



Araştırma Makalesi/Research Article

Çan Termik Santrali Etrafındaki Topraklarda Radyonüklitlerin Belirlenmesi

Mehmet Parlak^{1*} İsmail Taş² Ceren Görgişen³ Emrah Durak²

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lapseki Meslek Yüksekokulu, Lapseki-Çanakkale.

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Çanakkale.

³ Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara.

*Sorumlu yazar: mehmetparlak06@hotmail.com

Geliş Tarihi: 12.09.2017

Kabul Tarihi: 13.11.2017

Öz

Termik santral bacalarından çıkan gaz ve katı kirleticiler yanında radyoaktif maddeler de çevre kalitesini ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedirler. Çanakkale’de yer alan 2x160 MW gücündeki akışkan yataklı Çan Termik Santrali 2004 yılından beri faaliyetine devam etmektedir. Bu araştırma ile Çan termik santralının etrafındaki meralardan alınmış olan topraklarda doğal ve yapay radyonüklitler belirlenmiştir. Çalışma alanını temsil edecek şekilde 15 farklı noktadan 0-5 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Radyonüklitler yüksek çözünürlüklü gama ışını spektrometre yardımıyla saptanmıştır. ²³⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs’un ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 21,60±7,58, 37,33±10,17, 469,20±122,10 ve 11,50±5,55 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre çalışma alanındaki radyasyon tehlikesi parametreleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda radyonüklitler ve toprak özellikleri arasında korelasyon ve kümeleme analizleri de yapılmıştır. Çalışma alanı radyolojik risk açısından herhangi bir tehlike içermemektedir.

Anahtar Kelimeler: Termik santral, doğal radyonüklitler, ¹³⁷Cs, radyolojik risk

Detection of Radionuclides in Soils around Çan Coal-Fired Power Plant

Abstract

Beside gases and solid pollutants, radioactive substances released from the chimneys of coal fired power plants have various negative impacts on both environmental quality and human health. Çan coal-fired power plant with fluidized bed system and a capacity of 2x160 MW located in Canakkale province of Turkey has been operating since 2004. Soil samples were taken in this study from the rangelands around Çan thermal power plant and natural (²³⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K) and artificial radionuclides (¹³⁷Cs) were analyzed in these samples. Representative samples were taken from 0-5 cm soil depth of 15 different locations. Radionuclides were carried out by high resolution gamma ray spectrometry. The average activity concentrations of ²³⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, and ¹³⁷Cs were found to be 21.60±7.58, 37.33±10.17, 469.20±122.10 and 11.50±5.55 Bq/kg, respectively. Radiation hazard parameters were calculated for the research site. Correlation and cluster analyses were also performed between radionuclides and soil characteristics. Present findings revealed that the research site did not bear any radiological risks.

Keywords: Coal fired power plant, natural radionuclides, ¹³⁷Cs, radiological risk

Giriş

Kömür elektrik enerjisi üretiminde temel bir kaynaktır. Enerji kullanımı endüstrileşme, şehirleşme ve nüfustaki hızlı artışla önemli miktarda artmaktadır. Enerji tüketimindeki artışa paralel olarak termik santrallerde enerji üretiminde kullanılan kömürün miktarı da artmaktadır. Dünya kömür üretimi son 30 yılda iki kat artmıştır. Üretilen kömürün büyük bir kısmı termik santrallerde kullanılmaktadır. Dünyada elektrik ihtiyacının %41’ i termik santrallerden sağlanmaktadır. Türkiye’ de termik santraller elektrik üretiminin %29’ unu karşılamaktadır (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 2015). Kömürün yakılması sonucunda arta kalan kül, curuf ve partiküller çevrede olumsuz etkilerde bulunmakta; su, hava, toprak gibi sınırlı kaynakların hızlı bir şekilde kirlenmesine neden olmaktadır. Doğal radyonüklitler de kömürün yakılmasından kaynaklanan kirleticilerdendir.

Ülkemizde ve dünyada yapılan araştırmalar kömüre dayalı termik santrallerin etrafındaki radyoaktivitenin etkisini ortaya koymuşlardır. Cevik ve ark. (2007) Çayırhan-Ankara termik santralının çevresindeki toprak örneklerinde ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K gibi doğal radyonüklitleri belirlemişlerdir. Adı geçen araştırmacılar ²²⁶Ra ‘u Yunanistan’ dakinden düşük, ²³²Th’ u Polonya’ dakinden yüksek, ⁴⁰K’ u ise Hindistan’ dakinden düşük saptamışlardır. Gür ve Yaprak (2010) Yatağan

termik santrali etrafındaki yüzey topraklarında doğal radyonüklit (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) konsantrasyon değerlerinin UNSCEAR (2000)' in bildirdiği dünyadaki sınır değerler içerisinde olduğunu saptamışlardır. Çayır ve ark. (2012) Afşin-Elbistan termik santrali etrafındaki yüzey topraklarında doğal radyonüklit (^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K) konsantrasyonlarının artmadığını, fakat yapay bir radyonüklit olan ^{137}Cs ' un belirgin artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Parial ve ark. (2016) Batı Bengal'de (Hindistan) bulunan termik santralin çevresindeki topraklarda ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesinin dünya ortalamasından 3-4 kat daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Charro ve ark. (2013) kuzey İspanya' da yer alan termik santralin risk değerlendirmesini yapmışlardır. Aynı araştırmacılar karasal gama doz hızının (58 nGy/saat) UNSCEAR 2000' in bildirdiği değere (60 nGy/saat) çok yakın olduğunu, yıllık etkin doz eşdeğerinin (71 μSv) dünya ortalaması olan 70 μSv ' ın üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Gören ve ark. (2017) Kangal termik santralinin gama doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeri bakımından kabul edilebilir değerlerin altında olduğunu saptamışlardır.

2017 yılı eylül ayı itibarıyla Çanakkale' de 4 termik santral faaliyet gösterirken inşaatı devam eden ve izin verilenlerle birlikte sayınının 16' ya ulaşacak olması termik santrallerin çevreye olan etkilerinin nasıl olacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Bu araştırmanın amacı Çan termik santrali etrafındaki mera topraklarında radyonüklitlerin konsantrasyonunun belirlenerek çalışma alanına ait radyolojik riskin olup olmadığını saptamaktır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı

Çanakkale İline bağlı olan Çan ilçesi, kuzeyde Biga ve Lapseki, güneyde Bayramiç ve Yenice, batısında Çanakkale Merkez ve Bayramiç, doğuda ise Yenice ilçeleri ile çevrilidir (Şekil 1). Çan Termik Santrali lokasyon olarak, $40^{\circ}01'15,62''$ enlemi ile $26^{\circ}58'32,88''$ boylamı üzerindedir. Tesis Çanakkale'nin Çan İlçesi'ne bağlı Kulfal ve Yaya köyleri arasındaki 1600 dönümlük arazi üzerine ortalama rakımı 73 metrede kurulmuştur. Çan İlçesi'nin tabanı volkanik ve sedimantolojik yapıdadır. Kuzeyinde andezit, batısında Neojen Çağına ait killi linyit oluşumlu ana kayanın özellikleri yaygındır. Bölgedeki kömürleri değerlendirmek üzere 2×160 MW'lık akışkan yataklı yakma sistemine göre Çan Termik Santrali 2004 yılında yapılmıştır. Akışkan yatak teknolojisinde kükürt, linyitin yanması sırasında kireçtaşı ilave edilerek %90' lık bir verimle tutulmakta olup, bu şekilde yönetmeliklerin öngördüğü sınır değerler sağlanmakta ve baca gazı desülfürizasyonu tesisine gerek kalmayan tesis Çanakkale'nin Çan İlçesinde kurulmuştur (Şekil 2A ve 2B). Akışkan yataklı kazan teknolojisi dünyada 20 yıldan bu yana kullanılmasına rağmen ve Türkiye'de ilk kez Çan termik santralinde uygulanmaya başlanmıştır (İlgar, 2008).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

Coğrafi olarak gerçek mevsimsel Akdeniz iklimi ile nemli-ılıman Karadeniz iklimi arasında bir geçiş özelliği taşıyan Çanakkale yöresinin iklimi, geleneksel sınıflandırmaya göre “yarı nemli Marmara geçiş iklimine” girer (Türkeş ve ark., 2011). 1970-2011 yılları arasındaki meteorolojik verilere göre Çanakkale'nin yıllık ortalama sıcaklığı 15,2 °C, yıllık ortalama toplam yağış tutarı 594,6 mm'dir. Çan'da hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeydoğudur. İlçenin %58'i ormanlıktır. Çanakkale ilinin toplam çayır mera alanı 221 536 dekar olup, bunun % 2,70'i Çan ilçesinde bulunmaktadır (Gökkuş ve ark. 2011). Toprak örnekleri alınan meralarda karaçalı (*Paliurus spina-cristi* Mill.), mazı meşesi (*Quercus infectoria*), kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.), akçakesme (*Phillyrea latifolia*), laden (*Cistus creticus* L.) ile ardıç (*Juniperus oxycedrus* L.) çalı ve ağaçları mevcuttur (Şekil 2C). Çan ilçesindeki yaygın büyük toprak grupları kireçsiz kahverengi orman toprakları (Alfisol) ve kahverengi orman topraklarıdır (İnseptisol) (Anonim, 1999).

Toprak Örneklerinin Alınması

Toprak örnekleri Aralık 2016' da termik santralin etrafındaki meralardan 0-5 cm derinlikten alınmıştır (Şekil 2D). Toprak örneği alınmış yerlerin koordinatları GPS (yer konumlama cihazı) ile belirlenmiştir. Meranın 3 yerinden alınan toprak örnekleri karıştırılarak tek örnek haline getirilmiş ve her bir meradan 6-7 kg toprak örneği alınmıştır. Toprak örneklerinin alınması 15 farklı merada yapılmıştır. Alınmış toprak örnekleri laboratuvara getirildikten sonra içlerindeki taş ve bitki parçacıkları ayıklanmış ve topraklar laboratuvarda kurutulmuştur. Daha sonra toprak örnekleri 2 mm' lik elekten elenerek analizlere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2. A ve B. Termik santralin görünüşü C. Karaçalının yoğun olduğu merada otlayan koyunlar D. Toprak örneklerinin alınması

Toprak Analizleri

Toprak örneklerinin tekstürleri Bouyoucus hidrometre yöntemiyle (Gee ve Or, 2002), organik madde içerikleri ise yaş yakma yöntemiyle (Nelson ve Sommers, 1982) belirlenmiştir.



Radyonüklit Ölçümleri İçin Örnek Hazırlama

Her örnekleme noktasından alınacak olan toprak örnekleri, gama spektrometrik analiz için 1 L' lik Marinelli kaplara yerleştirilmiştir. Örnekler ^{226}Ra ve ^{222}Rn arasındaki radyoaktif dengenin sağlanması ve Compton bölgesinin kararlı hale gelmesi için ölçümlerden önce 4-5 hafta süre ile bekletilmiştir.

Radyonüklit Analizi

Gama Spektrometre Sistemi: İncelenecek örneklerin ^{226}Ra (^{214}Bi , 1764 keV), ^{232}Th (^{208}Tl , 2614 keV), ^{40}K (1461 keV) ve ^{137}Cs (662 keV) içeriklerinin saptanmasında kullanılacak gama spektrometre sistemi, 184 cc HPGe coaksial dedektör (dedektör verimi: %25, ^{60}Co ' ın 1,33 MeV gama enerjisi için FWHM: 1,83 keV ve pik/compton oranı: 57:1), Ortec Model-671 spektroskopi amplifikatörü ve Canberra PC bazlı MCA (8K, Wilkinson ADC)' dan oluşmuş ve 100 mm kurşun ile zırhlanmıştır (Işık Camgöz ve Yaprak, 2009).

Curie (1968) tarafından verilen matematiksel tanımlamalar kullanılarak ölçüm sisteminin algılayabileceği minimum aktivite 20000 saniye sayım süresidir. Daha sonra sayım sonuçları çok kanallı analizöre aktarılarak, ilgili radyonüklitler için pikler tespit edilmiştir. Tespit edilen bu pikler için, seçilmiş spektrum verileri bilgisayar ortamına aktarılarak radyonüklitlerin aktiviteleri hesaplanmıştır (Saç ve Ekin, 2016).

Çan termik santrali etrafındaki mera topraklarında doğal radyasyondan kaynaklanan karasal gama doz hızları (D), yüzey topraklarında ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarından yararlanılarak ve UNSCEAR (2000)' de verilen doz dönüşüm katsayıları kullanılarak, aşağıdaki eşitlik(1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D(\text{nGy/saat})=0,462A_{\text{Ra}}+0,604A_{\text{Th}}+0,0417A_{\text{K}} \quad (1)$$

Burada, D yerden 1 metre yukarıda ölçülen doz hızıdır.

Yıllık etkin doz eşdeğerinin (YEDE) hesaplanması için, havadaki absorplanan dozun etkin doza dönüşüm katsayısı ve bina dışı meşguliyet faktörü dikkate alınır.

Yıllık etkin doz eşdeğeri eşitlik 2 ile hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000).

$$\text{YEDE} (\mu\text{Sv/yıl}) = D(\text{nGy/h}) \times 8760(\text{saat/yıl}) \times 0,2 \times 0,7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-3} \quad (2)$$

Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), risk indeksinde geniş bir şekilde kullanılır.

^{226}Ra ' nın 370 Bq/kg'lık aktivitesi, ^{232}Th 'nin 259 Bq/kg'lık aktivitesi ve ^{40}K ' nın 4810 Bq/kg'lık aktivitesinin aynı gama doz hızını ürettiği farz edilir (Eşitlik 3) (UNSCEAR, 2000).

$$R_{\text{eq}} = A_{\text{Ra}} + 1,43 A_{\text{Th}} + 0,077 A_{\text{K}} \quad (3)$$

Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_{K} sırasıyla, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin Bq/kg biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır.

Dış tehlike endeksi (H_{ex}), (UNSCEAR, 2000)' de verilen model kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 4).

$$H_{\text{ex}} = (A_{\text{Ra}}/370) + (A_{\text{Th}}/259) + (A_{\text{K}}/4810) \leq 1 \quad (4)$$

Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_{K} sırasıyla, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin Bq/kg biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır.

İstatistik Analiz

Radyonüklitler ile toprak özelliklerinin tanıtıcı istatistikleri yapılmıştır. Aynı zamanda radyonüklitler ve toprak özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek için Spearman korelasyonu ve kümeleme analizleri kullanılmıştır. İstatistik analizlerin yapılmasında Minitab 16 bilgisayar paket programından yararlanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Örnekleme bölgesindeki toprakların radyoaktif madde analizleri sonucunda ^{226}Ra aktivitesi 14,00-41,00 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 27,00-62,00 Bq/kg, ^{40}K aktivitesi 255,00-704,00 Bq/kg ve ^{137}Cs aktivitesi 2,04-21,39 aralığında saptanmıştır. Çalışma alanındaki topraklar killi tın, kil tın, kumlu kil



tın ve kumlu tın bünyeli olup organik madde kapsamı %4,98' dir (Çizelge 1). Araştırmamızda belirlediğimiz ²²⁶Ra'un aktivitesi UNSCEAR (2000)'in ortalamasından düşük iken ²³²Th ve ⁴⁰K aktiviteleri ise UNSCEAR (2000)'in ortalamasından yüksektir. UNSCEAR (2000)'de ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K için verilen değerler sırasıyla 35, 30 ve 400 Bq/kg' dir.

Çizelge 1. Çan termik santrali etrafından alınan toprakların radyonüklit konsantrasyonları ile bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanıttıcı istatistikleri (n=15)

	Ortalama±standart sapma	Minimum	Maksimum
²²⁶ Ra(Bq/kg)	21,60±7,58	14,00	41,00
²³² Th(Bq/kg)	37,33±10,17	27,00	62,00
⁴⁰ K(Bq/kg)	469,20±122,10	255,00	704,00
¹³⁷ Cs(Bq/kg)	11,50±5,55	2,04	21,39
Kil(%)	32,12±9,63	16,67	46,67
Silt(%)	29,66±7,41	18,75	42,55
İnce kum(%)	33,97±10,87	17,92	61,40
Kaba kum(%)	4,24±3,80	0,34	16,12
Organik madde(%)	4,98±1,14	3,28	6,93

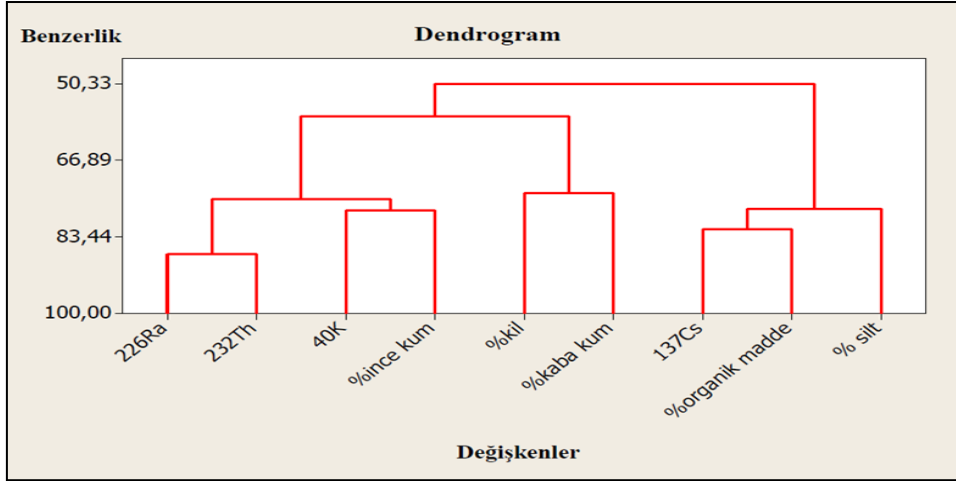
Yapılan istatistik analizi sonucunda ²³²Th ile ²²⁶Ra (r=0,74) arasında; ⁴⁰K ile ince kum (r=0,55) arasında pozitif korelasyonlar saptanmışken, ²³²Th ile silt (r=-0,55) arasında negatif bir korelasyon saptanmıştır. Topraktaki tane büyüklüğü dağılımı, tane büyüklüğünün artmasıyla radyoaktivite konsantrasyonunun azalması yüzünden radyoaktivite dağılımında önemli bir etkiye sahiptir (Belivermiş ve ark. 2010). Blanco Rodriguez ve ark. (2008) daha ince fraksiyonlardaki radyoaktivite konsantrasyonu ile toprağın radyoaktivitesi arasında önemli ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Topraktaki organik maddenin artmasına bağlı olarak ¹³⁷Cs'un tutulması artmaktadır (Çizelge 2). Organik madde yüksek tamponlama özelliği ve kation değişim kapasitesine sahip olduğundan ¹³⁷Cs tutulmasını pozitif yönde etkilemektedir. Araştırmamızda belirlediğimiz ¹³⁷Cs ve organik madde ilişkisi başka araştırmacılar (Saç ve ark. 2005; Papaefthymiou ve ark. 2013; Vukasinovic ve ark. 2014) tarafından da saptanmıştır.

Çizelge 2. Çalışmada belirlenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	%Kil	%Silt	%İnce kum	%Kaba kum
²³² Th	0,74*							
⁴⁰ K	0,24	0,42						
¹³⁷ Cs	-0,03	-0,26	-0,41					
%kil	-0,42	-0,03	-0,16	-0,25				
%silt	-0,26	-0,55*	-0,52	0,55	-0,37			
%ince kum	0,51	0,35	0,55*	-0,09	-0,80*	-0,19		
%kaba kum	0,12	0,15	-0,15	-0,18	0,48	-0,45	-0,46	
%organik madde	-0,15	-0,26	-0,41	0,63*	-0,19	0,32	-0,06	0,01

*: p<0,05

Yapılan kümeleme analizi sonucunda ²²⁶Ra ve ²³²Th aynı kümede (%87,09 benzerlik), ⁴⁰K ile ince kum başka kümede (%77,64 benzerlik), ¹³⁷Cs ile organik madde (%81,70 benzerlik) ise farklı kümede yer almıştır (Şekil 3). Radyonüklitlerin farklı kümelerde yer almasının nedeni kayaç tipleri ve kimyasal özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmış olabilir.



Şekil 3. Radyonüklit aktivite konsantrasyonları ve toprak özelliklerinin kümeleme analizinden elde edilen dendrogram

Dünyanın farklı ülkelerinde ve ülkemizdeki termik santrallerin etrafından alınan toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs içerikleri Çizelge 3’ de verilmiştir. Araştırmamızda saptadığımız ^{226}Ra aktivitesi (21,60 Bq/kg) çizelgede verilen tüm termik santrallerin ^{226}Ra konsantrasyonundan düşüktür. ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivitesi sırasıyla 37,30; 469,20 ve 11,50 Bq/kg bulunmuştur. Malezya, İspanya, Brezilya, Çin ve Sırbistan’daki termik santrallerin civarındaki toprakların ^{232}Th aktivitesi Çan’ da bulduğumuz değerden yüksek; Çayırhan, Kangal, Macaristan ve Yunanistan’ dakiler bizim saptadığımız değerden düşüktür. ^{40}K aktivitesi Çin ve Sırbistan’ daki termik santraller hariç diğer santrallerinkinden yüksek bulunmuştur. ^{137}Cs aktivitesi ise İspanya, Macaristan, Yunanistan ve Sırbistan’daki termik santrallerin topraklarından düşük belirlenmiştir (Çizelge 3). İncelenen santrallerin doğal radyonüklit konsantrasyonundaki farklılıkların oluşmasında toprak tipi, iklim koşulları, termik santralin baca yüksekliği ve kullanılan kömür etkilidir. Bunun yanında kömürün kullanılma süresi, yakılan kömürün miktarı ve cinsi, termik santralin uçan külü tutma etkinliği, kömürün kül oranı, yanma sıcaklığı, uçucu kül ve dip külü paylaşım oranı gibi faktörler radyoaktiviteyi etkilemektedir (Papaefthymiou ve ark., 2013; Vukasinovic ve ark. 2014; Cujic ve ark. 2015; Liu ve ark. 2015). ^{137}Cs ise 1960’ larda test edilen nükleer silahların serpintisinden ve 1986 yılındaki Çernobil nükleer santrali kazasından sonra atmosfere salınmıştır. Atmosfere dağılan bu yapay radyonüklit daha sonra yeryüzüne inmiştir. Bu nedenle her termik santralin etrafındaki topraklarda doğal ve yapay radyoaktivite değerleri farklılık gösterecektir.

Araştırmamızda saptadığımız karasal gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri, radyum eşdeğer aktivitesi ve dış zarar indeksi UNSCEAR (2000)’ de verilen değerlerin altındadır (Çizelge 4). Başka araştırmacılar da radyolojik risk açısından bulgularımıza benzer sonuçlar bulmuşlardır. Aytekin ve Baldık (2008) Çatalağzı (Zonguldak) termik santrali çevresinden aldıkları toprak örneklerinde doğal radyoaktivite dağılımını incelemişler ve gama doz hızını (53,85 nGy/saat) dünya ortalaması olan değer (60 nGy/saat) altında bulmuşlardır. Gür ve Yaprak (2010) Güneybatı Anadolu’ da bulunan Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santralleri için hesaplanan gama doz hızlarının UNSCEAR (2000)’in bildirdiği sınırlar içerisinde olduğunu saptamışlardır. Lu ve ark. (2012) Çin’ deki Baqiao termik santralinin radyum eş değer aktivitesinin uluslararası kabul değerlerinin altında olduğunu bildirmişlerdir. Amin ve ark. (2013) Malezya’ nın Kapar ilçesindeki termik santralin civarından aldıkları toprak örneklerinde radyum eşdeğer aktivitesini 204,90 olarak bulmuşlardır. Gören ve ark. (2017) yaptıkları araştırmada Sivas’ ın Kangal ilçesindeki termik santralin etrafında yaşayan insanlar için önemli bir radyolojik tehlike olmadığını belirtmişlerdir. Noli ve ark. (2017) ise Kuzey Yunanistan’ daki termik santralde topraklardan hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerini dünya ortalamasının altında bulmuşlardır.



Çizelge 3. Çan termik santrali etrafındaki topraklarda radyonüklit aktivitesi(Bq/kg) ile literatürdeki verilerin karşılaştırılması [ortalama(minimum- maksimum)]

Termik santral, Ülke	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	Kaynak
Çan, Türkiye	21,60 (14,00-41,00)	37,33 (27,00-62,00)	469,20 (255,00-704,00)	11,50 (2,04-21,39)	Bu araştırma
Kapar, Malezya	86,70 (79,50-99,20)	74,30 (69,60-83,70)	297,30 (263,10-308,70)	-	Amin ve ark. 2013
Velilla, İspanya	50,40 (13,00-67,00)	42,90 (15,00-68,00)	445,30 (97,00-790,00)	29,30(<Öldürücü doz-209,00)	Charro ve ark. 2013
Çayırhan, Türkiye	28,16 (-)	25,88 (-)	371,73 (-)	-	Cevik ve ark. 2007
Kangal, Türkiye	37,00 (20,00-47,00)	17,00 (10,00-26,00)	222,00 (120,00-412,00)	-	Gören ve ark. 2017
Figueria, Brezilya	133,00 (91,00-270,00)	39,00 (18,00-51,00)	233,00 (59,00-412,00)	-	Flues ve ark. 2002
Mawan, Çin	204,00 (72,00-358,00)	265,00 (118,00-432,00)	1269,00(101,00-2168,00)	-	Liu ve ark. 2015
Ajka, Macaristan	129,00 (15,70-883,00)	26,90 (11,60-43,00)	337,00 (146,00-596,00)	20,40 (0,00-150,00)	Papp ve ark. 2002
Megalopolis, Yunanistan	45,00 (21,50-45,00)	32,50 (24,50-40,20)	337,00 (228,00-404,00)	80,50 (7,20-314,00)	Papefthymiou ve ark. 2013
Nikola Tesla A, Nikola Tesla B, Kolubara, Morava, Sırbistan	42,00 (21,00-115,00)	46,00 (20,00-69,00)	563,00 (324,00-736,00)	21,60 (2,00-54,00)	Vukasinovic ve ark. 2014



Çizelge 4. Çan termik santrali toprak örneklerinin radyolojik risk açısından değerlendirilmesi

Radyolojik Risk Parametreleri	Karasal Gama Doz Hızı(nG _v /saat)	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (µSV)	Radyum Eşdeğer Aktivitesi(Ra _{eq})	Dış Zarar İndeksi (H _{ex})
Çan Termik Santrali	52,09	63,88	111,11	0,30
UNSCEAR 2000	60,00 (20,00-200,00)	70,00	≤370,00	<1,00

Sonuç

Çan termik santrali etrafından alınan toprak örneklerinde ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs aktiviteleri gama ışını spektrofotometreyle belirlenmiştir. ²²⁶Ra ve ¹³⁷Cs konsantrasyonları dünya ortalamasının altındayken ²³²Th ve ⁴⁰K konsantrasyonları ise dünya ortalamasının üzerinde bulunmuştur. Toprak örneklerindeki radyoaktivite konsantrasyonlarından yapılan hesaplamalara göre termik santralin etrafında radyolojik risk açısından (karasal gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri, radyum eşdeğer aktivitesi ve dış zarar indeksi) sorun yoktur. Termik santralin çevresindeki topraklarda belirli aralıklarla ölçümler yapılmalı, bu ölçümler aynı zamanda kömür, dip külü (cüruf) ve uçucu külü de kapsayacak şekilde olmalıdır. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar termik santralin etrafındaki radyoaktivite kirliliğinin etkisini tahmin etmede veri tabanı olarak kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2016-1047

Kaynaklar

- Amin, Y.M., Khandaker, M.U., Shyen, A.K.S., Mahat, R.H., Nor, R.M., Bradley, D.A., 2013. Radionuclide emissions from a coal-fired power plant. Appl. Radiat. Isot. 80:109-116.
- Anonim, 1999. Çanakkale İli Arazi Varlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. İl Rapor No: 17. Ankara.
- Aytekin, H., Baldık, R., 2008. On the radiological character of a coal-fired power plant at the Town of Çatalağzı, Turkey. Turkish J. Eng. Env. Sci. 32: 101-105.
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Çotuk, Y., Topcuoğlu, S., 2010. The effects of physicochemical properties on gamma emitting natural radionuclide levels in the soil profile of Istanbul. Environ. Monit. Assess. 63(1-4): 15-26.
- Blanco Rodriguez, P., Vera Tome, F., Lozano, J.C., Perez-Fernandez, M.A., 2008. Influence of soil texture on the distribution and availability of ²³⁸U, ²³⁰Th, and ²²⁶Ra in soils. J. Environ. Radioact. 99: 1247–1254.
- Cevik, U., Damla, N., Nezir, S., 2007. Radiological characterization of Cayırhan coal-fired power plant in Turkey. Fuel 86: 2509–2513.
- Charro, E., Pardo, R., Pena, V., 2013. Statistical analysis of the spatial distribution of radionuclides in soils around a coal-fired power plant in Spain. J. Environ. Radioact. 124: 84-92.
- Cujic, M., Dragovic, S., Dordevic, M., Dragovic, R., Gajic, B., Miljanic, S., 2015. Radionuclides in the soil around the largest coal-fired power plant in Serbia: radiological hazard, relationship with soil characteristics and spatial distribution. Environ. Sci. Pollut. Res. 22: 10317-10330.
- Curie, L.A., 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Anal. Chem. 40(3): 586-593.
- Çayır, A., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Coşkun, M., Coşkun, M., 2012. Heavy metal and radionuclide levels in soil around Afsin-Elbistan coal-fired thermal power plants, Turkey. Environ. Earth Sci. 67: 1183–1190.
- Flues, M., Moraes, V., Mazzilli, B.P., 2002. The influence of a coal-fired power plant operation on radionuclide concentrations in soil. J. Environ. Radioact. 63: 285–294.
- Gee, G.W., Or, D., 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 4. Physical Methods. 255–293. SSSA Book Series 5. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Gökkuş, A., Alatürk, F., Özasan Parlak, A., 2011. Çanakkale’ de otlatma alanlarının hayvancılıktaki önemi. Çanakkale Tarımı Sempozyumu (Dünü, Bugünü ve Geleceği), 10-11 Ocak, s. 71-79, Çanakkale.
- Gören, E., Turhan, Ş., Kurnaz, A., Garad, A.M.K., Duran, C., Uğur, F.A., Yeğingil, Z., 2017. Environmental evaluation of natural radioactivity in soil near a lignite-burning power plant in Turkey. Appl. Radiat. Isot. 129: 13-18.
- Gür, F., Yaprak, G., 2010. Natural radionuclide emission from coal-fired power plants in the southwestern of Turkey and the population exposure to external radiation in their vicinity. J. Environ. Sci. Health Part A 45: 1900–1908.
- Ilgar, R., 2008. Çan termik santrali projesi. Marmara Coğrafya Der. 17: 154-171.



- Işık Camgöz, Y., Yaprak, G., 2009. Küçük Menderes Havzası tarım topraklarında doğal radyonüklit seviyesinin belirlenmesi. *Ekoloji* 18 (70): 74-80.
- Liu, G., Luo, Q., Ding, M., Feng, J., 2015. Natural radionuclides in soil near a coal-fired power plant in the high background radiation area, South China. *Environ. Monit. Assess.* 187(6): 1-8.
- Lu, X., Zhao, Chen, C.C., Liu, W., 2012. Radioactivity level of soil around Baqiao coal-fired power plant in China. *Radiat. Phys. Chem.* 81(12): 1827-1832.
- Nelson, R.E., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Agronomy* 9: 539–580. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Noli, F., Tsamos, P., Stoulos, S., 2017. Spatial and seasonal variation of radionuclides in soils and waters near a coal-fired power plant of Northern Greece: environmental dose assessment. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 311: 331–338.
- Papaefthymiou, H.V., Manousakas, M., Fouskas, A., Siavalas, G., 2013. Spatial and vertical distribution and risk assessment of natural radionuclides in soils surrounding the lignite-fired power plant in Megalopolis Basin, Greece. *Radiat. Prot. Dosim.* 156(1): 49–58.
- Papp, Z., Dezso, Z., Daroczy, S., 2002. Significant radioactive contamination of soil around a coal-fired thermal power plant. *J. Environ. Radioact.* 59: 191–205.
- Parial, K., Guin, R., Agrahari, S., Sengupta, D., 2016. Monitoring of radionuclide migration around Kolaghat thermal power plant, West Bengal, India. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 307: 533-539.
- Saç, M.M., Ekin, K., 2016. İzmir-Urla Bölgesi tarım topraklarında doğal radyoaktivitenin belirlenmesi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 53 (2): 189-193.
- Saç, M.M., Uğur, A., Yener, G., Bolca, M., Altınbaş, Ü., Kurucu, Y., Özden, B., 2005. Muğla İli Yatağan Havzasında eğimli alanların büyük toprak gruplarında ¹³⁷Cs'nin dağılımı. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 42(1): 143-154.
- Türkeş, M., Savaş, T., Baytekin, H., Uğur, K., 2011. Çanakkale' de olası iklim değişimleri ve tarımsal üretime etkileri. *Çanakkale Tarım Sempozyumu (Dünü, Bugünü ve Geleceği)*. 10-11 Ocak, s. 257-270, Çanakkale.
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 2015. 2014 Yılı Kömür Sektör Raporu (Linyit). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 66 sayfa, Ankara.
- UNSCEAR, 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiations, New York, USA.
- Vukasinovic, İ.Z., Todorovic, D.J., Nikolic, N.S., Mihajlovic Radosavljevic, A.S., Nenadovic, S.S., Eremic Savkovic, M.M., 2014. Radioactivity measurements in soils surrounding four coal-fired power plants in Serbia by gamma-ray spectrometry and estimated dose. *Nucl. Techn. Radiat. Pro.* 29(4): 296-306.