

ESKİKÖY MADEN SAHASININ (GÜMÜŞHANE, TÜRKİYE) DOĞAL (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) VE YAPAY (^{137}Cs) RADYOAKTİVİTE BULGULARINA AİT İLK DEĞERLENDİRMELER

INITIAL EVALUATIONS OF NATURAL (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) AND ARTIFICIAL (^{137}Cs) RADIOACTIVITY OF ESKİKÖY MINERALIZATION AREA (GÜMÜŞHANE, TÜRKİYE)

Alaaddin VURAL * 

*Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği,
Gümüşhane, Türkiye.

Ali KAYA 

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Mühendisliği
Gümüşhane, Türkiye.

*Sorumlu yazar e-mail: alaaddinvural@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received: 20.10.2021
Kabul Tarihi / Accepted: 23.11.2021

Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.798

ÖZET

Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin önemli bir metalojenik kuşağı içinde yer alan Gümüşhane sınırları içindeki Eskiköy Maden sahasının doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite konsantrasyonları araştırılmıştır. Cevherleşme, hidrotermal alterasyon ve günlenmeye bağlı olarak gelişmiş saha topraklarının doğal ve yapay radyoaktivitelerinin belirlenmesi amacıyla, 12 adet toprak örneği alınmış ve gama dedektör ile ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs radyo izotoplarının aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Sahaya ait ^{40}K doğal radyo izotop aktivitelerinin çoğunlukla ağırlık dünya ortalamasını aştığı, ^{232}Th , ve ^{226}Ra doğal radyo izotop aktivitelerinin ise 12 örnek alım noktasının 5'inde ağırlıklı dünya ortalamalarını aştığı görülmüştür. Sahadaki yapay ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının ise 9 örnek alım noktasında dedeksiyon limiti üstünde olduğu ve 8 örnek alım noktasında 3 Bq/kg değerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Eskiköy maden sahasında tespit edilen yüksek ^{137}Cs aktivitelerinin Çernobil nükleer santral kazası ve benzeri antropojenik etkilere bağlı olduğu değerlendirilmiştir. Maden sahası ayrıca radyolojik tehlike endeksleri, radyum eşleniği aktivite değeri, absorbe doz oranı ve yıllık efektif doz oranı parametreleri ile tıbbi jeoloji bağlamında radyasyon riski açısından değerlendirilmiş ve dikkat çekici bulgulara ulaşılmıştır. Sahaya ait elde edilen tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde Eskiköy maden sahasının doğal ve yapay radyoizotop aktivite konsantrasyonları ve bunların insan sağlığına etkileri açısından daha ayrıntılı çalışılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , Doğal radyoaktivite, Yapay radyoaktivite, Gümüşhane.

ABSTRACT

Within the scope of this study, the natural (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radioactivity concentrations of the Eskiköy Mine area within the borders of Gümüşhane, which is located in an important metallogenic belt of Turkey, were investigated. In order to determine the natural and artificial radioactivity of the field soils developed due to mineralization, hydrothermal alteration and weathering, 12 soil samples were taken and activity concentrations of ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K and ^{137}Cs radio isotopes were measured with a gamma detector. It was observed that the ^{40}K natural radio isotope activities of the area mostly exceeded the weighted world average, and the ^{232}Th , and ^{226}Ra natural radio isotope activities exceeded the weighted world averages at 5 of the 12 sampling points. It was determined that the artificial ^{137}Cs activity concentrations in the area were above the detection limit at 9 sampling points and above 3 Bq/kg at 8 sampling points. It has been evaluated

that the high ^{137}Cs activities detected in the Eskiköy mine area are due to the Chernobyl nuclear power plant accident and similar anthropogenic effects. The mine area was also evaluated in terms of radiation risk in the context of medical geology, with parameters of radiological hazard indices, radium conjugate activity value, absorbed dose rate and annual effective dose rate, and remarkable findings were obtained. When all these findings of the study area are evaluated together, it has been concluded that the Eskiköy mining area should be studied in more detail in terms of natural and artificial radioisotope activity concentrations and their effects on human health.

Keywords: ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , Natural radioactivity, Artificial radioactivity, Gümüşhane

GİRİŞ

İnsan kaynaklı çevresel sorunlar sanayileşmenin birlikte getirdiği sorunların başında yer alır. Başlangıçta sanayileşmenin ülkelerin/toplumların gelişimine önemli katkısı nedeniyle yarattığı çevresel sorunlar bir nebze göz ardı edilmekteydi. Ancak toplumların refah seviyelerinin de artışıyla orantılı olarak çevresel sorunlara karşı özellikle 20 yüzyılın başlarından itibaren ciddi bir duyarlılık oluşmaya başlamıştır (Çiftçi vd. 2021; Sungur vd. 2018, 2020; Vural 2013, 2014, 2018a; Vural, vd. 2017; Vural ve Çiftçi 2021; Vural ve Şahin 2012; Vural 2015, Kaya vd., 2021; Kaya ve Vural, 2020; Vural ve Kaya, 2021, 2020, Ural vd., 2020). Her ne kadar önceleri insan kaynaklı olan insan kaynaklı çevresel sorunlara odaklanılarak, insan kaynaklı çevresel sorunlara yönelik çalışmalar yapılmış olsa da, çevresel sorunların sadece insan kaynaklı olmadığı, doğal ortamdan da kaynaklanan çevresel sorunların da söz konusu olduğunun fark edilmesinden sonra, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren doğal ortamlardan kaynaklanan çevresel sorunları konu alan çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Vural 2015b, 2015c, 2018b; Vural vd. 2020; Vural vd. 2018; Vural ve Albayrak 2020; Vural ve Çiçek 2019, 2020; Vural ve Kaya 2021). Bu bağlamda literatüre tıbbi jeoloji kavramı da 1980'lerden itibaren girmeye başlamıştır (Vural, 2018b, 2018a, 2015c, 2015b). Doğal kaynaklı çevresel sorunlar insanların içinde yaşadığı jeolojik çevrenin doğal, jeolojik, jeokimyasal, jeomorfolojik vb. özellikleriyle doğrudan ve dolaylı olarak ilişkilidir (Çiftçi vd. 2021; Sungur vd. 2018, 2020; Vural vd. 2017; Vural 2013, 2014, 2015a, 2016, 2018a; Vural ve Çiftçi 2021; Vural ve Şahin 2012).

İnsanların yaşam konforları ve sağlıkları üzerinde yaşadıkları ortamın jeolojik-jeokimyasal, fizikokimyasal özelliklerinin birçok olumsuz etkiye sahip olabileceğinin fark edilmesi aslında çok da eski değildir. İnsanların hatta diğer canlıların yaşadığı ortamın jeolojik, jeokimyasal, fizikokimyasal özellikleri ile doğrudan ilişkili olan ve insanoğlunun yerküre üzerinde varoluşuyla birlikte, sürekli ve kaçınılmaz bir şekilde maruz kaldığı doğal radyasyon bu anlamda önemli bir yere sahiptir (Kaya vd. 2021; Kaya ve Vural 2020; Vural 2019a; Vural ve Kaya 2020, Vural ve Kaya 2021, Vural ve Kaya, 2021a, 2021b). Tüm canlılar, özelde insanlar, hatta cansız varlıklar dahi içinde buldukları ortamın konumu, jeolojik/jeokimyasal özellikleri ile de ilişkili olarak sürekli bir şekilde, değişen oranda radyasyona maruz kalmaktadırlar. Maruz kalınan doğal radyasyon en önemli kaynağı yerkürenin iç yapısında yer alan uranyum, toryum, potasyum vb. radyoaktif çekirdeklerdir. Teknolojik ilerlemelere bağlı olarak insan kaynaklı yapay radyasyona maruziyet de gün geçtikçe artan oranda bir radyolojik tehlike olarak insanoğlunun gündeminde yer bulmaktadır. İletişim teknolojilerine bağlı olarak maruz kalınan radyasyon her zaman dikkat çekici bir şekilde gündeme geliyor olsa da insan kaynaklı en önemli yapay radyasyon tehlikesi nükleer reaktör kazaları ve nükleer silah denemelerinden kaynaklanmıştır. Bununla birlikte iletişim, elektronik cihazlar da insanların hayatında artan miktarda yer bulmasına bağlı olarak her geçen gün etkileri artan yapay radyasyon kaynaklarıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalar maruz kalınan toplam radyasyonun %80'e yakın bir bölümünün doğal radyo izotoplardan kaynaklı olduğunu göstermiştir (UNSCEAR, 2008, 2000). Radyasyon tehlikesinin artarak devam etmesinin bir sonucu olarak son yıllarda özellikle doğal radyasyon başta olmak üzere yapay radyasyon ve bunların maruziyetleri konusunda pek çok çalışmaya rastlanmaktadır (Kaya vd., 2021; Vural ve Kaya, 2021a, 2021b,

Higgy ve Pimpl 1998; Miah vd., 1998; Kaya vd., 2015a, b, 2020; Vural 2018a, 2019a; Kaya ve Vural 2020; Vural ve Kaya 2020).

Bilinen önemli doğal radyasyon kaynakları ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyo izotopları ve bunlara ait bozunum ürünleridir. Canlılar bu elementlerin ışınımına yaşadıkları toprak vasıtasıyla maruz kalmaktadırlar. İnsan oğlu ise yer kabuğunun nispeten bu ince tabakası üzerinde yaşamsal faaliyetlerini sürdürmekte, özellikle tarımsal faaliyetleri hatta çoğu durumda iskân alanlarını yer kabuğunun bu bölümü üzerinde oluşturmaktadırlar. Toprak ana kayasının fizikokimyasal, jeokimyasal, mineraloji ve petrolojik özelliklerinde jeolojik etki yadsınamaz derecede önemlidir. Hatta toprağın oluşum sürecinde de iklimin yanı sıra kayacın mineralojik, petrografik ve petrolojik özellikleri etkin rol oynamaktadır. Kayacın element içerikleri bu süreçte az veya çok toprağa intikal etmektedir. Topraktaki doğal radyoaktivitenin köken kayaçlardan toprağa geçen bu elementlerden uzun yarılanma ömürlerine sahip ^{238}U (uranyumun %99.27'si), ^{235}U (uranyumun %0.72'si), ^{232}Th (toryumun %100'ü) ve ^{40}K (potasyumun %0.012'si) ve bu radio izotopların bozunum ürünleridir (Kaniu vd., 2018; UNSCEAR, 2000). Bu radyoizotoplar tüm canlıların, insanların ve eşyanın maruz kaldığı dış ve iç radyasyon dozlarının ana kaynaklarıdır.

İç radyasyonun en önemli kaynağı toprak ve kayaçlardan atmosferik ortama ulaşan ve en nihayetinde ^{222}Rn (radon) radyo izotopu ve bozunum ürünlerinin solunması ve/veya besin zincirinin de doğrudan ve dolaylı etkisi ile topraktan ve/veya sulardan besin zincirinin en alt halkasından başlayarak insanlara ulaşmasını içermektedir. Rn elementinin kayaçlardaki radyum (Ra)'un bozunması ile (özellikle de granitik kayaçlarda bol olarak bulunan uranyumun bozunum ürünü Ra'dan bozunma ürünü olarak) kolaylıkla yayılır (Krane, 2008; UNSCEAR, 2000).

Dış radyasyon ise çok uranyum ve toryum serilerindeki gama bozunumu yapan radyoizotoplardan ve herhangi bir radyoaktif ağır metalin bozunma ürünü olmayıp, doğal olarak oluşmuş potasyum-40 (^{40}K) radyoizotopundan kaynaklanmaktadır. ^{40}K yarılanma ömrünün uzunluğu yanında, özellikle de yerkağının yüzeye yakın kesimlerindeki kayaçlarda çok fazla bulunduğu için radyoaktif maruziyet açısından ^{226}Ra kadar tehlikelidir. İnsan kaynaklı radyo izotoplar denince akla ilk gelen ve en tehlikelileri nükleer santral kazaları veya nükleer silah denemeleri sırasında ortaya çıkan ^{137}Cs , ^{131}I , ^{95}Zr ve ^{90}Sr gibi radyo izotoplardır. Bu izotoplar içinde de en tehlikeli ve önemli olanı ^{137}Cs radyoizotopudur. Örneğin Çernobil (Chernobyl) nükleer santral kazası nedeniyle ilk on günlük periyotta 70 PBq ^{137}Cs , 330 PBq ^{131}I 'un atmosfere salındığı tahmin edilmektedir (Bouville, 1995; UNSCEAR, 1988). Bu salınmanın olduğu on gün boyunca birçok yönde etkin olan rüzgarların etkisiyle de radyoaktif materyaller Avrupa başka olmak üzere kuzey yarımkürede pek çok bölgeye yayılmışlardır. Kısa yarı ömürlü ^{131}I 'un etkisi ilk zamanlarda ve yakın bölgelerde etkili olurken, daha uzun yarılanma ömürlü ^{134}Cs ve ^{137}Cs radyoizotoplarının etkisi hem maruz kalan vücudun önemli birçok bölümüne yayılma imkanı bulmuş hem de uzun yıllarca etkisini göstermiştir (Ali vd., 2013b; Bouville, 1995; Jasaitis vd., 2020; Paatero vd., 2007). Nükleer kaynaklı yapay bu radyo çekirdeklerin gözlenmesi nükleer santrallerin ve nükleer denemelerin çevresel etkilerinin araştırılmasında yararlı olmaktadır. Bu bağlamda 30.2 yıl yarılanma ömrüne sahip ^{137}Cs radyo izotopları özellikle tercih edilmektedir.

İnsanoğlunun yeryüzündeki varlığının belirginliği yaşadığı ortamdaki eşyayı tanımakla başlamıştır. Eşyayı tanıdıkça günlük ihtiyaçları gidermek için çevresinden/doğadan yararlanmayı da öğrenmiş ve böylelikle doğal kaynaklardan yararlanma/madencilik faaliyetlerinin ilk adımlarını atmıştır (Kaya vd., 2010; Vural vd., 2009; Vural ve Unlu, 2020). Dolayısıyla bu tür faaliyetler de bir yönüyle küçük çaplı çevresel sorunların başlangıcı olmuştur. Madencilik faaliyetlerine bağlı çevresel sorunları/konular üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda çok fazla artmış olmasına rağmen (Sungur vd., 2020, 2018; Vural, 2014, 2013; Vural vd., 2020; Vural, 2018d, 2018b, 2018a, 2016, 2015b, 2015c, 2015a, 2015d; Vural ve Albayrak, 2020; Vural ve Şahin, 2012; Vural ve Sipahi, 2013), önemli jeokimyasal, fizikokimyasal süreçler sonucunda meydana gelen cevherleşme/maden alanlarının doğal radyasyon aktivitelerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar nispeten daha az olan bu çalışmalar özellikle son yıllarda giderek artmaya başlamıştır (Kaya vd., 2021b, 2018; Vural, 2019a, 2018c; Vural ve Kaya, 2021a, 2021b).

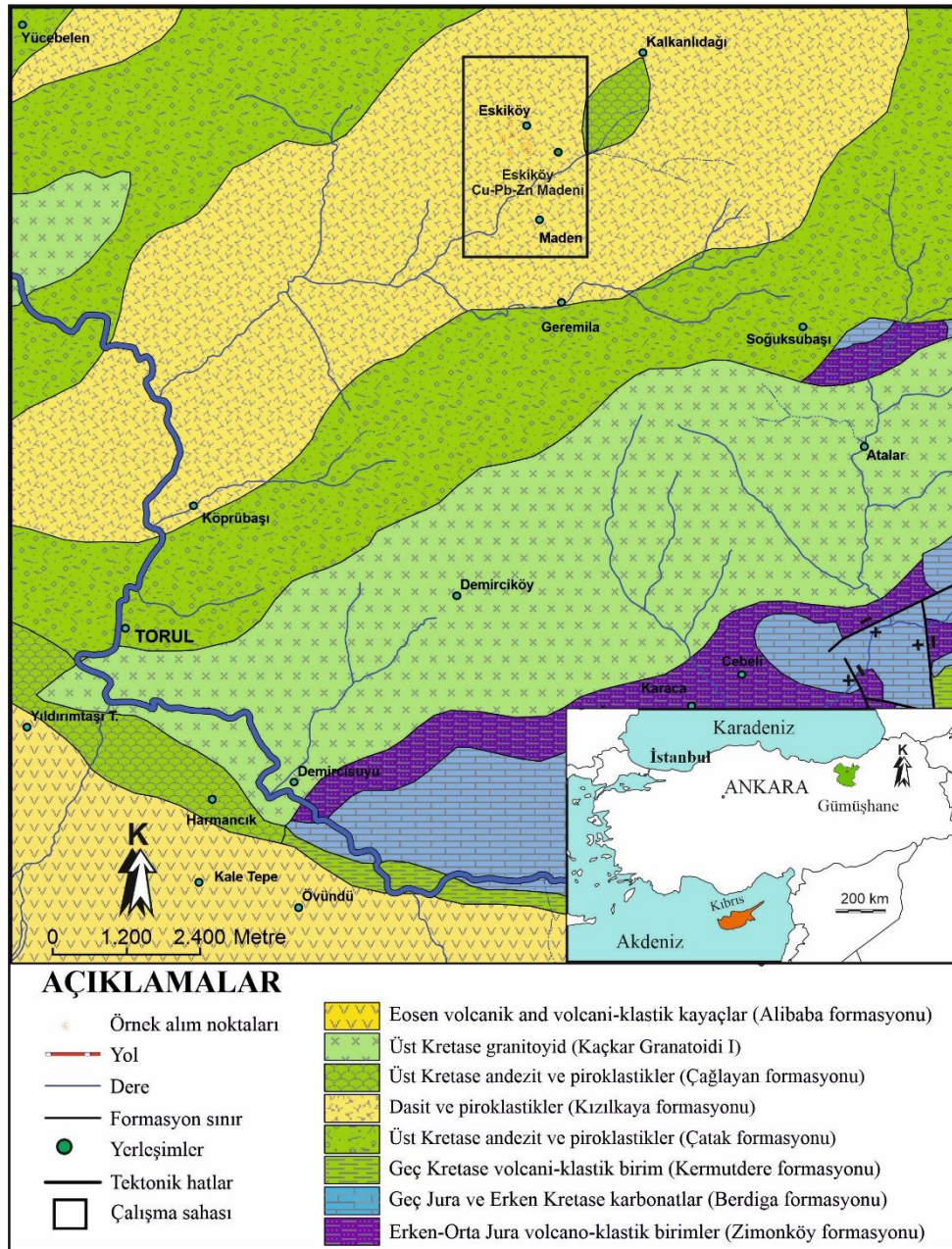
Türkiye'nin önemli metalojenik kuşaklarından biri Doğu Karadeniz'de Gümüşhane'dir. İl sınırları içinde hali hazırda işletilmekte olan pek çok maden mevcut olup, ilin gömülü maden potansiyeli nedeniyle de özel/kamuya ait yerli birçok maden arama şirketinin maden arama çalışmaları yanında yabancı şirketler tarafından yürütülen maden arama çalışmaları da mevcuttur. Gümüşhane ve yakın yöresi, ayrıca bir çok maden jeolojisi amaçlı bilimsel çalışmaya da (çalışma sahasını konu alan çalışmalar da dahil olmak üzere) konu olmuştur (Sipahi vd. 2021; Vural vd. 2011; Vural vd. 2018; Vural vd. 2021; Vural ve Erdoğan 2013, 2014; Vural ve Ersen 2019; Vural ve Erşen 2013; Vural ve Kaygusuz 2016, Demir, 2005; Demir vd., 2013). Bu çalışmada, geçmişte Cu-Pb-Zn cevherleri için işletilmiş olup, ekonomik önemini kaybetmesinden dolayı nedeniyle her ne kadar terk edilmiş olsa da (Vural vd. 2013; Vural vd. 2017) 1980 yıllarda epitermal altın yataklarının önem kazanması ile birlikte tekrar önem kazanmış ve altın cevherleşmesi için özel bir şirkete ruhsatlı olan Eskiköy maden sahasındaki toprakların doğal ve yapay radyasyon değerleri araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Saha ve Yakın Bölgenin Jeolojisi

Eskiköy maden sahası Doğu Pontid Orojenik Kuşağı içinde yer almakta olup, aynı zamanda Alpin-Himalaya orojenik kuşağının Doğu Karadeniz Sahili boyunca uzanan parçası içindedir. Doğu Pontid Orojenik Kuşağı, farklı araştırmacılar tarafından barındırdıkları litolojik farklılıklarına göre, Kuzey, Güney ve Eksen Zonu olarak 3 alt başlık altında ele alınmaktadır (Bektaş vd., 1995). Bu çalışmaya konu Eskiköy maden sahası Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın ağırlıklı olarak Kuzey Zonu'nda olmakla birlikte kısmen de Güney Zon (sahanın güney kesimi) içinde kalmaktadır. Eskiköy maden sahasındaki en yaşlı birimler Erken-Orta Jura volkani-klastik birimdir (Zimonköy formasyonu (Eren, 1983)). Gümüşhane yöresinde en yaşlı birim olarak yüzlek veren Erken Karbonifer metamorfik kompleksi ve Orta-Geç Karbonifer metamorfize olmamış granitik plütonlar (sırasıyla Kurtoğlu Metamorfikleri ve Gümüşhane Granitoyidi) (Yılmaz, 1972) ise sahanın dışında, daha güneyde yüzlek vermektedir (Vural, 2018e; Vural vd., 2017a; Vural ve Kaygusuz, 2019a, 2019b ve içlerindeki atıflar). Zimonköy formasyonu bölge genelinde dereceli olmakla birlikte bazı kesimlerde yer yer uyumsuzluk yüzeyi ile Geç Jura-Erken Kretase platform kireçtaşlarından oluşan Berdiga formasyonuna geçmektedir (Pelin, 1977). Berdiga formasyonu Güney Zon'da ağırlıklı olarak sedimanter kayalar tarafından örtülürken Kuzey Zon'da ise baskın olan volkanik kayalardır. Formasyon bazında Kuzey Zon Çatak, Kızılkaya ve Çağlayan formasyonları ile Güney Zon ise Kermutdere formasyonu ile tanımlanmıştır (Pelin, 1977; Tokel, 1972; Yılmaz ve Korkmaz, 1999). Sahada Kuzey zona ait Çatak, Kızılkaya ve Çağlayan formasyonları ve Güney Zona ait Kermutdere formasyonu yüzlek vermektedir. Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından Kretase volkanik ve plütonik kayalarının Neotetis okyanusal kabuğunun Avrasya levhasının altına dalmasıyla ilişkili olduğu öne sürülmüştür. Çalışma sahası güney ve batı kesimlerinde KD-GB uzanımlı Geç Kretase'de sokulum yapmış granitoidler de yüzlek vermektedir (Kaçkar Granitoyidi I) (Boztuğ vd. 2006; Kaygusuz vd. 2010; Sipahi vd. 2017, 2018). Geç Kretase yaşlı birimler ise bölgenin değişik kesimlerinde ve çalışma sahasının güneybatısında uyumsuzluk düzlemi ile Eosen yaşlı volkanik-klastik kayalarca örtülmektedir (Alibaba formasyonu) (Tokel, 1972; Vural vd., 2021a, 2021b; Vural ve Ersen, 2019; Vural ve Erşen, 2013 ve içlerindeki atıflar) (Şekil 1). Eosen volkanik-klastik birimler ise çalışma sahasının dışında, bölgenin değişik kesimlerinde eş yaşlı kalk-alkalin granitik kayalar tarafından kesilmektedir (Karsli vd., 2013; Vural 2014, 2017, 2018b, 2020; Kaygusuz vd., 2020; Vural ve Kaygusuz 2021) (Şekil 1). Sahadaki en genç birimler ise Kuvaterner yaşlı alüvyon ve travertenlerdir (Vural, 2019b; Vural vd., 2021a).

Yaklaşık 6-7 km²'lik bir alanı kapsayan Eskiköy sahası Gümüşhane Şehir merkezinin yaklaşık 34-35 km kuzeybatısındadır (Şekil 1). Sahada yoğun hidrotermal alterasyon ve Cu-Pb-Zn cevherleşmesi mevcuttur. Saha geçmişte bahse konu madenler için işletilmiş olup, halihazırda altın madeni için özel bir şirkete ruhsatlıdır.

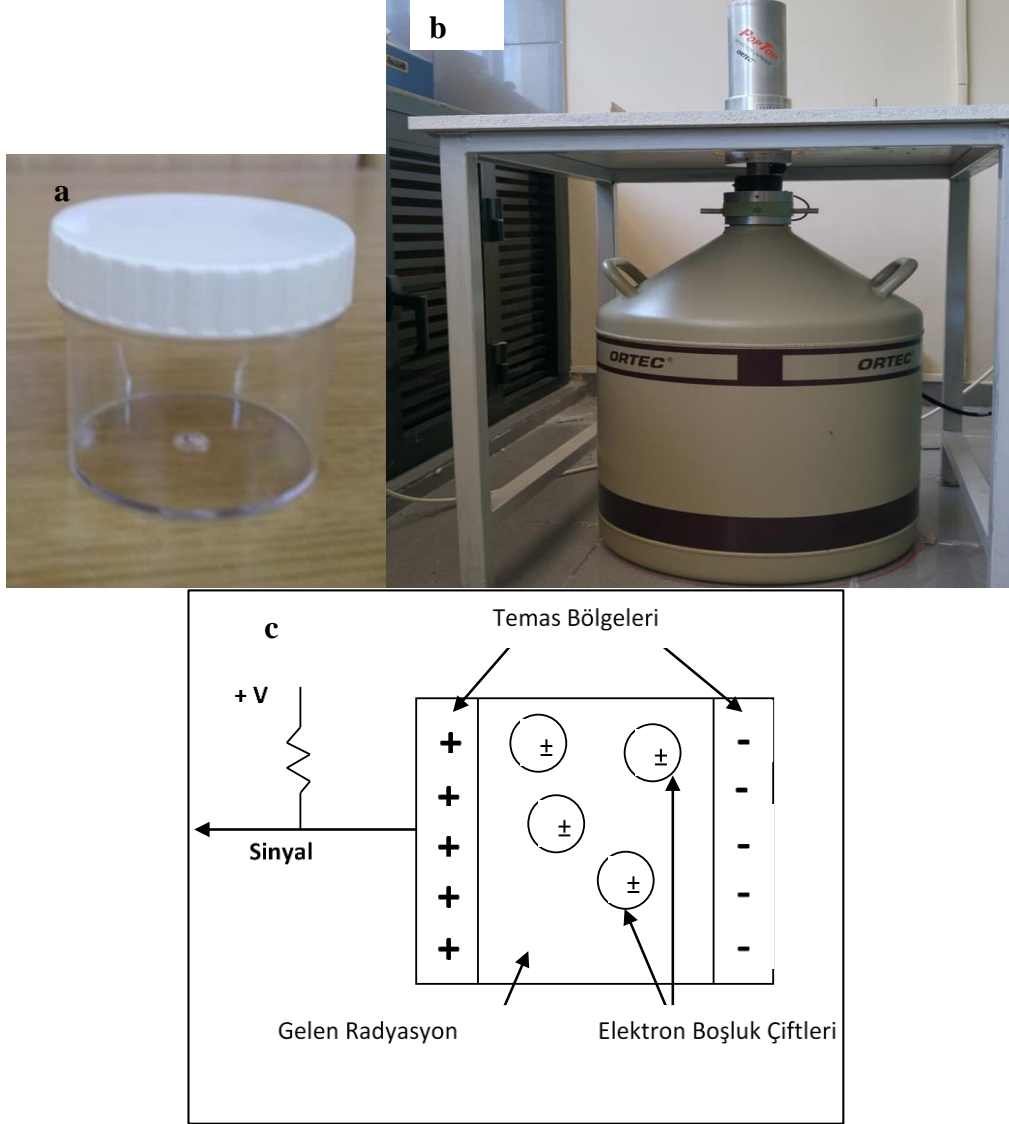


Şekil 1. Çalışma sahası jeoloji haritası (Güven, 1993; Vural vd., 2018a, 2020; Vural ve Gündoğdu, 2020 ve Vural ve Kaya, 2021b'den alınmıştır).

Örneklerin toplanması, hazırlanması ve radyoaktif ölçümleri

Eskiköy Cu-Pb-Zn maden sahasındaki doğal ve yapay radyoaktivite aktivitelerinin tespitine yönelik Eylül 2015 yılında, sahadaki cevherleşme ve hidrotermal alterasyon gelişimi de dikkate alınarak toplam 12 adet toprak örneği alınmıştır. Örnek alımı sırasında radyoaktif amaçlı toprak örneği alım prosedürlerine uygun örnek alımı gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda tarım alanlarından kaçınılmış, örnek alım noktasındaki organik materyaller de ortamdaki uzaklaştırıldıktan sonra toprak gelişimi profiline B zonundan örnekler alınmıştır. Örnek alım noktalarının koordinatları UTM WGS 1984 sisteminde Macellan Explorist 710 el GPS'si ile tespit edilmiştir. Alınan örnekler, Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya laboratuvarına götürülerek, normal oda sıcaklığında, doğal neminin uzaklaştırılması için 10 gün bekletilmiştir. Doğal nemleri uzaklaştırılan örnekler 2 mm çaplı teflon elekten elendikten sonra darası alınmış (kapağı ile birlikte) marinelli sayım kaplarına doldurulmuştur (Şekil 2a). Marille kabına konan örnekler dışardan hava ile temasının kesilmesi için sıkıca kapatılmış ve örneklerin kütleleri tartılarak kayıt altına alınmıştır.

Bozunma ürünlerinin yavru radyojenik ^{222}Rn ile dengeye gelmesi izotopun yarı ömrü olan 3.82 gün'nün 5 ile 7 katını bulan sürelerde olduğu için (Chiozzi vd., 2000), çalışma sahasından alınan örneklerin bünyelerindeki ^{238}U ve ^{232}Th ile radyoaktif dengeye gelmeleri amacıyla örnekler 1 ay süreyle uygun ortamda bekletilmişler ve sonrasında da Poptop Ortec dedektör gama spektrometre ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2b).



Şekil 2. a) Marinelli kabı, b) Gama ışını dedektörü, c) Yarı iletken dedektörlerin temel çalışma prensibi

Doğal ve yapay radyo izotop aktivitelerinin ölçümü

Radyo izotopların aktivite ölçümlerinde toprak örneklerinin gama ışını spektrometresine uygun geometride yerleştirilmesi en iyi verimin alınması için önemlidir. Marinelli kapları bu ihtiyacı görece geometride tasarlanmış kaplardır. Ölçümler için toprak örnekler detektörden en iyi verimi alacak şekilde yerleştirilmiş, birbirine çok yakın pikleri kolaylıkla ayırt edilebilme yeteneğine sahip oldukları için ölçümler sırasında yarı iletken detektörler ve sintilasyon detektörleri kullanılmıştır. Bu tür dedektörler düşük düzeyli radyoaktivite ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Katı hal dedektörlerinin üretiminde yaygın olarak germanyum ve silisyum elementlerinden yararlanılmaktadır. Bu dedektörlerde dedektöre gelen ışınım kristal ile etkileşime girerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşimler sonucunda kristalin atomundan koparılan yüksek enerjiye sahip

elektronlar diğer elektronlarla girdikleri etkileşim sonucunda iyon çiftleri meydana getirirler (Şekil 2c). Bu etkileşim neticesinde takriben 10^{-12} saniyelik kısa bir zamanda kararlı hale geçerler (Vural ve Kaya, 2021b). Birikmiş olan yük, harici uygulanan bir elektrik alanı etkisiyle kristal boyunca sürüklenerek, elektrik sinyaline dönüşür. Kristalde içinde ve temas yüzeylerindeki yük miktarı soğrulan enerji ile orantılı olup, radyasyon cinsinden bağımsızdır. Böyle bir sistemde elektron çiftlerinin meydana gelmesi için gerekli enerji yarı iletkenler 3eV iken iyonizasyon odalarında 30eV'tur. Sintilasyon dedektörlerinde ise bu enerji 300eV gibi yüksek bir değerdir. Si (Li) dedektörleri 1 keV ile 60 keV arasındaki enerjiye sahip fotonlar, Saf Ge (HPGe-ultra saf Ge) ve/veya Ge (Li) dedektörleri ile ise 5keV ile 10MeV arasında enerjiye sahip fotonlar ölçülebilmektedir. Sistemde oluşan sıcaklığın kontrolü sıvı azot ile sağlanmıştır. Ölçümler öncesinde rutin olarak dedeksiyon odasının temel (background) radyasyon değeri ölçülmüş ve aktivite konsantrasyonlarının dedeksiyon limitleri hesap edilmiştir. Toprak örneklerin doğal ve yapay radyo izotop aktivitelerinin ölçümler sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesinde IBMM SPSS v.25 ve Microsof Office Excel programları kullanılmıştır.

Radyasyon Endeksleri

Gerek yapay gerekse doğal radyasyonun insan ve çevre üzerindeki etkileri farklı endeks ve parametreler kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, absorbe doz oranı (D), yıllık efektif doz oranı (AEDR), radyum eşleniği aktivitesi (R_{aeq}), harici (dışsal) tehlike endeksi (H_{ex}) ve dahili tehlike endeksi kullanılmıştır.

Absorbe Doz Oranı

Topraktaki doğal radyo-çekirdeklerle ilişkili risk genellikle yüzeyden 1 metre yukardaki havada absorbe edilmiş doz oranı (D) (nanoGray/saat, nGy/h) veya maruz kalma oranı terimiyle ifade edilir. Genellikle ^{137}Cs ve ^{90}Sr yapay radyo çekirdekleri (radyo izotopları) ve ^{235}U bozunma serileri ihmal edilebilir. Dolayısıyla doğal radyoaktivite ağırlıklı olarak Th, Ra ve K radyo izotoplarından kaynaklı olduğu için bunlara bağlı absorbe doz oranlarını hesaplamak yararlı olabilmektedir (Ali vd., 2013b, 2013a; Krane, 2008). Absorbe doz oranı hesabında topraktaki (Bq/kg'da nGy/h);

U (Ra cinsinden) için 0.462, Th için 0.604 ve K' için 0.0417 ortalama spesifik aktivite katsayıları kullanılmaktadır. ^{137}Cs 'nin hesaba katıldığı durumlarda ise ^{137}Cs için bu katsayı 0.1125 (Bq/kg'da nGy/h'dir.) (Ali vd., 2013a; Beretka ve Mathew, 1985; UNSCEAR, 2000) ve denklem 1'deki gibi hesap edilir. Absorbe doz oranı aşağıdaki formül ile hesap edilir.

$$D(\text{nGy/h}) = 0.462A_{226\text{Ra}} + 0.604A_{232\text{Th}} + 0.0417A_{40\text{K}} \quad (1a)$$

İnsan kaynaklı yapay radyo izotopların etkisi de söz konusu ise o zaman formül aşağıdaki gibi olur (Ribeiro vd., 2018).

$$D(\text{nGy/h}) = 0.462A_{226\text{Ra}} + 0.604A_{232\text{Th}} + 0.0417A_{40\text{K}} + 0.112A_{137\text{Cs}} \quad (1b)$$

Formüllerde D absorbe doz oranına karşılık gelmektedir ve birimi nanoGray/saat (nGy/h)'dir. Doğal ortam radyoaktivite durumlarında yıllık efektif doz ise absorbe doz (UNSCEAR, 2008) değeri ile 0.69 Sv Gy^{-1} faktörünün çarpımıyla hesap edilmektedir. Formüllerdeki $A_{226\text{Ra}}$, $A_{232\text{Th}}$, $A_{40\text{K}}$ ve $A_{137\text{Cs}}$ sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'un aktivite konsantrasyonlarını ifade eder. Absorbe doz oranı için dünya ortalamaları, dünya Ra, Th ve K aktivitelerinin medyanlarına (ortanca değerlerine) dayandırılarak 51 nGy/h olarak hesaplanmıştır (Ali vd., 2013b).

Yıllık Efektif Doz Oranı (AEDR)

En sıklıkla kullanılan parametrelerden biri de Yıllık Efektif Doz Oranı (AEDR)'dir. Havadaki absorbe doz oranından insanlarca alınan efektif doz ilgili katsayılar kullanılarak hesap edilir. Bu parametre insanlarda iyonlaşan radyasyona maruz kalma ile ilişkili potansiyel biyolojik etkileri ve radyasyondan korunulması amacıyla kullanılmaktadır. Doğal karasal çekirdeklerden kaynaklı yıllık

efektif doz oranı bazen doğal yıllık efektif doz oranı ($AEDR_{nat}$) veya karasal yıllık efektif doz oranı ($AEDR_{ter}$) olarak da ifade edilmekte olup, aşağıdaki formülle hesap edilir (Ali vd., 2013a):

$$AEDR_{nat}=0.69*D*[(1-I_{in})+SF.I_{in}]*24*365.25*10^{-3} \quad (2)$$

Formülde I_{in} (0.8) iç mekân dozuna maruz kalınma faktörünü, SF koruma faktörünü (0.2) temsil eder. 0.69 katsayısı ise havadaki absorbe edilmiş dozu yetişkinler için insan efektif dozuna dönüştürme faktörüdür ($SvGy^{-1}$).

Radyasyon Tehlike Endeksleri

Doğal ve yapay kaynaklı radyasyonun çevresel etkilerin tespitinde değişik endeksler kullanılmaktadır. Bunlardan Harici (dışsal) radyasyon tehlike endeksi (H_{ex}) Krieger (1981) tarafından önerilmiş olup, dışsal/harici gama ışınları kaynağıyla ilişkili riski ifade etmektedir. Harici (dışsal) radyasyon tehlike endeksi halk için 1 mSv/yıl şeklinde izin verilebilir doz olarak kabul edilmektedir. Toprakta, H_{ex} aşağıdaki formülle hesap edilmektedir:

$$H_{ex} = \frac{A_{226Ra}}{370} + \frac{A_{232Th}}{259} + \frac{A_{40K}}{4810} \quad (3)$$

Formülde A_{226Ra} , A_{232Th} , A_{40K} parametreleri ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'un Bq/kg aktivite konsantrasyonlarını temsil etmektedir. Dışsal (harici) tehlike endeksi $H_{ex}>1$ ise, insanların maruz kaldığı dışsal dozun kabul edilebilir seviyenin üstüne çıktığını gösterir (Ali vd., 2013a).

Dahili (içsel) radyasyon tehlike endeksi (H_{in}) ise aşağıdaki denklem hesap edilir.

$$H_{in} = \frac{A_{226Ra}}{185} + \frac{A_{232Th}}{259} + \frac{A_{40K}}{4810} \quad (4)$$

Bu formüldeki parametreler 3 numaralı formülde verilenlerle aynıdır. Solunum organlarına yönelik radyasyon tehlikelerinden kaçınmak için dahili radyasyon tehlike endeksi (H_{in})'nin de birden küçük olmalıdır (<1) (Ali vd., 2013a).

Potansiyel radyasyon üzerinde tüm radyo çekirdeklerin etkisi radyum eşlenik aktivitesi (R_{aeq}) olarak da hesap edilir (Singh vd., 2005). Toprağın radyum eşlenik aktivitesi (R_{aeq}), ^{226}Ra 'un 370 Bq/kg, ^{232}Th 'un 259 Bq/kg ve ^{40}K 'un 4810 Bq/kg olduğu kabulüne göre aşağıdaki formülle hesap edilmektedir.

$$R_{aeq(ex)} (Bq/kg)=A_{226Ra}+1.429A_{232Th}+0.077A_{40K} \quad (5)$$

formülde A_{226Ra} , A_{232Th} , A_{40K} sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'un aktivite konsantrasyonlarını ifade etmektedir. R_{aeq} değeri için eşik değer 370 Bq/kg'dır. Ölçümü yapılan materyal/ortam için bu eşik değer aşıldığında materyalin/ortamın tehlike potansiyeline sahip olduğu kabul edilir.

BULGULAR VE SONUÇLAR

Doğal ve yapay radyo izotop aktiviteleri

Çalışma kapsamında Eskiköy maden sahasından alınan toprak örneklerin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K radyo izotoplarının doğal radyoaktiviteleri ile ^{137}Cs 'ın yapay radyoaktiviteleri ölçülmüş ve Tablo 1'de verilmiştir.

Eskiköy maden sahası topraklarının doğal radyoaktivite ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının 25 ± 1.12 ile 74 ± 1.90 Bq/kg arasında değiştiği, ortalama ^{232}Th değerinin 46.67 ± 15.99 Bq/kg, ^{226}Ra değerlerinin 14 ± 0.25 ile 132 ± 2.52 Bq/kg arasında değiştiği, ortalama ^{226}Ra değerinin 39.05 ± 32.77 Bq/kg olduğu, ^{40}K değerlerinin 264.70 ± 1.45 ile 769.81 ± 2.34 Bq/kg arasında değiştiği, ortalama ^{40}K

değerinin 508 ± 130 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir. Yapay radyoizotop ^{137}Cs radyoaktivite değerlerinin ise 1.7 ± 0.02 ile 9.12 ± 0.05 Bq/kg arasında değiştiği ve ortalama ^{137}Cs aktivitesinin ise 5.09 ± 2.03 Bq/kg tespit edilmiştir (Tablo 1, Şekil 3). UNSCEAR (2000) raporuna göre yer kabuğundaki ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite derişimlerinin ağırlıklı dünya ortalaması sırasıyla, 45, 32 ve 420 Bq/kg olarak verilmiştir. Bu eşik değerler dikkate alındığında çalışma sahasında 5 örnek alım noktasında ^{232}Th radyo izotop aktivite konsantrasyonlarının eşik değeri aştığı görülmüştür. ^{226}Ra radyo izotop aktivite konsantrasyonları dikkate alındığında ise yine 5 örnek alım noktasında ^{226}Ra için eşik değeri olan 32 Bq/kg değerinin aşıldığı görülmüştür. ^{40}K açısından saha değerlendirildiğinde ise neredeyse tüm örnek alım noktalarında (3 örnek alım noktası hariç) 420 Bq/kg eşik değerinin aşıldığı görülmüştür. Yapay radyo izotop ^{137}Cs açısından sahanın normalde düşük ve/veya dedeksiyon limiti altında olması beklenirken 3 örnek alım noktası haricinde dedeksiyon limiti üstünde ^{137}Cs değerleri tespit edilmiş olup, bu noktalardan sadece 1 nokta 1.7 Bq/kg aktivite konsantrasyonu elde edilmiş olup, diğer noktalarda ise 3 Bq/kg ve üzeri, yüksek ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları elde edilmiştir (Tablo 1, Şekil 3).

^{137}Cs radyo izotopuyla ilgili radyasyon riskleri yukarıda da belirtildiği üzere insan kaynaklı faaliyetlere bağlı olarak oluşmaktadır ve en önemli çevresel riskler de daha çok nükleer santral kazaları ve/veya nükleer silah denemeleri ve benzeri hayatın normal akışına aykırı nedenlerden oluşmaktadır. Gelmiş geçmiş bilinen en ciddi nükleer santral kazaları 1986 yılındaki Çernobil ve 2011 yılındaki Fukuşima nükleer santral kazalarıdır. Çernobil santral kazasının hemen sonrasında Avrupa başta olmak üzere kuzey yarımküreyi etkileyecek ölçekte nükleer serpinti bulutu geniş bir coğrafyaya yayılmıştır. Avrupa'nın birçok ülkesi, Türkiye'de dahil bu radyoaktif serpinti bulutundan etkilenmiştir. Örneğin Litvanya'da Curonian Spit Ormanları'nın topraklarında 33.6 Bq/kg ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Yine KD Litvanya'da Ignalina nükleer santral bölgesinde $4.8-8.4$ Bq/kg aktivasyon konsantrasyonları kayıt edilmiştir (Jasaitis vd., 2020). Fukuşima nükleer santral kazası sonrasında yapılan çalışmalarda radyo-sezyum dahil bir çok antropojenik radyo izotopların atmosfere salındığı, Japonya'nın doğu bölümünde neredeyse yer yüzünün her bir noktasında bulanana binaların, toprakların daha bir çok materyallerin, hatta insanların bu radyo aktif serpintilerden etkilendiğini göstermiştir (Kato vd., 2019). Çernobil kazası gibi Fukuşima kazası sonrasında doğrudan veya dolaylı olarak kuzey yarımküre etkilenmiştir (Koo vd., 2014). Yüksek ^{137}Cs konsantrasyonu Kuzey Amerika batısına 17 Mart 2011'de ulaşmışken, Avrupa'ya ise nispeten daha düşük konsantrasyonda ^{137}Cs içeren ilk hava kütlesi 22 Mart 2011'de ulaşmış ve yağış olarak da geçtiği bölgeleri etkilemiştir (Koo vd., 2014). En önemli yapay radyo izotop kaynaklı kirlilikler nükleer santral kazalarıyla kayıt edilmiş olsa da, nükleer silah denemeleri ile ilişkili olarak, örneğin Washington eyaletinde nükleer silah denemelerin yapıldığı Mount Rainer Ulusal Parkı ve Satsop Nükleer Santral bölgesindeki topraklarda 33.21 Bq/kg'a varan ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür (Jasaitis vd., 2020).

Tablo 1. Eskiköy Cu-Pb-Zn maden sahası Th, Ra, K ve Cs elementlerinin doğal ve yapay radyoaktivite seviyeleri (değer±standart sapma olarak) (Tabloda sarıya boyanmış fontlar minimum değerleri, kırmızıyla boşanmış fontlar maksimum değerleri, fıstık yeşile boyanmış kutulardaki değerleri ise ilgili radyo izotop için dünya ağırlıklı ortalamasının aşıldığını göstermektedir)

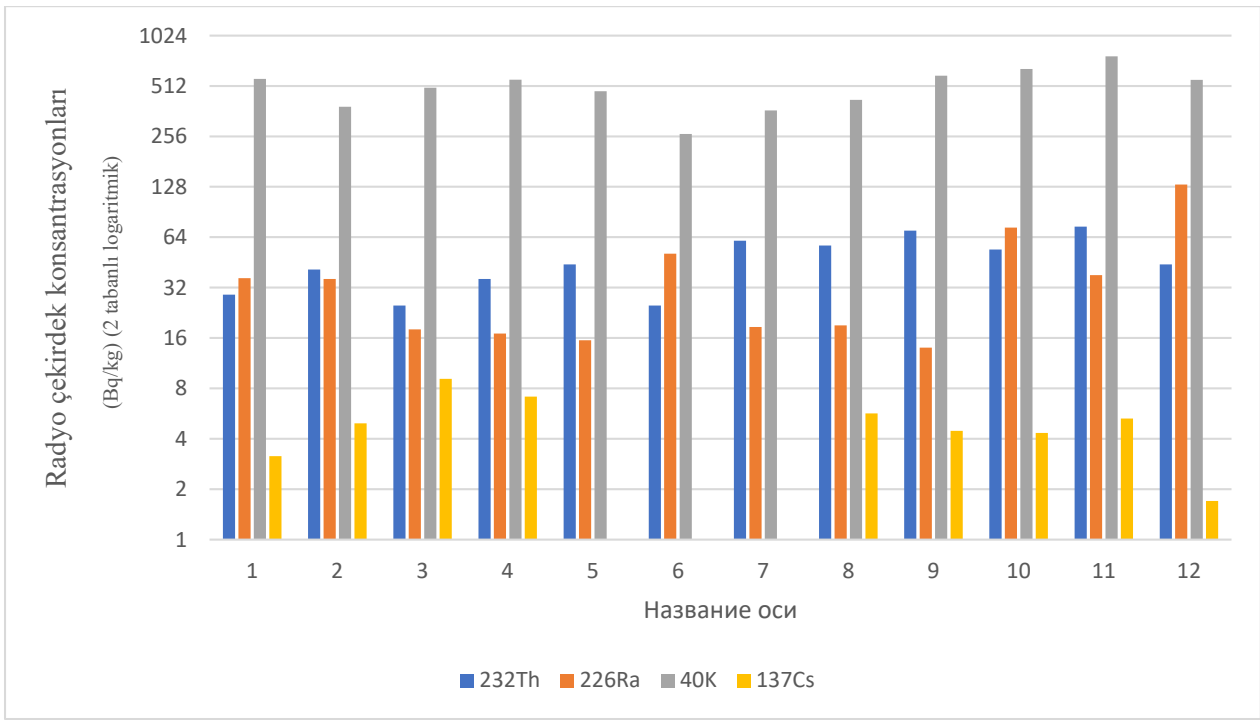
Maden/Alterasyon Sahası	^{232}Th (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
Eskiköy	29±1.36	36.45±0.85	564.16±2.48	3.15±0.03
Eskiköy	41±1.39	36±1.035	384.57±1.97	4.94±0.2
Eskiköy	25±1.12	18±0.65	499.99±2.18	9.12±0.05
Eskiköy	36±1.33	17±0.58	558±2.45	7.14±0.02

Eskiköy	44±1.28	15.5±0.45	476±1.86	
Eskiköy	25±1.12	51±1.87	264.70±1.45	
Eskiköy	61±1.82	18.6±0.37	365.5±1.57	
Eskiköy	57±1.56	19±0.43	422.86±1.69	5.67±0.06
Eskiköy	70±1.93	14±0.25	590.03±1.83	4.46±0.01
Eskiköy	54±1.52	73±1.84	646.84±2.27	4.33±0.03
Eskiköy	74±1.90	38±1.23	769.81±2.34	5.28±0.04
Eskiköy	44±1.27	132±2.52	557.38±1.46	1.7±0.02
Minimum	25	14	264.7	1.7
Maksimum	74	132	769.81	9.12
Aritmetik ortalama*	46.67	39.05	508.32	5.09
UNSCEAR (2000)	45	32	420	-

*Standart hatalar dikkate alınmadan hesaplanmış aritmetik ortalamalar

Eskiköy maden sahasındaki ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K doğal radyo izotoplarının radyoaktiviteleri ile ^{137}Cs yapay izotop aktiviteyi insan sağlığı/tıbbi jeoloji bağlamında değişik radyasyon tehlike endeksleri ile değerlendirilmiştir (Tablo 2).

Eskiköy maden sahası topraklarında ölçümü yapılan doğal ve yapay radyo izotop aktivite ölçümleri dikkate alındığında yer yer dikkat çekici seviyelere ulaşan konsantrasyonlara rastlanmış, birçok örnek alım noktasındaki doğal radyoaktivite değerlerinin dünya ortalamasının üstünde olduğu, yapay radyo izotop aktivite konsantrasyonlarının tahmin edilenin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Maden sahasındaki toprakların doğal ve yapay radyoaktivite değerleri birlikte değerlendirildiğinde cevherleşmenin yoğun olduğu ve yoğun hidrotermal alterasyon gelişimi olan alanlarda Th, Ra ve K değerlerinin UNSCEAR (2000) tarafından önerilen ağırlıklı ortalama değerlerine yakın hatta bu ortalamaları aşmış olduğu tespit edilmiştir. Sahadaki topraklarda yapay radyoaktivite ^{137}Cs aktiviteyi yüksek olmasının nedeniyse bölgenin Çernobil kazasından etkilenmiş olabileceği ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 3. Eskiköy Maden sahası ²³²Th, ²²⁶Ra ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs elementleri için doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerine ait çubuk grafik

Tablo 2. Eskiköy Cu-Pb-Zn maden sahası topraklarına ait değişik radyasyon tehlike endekslerine ait tanımlayıcı istatistik bilgileri

	H_{ex}	H_{in}	Ra_{eq} (Bq/kg)	D (nGy/h)	$AEDR_{nat}$ (μ Sv/y)
Minimum	0.249	0.298	92.299	44.266	96.387
Maksimum	0.643	0.999	237.926	110.803	241.270
Ortalama	0.391	0.497	145.013	67.423	146.811
Geo.Ortalama	0.376	0.468	139.200	64.792	141.083
Standart sapma	0.118	0.193	43.535	20.096	43.758
Limit değerleri	1.00	1.00	370	51	111

Radyasyon tehlike endeksleri

Eskiköy Cu-Pb-Zn maden sahası topraklarının harici radyasyon endeksi H_{ex} değerlerinin 0.29 ile 0.643 arasında değiştiği ve ortalama değerinin ise 0.391 (Geo.Ort:0.376) olduğu tespit edilmiştir. Maden sahanın H_{ex} açısından hiçbir örnek alım noktasında 1 (bir) değerini aşmadığı ($H_{ex}<1$), dolayısıyla dışsal radyasyon tehlike endeksi H_{ex} açısından sahada yapılması gereken bir işlemin olmadığı görülmüştür. Sahaya ait dahili radyasyon endeksi H_{in} oranları ise 0.298 ile 0.999 (yaklaşık 1) arasında değiştiği, ortalama değerinin ise 0.497 (Geo.Orta: 0.468) olduğu tespit edilmiştir. Maden sahası H_{in} değerleri açısından sadece bir gözlem noktasında yaklaşık 1 (bir) değerine sahiptir (0.999). Dolayısıyla bu gözlem noktası dahili radyasyon tehlike endeksi (H_{in}) açısından detaylı çalışmaya ihtiyaç olacağı düşünülmektedir.

Çalışma sahası topraklarının radyum eşleniği radyasyon (R_{aeq}) değerlerinin 92.299 ile 237.926 Bq/kg arasında değiştiği ve ortalama değerinin ise 145.013 (Geo.Ortalama:139.200) Bq/kg olduğu hesap edilmiştir. Saha ve/veya materyallerdeki R_{aeq} değerleri değerlendirilirken hesaplanan R_{aeq} değerlerinin 370 Bq/kg'dan büyük olup olmadığına dikkate alınır. Yani R_{aeq} eşik değeri 370 Bq/kg'dır. Sahaya ait hesap edilen R_{aeq} değerlerinin 370 Bq/kg değerini hiçbir örnek alım noktasında aşmadığı görülmüştür (Tablo 2).

Absorbe Doz Oranı ve Yıllık Efektif Doz Oranı

Eskiköy maden sahası için absorbe doz oranı (D) 44.266 ile 110.803 nGy/h aralığında değiştiği ve aritmetik ortalamasının ise 67.423 (Geo.Ort:64.792) nGy/h olarak hesaplanmıştır. Sahada 2 örnek alım noktası haricinde dünya ortalama absorbe doz oranının (51 nGy/h) (UNSCEAR, 2000) aşıldığı tespit edilmiştir. Bu veriler dikkate alındığında çalışma sahası için daha detay bir araştırmanın yapılması yararlı olacaktır.

Daha detaylı çalışmanın daha sonra yapılması planlandığı için bu çalışmada yıllık efektif doz oranları ^{137}Cs değerleri dikkate alınmadan hesap edilmiştir. Çalışma sahası topraklarına ait yıllık efektif doz oranlarının ise 96.387 ile 241.270 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değiştiği ve ortalama 101.32 (Geo.Ort:141.083) $\mu\text{Sv/y}$ olduğu tespit edilmiştir. Ali vd., (2013b)'de detayları verildiği üzere, dünya efektif doz oranları absorbe doz oranına dayanarak (51 gGy/h), dünya medyan yıllık efektif doz oranı 111 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesap edilmektedir. Sahaya ait yıllık efektif doz oranları göz önünde bulundurulduğunda 2 örnek alım noktası haricindeki noktalar için eşik değerin aşılmış olduğu görülmektedir. Saha için yıllık efektif doz oranı bağlamında hem geometrik ortalama hem de aritmetik ortalama değeri eşik değeri aşmaktadır. Dolayısıyla sahada tıbbi jeoloji açısından daha detaylı çalışmanın yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada Eskiköy (Torul/Gümüşhane) Cu-Pb-Zn maden/cevherleşme sahasından alınan toplam 12 adet toprak örneğinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktiviteleri gama spektrometresi ile ölçülmüştür. Sahada geçmişte baz metaller için işletilmiş olup, halihazırda altın için özel bir şirkete ruhsatlı, yoğun hidrotermal alterasyona maruz kalmış bir bölgedir. Saha topraklarında ^{232}Th ve ^{226}Ra aktivitelerinin değerlerinin 5 örnek alım noktasında (her iki radyo izotop için eşik değeri geçen her bir örnek alım noktası çakışmamaktadır), ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ise 9 örnek alım noktasına ağırlıklı dünya ortalamalarını aştığı tespit edilmiştir (sırasıyla eşik değerler 45, 32, 420 Bq/kg). ^{137}Cs yapay radyo izotop aktivitelerinin ise 2 örnek alım noktası haricinde tüm örnek alım noktalarından dedeksiyon limitinin üzerinde olduğu ve 8 örnek alım noktasında da >3 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir. Eskiköy sahası radyolojik tehlike endeksleri açısından değerlendirildiğinde (H_{ex} ve H_{in}), endeks parametrelerinin <1 olduğu için sahada içsel ve dışsal radyasyon tehlike riski görülmemiştir. Sadece 1 örnek alım noktasında H_{in} endeksinin 1'e yaklaştığı (0.999) tespit edilmiş olup, bu örnek alım noktasının jeolojik, jeokimyasal ve diğer radyasyon parametreleri açısından daha ayrıntılı çalışmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Maden sahası absorbe doz oranı açısından değerlendirildiğinin 10 örnek alım noktasında dünya ortalamasının (51 nGy/h) aşıldığı tespit edilmiştir. Diğer 2 örnek alım noktasındaki değerler de dünya ortalamasına yakın değerlerdir (44.27 ve 49.70 nGy/h). Dünya medyan yıllık efektif doz oranlarıyla sahaya ait değerler karşılaştırıldığında yine 10 örnek alım noktasında eşik değerin aşıldığı görülmüştür. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde, Eskiköy maden sahasının doğal ve yapay izotop aktiviteleri açısından dikkat çekici veriler sunduğu, buna bağlı olarak da sahanın tıbbi jeoloji bağlamında doğal ve yapay radyo izotoplar açısından daha detaylı çalışılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje No: 17.F5120.02.01).

KAYNAKLAR

- Ali, M., Iqbal, S., Wasim, M., Arif, M., Saif, F., 2013a. Soil radioactivity levels and radiological risk assessment in the highlands of Hunza. Pakistan. *Radiation Protection Dosimetry* 153, 390–399.
- Ali, M., Wasim, M., Iqbal, S., Arif, M., Saif, F., 2013b. Determination of the risk associated with the natural and anthropogenic radionuclides from the soil of Skardu in Central Karakoram. *Radiation Protection Dosimetry* 156, 213–222. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct057>
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Tash, K., Akdağ, K., Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonates breccias and turbidites as evidences of a drowned platform. *Geologia* 57, 233–244.
- Beretka, J., Mathew, P.J., 1985. Natural Radioactivity of Australian Building Materials. *Industrial Wastes and By-Products. Health Physics* 48, 87–95.
- Bouville, A., 1995. The Chernobyl Accident. *Radiation Protection Dosimetry* 60, 287–293.
- Boztuğ, D., Erçin, A.I., Kuruçelik, M.K., Göç, D., Kömür, I., Iskenderoğlu, A., 2006. Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 286–302. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.03.008>
- Chiozzi, P., De Felice, P., Fazio, A., Pasquale, V., Verdoya, M., 2000. Laboratory application of NaI(Tl) γ -ray spectrometry to studies of natural radioactivity in geophysics. *Applied Radiation and Isotopes* 53, 127–132. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(00\)00123-8](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(00)00123-8)
- Çiftçi, A., Vural, A., Ural, M.N., 2021. Analysis of Some Concepts Related to the Environment and Health with the N-Gram Method. *Journal of International Health Sciences and Management* 7, 47–54. <https://doi.org/10.48121/jihsam.796465>
- Demir, Y., 2005. İstala ve Köstere (Zigana/Gümüşhane) Cu-Pb-Zn Madenleri ve Yan Kayaçlarının Mineralojisi ve Dokusal Özelliklerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi. K.T.Ü. Trabzon-Türkiye.
- Demir, Y., Uysal, I., Sadıklar, M.B., 2013. Mineral chemical investigation on sulfide mineralization of the İstala deposit, Gümüşhane, NE-Turkey. *Ore Geology Reviews* 53, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.01.014>
- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes incelemesi. Trabzon.
- Güven, İ., 1993. Doğu Pontidlerin 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Higgy, R.H., Pimpl, M., 1998. Natural and man-made radioactivity in soils and plants around the research reactor of Inshass. *Applied Radiation and Isotopes* 49, 1709–1712.
- Jasaitis, D., Klima, V., Pečiulienė, M., Vasiliauskiene, V., Konstantinova, M., 2020. Comparative Assessment of Radiation Background Due to Natural and Artificial Radionuclides in Soil in Specific Areas on the Territories of State of Washington (USA) and Lithuania. *Water, Air, and Soil Pollution* 231. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04730-8>
- Kaniu, M.I., Angeyo, K.H., Darby, I.G., 2018. Occurrence and multivariate exploratory analysis of the natural radioactivity anomaly in the south coastal region of Kenya. *Radiation Physics and Chemistry* 146, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.01.009>
- Karsli, O., Uysal, I., Dilek, Y., Aydın, F., Kandemir, R., 2013. Geochemical modelling of early

- Eocene adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Anatolia: continental crust or subducted oceanic slab origin? *International Geology Review* 55, 2083–2095. <https://doi.org/Doi.10.1080/01431161.2013.819958>
- Kato, H., Onda, Y., Gao, X., Sanada, Y., Saito, K., 2019. Reconstruction of a Fukushima accident-derived radiocesium fallout map for environmental transfer studies. *Journal of Environmental Radioactivity* 210, 105996. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.105996>
- Kaya, A., Çelik, N., Kaya, S., Kaygusuz, A., 2015. Gümüşhane İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi ve Doğal Fon Haritasının Çıkarılması. Gümüşhane, Türkiye.
- Kaya, A., Çelik, N., Vural, A., 2018. Gümüşhane İlinde Maden Yataklarındaki/maden potansiyeli olan alterasyon sahalarındaki Topraktaki Doğal (226Ra, 232Th ve 40K) ve Yapay (137Cs) Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Araştırılması. Gümüşhane, Türkiye.
- Kaya, A., Vural, A., 2020. Investigation of Natural (226Ra, 232Th and 40K) and Artificial (137Cs) Radioactivity Concentrations of Kırkpavli and Hazine Mağara Ore Deposits (Gümüşhane), içinde: 5.Uluslararası Sağlık Bilimleri ve Yönetimi Kongresi. Kırşehir, Türkiye.
- Kaya, A., Vural, A., Çelik, N., 2021a. Koza ve Karamustafa Madenlerinin (Gümüşhane) Doğal (226 Ra , 232 Th ve K) ve Yapay (137 Cs) Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Araştırılması (Gümüşhane), içinde: 73. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, ss. 996–1001.
- Kaya, A., Vural, A., Çelik, N., 2021b. Investigation of Natural (226Ra, 232Th and 40K) and Artificial (137Cs) Radioactivity Concentrations of Koza and Karamustafa Ore Deposits (Gümüşhane), içinde: 73rd Geological Congress of Turkey. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, ss. 996–1001.
- Kaya, S., Başaran, N., Songören, T., Vural, A., Kayadibi, Ö., 2010. Evaluations Related To Mining Archeology (Geo-Archeology) in Amasya City, içinde: 7th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology.
- Kaya, S., Karabıdak, S.M., Çevik, U., 2015. Gümüşhane İli Çevresinde Toplanan Toprak ve Karayosunu Örneklerinde Doğal (226Ra, 232Th ve 40K) ve Yapay (137Cs) Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5, 24–33.
- Kaya, S., Kaya, A., Çelik, N., Kara, R.T., Taşkın, H., Koz, B., 2020. Determination of the environmental natural radioactivity and mapping of natural background radioactivity of the Gumushane province, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 326, 933–957. <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07390-4>
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Ilbeyli, N., Arslan, M., Satir, M., Şen, C., 2010. Insight into magma genesis at convergent plate margins a case study from the eastern Pontides (NE Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 187, 265–287. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2010/0178>
- Kaygusuz, A., Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Yi, K., Jeong, Y.-J., Siebel, W., Sipahi, F., 2020. Eocene I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Insights into magma genesis and magma-tectonic evolution from whole-rock geochemistry, geochronology and isotope systematics. *International Geology Review*. <https://doi.org/doi.org/10.1080/00206814.2019.1647468>
- Koo, Y.H., Yang, Y.S., Song, K.W., 2014. Radioactivity release from the Fukushima accident and its consequences: A review. *Progress in Nuclear Energy* 74, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.02.013>
- Krane, S.K., 2008. *Introductory nuclear physics*. Wiley, New York.
- Krieger, V.R., 1981. Radioactivity of construction materials. *Betonwerk Fertigteil Techn* 47, 468–

473.

Miah, F.K., Roy, S., Touhiduzzaman, M., Alam, B., 1998. Distribution of Radionuclides in soil samples in and around Dhaka city. *Applied Radiation and Isotopes* 49, 133–137.

Paatero, J., Kulmala, S., Jaakkola, T., Saxén, R., Buyukay, M., 2007. Deposition of ¹²⁵Sb, ¹⁰⁶Ru, ¹⁴⁴Ce, ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in Finland after the Chernobyl accident. *Boreal Environment Research* 12, 43–54.

Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelemesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayını, Yayın No. 87, Trabzon.

Ribeiro, F.C.A., Silva, J.I.R., Lima, E.S.A., do Amaral Sobrinho, N.M.B., Perez, D. V., Lauria, D.C., 2018. Natural radioactivity in soils of the state of Rio de Janeiro (Brazil): Radiological characterization and relationships to geological formation, soil types and soil properties. *Journal of Environmental Radioactivity* 182, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.11.017>

Şengör, A., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181–241.

Singh, S., Rani, A., Mahajan, R.M., 2005. ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry. *Radiation Measurements* 39, 431–439.

Sipahi, F., Akpınar, İ., Saydam Eker, Ç., Kaygusuz, A., Vural, A., Yılmaz, M., 2017. Formation of the Eğrikar (Gümüşhane) Fe–Cu skarn type mineralization in NE Turkey: U–Pb zircon age, litho-geochemistry, mineral chemistry, fluid inclusion, and O–H–C–S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration* 182, 32–52. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.08.006>

Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A., Akpınar, İ., 2018. Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar Monzogranite example. *International Geology Review* 60, 382–400. <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1336120>

Sipahi, F., Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ., Gücer, M.A., Vural, A., Kaygusuz, A., Aydurmuş, T., 2021. Eocene magmatism and associated Fe–Cu mineralization in northeastern Turkey: a case study of the Karadağ skarn. *International Geology Review* 1–26. <https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1941323>

Sungur, A., Vural, A., Gundogdu, A., Soylak, M., 2020. Effect of antimonite mineralization area on heavy metal contents and geochemical fractions of agricultural soils in Gümüşhane Province, Turkey. *Catena* 184, 104255. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104255>

Sungur, A., Vural, A., Gündoğdu, A., Soylak, M., 2018. Gümüştuğ Köyü (Torul-Gümüşhane) Tarım Topraklarında Manganezin Jeokimyasal Karakterizasyonu, içinde: International Trace Analysis Congress (ITAC 2018/ES-AN 2018). Sivas, Türkiye, s. 231.

Tokel, S., 1972. Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region.

UNSCEAR, 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the general assembly, with scientific annexes.

UNSCEAR, 2000. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York.

UNSCEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risk Ionizing Radiation. Annex D: Exposures from the Chernobyl accident. United Nations, New York.

Ural, M.N., Vural, A., Çiftçi, A., 2020. Conceptual Development Analysis of Health Tourism Based on “N-Gram”, içinde: 5.Uluslararası Sağlık Bilimleri ve Yönetimi Kongresi, 9-11 Temmuz 2020, Kırşehir/Türkiye.

Vural, A., 2020. Investigation of the relationship between rare earth elements, trace elements, and

- major oxides in soil geochemistry. *Environmental Monitoring and Assessment* 192, 124. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8069-9>
- Vural, A., 2019a. Investigation of the radiation risk to the inhabitants in the region close to the hydrothermal alteration site, Gümüşhane/Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science* 8, 1168–1176.
- Vural, A., 2019b. Zenginleştirilmiş Jeoturizm Güzergahlarına Dair Farkındalık Oluşturulması : Eski Gümüşhane - Dörtkonak Güzergahı [Creation of Awareness of Enhanced Geotourism Routes: Old Gümüşhane-Dörtkonak Route]. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi* 10, 250–274.
- Vural, A., 2018a. Demirören (Gümüşhane) ve Çevre Kayaçlarının Element İçeriklerinin Tıbbi Jeoloji Açısından İncelenmesi, içinde: 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, ss. 885–886.
- Vural, A., 2018b. Metalojenik Kuşaklardaki Kayaçların Element Temel Değerlerinin Tıbbi Jeoloji Açısından İncelenmesi: Karamustafa Vadisi (Gümüşhane), içinde: 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, ss. 875–876.
- Vural, A., 2018c. Assessment of Radiation Exposure Risks of Villagers Living in Sites Close to Hydrothermal Alteration Areas: Demirören, Gümüşhane/NE Turkey, içinde: 3rd International Health Sciences and Management Conference. Sofia, Bulgaria, ss. 298–305.
- Vural, A., 2018d. Relationship between the geological environment and element accumulation capacity of *Helichrysum arenarium*. *Arabian Journal of Geosciences* 11, 258. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3609-0>
- Vural, A., 2018e. Evaluation of soil geochemistry data of Canca Area (Gümüşhane, Turkey) by means of Inverse Distance Weighting (IDW) and Kriging methods-preliminary findings. *Bulletin Of The Mineral Research and Exploration* 158, 10–20. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.430531>
- Vural, A., 2017. K-Ar dating for determining the age of mineralization as alteration product: A case study of antimony mineralization vein type in granitic rocks of Gümüşhane area, Turkey. *Acta Physica Polonica A* 132, 792–795. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.792>
- Vural, A., 2016. Assessment of Sessile Oak (*Quercus petraea* L.) Leaf as Bioindicator for Exploration Geochemistry. *Acta Physica Polonica A* 130, 191–193. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.130.191>
- Vural, A., 2015a. Contamination assessment of heavy metals associated with an alteration area: Demirören Gumushane, NE Turkey. *Journal of the Geological Society of India* 86, 215–222. <https://doi.org/10.1007/s12594-015-0301-9>
- Vural, A., 2015b. Hidrotermal Olarak Kirlenmiş Topraklarda Yetişen Meşe Ağaçlarının Element Biriktirme Karakteri: Gümüşhane, Kuzeydoğu Türkiye, içinde: 2. Tıbbi Jeoloji Sempozyumu. Konya, Türkiye, ss. 113–114.
- Vural, A., 2015c. Alterasyon Sahalarının Potansiyel Ağır Metal Kirliliği Riski: Canca-Gümüşhane, içinde: 2. Tıbbi Jeoloji Sempozyumu. Konya, Türkiye, ss. 105–108.
- Vural, A., 2015d. Biogeochemical characteristics of *Rosa canina* grown in hydrothermally contaminated soils of the Gümüşhane Province, Northeast Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 187, 486. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4708-y>
- Vural, A., 2014. Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 148, 85–106.
- Vural, A., 2013. Assessment of Heavy Metal Accumulation in the Roadside Soil and Plants of *Robinia pseudoacacia*, in Gumushane, Northeastern Turkey. *Ekoloji* 22, 1–10.

<https://doi.org/10.5053/ekoloji.2013.891>

Vural, A., Akpınar, İ., Sipahi, F., 2021a. Mineralogical and Chemical Characteristics of Clay Areas, Gümüşhane Region (NE Turkey), and Their Detection Using the Crósta Technique with Landsat 7 and 8 Images. *Natural Resources Research*. <https://doi.org/10.1007/s11053-021-09912-7>

Vural, A., Akpınar, İ., Kaygusuz, A., Sipahi, F., 2021b. Petrological characteristics of Eocene volcanic rocks around Demirören (Gümüşhane , NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 10, 1703–1716.

Vural, A., Albayrak, M., 2020. Evaluation of Gördes zeolites in terms of mineralogical , geochemical and environmental effects. *Journal of Engineering Research and Applied Science* 9, 1503–1520.

Vural, A., Çiçek, B., 2020. Cevherleşme Sahasında Gelişmiş Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 8, 1533–1547. <https://doi.org/10.29130/dubited.643775>

Vural, A., Çiçek, B., 2019. Heavy Metal Pollution in Developed Soils on Mineralization Zone, içinde: 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET). Bayburt, Türkiye, ss. 880–884.

Vural, A., Çiftçi, A., 2021. An analysis of some concepts related to environmental issues and development by N-gram. *Euroasia Journal of Social Sciences & Humanities* 8, 18–28. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.38064/eurssh.158>

Vural, A., Çorumluoğlu, Ö., Asri, İ., 2011. Investigation of Litologic structures and Alterations in Hazine Cave and Dere Mine regions in Turkey by Remote Sensing Techniques, içinde: TUFUAB VI. Technical Symposium. Antalya, Türkiye.

Vural, A., Erdoğan, M., 2014. Eski Gümüşhane Kırkpavli Alterasyon Sahasında Toprak Jeokimyası. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 4, 1–15.

Vural, A., Erdoğan, M., 2013. İz Bulucu Elementlerden Yararlanarak Toprak Jeokimyası İle Altın Cevherleşmesinin Araştırılması: Kırkpavli, Gümüşhane-Türkiye, içinde: 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Ankara, Türkiye.

Vural, A., Erşen, F., 2019. Geology, mineralogy and geochemistry of manganese mineralization in Gumushane, Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science* 8, 1051–1059.

Vural, A., Erşen, F., 2013. Eski Gümüşhane (Argyropolis) Manganez Yataklarının Jeolojik Ve Jeokimyasal Özellikleri, içinde: 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Ankara, Türkiye, ss. 162–163.

Vural, A., Gündoğdu, A., 2020. High-fluoride risk and toxicity in surface waters in Gümüşhane-Gökdere valley drainage network (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 9, 1323–1334.

Vural, A., Gundogdu, A., Akpınar, I., Baltacı, C., 2017a. Environmental impact of Gümüşhane City, Turkey, waste area in terms of heavy metal pollution. *Natural Hazards* 88, 867–890. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2896-1>

Vural, A., Gündoğdu, A., Bulut, V.N., Alemdağ, S., Saka, F., Soylak, M., 2020. Harşit Vadisinde (Gümüşhane), Bölgedeki (Terkedilmiş) Maden Sahalarından Kaynaklanan Ağır Metal/İz Element Kirliliğinin Araştırılması. *Gümüşhane, Türkiye*. <https://doi.org/Grant Number:115Y146>

Vural, A., Gündoğdu, A., Saka, F., Baltacı, C., Bulut, V.N., Alemdağ, S., Soylak, M., 2018a. Regional monitoring and assessment of water quality surface waters in Arzular-Kabaköy Mineralization/alteration area in Gümüşhane (NE Turkey), içinde: 36th National and the 3rd International Geosciences Congress. Tehran, Iran.

Vural, A., Kaya, A., 2021a. Arzular-Yitirmez Maden/Alterasyon Sahalarının (Gümüşhane) Doğal

- (226Ra, 232Th ve 40K) ve Yapay (137Cs) Radyoaktivitelerinin Araştırılması, içinde: 1st International Conference of Physics. Ankara, Türkiye, ss. 315–327.
- Vural, A., Kaya, A., 2021b. Eskiköy Maden Sahasının (Gümüşhane) Doğal (226Ra, 232Th ve 40K) ve Yapay (137Cs) Radyoaktivitelerinin Araştırılması, içinde: UMTEB 11.Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi. Ankara, Türkiye, ss. 240–250.
- Vural, A., Kaya, A., 2020. Study on the natural and artificial radioactivity risk of the Aktutan alteration site (Gümüşhane), içinde: 5.Uluslararası Sağlık Bilimleri ve Yönetimi Kongresi. Kırşehir, Türkiye.
- Vural, A., Kaya, S., Başaran, N., Songören, O.T., 2009. Anadolu Madenciliğinde İlk Adımlar. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA Kültür Serisi-3, Ankara, Türkiye.
- Vural, A., Kaygusuz, A., 2021. Geochronology, petrogenesis and tectonic importance of Eocene I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences* 14, 467. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06884-z>
- Vural, A., Kaygusuz, A., 2019a. Petrology of the Paleozoic Plutons in Eastern Pontides: Artabel Pluton (Gümüşhane, NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 8, 1216–1228.
- Vural, A., Kaygusuz, A., 2019b. Paleozoyik Yaşlı Artabel Plütununun (Gümüşhane) Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, içinde: 3. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi. İKSAD, Şanlıurfa, Türkiye.
- Vural, A., Kaygusuz, A., 2016. Avliyana (Torul-Gümüşhane) Antimonit Cevherleşmesinin Jeolojisi-Mineralojisi ve Kökeninin Araştırılması.
- Vural, A., Kaygusuz, A., Dönmez, H., 2018b. Geological, Geochemical and Geochronological Investigation of Avliyana Antimonite Mineralization, içinde: 8th Geochemistry Symposium. 02-04 May 2018 Antalya, ss. 123–124.
- Vural, A., Mokhtari, Z., Ahmadi, A.A., 2017b. Yesildere (Gümüşhane/NE Turkey) Actual Broccantite-Hydrobasalunite and Halotrichite Occurrences, içinde: Firuze: Sanat ve Kültür Ulusal Bilimsel Kongre.
- Vural, A., Şahin, E., 2012. Gümüşhane Şehir Merkezinden Geçen Karayolunda Ağır Metal Kirliliğine Ait İlk Bulgular. *Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2, 21–35.
- Vural, A., Şahin, E., Güner, S., 2013. Terkedilmiş Maden Sahalarının Jeoturizm-Jeosit Potansiyeli, Gümüşhane, Türkiye, içinde: 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, ss. 348–349.
- Vural, A., Sipahi, F., 2013. Demirören (Gümüşhane) Altın Zenginleşme Sahasında Toprak ve Bitki Jeokimyası Çalışması. Sonuç Raporu. Gümüşhane Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü (Proje No: 13.F511.02.2). Gümüşhane, Türkiye.
- Vural, A., Unlu, T., 2020. The geology and mineralogical / petrographic features of Umurbabadağ and its surroundings (Eşme , Uşak - Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 9, 1561–1587.
- Yılmaz, C., Korkmaz, S., 1999. Basin development in the eastern Pontides, Jurassic to Cretaceous, NE Turkey. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie* 1, 1485–1494.
- Yılmaz, Y., 1972. Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, NE Anatolia.