



<http://dergipark.org.tr/tr/pub/anatolianbryology>

DOI: 10.26672/anatolianbryology.1305446

Anatolian Bryology
Anadolu Briyoloji
Dergisi
Review Article
e-ISSN:2458-8474
Online



Çevresel Radyoaktivite Çalışmalarında Biyoindikatör Olarak Karayosunları'nın Kullanılması

Gamze GÜRSU^{1*} , Nevin TAŞALTIN^{1,2,3,4} 

¹Maltepe University, Environment and Energy Technologies Research Center, Istanbul, TÜRKİYE,

²Maltepe University, Department of Basic Sciences, Istanbul, TÜRKİYE,

³Maltepe University, Department of Renewable Energy Tech. and Management, Istanbul, TÜRKİYE,

⁴CONSENS LLC., Maltepe University Research Center, Technopark Istanbul, Istanbul, TÜRKİYE

Received: 29 May 2023

Revised: 16 June 2023

Accepted: 20 June 2023

Öz

Çevre kirliliği sorunu şiddetini artırarak devam etmektedir. Bu nedenle biyoindikatör organizmalar kullanılarak atmosferik element seviyeleri belirlenmeye devam edilmeli ve kirlilik ölçümleri düzenli olarak yapılmalıdır. Radyoaktif kirliliğin artmasının başlıca nedenleri madencilik faaliyetleri, termik santraller, baz istasyonları ve fosil yakıtların kaynak olarak tercih edildiği nükleer santrallerdir. Çernobil Nükleer Santral Kazası'nın ardından biyoindikatörlerdeki radyonüklid konsantrasyonları üzerine kapsamlı araştırmalar başlamıştır. Yavaş büyümeleri ile karakterize edilen karayosunları, çevreden gelen farklı radyonüklidleri diğer bitki örtüsünden çok daha yüksek derecede verimli bir şekilde biriktirebilmektedir. Karayosunları, biyomonitör çalışmalarında kullanılacak bir organizma için gerekli şartların çoğunu karşılamaktadır ve mevcut çalışmalarda çevresel radyoaktivitenin izlenmesi için sıklıkla biyolojik göstergeler olarak kullanılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Briyofit, Karayosunu, Biyomonitöring, Biyoindikatör, Gama spektroskopisi, Radyoaktif kirlilik.

Using Mosses as Bioindicators in Environmental Radioactivity Studies

Abstract

The environmental pollution problem is intensifying. Therefore, atmospheric element levels should continue to be determined using bioindicator organisms, and pollution measurements should be made regularly. The main reasons for the increase in radioactive pollution are mining activities, thermal power plants, base stations, and nuclear power plants that use fossil fuels. Extensive research on radionuclide concentrations in bioindicators began after the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. Moss is a good bioindicator of environmental radioactivity because it has a slow growth rate and is able to accumulate different radionuclides from the environment more efficiently than other vegetation. Moss meets most of the requirements for an organism to be used in biomonitoring studies, and is often used in current studies.

Keywords: Bryophyte, Moss, Biomonitoring, Bioindicator, Gamma spectroscopy, Radioactive pollution.

*Corresponding author: gamzegursu199@gmail.com

© 2022 All rights reserved / Tüm hakları saklıdır.

To cite this article: Gürsü G. Taşaltın N. 2023. *Using Mosses as Bioindicators in Environmental Radioactivity Studies. Anatolian Bryology. 9:1, 50-57.*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

1. Giriş

Çernobil nükleer felaketiyle birlikte doğaya büyük miktarlarda radyonüklid madde salınmıştır. Bu maddeler günümüzde halen bitkilerde ve sedimentlerde tespit edilebilmektedirler. Briyofitler (Karayosunları) kökleri olmayan ilkel kara bitkileridir, radyonüklidler ve metaller de dahil olmak üzere çok sayıda kirletici maddeyi bünyelerinde kolayca biriktirebilirler (Schmidt vd. 2023).

Karayosunları biyoizlemede kullanılacak bir organizma için gerekli şartların çoğunu karşılamaktadır. Tek hücreli kalın yaprakları, kalın hücre duvarları ve kütiküllerinin olmaması, iyon değişimi yoluyla havadan ve biriken materyalden eser elementlerin etkili bir şekilde absorbe edilmesini sağlar (Brown ve Brown 1990, Wolterbeek 2002).

Karayosunları basit bir yapıya sahip kara bitkileridir. Kök sistemi ve yaprakların yüzeyindeki su geçirmez kütikül tabakası yoktur. Büyüme için gerekli besinleri yağış veya kuru birikim yoluyla doğrudan havadan alırlar. Diğer bitkilerle karşılaştırıldığında karayosunları, çevresel hava kirliliğinin biyolojik bir indikatör olarak kullanılmalrı özellikle uygundur. Karayosunların morfolojisi mevsimlerden etkilenmez ve çeşitli habitatlarda gelişebilirler (kaya, toprak, ağaç su içi kaya vb.) bu nedenle havadaki kirleticiler yıl boyunca karayosunlarında birikebilirler (Harmens vd. 2010, Aleksiyaynak vd. 2013, Wattanavatee vd. 2017).

Çevrede çok sayıda kirlenmeye yol açan faktörün varlığı, tek bir kirleten türüyle ilgili yorum yapmayı zorlaştırmaktadır (Manning ve Feder 1980, Martin ve Coughtrey 1982, Puckett 1988, Wittig 1993). Biyomonitörizasyon, biyoindikatör organizmada biriken özellikle ağır metallerin ve radyoaktif elementlerin bileşiminin, birikim yollarının, substratlarının, yerel ya da lokal olarak dağılımlarını, atmosferdeki kirlilik seviyelerinin ölçülmesinde etkili denetim formlarının takibinde karayosunları da incelenmektedir. (Freitas vd. 1999).

Briyofitler, bitki grupları içerisinde çevresel radyoaktivitenin incelenmesinde yaygın olarak incelenilen materyallerdendir. Briyofitlerin, radyoaktif materyalleri tutma kapasitesinin yüksek olması, çevresel radyoaktivitenin belirlenmesinde biyoindikatör tür olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Karayosunlarındaki radyonüklidlerin çevre kirliliğinin izlenmesi dünya genelinde yaygınlaşırken, eski Yugoslavya'da bu alandaki araştırmalar ihmal edilmiştir. 1985 yılında

(Çernobil kazasından önce) Bosna Hersek'teki avlanma alanlarında yosunlardaki ¹³⁷Cs radyonüklid konsantrasyonları 267,0 Bq/kg ve 508,0 Bq/kg (ortalama değer 429,0 Bq/kg) arasındayken, 1987 yılında (kazadan sonra) 858,0 Bq/kg ila 4604,0 Bq/kg (ortalama değer 2645,0 Bq/kg) arasındadır (Saračević vd. 1989). Ülkemizde ise, Çernobil kazasının ardından karayosunu, likenler, toprak, su gibi örnekler üzerinde radyoaktif kirlilik seviyelerini belirlemek için çalışmalar yapılmıştır (Saka 1997, Topçuoğlu vd. 1995, Topçuoğlu vd. 2003a, Celik vd. 2009, Belivermiş 2009, Belivermiş vd. 2010, Kaya vd. 2015, vb.) Bu derleme, global ölçekte biyomonitöring konusundaki araştırmaların durum analizini içermektedir. Amacımız, bu konuda çalışma yapan özellikle lisans ve yüksek lisans öğrencilerine bir Türkçe altlık oluşturmak bu konu hakkında yapılmış çalışmaları derlemektir. Bu konuyla ilgili Türkçe yayın sayısı diğer biyomonitör yayınlara kıyasla daha azdır, Türkçe bir derlemenin bu boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntemler

Radyoaktif kirliliğin belirlenmesinde liken ve karayosunlarının biyoindikatör tür olarak kullanıldığı birçok çalışma literatüre dahil edilmiştir. Havadan beslenmeleri ve yapısal olarak geniş yüzey alanları içermeleri avantajıyla, doğrudan bünyelerine radyonüklidleri biriktirebilirler.

Briyofitlerin (Karayosunları/ Bryopsida ve ciğerotları/ Marchantiopsida ve Jungermanniopsida) radyoaktiviteye vasküler bitkilere kıyasla daha dirençli olduğu bilinmektedir (Kryshev vd. 2005, Frahm vd. 1998) ve çok daha yüksek miktarlarda radyonüklidleri (Frahm vd. 1998, Papastefanou vd. 1989) absorbe etme eğilimindedir. Bazı türlerin geniş coğrafi dağılımı nedeniyle, karayosunları radyoizotopların birikimini haritalamak için de kullanılmıştır (Smidt vd. 2011).

Bu, çalışma Çevresel Radyoaktivite Çalışmalarında Biyoindikatör olarak Karayosunları'nın Kullanıldığı birçok çalışma derlenerek hazırlanmıştır. Amacımız, bu konuda çalışma yapan özellikle lisans ve yüksek lisans öğrencilerine bir Türkçe altlık oluşturmak bu konu hakkında yapılmış çalışmaları derlemektir.

2.1 Materyal

Karayosunlarında radyoizotopların yüksek birikimi, ağırlıklı olarak iki faktörden kaynaklanır; karayosunları oldukça küçüktür ve yaprakçıkları tek bir hücre katmanından oluşur. Böylece çok

yüksek bir yüzey-hacim oranına sahiptirler. Ayrıca, gametofit, damarlı bitkilerde bulunan geçirimsiz kütikülden yoksundurlar. Sporofit, spor kapsülü ve sapı bir kütiküle sahip olabilir ancak bitkinin biyokütlesine çok az katkıda bulunur, karayosunlarının yüzeyi bu nedenle suyu ve besinleri bütün olarak emerek bünyesine alırlar. Öte yandan, karayosunların kökleri yoktur, rizoit denen kök benzeri yapılara sahiptirler ve ortama tutunmayı sağlarlar ve aynı zamanda absorpsiyona da katkıda bulunabilirler. Bazı ilkel Briyopsida (Polytrichaceae), yüksek bitkilere benzer damar dokusu sergiler, ancak daha düşük taşıma kapasitesi vardır, Briyopsida'da vasküler doku azalır ve işlevsel değildir (Schmidt vd. 2023).

Bryofitler, evrim sürecinde algler ile eğreltiler ve tohumlu bitkilerin arasında yer almaktadır. Yapılan jeokimyasal analizler kriptosporlardaki spor duvarının, bilinen bütün kara bitkilerinin spor duvarlarıyla kimyasal olarak benzediğini kanıtlamıştır (Steevens 2010). Moleküler analizlere göre briyofitler Bryobiotina Subkingdomu altında, Anthocerotophyta, Marchantiophyta ve Bryophyta olmak üzere 3 kısımda incelenmektedir (Glime, 2013).

Çevresel radyoaktivite çalışmalarında en çok incelenen materyallerden olan briyofitler hem radyoaktif kirlilik düzeyinin hem de ekosistemin doğal fon düzeyinin tahmin ve tespiti için kullanılabilir. Atmosfere salınan ¹³¹I, ¹³⁴Cs ve ¹³⁷Cs en önemli ve en tehlikeli radyonüklidlerdir. Çernobil kazasından kısa bir süre sonra, karayosunları, likenler ve diğer biyoindikatörlerdeki radyonüklid konsantrasyonları üzerine kapsamlı araştırmalar başlamıştır (Elstner vd. 1987, Papastefanou vd. 1989; Marović vd. 2008). Finlandiya'daki karayosunlarında 1986 yılında (Ilus vd. 1987) ¹³⁷Cs radyonüklid konsantrasyonları 28000,0 Bq/kg iken, Bavyera'da 12370,0 Bq/kg, Münih'te 30000,0 Bq/kg'dır (Elstner vd. 1987, Heinzl vd. 1988). Çernobil Nükleer Santral Kazası'ndan sonra karayosunlarıyla biyomonitör çalışmaları Avrupa genelinde kontamine olan bölgelerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Ülkemizde de bu konuyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Çernobil nükleer santralindeki kaza (26.04.1986, Ukrayna) 20. yüzyıla damgasını vurmuştur.

Köklerin olmaması, esas olarak hava birikiminden emilim sağlar ve karayosunlarının partikülleri yoğunlaştırdığı ve kuru ve ıslak birikimden kimyasal türleri çözdüğü gösterilmiştir (Stainnes 1995). Radyoaktif elementlerin yosunlarda birikmesi ve uzaklaştırılması da yağışla ilişkilidir (Taylor ve Witherspoon 1972, Krmar vd. 2009).

Adsorbe edilen elementlerin protoplastlara (Tyler 1990, Wells ve Brown 1990) ve yosunun yaşlı kısımlarından daha genç kısımlarına (Brown ve Brown, 1990) taşındığı görülmektedir. Bu süreç muhtemelen yağışa bağlı daha fazla kaybı önler. ¹³⁷Cs'nin çoğunun membran ve hücre duvarı fraksiyonlarında dağıldığı görülmektedir (Dragović 2004). Ancak, ağır metal birikimi için pleurokarp karayosunların kısa vadeli, akrokarp karayosunların ise uzun vadeli birikimi yansıttığı gösterildiğinden, araştırmalarda seçilecek türlere dikkat edilmelidir (Sabovljević vd., 2005).

Kuru ağırlıklarının 10-12 katı su tutabilme kapasitesine sahip olan karayosunları; orman ekosisteminde zeminin daha nemli kalmasını, tohumların çimlenmesini, mineral depo edilmesini, hayvanlara besin kaynağı oluşturulmasını sağlar, aynı zamanda da erozyonu önlemede rol oynamaktadır (Çetin 1988, Ursavaş ve Öztürk 2016).

2.2 Metot

2.2.1 Biyoindikatör özellikler

Doğal yaşam ortamlarını olumsuz etkileyen etmenlere karşı, canlı organizmalar uyarıcı olarak yanıt verir ve bu özelliklerin incelenmesinde ve izlenmesinde biyoindikatör türler kullanılarak biyolojik çalışmalar yapılmaktadır (Ellenberg 1991).

Canlı organizmalardaki kirlenmelerin belirlenmesi çalışmalarında ("biyomonitöring" veya "biyoindikasyon"), görüntüleyici organizmalar ve araştırma kapsamındaki unsurlar belirli özellikleri içermelidir. Organizmanın bolluğu, geniş coğrafi dağılımı, kolay tanımlanması ve örneklenmesi, mevsimsel değişikliklerin etkilemediği, her daim çalışılabilirliği biyoindikatör grupların ortak özelliklerindedir.

Bir bölgedeki her bir biyoindikatör organizma bireyi, o bölgedeki kirlenmelere eşit düzeyde maruz kalmamaktadır. İklim koşulları, kirlenme birikimi ve hareket düzeyini etkileyerek farklı alanların kıyaslanması için net sonuçlar sunmamaktadır (Freitas vd. 1999).

Biyomonitöring, biyoindikatör organizmada biriken elementlerin niteliğini, birikimini, kökenini, yerel ya da bölgeselliğini inceleme yöntemidir. Diğer yöntemlere oranla daha pratik ve ucuz olmasının yanı sıra verisel anlamda daha etkin ve daha geniş alanların izlenmesini sağlayabildiği için yaygınlaşan bir yöntemdir (Freitas vd. 1999).

2.2.2 Radyoaktivite ve radyasyon

Periyodik cetvelde proton sayısı 83' ten büyük olan elementler kararsız bir yapıya sahiptirler ve içerdikleri fazla enerjiden dolayı daha küçük atomlara parçalanırlar. Bu parçalanma kendiliğinden olabildiği gibi başka elementlerin enerjisi ile de olabilmektedir. Parçalanma esnasında çekirdekten parçalar ayrılır ve bu olaya radyoaktif parçalanma denir. Çekirdekten enerji yayılması ile de radyasyon oluşur (Görür 2006).

Yeryüzündeki tüm canlılar yaşam süreci boyunca hem doğal (%87'si yer kabuğundaki ^{232}Th , ^{238}U ve bunların bozunma ürünleri ve doğal radyonüklid olan ^{40}K) hem de yapay radyasyona maruz kalmaktadır (UNSCEAR 2000). 1895'e kadar doğal radyasyon, ardından X-ışınlarının keşfi ile geliştirilen teknolojiler sebebiyle insanlar yapay radyasyona da maruz kalmaya başlamıştır. Nükleer santral kazaları, silah denemeleri ile oluşan radyoaktif serpintiler birçok ülke halkının kontaminasyonuna sebep olabilmektedir. İyonlaştırıcı radyasyonla ışınlanan kişilerde hasar oranı ciddi boyutlara ulaşabilmekte ve bu radyasyon düzeyi ancak dedektörlerle algılanabildiğinden farklı dedeksiyon sistemlerinin geliştirilmesi önemlidir (Knoll, 2000).

Doğal elementlerden çok sayıda yapay olarak radyoaktif izotop üretilmiştir (^{90}Sr , ^{137}Cs ve ^{131}I). Radyoaktif maddedeki dönüşüm hızı olan aktivitenin birimi "becquerel", sembolü "Bq", bir becquerel saniyede bir dönüşüme denk gelir (TAEK 2009). ^{137}Cs (Sezyum-137) nükleer faaliyetler sonucunda oluşmuş bir fisyon ürünüdür. Yarı ömrünün uzun oluşu ve topraktaki dikey ilerleyişinin yavaş oluşu bitkiler üzerinde yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Belivermiş 2009).

2.2.3 Örnek toplama ve analiz yöntemlerinin uygulanması

Doğal radyoaktivitenin ve fisyon ürünlerinin belirlenebilmesi için yapılması planlanan çalışmalarda öncelikle amaca uygun örnekleme bölgeleri seçilmekte, ardından örneklerin toplanması uygun analiz yöntemlerinin uygulanması süreci gelişmektedir. Çevresel kontaminasyonun kaynağı saptanarak, bölgenin durumu, mevsim şartlarına göre örnek toplama ve dedeksiyon işlemine hazırlık yapılmalıdır (TAEK 2009).

Toprağa yakın yükseklikten alınan karayosunlarındaki radyonüklidlerin aktivite oranının düşük çıkması beklendiğinden, ağaçların üst kısımlarından örnek alınmalıdır. Substrat çeşidinin radyonüklidin birikimindeki rolünün

önemli olmadığı düşünülmektedir (Dragović vd. 2004). Arazi çalışma alanının belirlenmesinin ardından doğal ve yapay radyonüklidlerin izlenme amacına yönelik örnekler her zaman bulunabilmeli ve bütünü yansıtacak şekilde seçilmelidir (TAEK 2009).

2.2.4 Gama spektrometrik yöntem

Gama spektrometresi radyoaktivite ölçümünün en hassas, en hızlı ve en pratik yöntemlerindedir. Germanyum dedektörleri, düşük seviyeli aktivite (birkaç Bq/kg) ölçümlerinde dahi uygulanabilmektedir. Doğal fon (background) radyasyonu yersel ve kozmik radyasyon bileşenlerinden oluşmaktadır (Knoll 2000). ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}U doğal radyasyonun temel kaynaklarıdır. Dedeksiyon sisteminin kalibre edilmesi, ilgilenilen radyonüklidlerin minimum dedekte edilebilir aktivitelevlerinin her bir radyonüklid için belirlenmesinin ardından örneğin radyonüklid aktivitesi nicel olarak değerlendirilebilir (Knoll 2000). Gama spektrometresinde örnekler için herhangi bir ön hazırlık yapılmazken, numuneler çeşitli ölçüm kaplarında, kurşun zırlı odacıklı sayım geometrisinde, sayım veriminin artırılabilceği en yakın konumda sayılmalıdır. Sayım süresi, örneğin aktivitesine, ölçüm sistemindeki doğal düzey sayımına, ilgilenilen radyonüklide bağlıdır.

^{137}Cs ve ^{60}Co gibi radyoaktif kaynaklarla dedektör sisteminin kalibrasyonunun kontrolü düzenli olarak yapılmalıdır (ANSI 1978). Radyasyonun enerjisiyle biriken yükler ön yükseltgeçte voltaj sinyaline, oradan yükseltgeçte sinyalleri yükselterek enerjinin ayrılmasını, şekillendirilen sinyal ADC (analog dijital çevirici)'ye gelir ve sayısal sisteme, MCA (çok kanallı analizör)'da ise sinyaller dijital hale dönüşür. MCA'da her kanalın karşılık geldiği bir enerji bulunmakta ve sinyal birikimleriyle de pik oluşmaktadır, bu pikler monitörde spektrum olarak izlenir (Knoll 2000).

3. Bulgular

Karayosunu örnekleri kullanılarak radyonüklid düzeylerinin ölçümünün yapıldığı çalışmalara örnek verilecek olursa;

Türkiye'de Çernobil sonrasında liken ve karayosunları ile yapılan biyomonitöring çalışmalarında öncelikle; ağaç ve kayalardan, yerden en az 1,5 m yüksekten ve yakın büyüklükteki örneklerin alınmasıyla toplanan karayosunu ve likenler laboratuvarında deiyonize suyla yıkandıktan sonra etüvde (max. 85°C) kurutulmuş HPGe dedektörlü gama spektrometresinde radyoaktivite analizleri yapılmıştır. Çernobil sonrasında Türk Atom

Enerjisi Kurumu tarafından yapılan çalışmaya ait kitap 2006 yılında yayımlanmıştır. Kitaptaki verilere göre; 1992'de karayosunu örnekleri üzerinde yapılan ölçümlerde ^{134}Cs ve ^{137}Cs derişimi sırasıyla 930Bq/kg ve 19320 Bq/kg olarak Fındıklı'da saptanmıştır. Rize bölgesi 1992 yılı ölçümlerinde en düşük radyoaktivite Kendirli istasyonunda 60Bq/kg ^{134}Cs ve 1330 Bq/kg ^{137}Cs olarak ölçülmüştür. 1996'da Kars ve Iğdır'dan toplanan örneklerde en yüksek ^{137}Cs radyoaktivitesi 292Bq/kg ile Akçalar' da saptanmıştır. 1999'da Emendere karayosunlarında 49,6Bq/kg ^{137}Cs radyoaktivite derişimi bulunmuştur. 2000 yılı Trakya karayosunlarında yapılan çalışmada ^{137}Cs miktarı ise 49Bq/kg olarak bulunmuştur (TAEK 2006).

Finlandiya'daki karayosunlarında 1986 yılında (Ilus vd. 1987) ^{137}Cs radyonüklid konsantrasyonları 28000 Bq/kg iken, Bavyera'da 12370,0 Bq/kg, Münih'te 30000,0 Bq/kg'dır (Elstner vd. 1987, Heinzl vd. 1988). Çernobil Nükleer Santral kazasının 1,5 yıl sonrasında karayosunu ve likenlerdeki yüksek ^{137}Cs aktivitesinin yüksekliği, yarı ömrünün biyoindikatörlerde daha uzun olduğunu ifade etmesi, bu canlıların radyonüklidleri yakalamaları ve bünyelerinde tutma özelliklerinden kaynaklanır (Papastefanou vd. 1989).

Karayosunları ve likenlerle Batı ve Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki bazı ağaçların yüzeylerinde 1990-1993 yılları arasında karayosunu ve 1987-1992 yılları arasında liken türleriyle ^{137}Cs konsantrasyonlarının yarı ömürlerinin tahmini üzerine çalışmalar yapılmıştır. *Leucodon immersus* Schwagrichen karayosunu için yarı ömrün 10,9 ay, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. likeni için ise yarı ömrün 58,6 ay olduğu tahmin edilmektedir (Topçuoğlu vd. 1995).

Ordu İli'nden toplanan liken ve karayosunu numuneleri HpGe dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Ordu'dan toplanan liken örneklerinin ^{134}Cs ve ^{137}Cs aktivite ölçümlerinde göre doğu kesiminden batıya doğru radyasyon düzeylerinde kirleticilerin kayda değer etkisi olduğu görülmüştür (Saka 1997).

Doğu Anadolu Bölgesi'nde, germanyum dedektör sistemiyle, toprak üzerindeki karayosunu ve liken biyoindikatörleriyle ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K aktiviteleri bulunmuştur. Aynı bölgeden su örnekleri alınarak toplam beta aktivite ölçümü de yapılmıştır. Bölge yakınındaki Medzamor Nükleer Santrali'nden kaynaklı radyoaktif kontaminasyon olmadığı yapılan ölçümlerle belirlenmiştir (Topçuoğlu vd. 2003a).

İzmit Körfezi'nde 2006 (Aralık ayı) ve 2007 (Mart) arasında 7 farklı istasyondan 16 (toprak, liken, karayosunu) örnek toplanmıştır. Yüzey toprağının (0-20 cm) ^{137}Cs aktivite düzeyinin değerleri $1,41\pm 0,17$ Bq/kg (Kartepe) ve $27,6\pm 1,4$ Bq/kg (Bahçecik)'dir. Topraktan transfer faktörü karayosununda $0,26\pm 0,12$ Bq/kg ve $148,3\pm 26,7$ Bq/kg, likende ise $0,12\pm 0,07$ Bq/kg ve $2,83\pm 0,46$ Bq/kg'dır (Erdurmuş 2007).

Yavaş büyümeleri ile karakterize edilen karayosunları, çevreden gelen farklı radyonüklidleri diğer bitki örtüsünden çok daha yüksek derecede verimli bir şekilde biriktirebilmektedir. Sonuç olarak, karayosunları çeşitli ekosistemlerdeki radyoaktif kirlenmenin hassas biyogöstergelerindendir. Fukuşima Dai-ichi nükleer santralindeki kazadan sonra havaya salınan radyoaktivite, atmosferik süreçlerin ve biyosferdeki madde taşınımının bir parçası haline gelmiştir. (Marović vd. 2008).

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde karayosunu, liken ve toprak numuneleri toplanarak germanyum dedektöründe analizleri yapılmıştır. Likenlerde ^{137}Cs aktivitesi 29-879 Bq/kg iken ekolojik yarı ömrü ise 1,36-2,96 yıl aralığında değişmektedir. Karayosunlarında ^{137}Cs spesifik aktivitesi 67-396 Bq/kg, toprakta ise 27-775 Bq/kg arasında değişen değerler almaktadır (Celik vd. 2009). Atmosferik radyonüklidlerin tespitinde, Trakya'da ağaç kabuklarının kullanılabilirliği için inceleme yapılarak ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür.

^{137}Cs 'nin ortalama aktiviteleri karayosunu, liken ve toprakta sırasıyla 2,22 Bq/kg, 1,47 Bq/kg ve 32,7 Bq/kg'dır. Meşe ağacında ^{232}Th aktivitesi 0,89 Bq/kg, ^{238}U aktivitesi 0,84 Bq/kg, çam ağacında ise ^{232}Th aktivitesi 4,03 Bq/kg, ^{238}U aktivitesi 8,68 Bq/kg'dır. Karayosunu ve liken biyoindikatörleri için meşe ve çam ağacı kabuklarının tutunma ortamının yararlı bir substrat oluşturduğu gözlemlenmiştir (Belivermiş vd. 2010).

2011'de Muğla (Yatağan), Soma (Manisa), Seyitömer, Tunçbilek (Kütahya)'ten karayosunu ve liken türleri toplanarak ^{210}Po ve ^{210}Pb ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı mesafe ile kontaminasyon arasındaki ilişkinin gözlemlenmesidir. Yatağan Termik Santrali'nin 7 km uzağında yapılan analizlerde ^{210}Po ve ^{210}Pb düzeylerinin artışı gözlemlenmiştir (Sert vd. 2011).

1986'daki Çernobil kazasından sonra örnekleme alanındaki radyoaktif kirlenmenin boyutunu gözlemlenmenin bir yolu olarak Slovakya ve Beyaz

Rusya'dan alınan karayosunu örneklerinde ^{137}Cs ve ^{210}Pb 'yi incelemiştir (Aleksiayenak vd. 2013). Gümüşhane'de yapılan çalışmalarda doğal ve yapay radyoaktivite düzeylerini belirlemek için karayosunu ve toprak numuneleri HPGe dedektör sisteminde analiz edilmiştir.

^{137}Cs aktivitesi bazı numunelerde MDA'nın altında hesaplanmıştır. ^{137}Cs oranı Gümüşhane yakınındaki şehirler (Artvin, Rize ve Trabzon) ile kıyaslandığında daha düşük aktivite oranındadır (Kaya vd. 2015). Karayosunu ve liken örneklerindeki ^{210}Po , ^{234}U ve ^{238}U aktiviteleri Alfa spektrometrik yöntem ile belirlenmiştir. Polonya'nın Sobieszewo Adası'nda karayosunu ve liken örnekleri toplanmıştır. ^{238}U ve ^{210}Po aktivite düzeyleri tallus çeşidine göre değişmektedir (Boryło vd. 2017).

Batı Arktikte karayosunu ve liken örnekleri toplanarak ve ^{90}Sr , $^{134,137}\text{Cs}$, $^{230,232}\text{Th}$, $^{234,238}\text{U}$, $^{239+240}\text{Pu}$ ve ^{241}Am 'i değerlendirmiştir (Cwanek vd. 2019).

4. Tartışma ve Sonuç

Çernobil Nükleer Santral Kazasından önce yapılan çevresel radyoaktivite çalışmalarının yeterli sayıda olmaması ve referans alınabilecek background seviyelerinin bilinmemesi araştırmacıları farklı bölgelere yönlendirmektedir. Background seviyesinin referans olmasının yanı sıra radyoaktif kontaminasyonun ardından karayosunu, liken vd. biyoindikatör türlerle belirli periyotlarda yapılacak analizler çevresel radyoaktivite çalışmaları için iyi bir kaynak veri oluşturur (Gürsü 2020). Ekolojik etkiye neden olan bu kazalarda, organizmaların konsantrasyon etme mekanizmaları sonucunda, yüksek miktarda radyoaktif çekirdekleri biriktirmesi söz konusudur. Bu etkinin büyüklüğü ve önemi ise, ekosistemin tipine bağlı olarak değişmektedir.

Çernobil Nükleer Santrali Kazası'ndan sonra dünyanın çeşitli bölgelerinde ve ülke çapında bazı kritik bölgelerde olmak üzere radyoaktif kirliliğin tespiti için çalışmalar yapılmıştır.

Karayosunu türlerine göre analiz edilen radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları değişmektedir, Çernobil kazasından sonra bölgelerin homojen olmayan bir şekilde kontamine olması, aynı türe ait örneklerin farklı lokasyonlardan toplanması, aynı türün örnekleri arasında olduğu gibi aynı karayosunundaki radyoazyum konsantrasyonlarının farklılığı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Yavaş büyümeleri ile karakterize edilen karayosunları, çevreden gelen farklı radyonüklidleri diğer bitki örtüsünden çok daha yüksek derecede verimli bir

şekilde biriktirebilmektedir. Sonuç olarak, karayosunları çeşitli ekosistemlerdeki radyoaktif kirlenmenin hassas biyogöstergelerindedir.

Sanayi ve teknolojinin ürettiği kimyevi atıkların sebep olduğu çevresel kirlilik seviyeleri şiddetlenerek artmaktadır. Bu nedenle atmosferik kaynaklı element düzeyleri biyoindikatör organizmalar kullanılarak saptanmaya devam edilmeli ve düzenli olarak kirlilik ölçümleri yapılmalıdır. Radyoaktif kirliliğin giderek artmasının başlıca nedenleri; madencilik faaliyetleri, kaynak olarak fosil yakıtların tercih edildiği termik santraller, baz istasyonları ve nükleer santrallerdir. Radyoaktif kirliliği arttıran Çernobil ve Fukuşima'da meydana gelen santral faciaları yüksek dozda radyasyonun yıkıcı etkisini göz önüne sermiştir. Radyoaktif kirlilik küresel ısınmaya neden olmakta ve kozmojenik radyasyonun yeryüzüne inmesini arttırmaktadır. Sonuç olarak; bilim, sanayi ve teknolojinin gelişmesinin beraberinde oluşan çevre kirliliğinin kaynağı insanoğludur ve yine zararı kendine olan bu süreci önleyip çözüme kavuşturacak da kendisidir. Biyoindikatör olarak karayosunları bu konudaki çalışmalarda kullanılabilir bir bitkisel materyal olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kaynaklar

- Aleksiayenak Y.V. Frontasyeva M.V. Florek M. Sykora I. Holy K. Masarik J. Brestakova L. Jeskovsky M. Steinnes E. Faanhof A. Ramathhape, K.I. 2013. Distributions of ^{137}Cs and ^{210}Pb in moss collected from Belarus and Slovakia. J. Environ. Radioact. 117: 19–24.
- ANSI. 1978. American National Standards Institute, Calibration and Usage of Germanium detectors for Measurement of Gamma-ray Emission Rates of Radionuclides, Rep. N42.14, ANSI, New York.
- Belivermiş M. Kılıç Ö. Çotuk Y. Topçuoğlu S. 2009. Trakya Bölgesi'nde Doğal ve Yapay Radyonüklitlerin Biyoindikatör Organizmalarla İzlenmesi, X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 6-9 Ekim, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, 187-194.
- Belivermiş M. Kılıç O. Çotuk Y. Topçuoğlu S. Kalaycı G. Peştereli D. 2010. The usability of tree barks as long term biomonitors of atmospheric radionuclide deposition, Applied Radiation and Isotopes. 68: 2433–2437.
- Boryło A. Romańczyk G. Skwarzec B. 2017. Lichens and mosses as polonium and uranium biomonitors on Sobieszewo Island.

- Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 311:1.
- Brown D.H. R.M. Brown. 1990. Reproducibility of sampling for element analysis using bryophytes. In: Element Concentration Cadasters in Ecosystems (Eds. H. Lieth and B. Markert). 55–62. VCH Publishers, Weinheim.
- Celik N. Cevik U. Celik A. Koz B. 2009. Natural and artificial radioactivity measurements in Eastern Black Sea region of Turkey, Journal of Hazardous Materials, 162: 146-153.
- Cwanek A. Mietelski J.W. Okas E. Olech M.A. Misiak R. 2019. Sources and variation of isotopic ratio of airborne radionuclides in Western Arctic lichens and mosses. J. Chemosphere. 239: 124783.
- Çetin B. 1988. Dilek Yarımadası Milli Parkı Karayosunları (Musci). (I). Doğa Türk Botanik Dergisi, 12:3, 207–214.
- Dragović S. Nedić O. Stanković S. G. Bačić. 2004. Radiocesium accumulation in mosses from highlands of Serbia and Montenegro: chemical and physiological aspects. J. Environ. Radioact., 77: 381–388.
- Ellenberg H. Arndt U. Bretthauer R. Ruthsatz B. Steubing L. 1991. Biological Monitoring; Signals from the Environment, Friaedr, Vieureg and Sohn Verlagsgesellschaft mbtt, Braunschweig; pp. 318.
- Elstner E.F. Fink R. Höll W. Lengfelder E. H. Ziegler. 1987. Natural and Chernobyl-caused radioactivity in mushrooms, mosses and soil-samples of defined biotops in SW Bavaria. Oecologia. 73: 553-558.
- Erdurmuş B. 2007. İzmit Körfezi'nde ^{137}Cs ve ^{210}Po radyonüklidlerinin seviyelerini ve ürünlere topraktan transfer faktörlerini saptamak. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Frahm J.P. 1998. Moose Als Bioindikatoren; Quelle & Meyer: Wiesbaden, Germany, 187.
- Freitas M.C. Reis M.A. Alves L.C. Wolterbeek, H.T. 1999. Distribution in Portugal of Some Pollutans in Lichen *Parmelia Sulcata*. Environmental Pollution, 106:2, 229-235.
- Glime J.M. 2013. Bryophyte Ecology. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists.
- Görür Ş. 2006. Çevresel Radyoaktivite ile Bu Çevrede Yaşayanlara Ait Diş Örneklerindeki Radyoaktivite Arasındaki İlişkinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Gürsü G. 2020. Ankara İli'nin Radyoaktif Kirliliğinin Liken Türleriyle Biyoizlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Harmens H. Norris, D.A. Steinnes E. Kubin E. Piispanen J. Alber R. Aleksiyenak Y. 2010. Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: spatial patterns and temporal trends in Europe. J. Environ. Pollut. 158: 3144–3156.
- Heinzl J. Korschinek G. E. Nolte. 1988. Some measurement on Chernobyl, Phys. Scr., 37, 314-316.
- Ilus E. Sjöblom K.L. Aaltonen H. Klemola S. H. Arvela. 1987. Monitoring of radioactivity in the environs of Finnish Nuclear power stations in 1986: Supplement 12 to annual report STUK-A55. Report No. STUK-A67.
- Kaya S. Karabıdak S.M. Çevik U. 2015. Gümüşhane İli Çevresinde Toplanan Toprak ve Karayosunu Örneklerinde Doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve Yapay (^{137}Cs) Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. GÜFBED/GUSTIJ, 5:1, 24-33.
- Knoll F.G. 2000. Radiation Detection and Measurement Third Edition. Wiley, 816, New York.
- Krmar M. Radnović D. Mihailović D.T. Lalić B. Slivka J.A. Bikit. 2009. Temporal variations of ^7Be , ^{210}Pb and ^{137}Cs in moss samples over 14 month period. Appl. Radiat. Isot. 67: 1139-1147.
- Kryshch I.I. Sazykina T. Beresford N.A. 2005. Effects on Wildlife. In Chernobyl: Catastrophe and Consequences, 1st ed.; Smith, J.T. Beresford, N.A., Eds.; Springer: Berlin, Germany. 267–287.
- Manning W.J. Feder W.A. 1980. Biomonitoring air pollutants with plants. Applied Science Publishers, London.
- Marović G. Franić Z. Sencar J. Bituh T.O. Vugrinec. 2008. Mosses and some mushroom species as bioindicators of radiocaesium contamination and risk assessment. Coll Antropol. 32: 109-14.
- Martin M.H. Coughtrey P.J. 1982. Biological monitoring of heavy metal pollution. Applied Science Publishers, London.
- Papastefanou C. Manolopoulou M. Sawidis T. 1989. Lichens and mosses: Biological monitors of radioactive fallout from the Chernobyl reactor accident. J. Environ. Radioact. 9: 199–207.

- Puckett K.J. 1988. Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition, in T.H. III Nash and V. Wirth (eds.), *Lichens, Bryophytes and Air Quality*, Bibliotheca Lichenologica 30, Cramer, Berlin, pp. 231-267.
- Sabovljević M. Vukojević V. Mihajlović N. Dražić, G. Ž. Vučinić. 2005. Determination of heavy metal deposition in the county of Obrenovac (Serbia) using mosses as bioindicators. I: Aluminum (Al), arsenic (As) and boron (B). *Arch. Biol. Sci.* 57: 205-212.
- Saka A.Z. Çevik U. Bacaksız E. Kopya A.İ. Tıraşoğlu E. 1997. Levels of cesium radionuclides in lichens and mosses from the province of Ordu in the Eastern Black Sea area of Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 222:1-2, 87-92.
- Saračević L. Kljajić R. Mihajl A.Z. Milošević. 1989. Komparativni prikaz nivoa radioaktivnosti lišaja i mahovine u lovištima BiH prije i poslije havarije u Černobilju. XV Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Priština, 3-6.
- Schmidt B. Kegler F. Steinhäuser G. Chyzhevskiy I. Dubchak S. Ivesic C. Koller Peroutka, M. Laarouchi A. Adlassnig, W. 2023. Uptake of Radionuclides by Bryophytes in the Chernobyl Exclusion Zone. *Toxics* 2023, 11: 218.
- Sert E. Uğur A. Özden B. Sa. M.M. Camgöz B. 2011. Biomonitoring of ^{210}Po and ^{210}Pb using lichens and mosses around coal-fired power plants in Western Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, June 2011 102:6, 535-542.
- Smidt S. Bauer H. Fürst A. Jandl R. Mutsch F. Seidel C. Zechmeister H. 2011. Schwermetalle und Radionuklide in Österreichischen Waldökosystemen. *Austrian J. For. Sci.* 28: 251-278.
- Stainnes E. 1995. A critical evaluation of the use of naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals. *Sci. Total Environ.* 160: 243-249.
- Stemmans P. Lepot K. Marshall C.P. Javaux E.I. 2010. FTIR characterisation of the chemical composition of Silurian cryptospores from Gotland, Sweden. *Review of Paleobotany and Palynology*.
- TAEK. 2006. Türkiye’ de Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri 6: 89-90.
- TAEK. 2009. Radyasyon, İnsan ve Çevre 3-12.
- Taylor F.G. Whitherspoon J.P. 1972. Retention of simulated fall out particles by lichens and mosses. *Health Physics.* 23: 867-869.
- Tyler G. 1990. Bryophytes and heavy metals: a literature review. *Bot. J. Linn. Soc.*, 104: 231-253.
- Topçuoğlu S. Van Dawen A.M. Güngör N. 1995. The Natural Depuration Rate of ^{137}Cs Radionuclides in a Lichen and Moss Species. *J. Environ. Radioactivity*, 29:2, 157-162.
- Topçuoğlu S. Karahan G. Güngör N. Kırbasoğlu Ç. 2003a. Natural and artificial radioactivity in Emendere thermal spring area in Western Anatolia. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 256:3: 395- 398.
- UNSCEAR. 2000. Report on Sources and Effects of Ionizing Radiation to the General Assembly (2 Volumes), United Nations, Vienna.
- Ursavaş S. Öztürk E. 2016. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanında Ölü Ağaçlar Üzerinde Tespit Edilen Karayosunları. *Anatolian Bryology.* 6: 1-27.
- Wolterbeek B. 2002. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environ. Pollut.* 120: 11-21.
- Wattanavatee K. Krmar M. Bhongsuwan T. 2017. A survey of natural terrestrial and airborne radionuclides in moss samples from the peninsular Thailand. *J. Environ. Radioact.* 177: 113-127.
- Wells J.M. D.H. Brown. 1990. Ionic control of intracellular and extracellular Cd uptake by the moss *Rhytidiadelphus squarrosus* (Hedw.) Warnst.
- Wittig R. 1993. General aspects of biomonitoring heavy metals by plants, In: *Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. Markert, B. (ed), VCH, pp. 3-27, Weinheim.