

**ARZULAR-YİTİRMEZ-DÖLEK (GÜMÜŞHANE)MADEN/ALTERASYON
SAHALARINDAKİ DOĞAL (²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K) VE YAPAY (¹³⁷Cs)
RADYOAKTİVİTELERİNE AİT İLK DEĞERLENDİRMELER**

**INITIAL EVALUATIONS OF NATURAL (²²⁶Ra, ²³²Th AND ⁴⁰K) AND ARTIFICIAL (¹³⁷Cs)
RADIO ISOTOPE ACTIVITIES IN ARZULAR-YITIRMEZ-DÖLEK (GÜMÜŞHANE)
MINERALIZATION/ALTERATION FIELDS**

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: alaaddinvural@hotmail.com

*Geliş Tarihi / Received: 17.10.2021
Kabul Tarihi / Accepted: 20.11.2021*

*Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.787*

ÖZET

Bu çalışma kapsamında Arzular-Yitirmez-Dölek (Gümüşhane) maden/alterasyon sahasının doğal (²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K) ve yapay (¹³⁷Cs) radyo izotop aktivitelerinin ilk değerlendirilmeleri yapılmıştır. Sahadan toplanan 22 toprak örneğinde Poptop Ortec gama ışınları dedektör ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sahaya ait doğal ²³²Th, ²²⁶Ra ve ⁴⁰K aktiviteleri ağırlıklı dünya ortalamalarıyla kıyaslandığında ⁴⁰K ve ²²⁶Ra aktivitelerinin örnek alım noktalarının çoğunda dünya ortalamalarını aştığı, ²³²Th aktivitelerinin ise birkaç örnek alım noktası dışında ağırlıklı dünya ortalamasının altında kaldığı tespit edilmiştir. Sahadaki yapay ¹³⁷Cs aktivitelerinin de birkaç örnek alım noktası dışında dedeksiyon limiti üstünde olduğu ve 2 Bq/kg değerini aştığı görülmüştür. Sahadaki yüksek ¹³⁷Cs aktivitelerinin özellikle Çernobil nükleer santrallerindeki kaza gibi insan kaynaklı bir etki ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Saha için ayrıca radyolojik tehlike endeksleri, Ra eşleniği aktivite değeri, absorbe doz oranı ve yıllık efektif doz oranı gibi parametreler hesap edilmiştir. Bu parametrelerden elde edilen sonuçlar dikkate alındığında Arzular-Yitirmez maden/alterasyon sahasının doğal ve yapay radyoizotop aktiviteleri açısından daha detaylı çalışılmasının yararlı olacağı sonucuna varılmıştır.

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

ABSTRACT

Within the scope of this study, the first evaluations of natural (²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K) and artificial (¹³⁷Cs) radio isotope activities of the Arzular-Yitirmez-Dölek (Gümüşhane) mine/alteration site were carried out. Measurements were carried out with Poptop Ortec gamma rays detector on 22 soil samples collected from the field. When the natural ²³²Th, ²²⁶Ra and ⁴⁰K activities of the area are compared with the weighted world averages, it has been determined that the ⁴⁰K and ²²⁶Ra activities exceed the world averages in most of the sampling points, and the ²³²Th activities are below the weighted world average except for a few sampling points. It was observed that the artificial ¹³⁷Cs activities in the field were above the detection limit and exceeded 2 Bq/kg except for a few sampling points. It has been evaluated that the high ¹³⁷Cs activities in the field may be associated with a human-induced effect, especially the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Parameters such as radiological hazard indices, Ra equivalent activity value, absorbed dose rate and annual effective dose rate were also calculated for the field. Considering the results obtained from these parameters, it was

concluded that it would be beneficial to study the Arzular-Yitirmez-Dölek mineralization/alteration field in more detail in terms of natural and artificial radioisotope activities.

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

GİRİŞ

Çevre konuları ve sorunları geçmiş yüzyılın başlarından sonra artan şekilde dikkat çekmeye başlamış, günümüzde de ülkelerin, dış politikanın hatta ekonominin bile önemli başlıklarından biri haline gelmiştir. Çevresel konuların önceliğinde her ne kadar insan kaynaklı çevresel sorunlar olsa da içinde çevrenin doğal özelliklerinden kaynaklanan çevresel konular da kendine çok önemli bir yer tutmaya başlamıştır (Çiftçi vd., 2021; Sungur vd., 2018, 2020; Vural, 2013, 2014, 2015a; Vural vd., 2017; Vural, 2018a; Vural ve Çiftçi, 2021; Vural ve Şahin, 2012). Dünyadaki top yekûn değişimin önemli bir motor gücü olan sanayi devrimi ve sonrasında ortaya çıkan sanayileşme, çevresel konu/sorunları da beraberinde getirmiş 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra, özellikle de 1980'lerin sonrasında büyük bir ivme kazanarak sosyal hayatta kendine önemli bir gündem olarak yer açmıştır. Bu bağlamda 1980 ve sonrası yıllar tıbbi jeoloji açısından da gündemde yer bulmuştur (Vural 2015b, c, 2018b, c; Vural ve Çiçek 2019; Vural vd., 2020b). Yaşadıkları jeolojik ortamın İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceğinin fark edilmesi maalesef çok da erken olmamıştır (Vural, 2019a, 2019b).

İnsanların bulunduğu/yaşadığı jeolojik ortam kaynaklı olan ve insanoğlunun dünyadaki varoluşuyla birlikte sürekli ve kaçınılmaz şekilde maruz kaldığı doğal radyasyon da bu tür çevresel sorunların başında gelmektedir (Vural 2019a; Kaya ve Vural 2020; Vural ve Kaya 2020; Kaya vd., 2021). Tüm canlıların (İnsanoğlu ve besin zincirinin bir parçası bitki ve hayvanlar) maruz kaldığı radyasyon bulunduğu ortamın jeolojik/jeokimyasal özellikleri yanında bulunulan ortamın konumu ile de ilişkili olarak değişiklik göstermektedir. Doğal radyasyonun en önemli kaynağı dünyanın yapısında bulunan uranyum (U), toryum (Th) ve potasyum (K) gibi radyoaktif çekirdeklerdir. Doğal radyasyonun yanında, gelişen teknolojik imkanların olumsuz bir getirisi olarak günümüzde ayrıca insan kaynaklı radyasyon da söz konusu olup, yapay radyasyon her geçen gün artan bir tehlike olarak gündemimize dahil olmaktadır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar, dünya nüfusunun maruz kaldığı toplam radyasyonun neredeyse %80'inin doğal kaynaklı olduğu göstermektedir (UNSCEAR, 2008, 2000) Doğal ve yapay radyasyon konusundaki farkındalığın artışı ile doğru orantılı bir şekilde son yıllarda yaşadığı çevredeki radyasyonun başta insanlara olmak üzere tüm canlılara etkisi doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerinin ölçümüne yönelik toprak, kum, yiyecek, yapı malzemeleri yanı sıra insanın etkileşimin olduğu her ortam/materyale yönelik artan miktarda çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Higgy ve Pimpl 1998; Miah vd., 1998; Kaya vd., 2015a, b, 2020; Vural 2018a, 2019a; Kaya ve Vural 2020; Vural ve Kaya 2020, Vural and Kaya, 2021a, 2021b).

Yaşanılan ortam denilince akla ilk gelen topraktır ve toprağın kaynağı ise jeolojik ortamdır. Topraktaki doğal radyoaktivitenin en önemli kaynakları ise yarılanma ömürlerinin de uzunluğunun etkisi nedeniyle ^{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 bunların bozunum ürünleridir (UNSCEAR, 2000). Hem dış hem de iç radyasyon dozlarının ana kaynağı baskın olarak bu radyoizotoplardır. İç radyasyon denildiğinde, toprak ve kayalardan atmosfere geçen ^{222}Rn (radon) elementi ve bozunum ürünlerinin solunması yanında tarımsal alanlardan besinlere geçmesi ve bu besinlerin insanlar tarafından tüketilmesi akla gelmektedir. Özellikle ^{238}U ve ^{232}Th çekirdekleri çok karmaşık radyoaktif bozunma serileri oluşturur, bu sırada ise ^{222}Rn (radon) ve ^{220}Rn (thoron) asil gazları da üretilir. İnsanların maruz kaldığı yıllık efektif dış mekan radyasyonunun (AEDR_{out}) yarısından fazlasını bunlar oluşturduğu için bu bozunma serisi önem arz etmektedir (UNSCEAR, 2000). Radon (Rn) kayaçlardaki radyum (Ra)'un bozunması ile, özellikle de granitik kayaçlarda bol olarak bulunan uranyumun bozunum ürünü Ra'dan bozunma ürünü olarak yayılmaktadır (Krane, 2008). Radon insan sağlığı için en tehlike kaynaklardan biridir. Dış radyasyon ise daha çok uranyum ve toryum serilerindeki gama bozunumu yapan radyoizotoplardan ve ^{40}K radyoizotopundan kaynaklanır. Potasyum-40 (^{40}K) radyoaktif ağır metallerin bozunma ürünü olmayıp doğal olarak oluşmuş radyoizotoptur, ancak yarılanma ömrünün

uzunluğu ve doğada bol bulunduğu için Ra kadar tehlikeli olabilmektedir. Doğal radyoaktivite yanında insan kaynaklı radyoaktiviteler de insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Özellikler nükleer santral kazaları, nükleer silah testleri sonucunda ^{137}Cs , ^{131}I , ^{95}Zr ve ^{90}Sr gibi radyoizotoplar ortama salınmaktadır. Bunlar içinde en önemlisi ^{137}Cs 'dir. En bilinen yapay radyoaktif yayılım Çernobil (Chernobyl) ve Fukuşima (Fukushima) nükleer santral kazalarıdır (UNSCEAR, 2008, 2000). Bu radyo çekirdeklerin seviyeleri nükleer santralleri ve nükleer silah testlerinin çevreye etkisini takip edebilmek için önemlidir. ^{137}Cs nükleer fizyon ürünüdür ve nispeten uzun yarı ömürlüdür (30.2 yıl) ve güçlü gama ışınları (662 keV) yayar. Bu yüzden de içsel ve dışsal maruziyetin değerlendirilmesinde iyi bir araç olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar insan sağlığına olumsuz etkilerde bulunan doğal radyasyonun çoğunluğunun toprak ve toprak ürünlerinden geldiğini göstermiştir (Kaniu vd., 2018). Bu yüzden doğal ve yapay radyo çekirdeklerin topraktaki içeriğinin araştırılıp rapor edilmesi insanlarda maruz kalınan radyasyonun etkilerini değerlendirmek için önemlidir. Çalışmalar göstermiştir ki radyo çekirdeklerinin davranışı, dağılımı ve konsantrasyonunda toprakların fizikokimyasal karakterleri önemlidir.

İnsanoğlu yeryüzündeki varoluşu ile birlikte doğadan ve doğadaki materyallerden yararlanmaya başlamış, böylelikle de dünya üzerinde ilk madencilik faaliyetleri başlamıştır (Vural vd., 2009). Tüm zamanlar boyunca madencilik faaliyetleri, ilk başlarda farkında olunmasa da başlı başına çevresel sorunların önemli bir kaynağı olmuştur. Madencilik faaliyetleri konusunda zaman içinde birçok çalışma gerçekleştirilmiş olsa da (Vural, 2018d, 2015a) maden sahalarındaki doğal radyasyonunun araştırılmasına yönelik artan çalışmalar özellikle son yıllarda olmuştur (Kaya vd., 2021b; Vural ve Kaya, 2021a, 2021b).

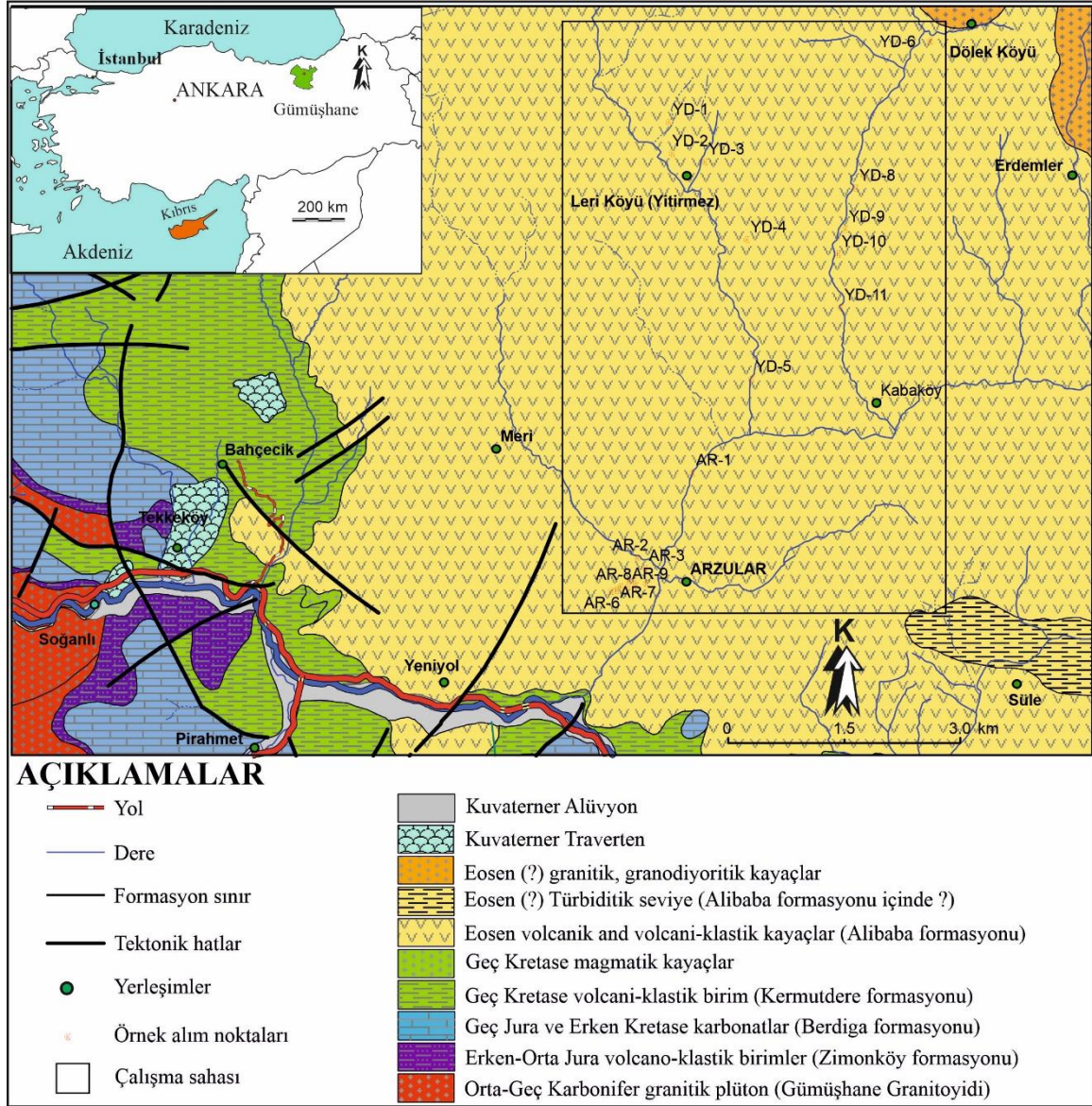
Gümüşhane Türkiye'nin önemli metalojenik kuşakları içinde yer almakta olup, bölgede işletilmekte olan birçok maden yatağı yanında halihazırda ekonomik olmayan cevherleşme alanları da bulunmaktadır (Vural vd., 2011, 2018b; Vural ve Erdoğan 2013, 2014; Vural ve Erşen 2013; Vural ve Kaygusuz 2016; Vural ve Erşen 2019, Vural, 2020a). Ayrıca bölgenin keşfedilmeyi bekleyen pek çok maden yatağına da ev sahipliği yaptığı düşünülmekte, bu amaçla birçok şirket tarafından yoğun arama faaliyetleri yürütülmektedir. Bu çalışmada, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından bulunmuş Arzular altın maden sahası ve cevherleşmelerin önemli bir işareti olan yoğun hidrotermal alterasyon gelişiminin rastlandığı Yitirmez (Leri Köyü) arasındaki sahanın doğal ve yapay radyasyon özellikleri değişik radyasyon endeks ve parametrelerinin de yardımıyla incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Sahanın Jeolojisi

Araştırmaya konu Arzular-Yitirmez sahası Doğu Pontidler içinde yer alır. Saha ve yakın çevresindeki en yaşlı birim değişik yazarlar tarafından Gümüşhane Granitoyodi olarak adlandırılmış olan Orta-Geç Karbonifer yaşlı granitoyiddir (Vural, 2019a; Vural ve Erdoğan, 2014; Vural ve Kaygusuz, 2019 ve içindeki atıflar; ve Yılmaz, 1972). Granitoyid üzerine, uyumsuzluk düzlemi olarak yer yer taban konglomerası ara seviyesi ile birlikte Erken-Orta Jura volkani-klastik birim gelir (Zimonköy formasyonu) (Eren, 1983; Saydam Eker vd., 2012). Zimonköy formasyonu ise bazı kesimlerde uyumsuzluk düzlemine rastlanmakla birlikte bölge genelinde dereceli olarak Geç Jura-Erken Kretase yaşlı, Berdiga formasyonu olarak adlandırılan platform kireçtaşlarına geçer (Pelın, 1977). Berdiga formasyonu ise Geç Kretase klastik, bazı bölgelerde ise volkani-klastik birimler tarafından örtülür/kesilir (Kermutdere formasyonu) (Tokel, 1972). Kermutdere formasyonu içinde yer yer üst Kretase yaşlı volkanik seviyelere de rastlanmaktadır (Vural ve Kaygusuz, 2019, 2016). Bölgenin değişik kesimlerde ise Üst Kretase yaşlı bu birimler yine Üst Kretase yaşlı granitik kayalar tarafından kesilmektedir (Kaygusuz vd., 2010; Vural ve Külekçi, 2021, ve içindeki atıflar). Üst Kretase yaşlı birimler üzerine ise bölgenin farklı kesimlerinde, uyumsuzlukla Eosen yaşlı volkanik

ve tortul kayalardan oluşan birimler (Alibaba formasyonu) gelir (Tokel, 1972; Vural, 2019b; Vural and Erşen, 2019; Vural and Erşen, 2013, Vural vd., 2021b ve içindeki atıflar). Formasyon içinde yer yer türbiditik seviyelere de rastlanmaktadır (Saydam Eker, 2012). Bu seviye çalışma sahası güneydoğusunda gözlenmektedir (Güven, 1993). Bu volkani-klastik birimler (Alibaba formasyonu) Gümüşhane'nin değişik bölgelerinde ve çalışma sahasının kuzey ve kuzeydoğusunda eş yaşlı kalk-alkalin granitik kayalar tarafından kesilmektedir (Karslı vd., 2013; Vural 2014, 2017, 2018b, 2020; Kaygusuz vd., 2020; Vural ve Kaygusuz 2021, Vural ve Kaygusuz, 2021b). Sahadaki en genç birimler Kuvaterner yaşlı alüvyon ve travertenlerdir (Şekil 1) (Vural 2019c; Vural vd., 2021, Vural ve Külekçi, 2021).



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

Arzular-Yitirmez ve kısmen de Dölek köylerini içine çalışma sahası, yer yer cevherleşmelerin gözlemlendiği ve yoğun hidrotermal alterasyona maruz kalmıştır. Saha Gümüşhane şehir merkezinin doğu-kuzeydoğusunda, yaklaşık 20-25 km²'lik mesafede bulunmaktadır ve yaklaşık 50-55 km²'lik bir alanı içine almaktadır (Şekil 1).

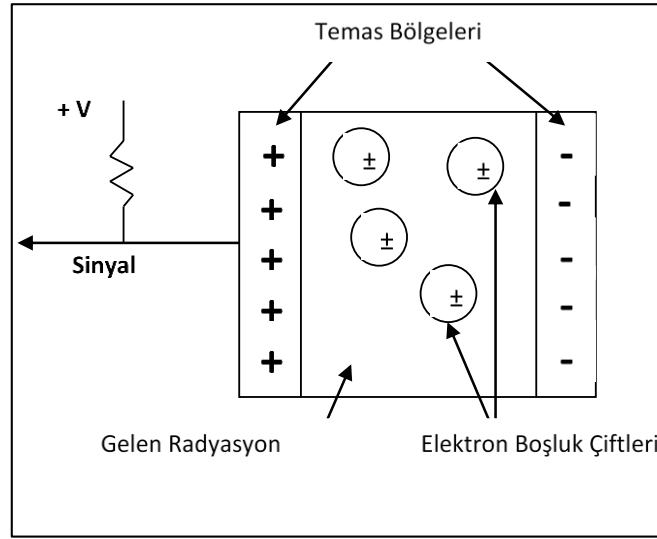
Örneklerin toplanması, hazırlanması

Arzular-Kabaköy, Yitirmez ve kısmen de Dölek Köyü'nü içine alan cevherleşme/alterasyon sahasının doğal ve yapay radyoaktivitesinin tespitine yönelik 2015 yılı Eylül'ünde 22 adet toprak

örneği alınmıştır. Radyoaktif ölçümlere uygun prosedürler çerçevesinde örnek alımlarında tarım alanlarından kaçınılmıştır. Örnek alım noktalarındaki organik materyaller uzaklaştırılarak yüzeyden 0-15 cm derinlikten ve toprağın B zonundan örnekler alınmıştır. Örnek alım noktalarının koordinatları tespit edilmiş ve örneklerin dışsal kirliliğe maruz kalmamasına özen gösterilmiş, örnek numaralandırılması ve uygun şekilde paketlenmesi akabinde örnekler Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya laboratuvarına taşınmıştır. Laboratuvarda oda sıcaklığında yaklaşık 10 gün bekletilerek örneklerin doğal nemleri uzaklaştırılmıştır. Örnekler doğal nemleri uzaklaştırıldıktan sonra 2 mm'lik teflon eleklerden elenerek, daha önceden darası alınmış marinelli sayım kaplarına konmuşlardır. Marinelli kapları örnekler konulduktan sonra dışardan hava girmeyecek şekilde sıkıca kapatılmıştır. Akabinde her bir örneğin kütlesi ölçülerek kaydedilmiştir. Bozunma ürünlerinin yavru çekirdek ^{222}Rn ile dengeye gelmesi izotopun yarı ömrünün (3.82 gün) 5-7 katı bir sürede olmaktadır (Chiozzi vd., 2000). Bu yüzden ölçümleri yapılacak toprak örnekleri içinde bulunan bozunma ürünlerinden ^{238}U ve ^{232}Th (ayrıca ^{226}Ra ve ^{222}Rn) ile radyoaktif dengeye gelmeleri amacıyla marille kaplarında sıkıca kapalı olarak 1 ay süreyle uygun ortamda bekletilmiş ve akabinde gama ışını spektrometresiyle doğal ve yapay radyo izotop aktivite ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Radyoaktif ölçümlerin gerçekleştirilmesi

Ölçümler esnasında örneklerin gama spektrometresine uygun geometride yerleştirilmesi gerekir, bu yüzden analizlerde kullanılan marinelli kapları en uygun geometriye sahiptir. Verimin yükseltilmesi için detektörün marinelli kabının ortasındaki boşlukta yer alması sağlanmaktadır. Böylelikle dedektör örnek tarafından çevrenmekte ve daha çok gama ışını detektöre ulaşmaktadır ve verim bu sayede yükseltilmektedir. Bu çalışmada, birbirine çok yakın pikleri kolaylıkla ayırt edilebilme kabiliyetine sahip, düşük düzeyli radyoaktivite ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan, enerji ayırma güçlerinin çok iyi olması nedeniyle yarı iletken detektörler ve sintilasyon detektörlerinden yararlanılmıştır. Katı hal detektörleri en çok germanyum ve silisyum elementlerinden üretilirler. Bu detektörlerde gelen radyasyon kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder ve etkileşmeler neticesinde kristal atomlarından kopartılan yüksek enerjili elektronlar diğer elektronlarla etkileşime girerek iyon çiftleri meydana getirirler. Bu etkileşim sonucunda yaklaşık 10^{-12} sn gibi çok kısa sürede kararlı hale dönerler. Biriken bu yük, dışarıdan uygulanan bir elektrik alanıyla kristal boyunca sürüklenir ve bir elektrik sinyaline dönüşür (Şekil 2). Kristal içinde meydana gelen ve temas yüzeylerinde toplanan yük miktarı radyasyon cinsinden bağımsız olarak yalnızca soğurulan enerjiyle orantılıdır. Bu sistemde bir elektron çiftinin meydana gelmesi için gereken enerji yarı iletkenlerde 3eV, gaz iyonizasyon odalarında 30eV ve sintilasyon dedektörlerinde 300eV'dir. Si (Li) dedektörleri ile enerjisi 1keV-60keV arasında olan fotonlar, Ge (Li) veya saf Ge (HPGe-ultra saf Ge) dedektörleriyle enerjisi 5keV-10Mev arasında fotonlar ölçülebilmektedir. Sistemde Si ve Ge kristalleri içine yerleştirilmiş lityum atomları yüksek sıcaklıklarda çok hareketli olduğu için ortamın sıcaklığını ayarlamak için her üç detektör de sıvı azottan yararlanılmaktadır. Bu çalışmada ölçümler Poptop Ortec dedektörü ile yapılmıştır.



Şekil 2. Yarı iletken dedektörlerin temel çalışma prensibi

Topraktan gelecek radyasyonun miktarının hesaplanması için toprak analizleri öncesinde dedeksiyon odasının temel radyasyonu (background radyasyonu) ölçülmüş, ayrıca aktivite konsantrasyonun belirlenmesi için minimum dedeksiyon limitleri belirlenmiştir. Yapılan doğal ve yapay radyoaktivite ölçümlerinin tanımlayıcı istatistikleri ve ilgili grafikler IBM SPSS v.25 ve Microsoft Office 360, Excel programları yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Radyasyon Endeksleri

Doğal ve yapay radyasyonun insan ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan çok sayıda endeks/parametre vardır. Radyolojik risk/tehlike bağlamında Ra, Th, K ve Cs radyo izotoplarının topraktaki aktivite konsantrasyonlarının insana zararının hesap edilmesinde en yaygın olarak; absorbe doz oranı (D), yıllık efektif doz oranı (AEDR), radyum eşleniği aktivitesi (Ra_{eq}), harici (dışsal) tehlike endeksi (H_{ex}) ve dahili tehlike endeksi gibi endeksler kullanılmaktadır.

Absorbe Doz Oranı

Absorbe doz oranı (D) topraktaki aktivite konsantrasyonlarıyla yakından ilişkilidir ve özellikle karasal radyo izotoplar bunda en geniş katkıya sahiptir. ^{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 (Krane, 2008) absorbe doz oranlarını hesaplamak yararlı olabilmektedir. Bu dikkate alınarak bir insanı çevreleyen ortamın spektrometrik analiz sonuçlarına göre, toprakta meydana gelen farklı radyo çekirdeklere maruz kalma durumu değerlendirilmektedir. Doğal olarak oluşan radyo çekirdeklerden meydana gelen radyasyona dışsal maruz kalma yeryüzünden 1 metre yukarıda havadaki absorbe edilen gama doz/absorbe doz oranı (D) (nanoGray/saat, nGy/h) kavramı ile tanımlanmaktadır. Kavramın tespitinde topraktaki U (Ra), Th ve K'un ortalama spesifik aktiviteleri kullanılır (Ra, Th ve K için dönüşüm katsayıları sırasıyla 0.462, 0.604, ve 0.0417 Bq/kg'da nGy/h 'dır. ^{137}Cs için ise 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. Bu sabitlerin kullanımında genel kabul Ra, Th, K ve Cs aktivite konsantrasyonları ve topraktaki toprak yoğunluklarının yüzeyden toprağın 15 cm derinliğe düzgün dağılımı ile U ve Th bozunma serileri için radyoaktif dengeye ulaşıldığıdır.

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

Yapay radyoaktivite de dahil edildiğinde (Ribeiro vd., 2018), absorbe doz oranı aşağıdaki denklem ile hesap edilmektedir.

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

Burada D absorbe doz oranına karşılık gelmektedir ve birimi nanoGray/saat (nGy/h)'dir. Doğal ortam radyoaktivite durumlarında yıllık efektif doz, absorbe doz (UNSCEAR, 2008) ile 0.69 Sv Gy^{-1} faktörü çarpılarak hesap edilir. Burada $A_{226\text{Ra}}$, $A_{232\text{Th}}$, $A_{40\text{K}}$ ve $A_{137\text{Cs}}$ sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'un aktivite konsantrasyonlarına karşılık gelmektedir. D için dünya ortalama değeri dünya ortalama Ra, Th ve K değerlerinin medyanlarından yola çıkılarak 51 nGy/h olarak kabul edilmiştir (Ali vd., 2013b).

Yıllık Efektif Doz Oranı (AEDR)

Yıllık Efektif doz oranı en sıklıkla kullanılan parametrelerdendir ve insanlarda iyonlaşan radyasyona maruz kalma ile ilişkili potansiyel biyolojik etkileri ve radyasyondan korumasında kullanılmaktadır. Doğal karasal çekirdeklerden kaynaklı yıllık efektif doz oranı ($AEDR_{\text{nat}}$) hava tahminlerindeki absorbe edilmiş dozun kullanılması ile belirlenmektedir ve aşağıdaki denklem ile hesap edilmektedir (Ali vd., 2013a):

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

Burada I_{in} (0.8) iç mekân dozu için kalınma faktörünü temsil eder, SF koruma faktörüne karşılık gelir (0.2), 0.69 ise doz dönüştürme faktörüdür (SvGy^{-1}) ki havadaki absorbe edilmiş dozu yetişkinler için insan efektif dozuna dönüştürür.

Radyasyon Tehlike Endeksleri

Doğal ve yapay kaynaklı radyasyon ölçümleri çevresel etkilerin tespiti açısından önemlidir. Bu değerler değişik endekslerle ele alınmaktadır. Her radyo çekirdek için referans değer, 1 (bir) kabul edilebilir efektif doz eşleniğidir. Tehlike endeksi, payın belirli bir kirletici için belirlenmiş bir değer olduğu ve paydanın bu kirletici için bir referans değeri olduğu bir oranı temsil eder. Tehlike endeksinin değeri >1 (birden büyükse) ise, bir tür iyileştirmeye ihtiyaç var demektir. Harici tehlike endeksi formülü, harici gama ışınları kaynağıyla ilişkili riski temsil eder. Harici (dışsal) tehlike endeksi (H_{ex}) Krieger (1981) tarafından önerilmiştir ve halk için 1 mSv/yıl şeklinde izin verilebilir doz olarak kabul edilmektedir. Toprakta, H_{ex} aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır:

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

Burada $A_{226\text{Ra}}$, $A_{232\text{Th}}$, $A_{40\text{K}}$ parametreleri Ra, Th ve K'un Bq/kg aktivite konsantrasyonlarına karşılık gelir. Şayet $H_{ex}>1$ ise, insanların maruz kaldığı dışsal dozun kabul edilebilir seviyeyi aştığına hükmedilir (Ali vd., 2013a). Maksimum H_{ex} değeri (bir) Ra_{eq} 'un üst limitine karşılık gelmektedir (370 Bq/kg).

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

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

3 numaralı formüldeki parametreler 2 numaralı denklemdeki parametrelerle aynıdır. Solunum organlarına yönelik radyasyon tehlikelerinden kaçınmak için dahili radyasyon tehlike endeksi (H_{in})'nin de bir de az olması (<1) gerekir (Ali vd., 2013a).

Potansiyel radyasyon üzerinde tüm radyo çekirdeklerin etkisi radium eşlenik aktivitesi (Ra_{eq}) olarak hesap edilir (Singh vd., 2005). Toprağın Ra_{eq} 'si ^{226}Ra 'un 370 Bq/kg, ^{232}Th 'un 259 Bq/kg ve ^{40}K 'un 4810 Bq/kg olduğu tahmine dayalı olarak hesap edilmektedir. Buna göre $Ra_{\text{eq(ex)}}$ aşağıdaki formül ile hesap edilir:

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

Burada A_{226Ra} , A_{232Th} , A_{40K} sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'un aktivite konsantrasyonlarıdır. Ra_{eq} değerinin 370 Bq/kg'ı aştığı materyalin tehlike potansiyeline sahip olduğu kabul edilmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğal ve yapay radyo izotop aktivite konsantrasyonları

Çalışma kapsamında maden/alterasyon sahalarından toplanan örneklerin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K elementlerinin doğal radyoaktivite ve ^{137}Cs 'un yapay radyoaktivite değerleri Tablo 1'de; saha bazında ve bölge geneli için tanımlayıcı istatistik parametreleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Çalışma sahasındaki toprakların doğal radyoaktivite ^{232}Th değerlerinin saha geneli için 11 ± 0.75 ile 46 ± 1.55 Bq/kg arasında değiştiği, en küçük ^{232}Th değerlerinin Arzular sahasında 11 ± 0.75 , Yitirmez sahasında ise 11 ± 0.76 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1 ve 2, Şekil 3).

Tablo 1. Arzular ve Yitirmez maden/alterasyon sahalarına ait 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, fısıtık yeşile boyanmış kutulardaki değerleri ise ilgili radyo izotop için dünya ağırlıklı ortalamasının aşıldığını göstermektedir)

Maden/Alterasyon Sahası	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	^{137}Cs
Yitirmez	25±1,27	10,2±0,31	467±1,74	
Yitirmez	33±1,45	11,5±0,38	257±1,37	
Yitirmez	23±1,23	259±1,97	195,94±1,18	4,3±0,01
Yitirmez	33±1,38	92±1,47	105,93±0,86	
Yitirmez	24±1,26	30±0,56	194,74±0,93	4,15±0,01
Yitirmez	17±0,87	16,8±0,38	197±0,98	5,2±0,02
Yitirmez	11±0,76	28,6±0,45	287±1,59	4,3±0,02
Yitirmez	46±1,55	49,8±0,84	269,08±1,66	5,23±0,01
Yitirmez	31±1,42	12±0,09	427,36±1,94	
Yitirmez	34±1,45	4±0,04	470,46±1,98	
Yitirmez	36±1,44	15,7±0,43	650±2,065	5,3±0,02
Arzular	42±1,45	3±0,021	353,93±1,69	
Arzular	27±1,26	76±0,87	230,05±1,37	
Arzular	15±0,69	26±0,37	316±1,73	2,6±0,01
Arzular	11±0,75	37,9±0,46	226,3±1,48	4,21±0,01
Arzular	14±0,82	45,8±0,86	372±1,83	4,3±0,02
Arzular	16±0,87	44,5±0,73	257±1,08	1,3±0,01
Arzular	18±0,96	36,7±0,38	465±1,84	3,5±0,01
Arzular	22±1,25	11,2±0,24	197±1,28	2,3±0,01
Arzular	13±0,76	9,5±0,07	359,3±1,83	1,72±0,01
Arzular	14,6±0,81	10,5±0,084	257±1,28	1,3±0,01
Arzular	46±1,55	16,5±0,24	618,2±1,92	1,82±0,01

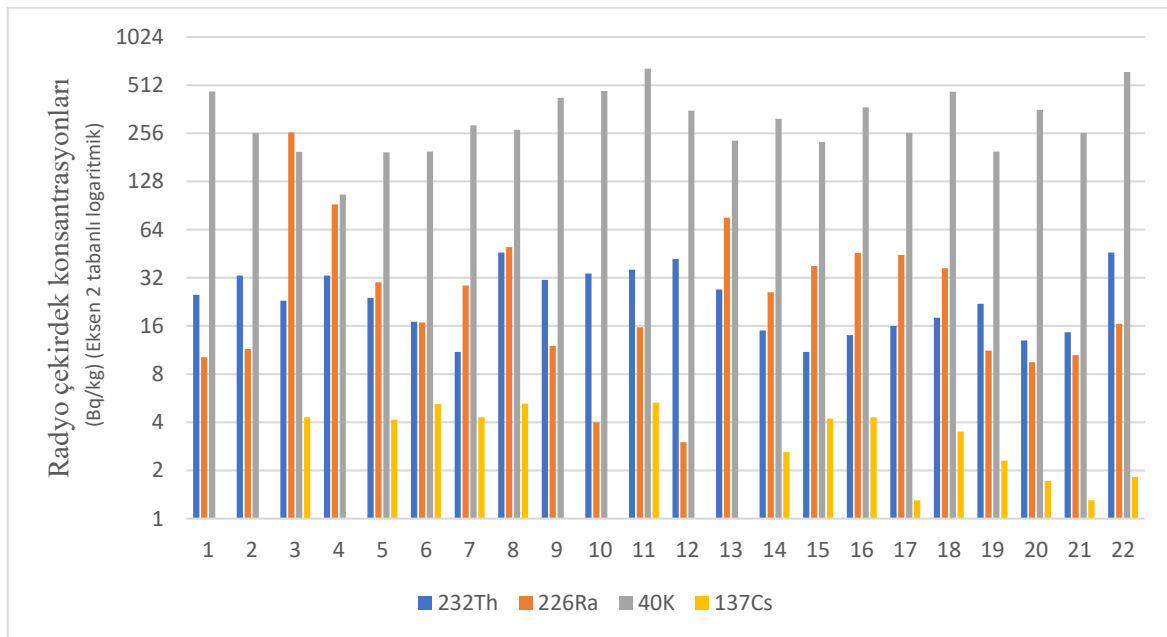
Saha geneli için ^{226}Ra değerlerinin 3 ± 0.021 ile 259 ± 1.97 Bq/kg aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Saha geneli için, en düşük değer Arzular sahasında (3 ± 0.021), en yüksek değer ise Yitirmez sahasında olduğu (259 ± 1.97) tespit edilmiştir. Yitirmez sahası ^{226}Ra değerlerinin 4 ± 0.04 ile 259 ± 1.97 Bq/kg arasında değiştiği, Arzular sahasının ise 3 ± 0.021 ile 76 ± 0.87 Bq/kg arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 1 ve 2, Şekil 3).

Çalışma sahası geneli dikkate alındığında ^{40}K değerlerinin $105,93\pm 0,86$ ile $650\pm 2,065$ Bq/kg aralığında değiştiği, saha geneli için en düşük ve en yüksek ^{40}K değerleri Yitirmez sahasında (sırasıyla $105,93\pm 0,86$ Bq/kg; $650\pm 2,065$ Bq/kg) ölçülmüştür. Arzular sahası için en küçük ve en yüksek ^{40}K değerleri sırasıyla $197\pm 1,28$ ve $618,2\pm 1,92$ Bq/kg'dir (Tablo 1 ve 2, Şekil 3).

Çalışma sahası geneli için ^{137}Cs değerlerinin maksimum 5.23 ± 0.01 Bq/kg ile Yitirmez sahasında olduğu tespit edilmiştir. Dedeksiyon limitinin üstündeki en küçük değer ise 1.3 ± 0.01 Bq/kg ile Arzular sahasında tespit edilmiştir (Tablo 1 ve 2, Şekil 3). Yitirmez sahası tek başına ele alındığında 6 örnek alım noktasında dedeksiyon limiti üstünde ^{137}Cs değerleri tespit edilmiş olup, 4.15 ± 0.01 ile 5.23 ± 0.01 Bq/kg arasında birbirine yakın değerler ölçülmüştür (Tablo 1 ve 2, Şekil 3). Arzular sahasında ise 9 gözlem noktasında dedeksiyon limiti üzerinde ^{137}Cs değerleri tespit edilmiş olup, 1.3 ± 0.01 ile 4.3 ± 0.02 Bq/kg arasında değerler ölçülmüştür (Tablo 1 ve 2, Şekil 3).

Tablo 2. Arzular ve Yitirmez Sahaları için ayrı ayrı ve tüm sahayı temsil eden Th, Ra, K ve Cs elementleri için doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerine ait tanımlayıcı istatistikler

Yitirmez Sahası (11 adet toprak örneği)				
	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	^{137}Cs
Minimum	11.000	4.000	105.930	4.150
Maksimum	46.000	259.000	650.000	5.300
Ortalama	28.455	48.145	320.137	4.747
Standart Sapma	9.248	70.015	163.235	1.521
Geometrik Ortalama	26.695	23.986	283.870	4.720
Arzular Sahası (11 adet toprak örneği)				
	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	^{137}Cs
Minimum	11.000	3.000	197.000	1.300
Maksimum	46.000	76.000	618.200	4.300
Ortalama	21.691	28.873	331.980	2.561
Standart Sapma	11.369	20.781	118.215	1.112
Geometrik Ortalama	19.381	20.767	313.855	2.327
Arzular ve Yitirmez Birlikte (Toplam 22 adet toprak örneği)				
	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	^{137}Cs
Minimum	11.000	3.000	105.930	1.300
Maksimum	46.000	259.000	650.000	5.300
Ortalama	25.073	38.509	326.059	3.435
Standart Sapma	10.900	53.071	137.981	1.410
Geometrik Ortalama	22.746	22.318	298.486	3.088



Şekil 3. Arzular-Yitirmez-Dölek Sahaları Th, Ra, K ve Cs elementleri için doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerine ait çubuk grafik

UNSCEAR (2000) raporunda yer kabuğundaki ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite derişimlerinin ağırlıklı dünya ortalaması sırasıyla, 45, 32 ve 420 Bq/kg olarak verilmektedir. Saha ^{232}Th radyo çekirdeği açısından ele alındığın hem Yitirmez sahasında hem de Arzular sahasında birer örnek alım noktasında eşik değerlerin (dünya ağırlıklı ortalamasının, 45 Bq/kg) aşıldığı görülmüştür (46 ± 1.55 Bq/kg) (Şekil 3, Tablo 1 ve 2). Sahalar ^{226}Ra radyo izotopu açısından değerlendirildiği ise Yitirmez sahasında 3 örnek alım noktasında, Arzular sahasında ise 5 örnek alım noktasında dünya ağırlıklı ortalamasının (32 Bq/kg) aşıldığı görülmüştür (Şekil 3, Tablo 1 ve 2).

Yitirmez ve Arzular maden/alterasyon sahalarına ait doğal radyo izotop değerleri birlikte değerlendirildiğinde ^{40}K ve ^{226}Ra radyo izotopları için yer yer eşik değerlerin yoğun hidrotermal alterasyon ve ilişkili cevherleşme alanlarda aşıldığı görülmektedir. ^{232}Th doğal radyoaktivite değerlerinin ise çalışma sahasında ^{232}Th için dünya ağırlıklı ortalamasına yaklaşmış olmakla birlikte sadece 2 gözlem noktasında dünya ağırlıklı ortalamasını (eşik değeri, 45 Bq/kg) aştığı ancak diğer noktalarda eşik değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir.

Sahalar ^{137}Cs radyoizotopları açısından incelendiğinde; yukarıda da belirtildiği üzere Yitirmez sahasında 6 örnek alım noktasında, Arzular sahasında ise 9 örnek alım noktasında dedeksiyon limitinin üstünde değerler elde edilmiştir (Tablo 1, Şekil 3). Bilindiği üzere ^{137}Cs insan kaynaklı faaliyetler sonucunda oluşan ve yarılanma ömrü kısa olan yapay radyoizotoptur. ^{137}Cs 'un yarılanma ömrünün kısalığı da dikkate alındığında çalışma sahasında ölçülen değerlerin dikkat çekici olduğu görülmektedir. Çalışma sahalarında rastlanan yüksek ^{137}Cs değerlerinin 1986 yılındaki Çernobil (Ukrayna) nükleer santral kazasının etkileri olabileceği düşünülmüştür. Çernobil nükleer santralinin konumuna bağlı yağış ve rüzgâr rotaları dikkate alındığında çalışma sahasını da bu kazadan etkileme potansiyeline sahip olup, sahadaki yüksek ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları için ilk akla gelen etken olarak görülmektedir. 26 Nisan 1986 yılında meydana gelen kaza, uluslararası ölçekte meydana gelmiş en büyük nükleer kazalardan biri olup (diğeri 11 Mart 2011 yılında Japonya'nın Fukuşima şehrinde meydana gelmiştir), kaza sonrasında geniş bir coğrafya nükleer serpinti bulutu yayılmıştır. Avrupa'nın birçok bölgesi yanında Türkiye de bu serpinti bulutundan etkilenmiştir. Çernobil'in nükleer atıklarının etkisi olarak örneğin Litvanya'da Curonian Spit orman topraklarında 33.6 Bq/kg ^{137}Cs değerleri ölçülmüştür. Litvanya kuzey doğusunda Ignalina nükleer santral bölgesinde ise $4.8-8.4$ Bq/kg aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür (Jasaitis vd., 2020). Nükleer kazalar dışında da özellikle nükleer silah denemeleri bağlı olarak birçok deneme sahasında dikkat çekici ^{137}Cs değerleri ölçülmüştür. Örneğin Washington eyaletindeki nükleer silah denemelerinden kaynaklı ^{137}Cs konsantrasyonlarının deneme sahasına yakın bölgelerde 33.21 Bq/kg'a kadar ^{137}Cs konsantrasyonları ölçülmüştür (Jasaitis vd., 2020).

Tüm bu veriler ışığında Arzular-Yitirmez-Dölek alterasyon/maden sahalarında doğal ve yapay radyo izotoplar konsantrasyonlarının yer yer dikkat çekici seviyelere ulaştığı görülmektedir. Sahadaki doğal doğal ve yapay radyo izotop konsantrasyonları insan sağlığı/tıbbi jeoloji açısından değişik radyasyon tehlike endeksleri ile de değerlendirilmeye tabi tutulmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Arzular-Yitirmez-Dölek sahası topraklarına ait değişik radyasyon tehlike endekslerine ait tanımlayıcı istatistik bilgileri

	H_{ex}	H_{in}	Ra_{eq} (Bq/kg)	D (nGy/h)	AEDR _{nat} ($\mu\text{Sv/y}$)
Minimum	0.138	0.167	51.196	24.386	53.101
Maksimum	0.830	1.530	307.023	141.721	308.593
Ortalama	0.269	0.373	99.520	46.532	101.322
Standart sapma	0.143	0.280	52.737	24.119	52.518
Limit değerleri	1.00	1.00	370	51	111

Radyasyon tehlike endeksleri

Arzular-Yitirmez-Dölek alterasyon/maden sahaları için harici radyasyon endeksi H_{ex} değerlerinin 0.14 ile 0.83 arasında değişmekte olup, ortalama 0.27 olarak hesap edilmiştir. Saha H_{ex} açısından

değerlendirildiğinde hiçbir gözlem noktasında 1 (bir) değerinin aşılmadığı ($H_{ex} < 1$), H_{ex} açısından saha ile ilgili yapılması gereken bir işlemin olmadığı söylenebilir. Sahalara ait dahili radyasyon endeksi H_{in} değerleri ise 0.17 ile 1.53 arasında değişmekte olup, ortalama 0.37'dir. Saha H_{in} değerleri açısından sadece bir gözlem noktasında 1 (bir) değerini aşmaktadır (1.53). Dolayısıyla bu gözlem noktası dahili radyasyon tehlike endeksi (H_{in}) açısından riske sahiptir. Bahse konu örnek alım noktasının daha detaylı çalışılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Çalışma sahasına ait radyum eşleniği radyasyon (Ra_{eq}) değeri açısından ele alındığında sahadaki Ra_{eq} değerlerinin 51.20 ile 307.02 Bq/kg arasında değiştiği ve ortalama 99.52 Bq/kg değerine sahip olduğu görülmüştür. Ra_{eq} değerleri dikkate alınırken hesaplanan Ra_{eq} değerlerinin 370 Bq/kg'dan büyük olup olmadığına bakılır. Başka bir ifadeyle eşik değer 370 Bq/kg'dır. Elde edilen değerler 370 Bq/kg değerini aştığında incelenen gözlem noktasındaki toprakların potansiyel radyoaktif tehlikeye sahip olduğu düşünülür. Bu bağlamda çalışma sahasında hiçbir örnek alım noktasında eşik değerin aşılmadığı görülmüştür (Tablo 3).

Absorbe Doz Oranı ve Yıllık Efektif Doz Oranı

Çalışma sahasına ait absorbe doz oranı (D) 24.39 ile 141.72 nGy/h arasında olduğu ve ortalama 46.53 nGy/h olarak hesap edilmiştir. Tüm saha dikkate alındığında sahanın daha kuzeyinde olan Yitirmez sahasında 3 noktada (141.72, 66.85 ve 62.012, nGy/h), Arzular sahasında ise 2 noktada (56.10 ve 61.01 nGy/h) dünya ortalama absorbe doz oranının (51 nGy/h) (UNSCEAR, 2000) aşıldığı görülmüştür. Saha geneline ait ortalama D değeri dünya ortalama absorbe doz oranının altında bulunmuştur (46.53 nGy/h). Dolayısıyla çalışma sahası için örnek alım noktaları bazında detay çalışmanın yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Çalışma sahası geneli için yıllık efektif doz oranlarının 53.10 ile 308.59 arasında değiştiği ve ortalama 101.32 olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma edilen bulgulara ait ilk değerlendirmeler olduğu için yıllık efektif doz oranları ^{137}Cs değerleri dikkate alınmadan hesap edilmiştir. Saha ile ilgili daha detaylı değerlendirmeler ayrıca yapılacaktır. Dünya efektif doz oranları absorbe doz oranına dayanarak (51 gGy/h) dünya medyan yıllık efektif doz oranı 111 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak hesap edilmiştir (Ali vd., 2013b). Çalışma sahasındaki yıllık efektif doz oranları dikkate alındığında Yitirmez sahasında 4 örnek alım noktasında, Arzular sahasında ise 2 örnek alım noktasında bu değerin aşıldığı görülmektedir. Tüm saha ortalaması ise bu değerin altında kalmaktadır. Dolayısıyla örnek alım noktaları bazında detay çalışma ve değerlendirmelerin yapılmasının önemli olduğu bu verilerle de teyit edilmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Gümüşhane'nin Arzular, Yitirmez ve Dölek köylerini kapsayan sahada toplam 22 adet toprak örneğinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktivitelere gama ışınları spektrometresi ile ölçülmüştür. Çalışma sahası içindeki Arzular ve yakın civarı cevherleşme ve yoğun hidrotermal alterasyon gelişimi göstermektedir. Yitirmez ve Dölek köylerini içine alan bölgede de ise cevherleşmenin önemli bir göstergesi olan yoğun hidrotermal alterasyon gelişimine rastlanmıştır. ^{232}Th aktivite değerlerinin saha genelinde 2 örnek alım noktasında, ^{226}Ra aktivitelerinin 7 örnek alım noktasında, ^{40}K aktivitelerinin ise 5 örnek alım noktasına dünya ortalamalarını aştığı tespit edilmiştir. ^{137}Cs yapay radyo izotop aktivitelerinin ise 15 örnek alım noktasında dedeksiyon limiti üstünde tespiti yapılmış, bunlardan 11 örnek alım noktasındaki ^{137}Cs aktiviteleri >2 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Saha radyolojik tehlike endeksleri açısından değerlendirildiğinde (H_{ex} ve H_{in}), H_{ex} açısından sahada radyasyon tehlikesi tespit edilmemiştir. H_{in} açısından ise sadece bir örnek alım noktasında dikkat çekici değer elde edilmiştir. Bu örnek alım noktası için daha detay çalışmanın yapılması tavsiye edilmektedir. Saha absorbe doz oranı açısından değerlendirildiğin bazı örnek alım noktalarında dünya ortalamalarının aşıldığı tespit edilmiştir. Dünya medyan yıllık efektif doz oranları ile sahada örnek alım noktalarının değerleri karşılaştırıldığında bazı örnek alım noktalarının bu değerleri aştığı görülmüştür. Sonuç olarak Arzular-Yitirmez-Dölek maden/alterasyon sahasında

doğal ve yapay izotop aktiviteleri açısından dikkat çekici bulgular elde edilmiş olup, sahada daha detaylı çalışmaların yapılmasının 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>
- Beretka, J., Mathew, P.J., 1985. Natural Radioactivity of Australian Building Materials. Industrial Wastes and By-Products. Health Physics 48, 87–95.
- 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>
- Eren, M., 1983. Geology and microfacies properties of between Gümüşhane and Kale. Trabzon, Türkiye.
- 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., Vasiliauskienė, 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., Aydin, 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/10.1080/01431161.2013.819958>
- Kaya, A., Çelik, N., Kaya, S., Kaygusuz, A., 2015. Gümüşhane İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi ve Doğal Fon Haritasının Çıkarılması. Gümüşhane, Türkiye.
- Kaya, A., Vural, A., 2020. Investigation of Natural (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and Artificial (^{137}Cs) 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 ^{40}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., 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>
- 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.
- 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>
- Saydam Eker, C., 2012. Petrography and geochemistry of Eocene sandstones from eastern Pontides (NE TURKEY): Implications for source area weathering, provenance and tectonic setting. *Geochemistry International* 50, 683–701. <https://doi.org/10.1134/S001670291206002X>
- Saydam Eker, C., Sipahi, F., Kaygusuz, A., 2012. Trace and rare earth elements as indicators of provenance and depositional environments of Lias cherts in Gumushane, NE Turkey. *Chemie der Erde - Geochemistry* 72, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2011.11.004>
- 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.
- 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. Gümüştüğ 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.
- Vural, A., 2020a. Demirören/Gümüşhane-Türkiye Kuvars Porfiri Kayacı ve İlişkili Skarn-Metasomatizmanın Jeokimyasal Özellikleri. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences* 7, 97–121. <https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.394>
- Vural, A., 2020b. 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. Sarıkantaron (*Hypericum perforatum*) Bitkisinin Biyojeokimyasal Özelliklerinin Araştırılması (Investigation of Biogeochemical properties of Tutrix (*Hypericum perforatum*), içinde: Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi. ss. 774–782.
- Vural, A., 2019b. Sığirkuyruğu (*Verbascum speciosum*) Bitkisinin Element Biriktirme Kapasitesi (Element Accumulation Capacity of Mullein (*Verbascum Speciosum*), içinde: Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi. Urfa, Türkiye, ss. 774–782.
- Vural, A., 2019c. 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., 2019d. 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. 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., 2018e. 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., 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., 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. Alterasyon Sahalarının Potansiyel Ağır Metal Kirliliği Riski: Canca-Gümüşhane,

içinde: 2. Tıbbi Jeoloji Sempozyumu. Konya, Türkiye, ss. 105–108.

Vural, A., 2015c. 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., 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., 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., Ersen, 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., 2017. 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., 2020a. 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., 2021a. 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., 2021b. *Helichrysum arenarium* bitkisinin element birikme kabiliyetinin biyojeokimyasal amaçlı araştırılması, içinde: 4th International European Conference on Interdisciplinary Scientific Research. Warsaw, Poland, ss. 15–32.

Vural, A., Kaygusuz, A., 2019. 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., 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., Külekçi, G., 2021. Bahçecik (Gümüşhane) ve Yakın Civarı Zenginleştirilmiş Jeoturizm Güzergahı, içinde: UMTEB 11.Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi. Ankara, Türkiye.

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., Ural, M.N., Çiftçi, A., 2020b. N-Gram Analysis of Raw Material Supply-Demand Relationship: In Case of Chromium, içinde: International Black Sea Coastline Countries Symposium-5. Zonguldak, Türkiye, ss. 60–61.

Yılmaz, Y., 1972. Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, NE Anatolia.