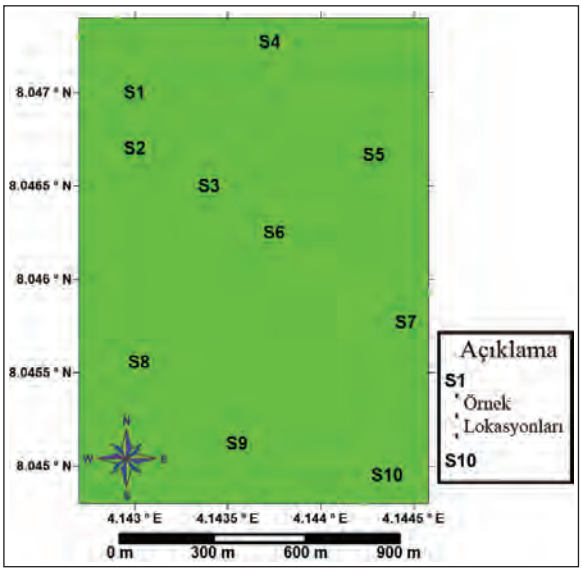
On (10) çiftlik bölgesinden (S1 ile S10) üst toprak örnekleri (25 cm derinliğe kadar) analiz edilmek üzere rastgele alınmıştır (Şekil 3). Bu, çiftçilerin Odo Oba tarım arazisindeki doğal radyoaktiviteye



Şekil 1- a) Oyo eyaletindeki, Odo Oba'yla birlikte diğer Nijerya eyalet ve başkentlerini gösteren siyasi harita.

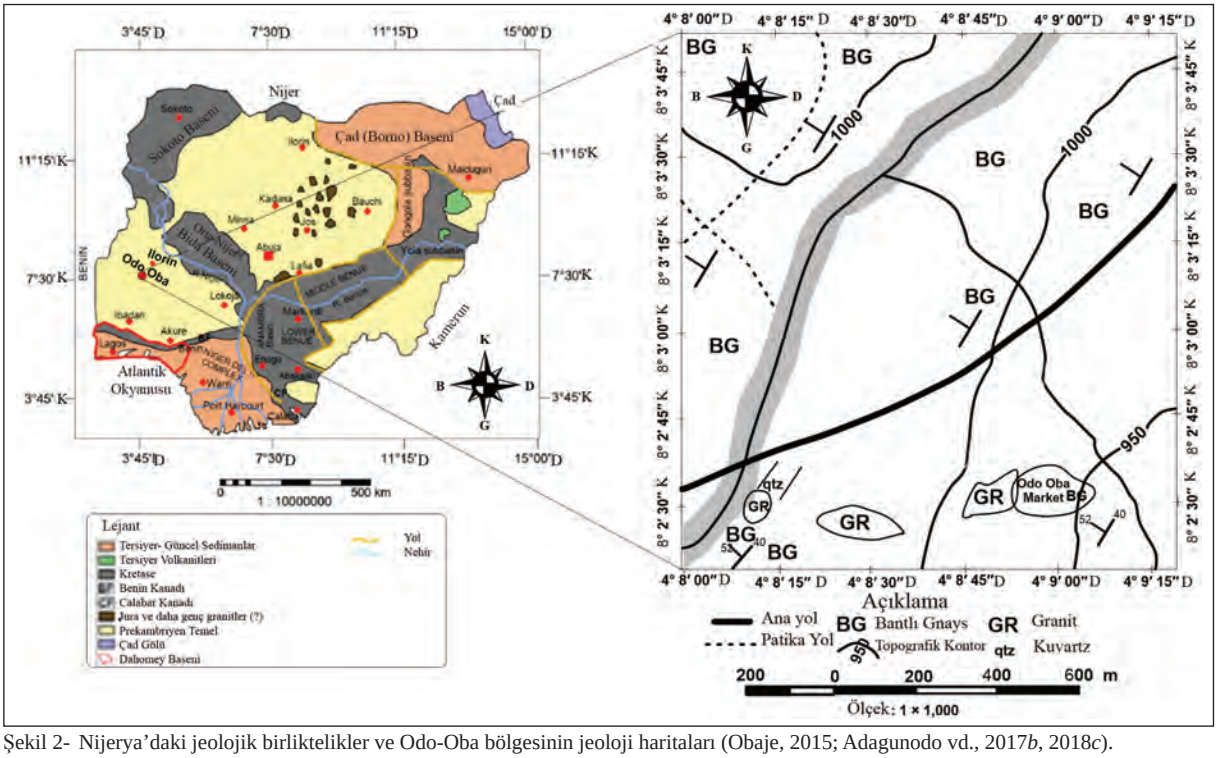


Şekil 1- b) Güneybatı Nijerya'daki nehirleri ve Odo Oba'yı gösteren harita (Nehirler, Yorubaland, 2017'den uyarlanmıştır).



Şekil 3- Çalışma alanındaki örnek lokasyonları.

maruz kalmalarının zehirlilik risklerini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların, bölgedeki radyoaktif çekirdek dağılımının ortaya çıkarılması ve başka tehlikelerin değerlendirilmesi için kullanılması beklenmektedir. Buna göre, toplanan örnekler birkaç hafta oda sıcaklığında kurutulmuş ve büyük parçaları uzaklaştırmak için 2 mm açıklığına



Şekil 2- Nijerya'daki jeolojik birliktelikler ve Odo-Oba bölgesinin jeoloji haritaları (Obaje, 2015; Adagunodo vd., 2017*b*, 2018*c*).

sahip elek ile elenmiştir. Her örnek, plastik kap ile paketlenmiş ve analiz için Kanada'ya gönderilmiştir. Analizler, Kanada'daki ACME laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir. AcmeLabs, jeologlar için dünya çapında jeokimyasal ve ana element analizi yapan laboratuarlarından biridir. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS), örneklerdeki radyonüklid (^{238}U ve ^{232}Th) ve potasyum (^{40}K) konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılmıştır. ICP-MS, radyonüklid ve element analizi için katı veya sıvı örneklerde kullanılan tekniklerden biridir. ICS-MS'nin ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K için dedeksiyon limiti, sırasıyla 0.05 ppm, 0.1 ppm ve % 0.01'dir. Örnekler, sabit ağırlıkta, fırında 110°C'de kurutulmuş ve pudra haline gelinceye kadar öğütülmüştür. Her bir örneğin öğütülmesinden sonra, çapraz kontaminasyondan kaçınmak için öğütücüdeki kalıntılar, yüksek basınçlı havalı kompresör yardımıyla temizlenmiştir. Örnekler öğütülmüş ve sıcak plaka kullanılarak buharlaştırma için teflon beherlere aktarılmıştır. Geri kalanlar, tamamen çözünene kadar on beş dakika süreyle % 10 HNO_3 ve sonrasında da 100 ml HNO_3 içinde çözdürülmüştür. Sertifikalı referans toprak materyali (kalibrasyon standardı), kalite kontrol analizi için aynı oranda HNO_3 ile çözünür. ICP-MS analizlerinden önce, analizler için kalibrasyon eğrilerini elde etmek amacıyla SPEX Çok Elementli Plazma Standardı'ndan standart çözeltiler hazırlanmıştır. Her örnek, Sahoo vd. (2001, 2011) ve Bank vd. (2016)'nın vurguladığı standart prosedürlere uygun olarak her bir sonucun tekrarlanabilirliğini izlemek için üç kez analiz edilmiştir. Her bir toprak örneğindeki potasyum, uranyum ve toryum konsantrasyonları sırasıyla yüzde (%) ve ppm olarak verilmiştir. Denklem (1) ile (3), IAEA (1989) ve Omeje vd. (2013) modellerine göre kilogram başına düşen Becquerel (Bq kg-1)'e karşı ilgili konsantrasyonu dönüştürmek için kullanılmıştır. Aktivite konsantrasyonlarının AcmeLabs (% ve ppm cinsinden) sonuçları ve dönüştürülmüş sonuçlar (Bq kg-1'de) çizelge l'de verilmiştir.

$$1\%\ ^{40}K = 313\ Bq\ kg^{-1} \quad (1)$$

$$1\ ppm\ ^{238}U = 12{,}35\ Bq\ kg^{-1} \quad (2)$$

$$1\ ppm\ ^{232}Th = 4{,}06\ Bq\ kg^{-1} \quad (3)$$

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K Aktiviteleri

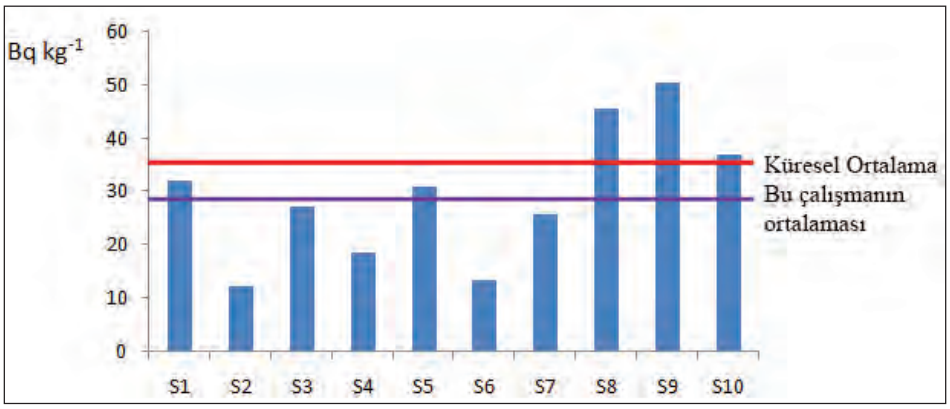
Analiz edilen on (10) adet üst toprak örneklerindeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin dağılımları, sütun grafikleri şeklinde, şekil 4a, 4b ve 4c'de sunulmuştur. Aktiviteler, ^{238}U için 12,35±5,31 (S2) ile 50,64±6,92 (S9) Bq kg^{-1} aralığında olup, ortalama değeri 29,40 Bq kg^{-1}, ^{232}Th için 11,37±4,06 (S2) ile 101,91±4,06 (S9) Bq kg^{-1} aralığında olup, ortalaması 44,25 Bq kg^{-1} ve ^{40}K için 788,76 ± 169,02 (S4) ile 1693,3±53,21 (S7) Bq kg^{-1} aralığında olup, ortalama değeri 1072.07 Bq kg^{-1} olarak belirlenmiştir. S8, S9 ve S10 örneklerinden elde edilen ^{238}U sonuçları, 35 Bq kg^{-1}olarak belirlenen küresel ortalama değerinden daha yüksektir (Sartandel vd., 2009; Chandrasekaran vd., 2014). S2, S4 ve S6'ya ait örnekler, küresel olarak önerilen 30 Bq kg^{-1} değerinden daha düşük değerler gösterir (Chandrasekaran vd., 2014), diğer örnekler, ^{232}Th için küresel ortalamadan daha yüksek sonuçlara sahiptir. Bununla birlikte, ^{40}K için elde edilen sonuçlar, Chandrasekaran vd., (2014) tarafından bildirilen, önerilen 400 Bq kg^{-1} sınırından daha yüksek değerlere sahiptir. ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri, ^{238}U<^{232}Th<^{40}K sıralamasında olup, Odo Oba çiftliğindeki toprak örneklerinde, radyonüklidler için sadece ^{238}U değeri, küresel ortalamanın altında değere sahiptir.

Toryum, doğal olarak oluşan bir radyoaktif metaldir. Bu madde neredeyse her yerde, az miktarda

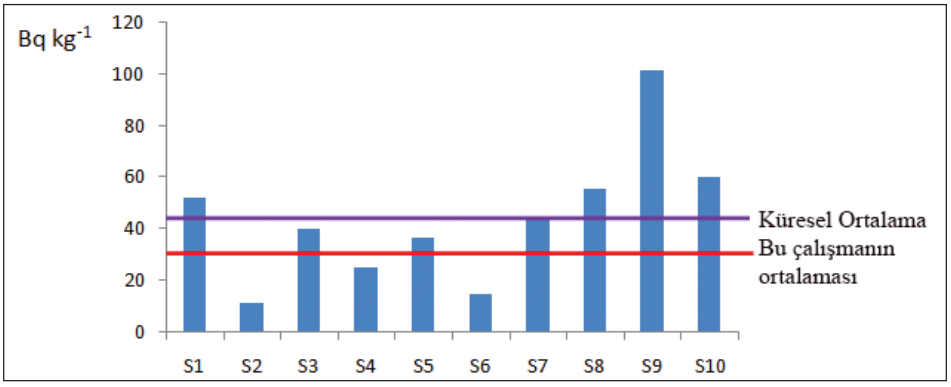
Çizelge 1- Odo Oba'nın toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite konsantrasyonları.

Örnek	Uranyum (ppm)	Toryum (ppm)	Potasyum (%)	Uranyum (Bq kg^{-1})	Toryum (Bq kg^{-1})	Potasyum (Bq kg^{-1})
S1	2,60± 0,19	12,80 ± 3,00	2,69 ± 0,35	32,11 ± 2,35	51,97± 12,18	841,97± 109,55
S2	1,00 ± 0,43	2,80 ± 1,00	3,43 ± 0,92	12,35 ± 5,31	11,37± 4,06	1073,59± 287,96
S3	2,20 ± 0,11	9,90 ± 3,00	2,85 ± 0,13	27,17 ± 1,36	40,19± 12,18	892,05± 40,69
S4	1,50 ± 0,92	6,20 ± 2,00	2,52 ± 0,54	18,53± 11,36	25,17± 8,12	788,76± 169,02
S5	2,50 ± 0,21	9,00 ± 2,00	3,29 ± 0,73	30,88± 2,59	36,54± 8,12	1029,77± 228,49
S6	1,10 ± 0,09	3,70 ± 2,00	2,94 ± 0,21	13,59± 1,11	15,02± 8,12	920,22± 65,73
S7	2,10 ± 0,25	10,90 ± 3,00	5,41 ± 0,17	25,94± 3,09	44,25± 12,18	1693,33± 53,21
S8	3,70 ± 0,21	13,70 ± 1,00	3,70 ± 0,37	45,70± 2,59	55,62± 4,06	1158,10± 115,81
S9	4,10 ± 0,56	25,10± 1,00	3,67 ± 0,80	50,64± 6,92	101,91± 4,06	1148,71± 250,40
S10	3,00 ± 0,17	14,90 ± 1,00	4,71 ± 0,29	37,05± 2,10	60,49± 4,06	1174,23± 90,77

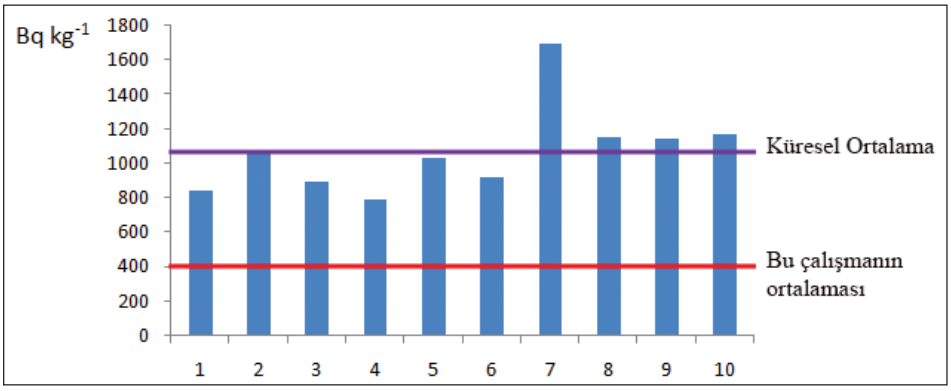
LDE (Lütfen dikkat ediniz): S1 için, 2.60 değeri, örnek 1'deki uranyum sonuçlarının ortalamasıdır, ± 0.19 ise standart sapma değeridir.



Şekil 4- a) ^{238}U aktivite konsantrasyonunu gösteren sütun grafiğidir.



Şekil 4- b) ^{232}Th aktivite konsantrasyonunu gösteren sütun grafiğidir.



Şekil 4- c) ^{40}K aktivite konsantrasyonunu gösteren sütun grafiğidir.

da olsa bulunur. Kayaçlarda, toprakta, yüzey ve yeraltı sularında, hayvanlarda ve bitkilerde bulunur. Doğal olarak oluşan toryumun çoğu ^{232}Th (izotop) olarak bulunur. Bu doğal izotop dışında, yapay olarak üretilebilen ondan fazla (10) toryum izotopu vardır. Toryum suda kolayca çözünemez ve topraktan veya sudan, havaya kolay buharlaşır. ^{232}Th için kaydedilen yüksek değerler, Odo Oba (Oba Nehir Havzası) topoğrafyası ile bağlantılıdır. Literatürde (Adagunodo vd., 2017*b*), nehir kanallarında yıllar boyunca taşınan malzemelerin, düzlemsel topoğrafyadan dolayı, Odo Oba'daki toprak ile karıştığı yer almaktadır. Toryum içeren toprak, nehirlerde yıkanıp başka bir düzleme (Odo Oba gibi) taşınabildiği için, bu durum, ölçülen ortalama toryum değerinin, küresel ortalamadan 1.5 kat daha fazla olduğunu kanıtlamıştır. Bu alanda çalışan çiftçiler, kirli tozları soluyarak toryuma maruz kalabilirler. Ek olarak, bu toprakta yetişen yiyecekleri yiyen insanlar, transfer faktörü ile toryumu bünyelerine alabilirler (ATSDR, 1990). Solunum yoluyla toryuma

maruz kalmanın etkileri arasında pankreas, akciğer ve kemik gibi farklı kanserler bulunur. Vücut sistemlerine zarar verebilir veya ölümle sonuçlanabilir. Yutma yoluyla gelen diğer etkiler arasında karaciğer hastalıkları ve kan dolaşımındaki hastalıklar bulunur (ATSDR, 2014). Bir ortamda toryum varlığı, toron ve radyum - radon izotopları gibi toryumun tehlikeli radyoaktif bozunmasına daha fazla maruz kalmaya yol açabilir. Daha önce yapılan çalışmalarda, toryum maruziyetinin, doğuştan gelen özürler veya cinsel yetersizlik ile ilişkili olmadığı belirtilmelidir (ATSDR, 1990, 2014; Xing-an vd., 2014).

Potasyum vücut için çok önemlidir, ancak potasyum maruziyeti, potasyum yetersizliğinden daha kötüdür. Böbreğin işlevi, vücuttaki potasyum seviyesini düzenlemektir, ancak birçok nedenden ötürü, potasyum seviyesi gerekli sınırı aşabilir. Vücuttaki yüksek potasyum konsantrasyonu hiperkalemi olarak adlandırılır. Vücut sistemlerinde yüksek konsantrasyondaki potasyum, mide bulantısı, ishal, zayıflık veya yorgunluk, kusma, karıncalanma, bağırsakta gaz, nefes almada zorluk, göğüs ağrısı, sakatlık, felç, zihinsel karışıklık, baş dönmesi, düzensiz kalp ritmi veya çarpıntı, düşük tansiyon ve muhtemelen ölüme sebep olabilir (Beckerman, 2016; Wint ve Cherney, 2017). Odo Oba'da kaydedilen ortalama ^{40}K değeri, küresel ortalama değerin 2.7 kat fazlasıdır. Tahmini radyoaktivite konsantrasyon oranları çizelge 2'de sunulmuştur. ^{238}U ile ^{40}K arasındaki oran 0.012 (S2) ile 0.044 (S9) arasında iken, ^{232}Th ile ^{40}K arasındaki oran 0.011 (S2) ile 0.089 (S9) arasında değişmektedir. ^{238}U ile ^{232}Th arasındaki oran 0.497 (S9) ile 1.086 (S2) arasında iken, ^{232}Th ile ^{238}U arasındaki oran 0.921 (S2) ile 2.012 (S9) arasında değişmektedir. Çizelge 2'de sunulan her oranın ortalaması, UNSCEAR (1988) ve Qureshi vd. (2014) tarafından rapor edilen küresel bir ortalama ile karşılaştırılmıştır. Tüm tahmini faaliyet oran ortalamalarından sadece ^{238}U / ^{232}Th oranı, küresel ortalamanın 2,8 katı kadar fazladır, diğerleri ise küresel ortalama limitinin altındadır. Çizelge 2'den, toryumun radyoaktivite seviyesinin uranyumdan daha büyük olduğu, dolayısıyla ^{238}U / ^{232}Th oranının % 90'ının 1'den küçük, ^{232}Th / ^{238}U sonuçlarının ise 1'den büyük olduğu görülmüştür. Toryumun potasyuma oranı ve uranyumun potasyuma oranı 1'den azdır, çünkü potasyum konsantrasyonları toryumdan daha yüksektir ve uranyum konsantrasyonları potasyum konsantrasyonlarına kıyasla çok daha düşüktür. Oranlara dayanarak, Odo Oba çiftliğinde uranyum konsantrasyonunda azalma, toryum konsantrasyonunda ise zenginleşme görülmektedir (Tzortzis ve Tsertos, 2004).

4.2. Doz Oranları (DO) ve Yıllık Etkin Dozlar (YED)

Üst toprağın bir metre üzerindeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sonucunda yeraltından yayılan gama ışımasına (dış mekan katkılarından alınan doz oranları) bağlı emilmiş Doz Oranları (DO), diğer doğal olarak oluşan radyonüklidlerin (^{87}Rb, ^{147}Sm, ^{235}U, ^{90}Sr, ^{138}La, ^{137}Cs, ^{87}Rb ve ^{178}Lu) çevresel arka plandaki dozlara katkısının önemsiz olduğu varsayımıyla, UNSCEAR (1993) kılavuzuyla uyumluluğu değerlendirilmiştir (Qureshi vd., 2014; Ravisankar vd., 2016). Her bir örneğin kuru ağırlığında emilen doz oranlarını tahmin etmek için kullanılan dönüşüm faktörleri, sırasıyla ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K için 0,436, 0,599 ve 0,0417'ye (nGy h^{-1} Bq^{-1} kg^{-1}) karşılık gelir (Qureshi vd., 2014). Bununla birlikte, emilen doz oranları Denk. (4) kullanılarak UNSCEAR (2000) tarafından hesaplanmıştır.

Çizelge 2- Odo Oba'daki radyoaktivite oranları.

Örnek	^{238}U/^{40}K	^{232}Th/^{40}K	^{238}U/^{232}Th	^{232}Th/^{238}U
1	0,038	0,062	0,618	1,618
2	0,012	0,011	1,086	0,921
3	0,030	0,045	0,676	1,479
4	0,023	0,032	0,736	1,358
5	0,030	0,035	0,845	1,183
6	0,015	0,016	0,905	1,105
7	0,015	0,026	0,586	1,706
8	0,039	0,048	0,822	1,217
9	0,044	0,089	0,497	2,012
10	0,032	0,052	0,612	1,633
Ortalama	0,028	0,042	0,738	1,423
Dünya Ortalaması	0,067^{+}	0,067^{+}	0,260^{+}	3,500^{+}

$^{+}$ UNSCEAR (1988) tarafından sunulan veri.

$$DO = 0{,}436\ C_U + 0{,}599\ C_{Th} + 0{,}0417\ C_K \quad (4)$$

C_U, C_{Th} ve C_K sırasıyla ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleridir. Odo Oba çiftliğindeki tahmini doz oranları 53,3 (S6) ile 131,0 (S9) nGy hr^{-1} arasındadır (Şekil 5a). Odo Oba'daki ortalama dış doz oranı, 59 nGy hr^{-1} değerli küresel ortalamadan (UNSCEAR, 2000) 1.4 kat daha fazladır.

Dış mekan Yıllık Etkin Doz (YED) miktarı, UNSCEAR (2000) ve Qureshi vd. (2014) tarafından verilen Denk. (5) ile hesaplanmıştır.

$$YED = 8760\ hr\ y^{-1} \times 0{,}7\ Sv\ Gy^{-1} \times 10^{-6} \times 0{,}2 \quad (5)$$

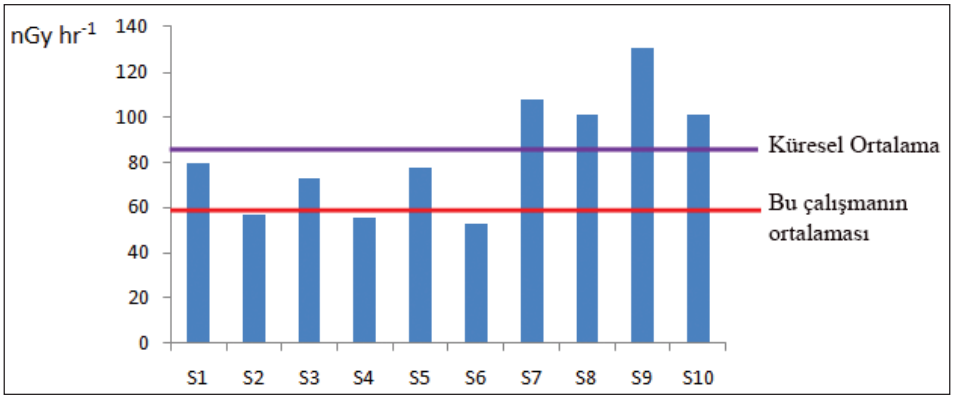
Denk. (5)'te, açık hava kullanım oranı, bir yılı oluşturan 365 gün içerisindeki saatlerin %20'si olarak alınmıştır (çiftçilerin, günlerinin % 20'sini tarlada harcadıkları varsayımıyla). Bununla birlikte, dıştan emilen dozları, dış mekan yıllık etkin dozlara dönüştüren dönüşüm faktörü 0,7 Sv Gy^{-1} olarak verilmiştir. Bu çalışmada, yıllık açık hava etkin dozları 0,06 (S2, S4 ve S6) ile 0,16 (S9) mSv $yıl^{-1}$ arasında olup, ortalama 0,1 mSv $yıl^{-1}$'dir (Şekil 5b). Bu değer, küresel faktör olan 0,07 mSv $yıl^{-1}$'den 1,4 kat daha fazladır (UNSCEAR, 2000; Qureshi vd., 2014).

4.3. Yıllık Gonadal Eşdeğer Dozu (YGED)

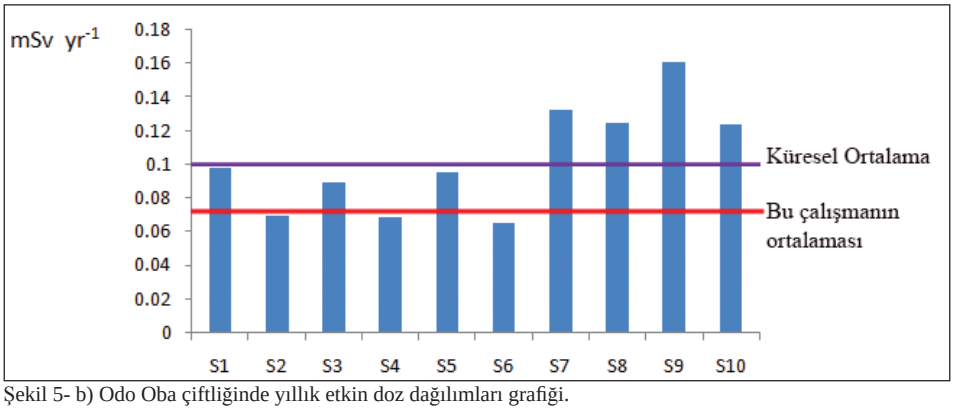
Gonad, kemik iliği ve kemik yüzey hücreleri, insan organlarının doğal olarak oluşan radyonüklidlere maruz kalma düzeyinin değerlendirilmesi açısından önemlidir (UNSCEAR, 1988). Çiftçinin, faaliyetlerini yürütmesi için daha uzun bir süreye ihtiyaç duyması nedeniyle, Odo Oba çiftliğinde doğal radyonüklidlere maruz kalması için değerlendirmemizin bir parçası olarak YGED'u dahil etmek çok önemlidir. Bunun sonucunda tarım alanlarından çıkan YGED'un tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarına bağlı YGED, Mamont-Ciesla vd., (1982) tarafından verilen Denk. (6) esas alınarak tahmin edilmiştir.

$$YGED\ (\mu Sv\ y^{-1}) = 3{,}09\ C_U + 4{,}18\ C_{Th} + 0{,}314\ C_K \quad (6)$$

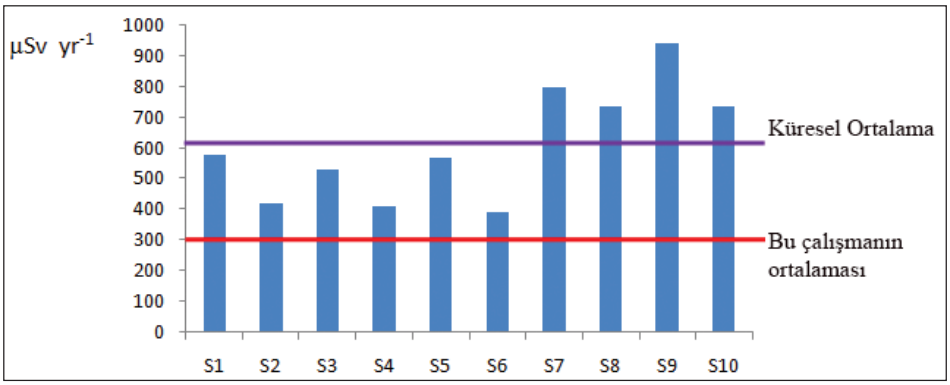
Bu parametre (yani, YGED) bazı yazarlar tarafından bir ortamda radyoaktivite risk değerlendirmesinin bir parçası olarak kullanılmıştır (Avwiri vd., 2012; Chandrasekara vd., 2014; Ravisankar vd., 2016). Odo Oba'nın YGED değeri şekil 6'da sunulmuştur. Değerler, 393,7 (S6) ile 943,2 (S9) µSv y^{-1} arasındadır. Şekil 6'da ortaya konulduğu gibi, bu çalışmada



Şekil 5- a) Odo Oba çiftliğinde emilen dozun gül dağılımları grafiği.



Şekil 5- b) Odo Oba çiftliğinde yıllık etkin doz dağılımları grafiği.



Şekil 6- Odo Oba çiftliğinde yıllık gonadal eşdeğer dozlarının dağılımlarını gösteren sütun grafiği.

kullanılan ortalama değer (612,4 µSv y^{-1}), 300 µSv y^{-1} olarak belirlenen küresel ortalamayı 2 katı kadar aşmaktadır. Bu sonuç, Odo Oba'daki çiftçiler için tehlikeli olarak kabul edilir.

4.4. Dış ve Gama Işıması Tehlike İndeksleri

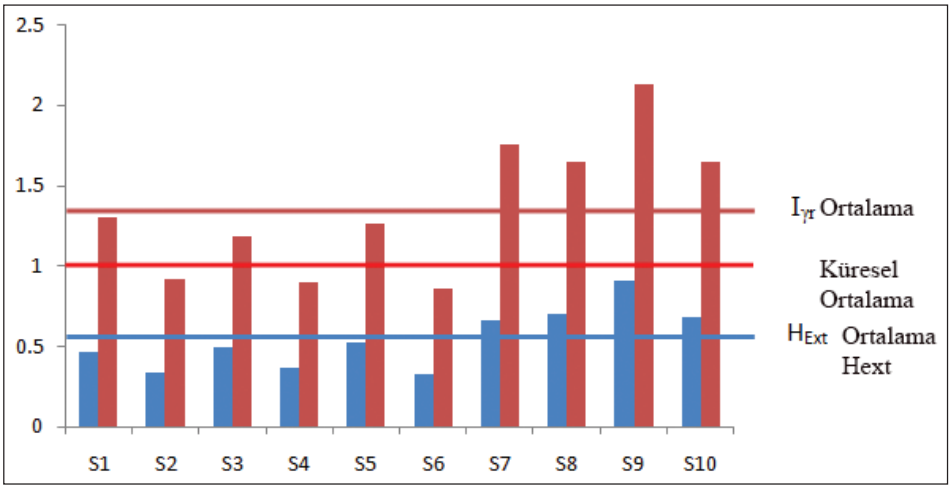
Bu değerlendirmede çiftçilerin gama ışımasına maruz kaldığı durumda kullanılan iki indeks, dış radyasyon tehlike indeksi (HExt) ve gama ışıması tehlike indeksi (Iγr) kullanılmıştır. Odo Oba'daki dış radyasyon tehlikesi indeksi (H_{Ext}) Krieger (1981), Ibrahiem, (1999), UNSCEAR (2000) ve Ravisankar vd., (2016) tarafından esas alınan model kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlik, Denk. (7)'de sunulmuştur:

$$H_{Ext} = \frac{C_U}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1 \qquad (7)$$

Üç konsantrasyonun (^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K) her birinin dönüşüm faktörü, sırasıyla 370, 259 ve 4810 (Bq kg^{-1}) değerlerinin aynı gama ışıma dozu oranını oluşturduğu varsayımına dayanır (OECD, 1979; Akinloye vd., 2012; Qureshi vd., 2014; Ravisankar vd., 2016). Odo Oba'daki tahmini harici radyasyon tehlikesi indeksi 0,3 (S2, S4 ve S6) ile 0,9 (S9) arasında değişmektedir. Odo Oba'daki tahmini ortalama H_{Ext} değeri 0.6'dır (Şekil 7). Bu, H_{Ext}'den gelen katkıların önemsiz olduğunu ve çiftçiler için herhangi bir tehdit veya radyolojik risk oluşturmadığını açıkça göstermiştir.

Gama ışıması tehlike indeksi (Iγr), insanların yeraltından yayılan γ-ışımasına maruz kaldıklarında, güvenliklerini ölçmek için kullanılan indekslerden biridir (EC, 1999; UNSCEAR, 2000). Bu çalışmada, $I_{\gamma r}$ değeri OECD (1979), Alam vd. (1999) ve Uosif vd. (2014) tarafından belirlenen Denk. (8) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I_{\gamma r} = 0{,}0067\, C_U + 0{,}01\, C_{Th} + 0{,}00067\, C_K \leq 1 \qquad (8)$$



Şekil 7- Odo Oba'da dış ve gama ışıması tehlike indekslerinin dağılımlarını gösteren sütun grafiği.

Denklemde yer alan C_U, C_{Th} ve C_K parametreleri, sırasıyla Denk. (4), (6) ve (7) ile aynı açıklamalara sahiptir.Tahmin edilen $I_{\gamma r}$ değeri 0,8 (S6) ile 2,1 (S9) arasında dalgalanır. Odo Oba'da ortalama Iγr değeri 1.4'tür. Bu, Denk. (8)'de sunulan küresel ortalamadan daha büyüktür. Analiz edilen on örnekte, % 30'luk kısım, birliğin altında dalgalanırken % 70'i kabul edilebilir sınırı aşmaktadır (Şekil 7). Iγr sonuçlarının çıkarımı, çalışma alanından yayılan radyasyonun, Palomo vd. (2010) ve Uosif vd., (2014) tarafından bildirildiği üzere, insan sağlığına zararlı olduğudur.

4.5. Ömür Boyu Aşırı Kanser Riski

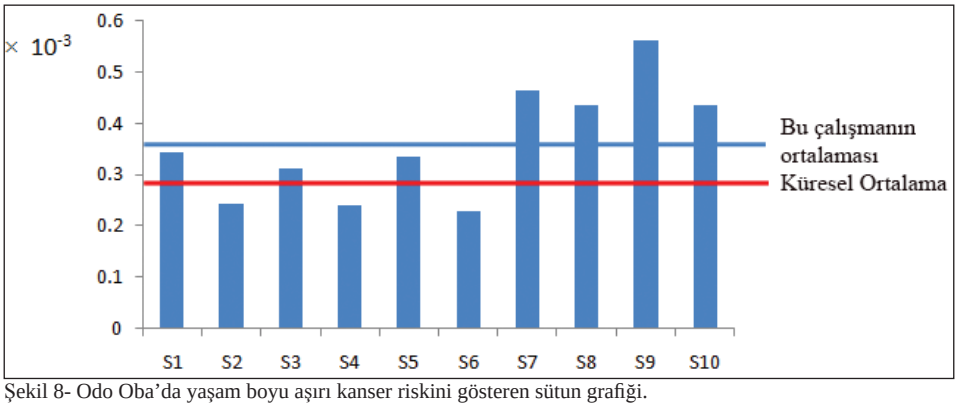
Ömür Boyu Aşırı Kanser Riski (ÖAKR) Denk. (9)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{ÖAKR} = \text{Yıllık Etkin Doz} \times 70 \times 0{,}05 \quad (9)$$

ÖAKR, yıllık etkin doz ve diğer iki sabitin sonuçlarına büyük ölçüde bağlıdır. İlk sabit (70), 70 yıl olarak verilen yaşam süresi, ikinci sabit ise 0.05 Sv^{-1} olan risk faktörüdür (ICRP-60, 1990; Taşkin vd., 2009; Chandrasekaran vd., 2014, Qureshi vd., 2014, Ravisankar vd., 2016). Stokastik etki için, topluma 0,05 atfedilmiştir (ICRP-60, 1990). ÖAKR, başka bir radyolojik tehlike riskidir. Kansere neden olan çevreye aşırı maruz kaldığında kansere yakalanma olasılığını ölçer. Odo Oba'daki tahmini kanser riski aralığı $0{,}36\times10^{-3}$ (S6) ile $0{,}56\times10^{-3}$ (S9) olup ortalama $0{,}36\times10^{-3}$'tür. Bu değer, küresel ortalama olarak kabul edilen $0{,}29\times10^{-3}$ (Ravisankar vd., 2007; UNSCEAR, 2000) değerinin 1.2 katı daha fazladır (Şekil 8). Neredeyse, sadece üç yer (S2, S4 ve S6) (yani, toplam örneklerin %30'u), küresel ortalamanın altında, daha düşük değerler gösterirken, diğerleri, 1,1 ile 1,9 arasında, önerilen sınırdan farklı katsayılar kadar fazla değerlere sahiptir.

4.6. Tüm Veri Kümelerinin Istatistiksel Analizleri

Bu bölümde, çalışmada kullanılan değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla tanımsal analiz ve çok değişkenli istatistikler kullanılmıştır. Bu yaklaşım, son dönemlerde literatürde yararlı bulunmuştur (Chandrasekaran vd., 2014; Isinkaye ve Emelue 2015; Raghu vd., 2017). Ortalama, standart sapma, eğrilik, kürtosis ve tüm değişkenlerin küresel ortalama değişkenleri çizelge 3'te sunulmuştur.



Şekil 8- Odo Oba'da yaşam boyu aşırı kanser riskini gösteren sütun grafiği.

Çizelge 3- Analiz veri kümelerinin tanımsal istatistikleri (N = 10).

Değişken	Ortalama	SD	Eğiklik	Kürtosis	Bu çalışmada sunulan küresel ortalama
^{238}U	29,40	12,74	0,28	-0,70	35,0 Bq kg^{-1}
^{232}Th	44,25	26,15	1,01	1,81	30,0 Bq kg^{-1}
^{40}K	1072,07	258,23	1,59	3,51	400,0 Bq kg^{-1}
DO	84,03	25,90	0,45	-0,71	59 mGy hr^{-1}
YED	0,10	0,03	0,45	-0,71	0,07 mSv yr^{-1}
YGED	612,44	185,03	0,44	-0,82	300 µSv yr^{-1}
ÖAKR	$0{,}36\times10^{-3}$	$0{,}11\times10^{-3}$	0,45	-0,71	$0{,}29\times10^{-3}$
^{238}U / ^{40}K	0,03	0,01	-0,17	-1,30	0,067
^{232}Th / ^{40}K	0,04	0,02	0,73	0,77	0,067
^{238}U / ^{232}Th	0,74	0,18	0,67	0,08	0,260
^{232}Th / ^{238}U	1,42	0,33	0,24	-0,41	3,5
H_{Ext}	0,55	0,19	0,44	-0,32	1,0
$I_{\gamma r}$	1,36	0,42	0,46	-0,67	1,0

Eğrilik ve kürtosis, istatistiksel analizde veri karakterizasyonunun parçalarıdır. Eğrilik, veri kümelerinin simetrik veya asimetrik dağılımlarını tanımlar. Normal dağılım için, eğrilik her zaman sıfırdır ve simetrik veriler içinse neredeyse sıfırdır. Negatif değere sahip eğrilik, verilerin sola doğru çarpık olduğunu veya tam tersi durumu belirtir. Kürtosis, ister hafif isterse yoğun kuyruklu olsun, normal dağılımın uzanımını (tailedness) ölçer. Yüksek kürtosisli veri kümeleri, aykırı değerlerin (yani, ağır kuyruklu) ve tersinin olduğunu göstermiştir. Bu iki parametre, veri kümlerinin değişkenliğini tartışmak için Adagunodo vd., (2017*b*, 2018*a*, 2018*c*) tarafından kullanılmıştır. Eğrilik ve kürtosis, sırasıyla Denk. (10) ve (11) kullanılarak hesaplanmıştır. Potasyum-40, 1072,07 ve 258,28'in en yüksek ortalama ve standart sapma değerlerine sahiptir ve ÖAKR, sırasıyla $0{,}36 \times 10^{-3}$ ve $0{,}11 \times 10^{-3}$ değerlerinin en düşük ortalama ve standart sapma değerini göstermektedir. Sadece $^{238}U/^{40}K$ negatif eğrilik göstermiş, dört (4) değişken (^{232}Th, ^{40}K, $^{232}Th/^{40}K$ ve $^{238}U/^{232}Th$) pozitif kürtosis gösterirken, toplam değişkenlerin % 69'u negatif kürtosis göstermiştir.

$$\text{Eğrilik} = \frac{\sqrt{N(N-1)}}{N-2} \frac{\sum_{i=1}^{N} \left(Y_i - \bar{Y}\right)^3 / N}{s^3} \quad (10)$$

N, veri noktaları veya nüfus sayısıdır, Y tek veridir, $\bar{Y}$ ortalamadır, s standart sapma, i ise tamsayıdır.

$$\text{Kürtosis} = \sum_{i=1}^{N} \frac{\left(Y_i - \bar{Y}\right)^4 / N}{s^4} - 3 \quad (11)$$

Kullanılan çok değişkenli analizler, Pearson korelasyonu, faktör analizi ve küme analizidir. Çok değişkenli analiz, çok fazla bilgi kaybetmeden değişken veri kümeleri arasındaki korelasyonun açıklanmasında faydalı bulunmuştur (Ashley ve Lloyd, 1978; Jackson, 1991; Chandrasekaran vd., 2014, Adagunodo vd., 2017). Bu yaklaşım, orijinal bilgisini kaybetmeden veri sıkıştırmada etkilidir ve 2 veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi kurmaya yardımcı olur (Chandrasekaran vd., 2014). Bu çalışmada kullanılan on (10) örnekte analiz edilen on üç (13) değişken arasında var olan ilişkilerin doğasını belirlemek amacıyla korelasyon matrisi içeren iki değişkenli istatistik gerçekleştirilmiş ve çizelge 4'te sunulmuştur. ^{232}Th ve ^{238}U arasında çok güçlü bir pozitif korelasyon vardır. Bunun nedeni, iki elementin aynı anda radyoaktif bozunma serisine maruz kalmalarıdır (Tanaskovi vd., 2012). ^{40}K ile ^{232}Th ve ^{40}K ile ^{238}U arasındaki korelasyon çok zayıftır. Çünkü ^{238}U ve ^{232}Th gibi aynı nesilden olan elementlerin aksine, ^{40}K'un, iki parametre arasındaki farklı bozunma serileriyle ilişkili olması olabilir. Genellikle, ^{238}U ile radyolojik indeksler ve $^{238}U/^{232}Th$ haricindeki radyoelementler arasında çok güçlü pozitif korelasyonlar bulunmaktadır. $^{238}U/^{232}Th$ oranının çok güçlü negatif korelasyonu vardır. ^{232}Th ile radyolojik indeksler ve radyoelement oranları arasındaki korelasyon, uranyum-238 ile radyolojik indeksleri korelasyonu tipine benzemektedir. Radyolojik indeksler arasında çok güçlü bir pozitif korelasyon bulunurken, güçlü bir pozitif korelasyon gösteren $^{232}Th/^{238}U$ dışında, ^{40}K ve radyoelement oranları arasında negatif korelasyon vardır. Korelasyon, radyonüklid aktiviteleri nedeniyle radyolojik indekslerin varlığını doğrulamıştır. Korelasyon analizi yaklaşımı, çalışma alanında toryum ve potasyum zenginleştirici maddeler içeren uranyum tükenmesinin varlığını haklı çıkarmıştır.

Çizelge 4- Odo Oba çiftliğinde analiz edilen parametreler arasındaki Pearson korelasyon matrisi.

Değişken	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	DO	YED	YGED	ÖAKR	^{238}U / ^{40}K	^{232}Th / ^{40}K	^{238}U / ^{232}Th	^{232}Th / ^{238}U	H_{Ext}	$I_{\gamma r}$
^{238}U	1,00												
^{232}Th	0,93	1,00											
^{40}K	0,23	0,27	1,00										
DO	0,87	0,91	0,63	1,00									
YED	0,87	0,91	0,63	1,00	1,00								
YGED	0,86	0,91	0,64	1,00	1,00	1,00							
ÖAKR	0,87	0,91	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00						
^{238}U / ^{40}K	0,90	0,82	-0,19	0,61	0,61	0,60	0,61	1,00					
^{232}Th / ^{40}K	0,88	0,94	-0,05	0,73	0,73	0,72	0,73	0,92	1,00				
^{238}U / ^{232}Th	-0,63	-0,79	-0,26	-0,72	-0,72	-0,71	-0,72	-0,59	-0,76	1,00			
^{232}Th / ^{238}U	0,64	0,84	0,32	0,78	0,78	0,78	0,78	0,56	0,80	-0,97	1,00		
H_{Ext}	0,93	0,95	0,51	0,99	0,99	0,99	0,99	0,72	0,81	-0,73	0,78	1,00	
$I_{\gamma r}$	0,87	0,92	0,62	1,00	1,00	1,00	1,00	0,62	0,74	-0,72	0,79	0,99	1,00

Faktör analizi (FA), parametreler arasında ilişki kurmak amacıyla değişkenler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Rodrigues-Barroso vd., 2009; Ramasamy vd., 2011, Chandrasekaran vd., 2014). FA, Pearson korelasyon matrisi veri kümeleri üzerinde gerçekleştirilir. Faktör için çıkarma yöntemi, varimax ile daha da döndürülen Ana Bileşen Analizi (ABA) ile elde edilmiştir. On üç (13) değişken birlikteliği çizelge 5'te sunulmuştur. Kaiser'in özdeğeri ≥ 1 (Kaiser, 1960) kuralı temelinde, değişkenlerin başlangıç özdeğeri, 0,675'ten ($^{238}U/^{232}Th$ çıkarımı) 0,995'e (DO, YED, YGED, ÖAKR ve Iγr'nin çıkarımı) kadar farklılık gösterebilir. ABA, çıkarma yöntemine göre bileşen matriksinden iki bileşen üretmiştir (Çizelge 6). Bileşen 1, 0,741 ile 0,991 arasında yüksek pozitif yüklü H_{Ext}, YED, ÖAKR, DO, YGED, ^{232}Th, ^{238}U, $^{232}Th/^{40}K$, $^{232}Th/^{238}U$, $^{238}U/^{40}K$, $^{238}U/^{232}Th$ ve ^{40}K gibi yüksek dereceli değişkenleri oluşturan toplam değişkenin %51,30'una denk gelmektedir. YED, DO ve ^{40}K, 0,977 değerlikli aynı yükü gösterirken YGED ve ÖAKR de 0,972 yüklüdür. Bileşen 1'in katkısı için ^{238}U konsantrasyonu en önemli faktördür. Bileşen 2, toplam değişkenin %42,15'ini oluşturmaktadır ve bu da $I_{\gamma r}$ için 0,881'lik yüksek bir pozitif yük oluşturmaktadır. İki bileşenin sonuçları, çalışma alanındaki radyolojik tehlikelere maruziyetin, sırasıyla ^{40}K, ^{238}U ve ^{232}Th'dan kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bileşen sayısına karşı özdeğer grafiği şekil 9'da sunulmuştur. Ancak, iki bileşenin grafiksel ifadeleri şekil 10'da görülmektedir. İki bileşenin çizimi, $^{238}U/^{232}Th$ ve ^{40}K'nın YED, DO, YGED, $^{232}Th/^{238}U$ ve Iγr ile aynı toplulukta (çeyrek 1) bulunduğu, sırasıyla H_{Ext}, ÖAKR, $^{232}Th/^{40}K$, $^{238}U/^{40}K$ ve $^{238}U/^{232}Th$ değerlerinin ise dördüncü çeyrekte olduğu görülmektedir.

Çizelge 5- Değişkenler birlikteliği.

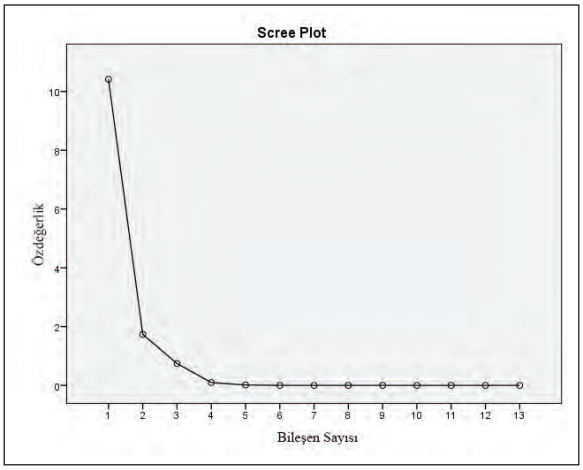
Değişken	Başlangıç	Çıkarma
^{238}U	1,000	0,895
^{232}Th	1,000	0,982
^{40}K	1,000	0,990
DO	1,000	0,995
YED	1,000	0,995
YGED	1,000	0,995
ÖAKR	1,000	0,995
^{238}U / ^{40}K	1,000	0,927
^{232}Th / ^{40}K	1,000	0,985
^{238}U / ^{232}Th	1,000	0,675
^{232}Th / ^{238}U	1,000	0,734
H_{Ext}	1,000	0,986
$I_{\gamma r}$	1,000	0,995

Çıkarma Metodu: ABA

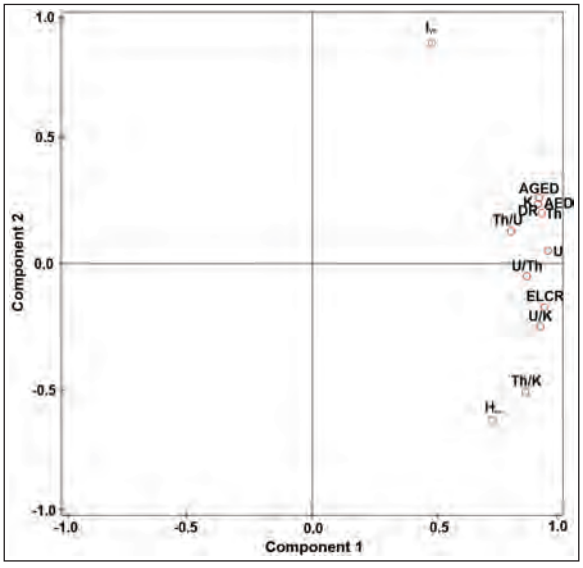
Çizelge 6- Değişkenlerin bileşen matrisi.

Değişken	Bileşen	
	1	2
^{238}U	0,991	0,065
^{232}Th	0,978	0,196
^{40}K	0,977	0,201
DO	0,977	0,201
YED	0,977	0,201
YGED	0,972	0,224
ÖAKR	0,972	-0,194
^{238}U / ^{40}K	0,919	-0,225
^{232}Th / ^{40}K	0,855	-0,504
^{238}U / ^{232}Th	0,853	-0,083
^{232}Th / ^{238}U	0,809	0,144
H_{Ext}	0,741	-0,615
$I_{\gamma r}$	0,462	0,881
Açıklanan değişken %'si	51,30%	42,15%

Çıkarma Metodu: ABA



Şekil 9- Özdeğerliğe karşı bileşen sayısı ile çizilen grafik.

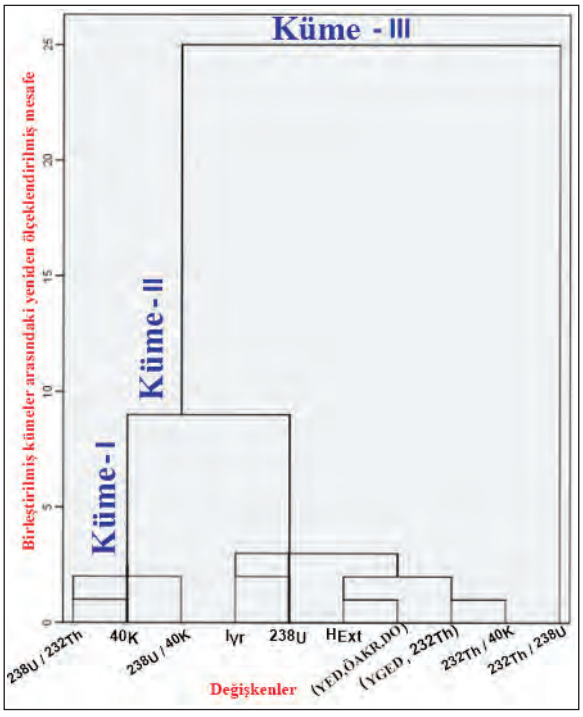


Şekil 10- Bileşen 1 ve bileşen 2'nin grafiksel gösterimi.

Bu çalışmada, on (10) örnekten on üç (13) değişkeni benzerliklerine göre kategorilere ayırmak ve dendrogram üretmek için Hiyerarşik Küme Analizi (HKA) olarak benimsenen çok değişkenli istatistiksel teknik kullanılmıştır (Şekil 11). Bir dendrogram, HKA'Dan hesaplamaların çıktısını görüntülemeyi sağlayan ağaç yapılı bir grafiktir (Fatoba vd., 2017). HKA'nın çıkışı, genellikle, ölçülen her bir parametrenin açıklamasına dayalı olarak kümelenmiş sütunlar veya satırlar arasındaki mesafe olarak temsil edilir. Dendrogramdaki mesafe veya düzen için Denk. (12) esas alınmıştır.

$$\frac{D_{Link}}{D_{Max}} \times 100 \qquad (12)$$

Burada, D_{Link}, belirli bir durum için bağlantı mesafeleri arasındaki bölümdür, D_{Max}, maksimum bağlantı mesafesidir. Denklemdeki sabit (yani, 100) bağlantı mesafesini standartlaştırmak için kullanılır (Wunderlin vd., 2001; Fatoba vd., 2017). Değişkenler arasındaki bağlantı mesafesinin karesi, Öklid uzaklığı kullanılarak tahmin edilmiş ve kümeleme tekniği için Ward yöntemi kullanılmıştır. En benzer değişkenler, ilk grup olarak ortaya çıkarken, uyumsuz değişkenler dendrogramda birbirinden uzakta konumlanmıştır (Ramasamy vd., 2011; Chandrasekaran vd., 2014). Başka bir deyişle, kümeler içindeki iki değişken arasındaki mesafe, benzerlik olarak adlandırılır. Aralarında mesafe olmayan iki değişken %100 benzerlik gösterirken, ayrı olan değişkenlerin %0 benzerliğe sahip oldukları söylenir.



Şekil 11- Radyoaktivite konsantrasyonu ve radyolojik risklerin HKA dendrogramı.

Üretilen en yakın kümeler $^{238}U/^{232}Th$ - ^{40}K, H_{Ext} - (YED, ÖAKR, DO) ve (YGED, ^{232}Th) - $^{232}Th/^{40}K$'dur, bu kümeler içinde, potasyum ve toryum, önemli doğal radyonüklid sağlayıcılarındandır. Üretilen sonraki kümeler $^{238}U/^{232}Th$ - $^{238}U/^{40}K$, Iγr - ^{238}U ve H_{Ext} - (YGED, ^{40}K) olup uranyum ve toryum bu kümelerdeki doğal radyoaktif çekirdeklerdir. Şekil 12'de beş parametre (YED, ÖAKR, DO, YGED ve ^{232}Th), iki değişken olarak kategorize edilmiştir. Birinci kategori, YED, ÖAKR ve DO olmak üzere üç değişkeni birleştirirken, iki değişken (YGED ve ^{232}Th) ikinci birleştirilmiş değişken kümesidir. Bunlar sırasıyla 0.977 ve 0.972 yüklerini paylaşan bileşen matrisi (Çizelge 5) üzerindeki yüklemelerinin bir sonucudur. Büyük kümelerde, üstteki gözlemlere dayanarak üç (3) küme bulunur. Küme-I, dokuz (9) değişkenden oluşur. Bunlar $^{238}U/^{232}Th$, ^{40}K, $^{238}U/^{40}K$, Ir, ^{238}U, H_{Ext}, (YED, ÖAKR, DO), (YGED, ^{232}Th) ve $^{232}Th/^{40}K$'dur. Küme-II, ^{40}K ve ^{238}U olan iki değişken içermektedir. Bununla birlikte, Küme-III'de $^{232}Th/^{238}U$ olan sadece bir değişken gözlenmiştir. Dendrogram, Küme-I'den, radyolojik tehlikelerin, doğal olarak meydana gelen üç radyonüklid (yani, toryum, uranyum ve potasyum) katkılarının bir sonucu olarak ortaya çıktığını göstermiştir.

5. Sonuçlar

Odo Oba'dan rastgele alınan on adet toprak örneğinin toryum, uranyum ve potasyum konsantrasyonları, Kanada ACME laboratuvarlarında ICP-MS yöntemiyle belirlenmiştir. Riskler (DO, YED, YGED, ÖAKR, H_{Ext} ve Iγr) ve radyoelementlerin oranları, çalışma alanındaki doğal radyonüklidlerden hesaplanmıştır. Uranyum, küresel ortalama olarak kabul edilen 35 Bq kg^{-1} değerinin altına düşerken, ortalama toryum ve potasyum konsantrasyonları küresel ortalama değeri olan 30 ve 400 Bq kg^{-1}'den daha büyüktür. Nijerya ve dünyanın diğer bölgelerindeki (Çizelge 7'de sunulduğu gibi) çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslandığında, bu çalışmanın sonuçlarının, küresel ortalamanın altında olduğu birkaç durum haricinde, uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır (Akinloye vd., 2012; Avwiri vd., 2012; Isola vd., 2015 gibi). İnceleme alanındaki yüksek toryum konsantrasyonları, arazinin doğasıyla ilişkilidir, çünkü uzaktan taşınan toryumca zengin materyaller,

Çizelge 7- Bu çalışmada elde edilen radyoaktivite konsantrasyon sonuçlarının diğer çalışmalarla karşılaştırılması,

Yazarlar	^{238}U (Bq kg^{-1})	^{232}Th (Bq kg^{-1})	^{40}K (Bq kg^{-1})	Lokasyon
Bu çalışma	29,40	44,25	1072,07	GB Nijerya
Isola vd,, (2015)	23,39	19,37	165,14	GB Nijerya
Akinloye vd,, (2012)	25,55	11,60	191,78	GB Nijerya
Adagunodo vd,, (2018a)	38,17	65,11	93,90	GB Nijerya
Adagunodo vd,, (2018b)	46,67	71,76	108,73	GB Nijerya
Avwiri vd,, (2012) alan 1	13,71	10,45	57,17	GB Nijerya
Avwiri vd,, (2012) alan 2	11,49	8,83	59,77	GB Nijerya
Isinkaye ve Emelue (2015)	47,89	55,37	1023,00	GB Nijerya
Chandrasekaran vd,, (2014)	19,16	48,56	1146,88	Hindistan
Ravisankar vd,, (2016)	9,19	45,60	295,11	Hindistan
Raghu vd,, (2017)	116,10	43,51	300,07	Hindistan
Turhan (2009) alan 1	39,30	49,60	569,50	Türkiye
Turhan (2009) alan 2	82,00	94,80	463,60	Türkiye

yıllar boyunca Odo Oba çevresinde birikmektedir. Odo Oba üzerinde çalışan çiftçiler, kontamine tozları teneffüs ederek toryuma maruz kalabilirler. Tarım arazilerinde yetiştirilen ürünler kirlenmiş olabilir ve tüketim yoluyla insanlara aktarılabilir. Radyoaktivite oranlarını tahmin çalışmaları, çalışma alanında uranyumun azalması ve toryum zenginleşmesinin meydana geldiğini göstermiştir. Tahmin edilen radyolojik riskler, DO, YED, YGED, ÖAKR ve Iγr ortalama değerlerinin sırasıyla küresel ortalamanın 1.42, 1.43, 2.04, 1.24 ve 1.36 katı fazlası olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, H_{Ext} <1'in ortalaması global ortalamanın altına düşmektedir. Çiftçilerin, doğal radyonüklidlere aşırı maruz kalmasını önlemek için çiftlik arazisinde güvenlik önlemleri almaları önerilir. Bununla birlikte, Odo Oba ve çevresinde, çevrenin radyasyon seviyesi hakkında kapsamlı bir rapor hazırlamak için daha fazla çalışma yapılması önerilmektedir.

Katkı Belirtme

Katkılarından dolayı derginin editör ve hakemlerine şükran sunulmaktadır.

Değinilen Belgeler

Adagunodo, T.A., Sunmonu, L.A. 2012. Groundmagnetic Survey to Investigate on the Fault Pattern of Industrial Estate Ogbomoso, Southwestern Nigeria. Advances in Applied Science Research 3(5), 3142–3149.

Adagunodo, T.A., Sunmonu, L.A., Ojoawo, A., Oladejo, O.P., Olafisoye, E.R. 2013*a*. The Hydro Geophysical Investigation of Oyo State Industrial Estate Ogbomosho, Southwestern Nigeria Using Vertical Electrical Soundings. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(5), 1816–1829.

Adagunodo, T.A., Sunmonu, L.A., Oladejo, O.P., Ojoawo, I.A. 2013*b*. Vertical Electrical Sounding to Determine Fracture Distribution at Adumasun Area, Oniye, Southwestern Nigeria. IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics 1(3), 10–22.

Adagunodo, T.A., Sunmonu, L.A., Oladejo, O.P., Olafisoye, E.R. 2013*c*. Groundmagnetic Investigation into the Cause of the Subsidence in the Abandoned Local Government Secretariat, Ogbomoso, Nigeria. ARPN Journal of Earth Sciences 2(3), 101–109.

Adagunodo, T.A., Adeniji, A.A., Erinle, A.V., Akinwumi, S.A., Adewoyin, O.O., Joel, E.S.,Kayode,O.T. 2017*a*. Geophysical Investigation into the Integrity of a Reclaimed Open Dumsite for Civil Engineering Purpose.Interciencia Journal 42(11), 324 – 339.

Adagunodo, T.A., Sunmonu, L.A., Adabanija, M.A., Suleiman, E.A., Odetunmibi, O.A. 2017*b*. Geoexploration of Radioelement's Datasets in a flood plain of Crystalline Bedrock. Data in Brief 15, 809 – 820. https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.10.046.

Adagunodo, T.A., George, A.I., Ojoawo, I.A., Ojesanmi, K., Ravisankar, R. 2018*a*. Radioactivity and Radiological Hazards from a Kaolin Mining Field in Ifonyintedo, Nigeria. MethodsX, 5C: 362 – 374. https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.04.009.

Adagunodo, T.A., Hammed, O.S., Usikalu, M.R., Ayara, W.A., Ravisankar, R. 2018*b*. Data on the Radiometric Survey over a Kaolinitic Terrain in Dahomey Basin, Nigeria. Data in Brief 18C, 814 – 822. https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.03.088.

Adagunodo T.A., Sunmonu L.A., Emetere M.E. 2018*c*. Heavy Metals' Data in Soils for Agricultural Activities. Data in Brief, 18C, 1847 – 1855. https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.04.115.

Ademola, A.K., Olaoye, M.A., Abodunrin, P.O. 2015. Radiological Safety Assessment and Determination of Heavy Metals in Soil Samples from some Waste Dumpsites in Lagos and Ogun State, South-western, Nigeria. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 8, 148 – 153.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 1990. Public Health Statement Thorium. Summary Chapter from the Toxicological Profile for Thorium, Series of Public Health Statements about Hazardous Substances and their Health Effects, CAS#: 7440 – 29 – 1.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 2014. Toxic Substances Portal –Thorium. Atlanta GA: Centers for Disease Control and Prevention. Retrieved on October 18, 2017.

Akinloye, M.K., Isola, G.A., Oladapo, O.O. 2012. Investigation of Natural Gamma Radioactivity levels and Associated Dose Rates from Surface Soils in Ore Metropolis, Ondo State, Nigeria. Environment and Natural Resources Research 2(1), 140 – 145.

Alam, M.N., Chowdhury, M.I., Kamal, M., Ghose, S., Ismal, M.N. 1999. The 226Ra, 232Th and 40K Activities in Beach Sand Minerals and Beach Soils of Cox's Bazar, Bangladesh. Journal of Environmental Radioactivity 46(2), 243 – 250.

Alzubaidi, G., Fauziah, H.S., Rahman, I. A. 2016. Assessment of Natural Radioactivity Levels and Radiation Hazards in Agricultural and Virgin Soil in the State of Kedah, North of Malaysia. The Scientific World Journal Article ID 6178103, 1 – 9. Dx.doi.org/10.1155/2016/6178103.

Ashley, R.P., Lloyd, J.W. 1978. An example of the use of factor analysis and cluster analysis in groundwater chemistry interpretation. J. Hydrol. 39, 335 – 364.

Avwiri, G.O., Osimobi, J.C., Agbalagba, E.O. 2012. Evaluation of Radiation Hazard Indices and Excess Lifetime Cancer Risk due to Natural Radioactivity in Soil Profile of Udi and Ezeagu Local Government areas of Enugu State, Nigeria. Comprehensive Journal of Environmental and Earth Sciences 1(1), 1 – 10.

Bank, T., Roth, E., Tinker, P., Granite, E. 2016. Analysis of Rare Earth Elements in Geologic Samples using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. US DOE Topical Report – DOE/NETL – 2016/1794.

Beckerman, J. 2016. Potassium and your Hearth. WebMD Medical Reference, WebMD, LLC. Reviewed on October 6, 2016, Retrieved on October 18, 2017. https://www.webmd.com/heart-disease/potassium-and-your-heart.

Chandrasankaran, A., Ravisankar, R., Senthilkumar, G., Thillaivelavan, K., Dhinakaran, B., Vijayagopal, P., Bramha, S.N., Venkatraman, B. 2014. Spatial Distribution and Lifetime Cancer Risk due to Gamma Radioactivity in Yelagiri Hills, Tamilnadu, India. Egyptian Journal of Basic and Applied Science 1, 38 – 48.

European Commission (EC). 1999. Radiation Protection, 112-Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. Directorate-General Environment. Nuclear Safety and Civil Protection.

Fatoba, J.O., Sanuade, O.A., Hammed, O.S., Igboama, W.W. 2017. The use of multivariate statistical analysis in the assessment of groundwater hydrochemistry in some parts of southwestern Nigeria. Arab. J. Geosci. 10, 328. https://doi.org/10.1007/s12517-017-3125-7.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013. Agricultural Mechanization in Sub Saharan Africa: Guidelines for preparing a Strategy. Plant Production and Protection Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. ISBN 978-92-5-107762-7

Gbadebo, A.M., Amos, A.J. 2010. Assessment of Radionuclide Pollutants in Bedrocks and Soils from Ewekoro Cement Factory, Southwest Nigeria. Asian Journal of Applied Sciences 3(2), 135 – 144.

Ibrahiem, N. 1999. Natural Activity of 238U, 232Th and 40K in Building Materials. Journal of Environmental Radioactivity 43(3), 255 – 258.

International Atomic Energy Agency (IEAE). 1989. Construction and Use of Calibration Facilities for Radiometric Field Equipment. Technical Reports Series no. 309, IAEA, Vienna.

International Commission on Radiological Protection (ICRP)-60. 1990. Protection: 1990. Recommendations Methods Part I. Monoenergetic Sources of Natural Radionuclides in the Ground. GSF-B2/90 of ICRP. Pergamon Preis.

Isinkaye M.O., Emelue H.U. 2015. Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 8, 459 – 469.

Isola G.A., Oni O.M., Akinloye M.K., Awodugba A.O. 2015. Determination of absorbed dose rate and effective dose equivalent due to natural radionuclide present in soil in Oyo and Osun state, South-western Nigeria. Impact: International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences, 3(3), 27 – 32.

Jackson, J.E. 1991. A user's guide to Principal Components. New York: Wiley.

Jones, H.A., Hockey, R.D. 1964. The geology of the southwestern Nigeria. Geol. Surv. Nig. Bull. 31, pp 101.

Kaiser, H.F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. Educ. Psychol. Meas. 20,141–151.

Krieger, R. 1981. Radioactivity of Construction Materials. Betonw. Fert. Tech. 47, 468 – 473.

Obaje, N.G. 2015. Geology and mineral resources of Nigeria. In: Brooklyn, S.B., Bonn, H.J.N., Gottingen, J.R., Graz, K.S. (Eds.), Lecture notes in Earth Sciences 120. Springer, Pp 221.

Odunaike, R.K., Ozebo, V.C., Alausa, S.K., Alausa, I.M. 2008. Radiation Exposure to Workers and Villagers in and around some Quarry sites in Ogun State of Nigeria. Environmental Research Journal 2(6), 348 – 350.

Oladejo, O.P., Sunmonu, L.A., Ojoawo, A., Adagunodo, T.A., Olafisoye, E.R. 2013. Geophysical investigation for groundwater development at Oyo state housing estate Ogbomosho, southwestern Nigeria. Research Journal of Applied Science, Engineering and Technology 5(5), 1811 – 1815.

Olafisoye, E.R., Sunmonu, L.A., Ojoawo, A., Adagunodo, T.A., Oladejo, O.P. 2012. Application of Very Low Frequency Electromagnetic and Hydro-physicochemical Methods in the Investigation of Groundwater Contamination at Aarada Waste Disposal Site, Ogbomoso, Southwestern Nigeria. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 6(8), 401–409.

Olafisoye, E.R., Sunmonu, L.A., Adagunodo, T.A., Oladejo, O.P. 2013. Impact Assessment of Solid Waste on Groundwater: a Case Study of Aarada Dumpsite, Nigeria. ARPN Journal of Earth Sciences 2(2), 45–53.

Omeje, M., Wagiran, H., Ibrahim, N., Lee, S.K., Sabris, S. 2013. Comparison of Activity Concentration of 238U, 232Th and 40K in different Layers of Subsurface Structures in Dei-Dei and Kubwa, Abuja Northcentral Nigeria. Radiation Physics and Chemistry 91, 70 – 80.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1979. Exposure to Radiation from the Natural Radioactivity in Building Materials. Report by a group of Experts, Nuclear Energy Agency, Paris, France.

Palomo, M., Penalver, A., Aguilar, C., Bornull, F. 2010. Presence of Naturally Occurring Radioactive Materials in Sludge Samples from several Spanish Water Treatment Plants. Journal of Hazardous Materials 181(1 – 3), 716 – 720.

Qureshi, A.A., Tariq, S., Din, K.U., Manzoor, S., Calligaris, C., Waheed, A. 2014. Evaluation of Excessive Lifetime Cancer Risk due to Natural Radioactivity in the Rivers Sediments of Northern Pakistan. Journal of Radiation Research and Applied Sources 7, 438 – 447.

Rafique, M., Rahman, S.U., Basharat, M., Aziz, W., Ahmad, I., Lone, K.A., Ahmad, K., Matiullah 2014. Evaluation of Excess Life Time Cancer Risk from Gamma Dose Rates in Jhelum Valley. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 7, 29 – 35.

Raghu, Y., Ravisankar, R., Chandrasekaran, A., Vijayagopa, P., Venkatraman, B. 2017. Assessment of natural radioactivity and radiological hazards in building materials used in the Tiruvannamalai District, Tamilnadu, India, using a statistical approach. Journal of Taibah University for Science, 11, 523 – 533.

Ramasamy, V., Suresh, G., Meenakshisundaram, V., Ponnusam, V. 2011. Horizontal and Vertical characterization of radionuclides and minerals in river sediments. Appl. Radiat. Isot. 69, 184 – 195.

Ravisankar, R., Rajalakshmi, A., Eswaran, P., Gajendrian, V., Meenakshisundram, V. 2007. Radioactivity Levels in Soils of Salt Field are Kelambakkam, Tamil Nadu, India. Nucl. Sci. Tech. 18, 372 – 375.

Ravisankar, R., Chandrasekaran, A., Vijayagopal, P., Venkatraman, B., Senthilkumar, G., Eswaran, P., Rajalakshmi, A. 2012. Natural Radioactivity in Soil Samples of Yelagiri Hills, Tamil Nadu, India and the Associated Radiation Hazards. Radiation Physics and Chemistry 81, 1789 – 1795.

Ravisankar, R., Chandramohan, J., Chandrasekaran, A., Jebakumar, J.P., Vijayalakshmi, I., Vijayagopal, P., Venkatraman, B. 2015. Assessments of Radioactivity Concentration of Natural Radionuclides and Radiological Hazard Indices in Sediment Samples from the East Coast of Tamilnadu, India with Statistical Approach. Marine Pollution Bulletin 97, 419 – 430.

Ravisankar, R., Raghu, Y., Chandrasekaran, A., Gandhi, M.S., Vijayagopal, P., Venkatraman, B. 2016. Determination of Natural Radioactivity and the Associated Radiation Hazards in Building Materials used in Polur, Tiruvannamalai District, Tamilnadu, India using Gamma Ray Spectrometry with Statistical Approach. Journal of Geochemical Exploration 163, 41 – 52.

River of Yorubaland. 2017. Oba River. Categories from Rivers of Nigeria, Osun State, Rivers of Yorubaland, https://en.wikipedia.org/wiki/Oba_River. Retrieved on October 15, 2017.

Rodriguez-Barroso, M.R., Garcia-Morales, J.L., Coello-Oviedeo, M.D., Quiroga-Alousa, J.M. 2009. An assessment of heavy metal contamination in surface sediments using statistical analysis. Environmental Monitoring Assessment 163, 489–501.

Sahoo, S.K., Yonehara, H., Kurotaki, K., Shiraishi, K., Ramzaev, V., Barkovski, A. 2001. Determination of Rare Earth Elements, Thorium and Uranium by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry and Strontium Isotopes by Thermal Ionization Mass Spectrometry in Soil Samples of Bryansk region Contaminated due to Chernobyl Accident. J. Radioanal. Nucl. Chem. 247(2), 341 – 345, doi: 10.1023/A:1006757718985.

Sahoo, S.K., Hosoda, M., Kamagata, S., Sorimachi, A., Ishikawa, T., Tokonami, S., Uchida, S. 2011. Thorium, Uranium and Rare Earth Elements Concentration in Weathered Japanese Soil Samples. Progress in Nuclear Science and Technology 1, 416 – 419.

Sartandel, S.J., Jha, S.K., Bara, S.V., Tripathi, R.M., Puranik, V.D. 2009. Spatial Distribution of Uranium and Thorium in the Surface Soil around Proposed Uranium Mining Site at Lambapur and its Vertical Profile in the Nagarjuna Sagar Dam. J. Environ. Radioact. 100, 831 – 834.

Sunmonu, L.A., Adagunodo, T.A. Olafisoye, E.R., Oladejo, O.P. 2012. The Groundwater Potential Evaluation at Industrial Estate Ogbomoso Southwestern Nigeria. RMZ-Materials and Geoenvironment 59(4), 363–390.

Tanaskovic, I., Golobocanin, D., Milijevic, N. 2012. Multivariate statistical analysis of hydrochemical and radiological data of Serbian spa waters. J. Geochem. Explor. 112, 226 – 234.

Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., Karahan, G. 2009. Radionuclide Concentrations in Soil and Lifetime Cancer Risk due to the Gamma Radioactivity in Kirklareli, Turkey. J. Environ. Radioact. 1000, 49 – 53.

Tzortzis, M., Tsertos, H. 2004. Determination of Thorium, Uranium and Potassium Elemental Concentrations in surface Soils in Cyprus. Journal of Environmental Radioactivity 77 (3), 325 – 338.

Turhan S. 2009. Radiological impacts of the usability of clay and kaolin as raw material in manufacturing of structural building materials in Turkey. J. Radiol. Prot., 29, 75 – 83.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Arsenic Radiation (UNSCEAR). 1988. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. New York: United Nations.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Arsenic Radiation (UNSCEAR). 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1993 Report Vol. 1 to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations Sales Publication, United Nations, New York.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Arsenic Radiation (UNSCEAR). 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report Vol. 1 to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations Sales Publication, United Nations, New York.

Uosif, M.A.M., Mostafa, A.M.A., Elsaman, R., Moustafa, E. 2014. Natural Radioactivity Levels and Radiological Hazards Indices of Chemical Fertilizers Commonly used in upper Egypt. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 7, 430 – 437.

Usikalu, M.R., Akinyemi, M.L., Achuka, J.A. 2014. Investigation of Radiation Levels in Soil Samples Collected from Selected Locations in Ogun State, Nigeria. IERI Procedia 9, 156 – 161.

Usikalu, M.R., Fuwape, I.A., Jatto, S.S., Awe, O.F., Rabiu, A.B., Achuka, J.A. 2017. Assessment of Radiological Prameters of Soil in Kogi state, Nigeria. Environmental Forensics, 18(1), 1 – 14.

Wint, C., Cherney, K. 2017. High Potassium. Healthline Media. Medically Reviewed by Weatherspoon D on May 22, 2017, Retrieved on October 18, 2017. https://www.healthline.com/health/high-potassium-hyperkalemia#about1.

Wunderlin, D.A., Diaz, M.D.P., Ame, M.V., Pesce, S.F., Hued, A.C., Bistoni, M.D. 2001. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia River Basin (Cordoba-Argentina). Water Res. 35(12), 2881–2894. doi: 10.1016/s0043-1354(00)00592-3.

Xing-an, C., Yong-e, C., Huijuan, X., Guodong, F., Yun-hui, D., Zhi-Liang, F., Liang, C., Mao, H.X., Ying-Jie, Y., Huan, D.Z., Rong, Z. 2014. A twenty-year Follow-up study on Health Effects following Long-term Exposure to Thorium Dusts. A project from National Natural Science Foundation of China (Project no. 3860285) and IAEA (Project no. 7715/RB and 11526RBF) https://www.ipen.br/biblioteca/cd/irpa/2004/files/1b9.pdf