

Farklı bitki türlerinin ağır metal içerikleri üzerine taş ocaklarının etkisinin değerlendirilmesi

Evaluation of the effect of quarries on heavy metal contents of different plant species

Şule GÜZEL İZMİRLİ* 

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 53100, Rize

• Geliş tarihi / Received: 25.12.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 12.04.2025

Öz

Çevre kirliliği insanlığın karşı karşıya olduğu en büyük tehdittir; hastalık ve ölümlerin en önde gelen nedeni olarak kabul edilmektedir. Taş ocağı ve madencilik faaliyetleri gibi antropojenik uygulamalar bitki topluluğunun yapısını ve işleyişini değiştirebilir. Bu çalışmada, aktif ve pasif taş ocağı istasyonlarının otsu ve odunsu bitki türlerinin ağır metal içerikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Taş ocağı madenciliğinin çevresel etkilerini ortaya çıkarmak için otsu (*Juncus effusus* subsp. *effusus*) ve odunsu (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) bitki örneklerinde krom (Cr), demir (Fe), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As), kurşun (Pb) ve mangan (Mn) içerikleri indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ile analiz edildi. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın Cr, Fe, Cu, As, Pb ve Mn içeriklerinde $P < 0.01$, Ni içeriklerinde ise $P < 0.05$ seviyesinde anlamlı farklılıklar tespit edildi ve Mn elementi hariç en yüksek ağır metal içerikleri *Alnus glutinosa* subsp. *barbata* 'da bulundu. En düşük ve en yüksek ağır metal konsantrasyonları sırasıyla yıkanmış ve yıkanmamış örneklerde belirlendi. Aktif taş ocağı istasyonundan alınan bitki örneklerinde yüksek seviyede ağır metal konsantrasyonları bulunurken, en düşük konsantrasyonların ise temiz alanlardan alınan örneklerde olduğu tespit edildi. Cu, Mn, Fe ve Zn konsantrasyonlarının literatürde belirtilen maksimum izin verilebilir limitin üzerinde olduğu, bitkilerin aktif olarak işleyişte olan taş ocaklarından etkilendiği ve zamanla bitki yüzeylerinde ağır metal birikiminin olduğu sonucuna varıldı.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*, *Juncus effusus* subsp. *effusus*, Rize, Taş ocağı

Abstract

Environmental pollution is the greatest threat facing humanity and is recognised as the leading cause of disease and death. Anthropogenic practices such as quarrying and mining activities can alter the structure and functioning of the plant community. In this study, the effects of active and passive quarry stations on heavy metal contents of herbaceous and woody plant species were investigated. Chromium (Cr), iron (Fe), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As), lead (Pb), and manganese (Mn) contents in herbaceous (*Juncus effusus* subsp. *effusus*) and woody (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) plant samples were analysed by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) to reveal the environmental impacts of quarry mining. Significant differences were detected at the $P < 0.01$ level in Cr, Fe, Cu, As, Pb and Mn contents and at the $P < 0.05$ level in Ni contents of *Juncus effusus* subsp. *effusus* and *Alnus glutinosa* subsp. *barbata* and the highest heavy metal contents, except for Mn were found in *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*. The lowest and highest heavy metal concentrations were determined in washed and unwashed samples, respectively. While high concentrations of heavy metals were found in plant samples taken from the active quarry station, the lowest concentrations were found in samples taken from clean areas. It was concluded that Cu, Mn, Fe and Zn concentrations were above the maximum permissible limits stated in the literature, plants were affected by actively operating quarries and heavy metal accumulation occurred on plant surfaces over time.

Keywords: Heavy metal, *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*, *Juncus effusus* subsp. *effusus*, Rize, Quarry

*Şule GÜZEL İZMİRLİ; sule.guzel@erdogan.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Taş ocağı işletmeciliği, gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere dünya çapında ilgi duyulan bir konudur (Lameed & Ayodele, 2010). Taş ocağı işletmeciliği, kaya, ebatlı taş, inşaat agregası, çakıl gibi kaynakların yer yüzeyinden elde edilmesi sürecidir (Vincent vd., 2012). Bu kaynaklar, granit, mermer, kumtaşı ve arduvaz gibi ev döşemelerinde kullanılan malzemeleri sağlar. Kireçtaşı ayrıca seramik karolar yapmak için çimento ve kil için de kullanılır (Lameed & Ayodele, 2010). Bir arazi kullanım uygulaması olarak taş ocakçılığı, yakıt olmayan minerallerin kayadan çıkarılmasıdır ve katı minerallerin yüksek oranda kullanılması çevresel kirleticilerin oluşmasına neden olabilir (Ogbonna vd., 2011). Taş ocağı işletmeciliği, çevreyi ve insan sağlığını etkileyen bir madencilik faaliyeti türüdür. Taş ocağından çıkarma sırasında ağır metaller yeraltı suyuna, havaya ve toprağa salınır. Çıkarma işlemi hem patlayıcılara hem de ağır makinelere bağlıdır ve bu işlemler gürültü ve hava kirliliğine, habitatın tahrip olmasına, verimli toprağın yer değiştirmesine ve biyolojik çeşitliliğin zarar görmesine neden olur, bu aynı zamanda yaban hayatı, çiftlik hayvanları ve çevrede yaşayan insanlar için de tehdit oluşturur (Sayara vd., 2016).

Taş ocakçılığından kaynaklanan tozun, yaprak yüzeylerine yerleşerek yaprak ve atmosfer ara yüzeyinde gerçekleşen normal fotosentetik ve diğer değişimlere müdahale etmesi nedeniyle bitkilerin büyümesini ve çiçeklenmesini durdurduğu bildirilmiştir (Madhavan & Sanjay, 2005). Hem aktif hem de terk edilmiş taş ocağı/ maden sahalarında çoğunlukla pirit ve arsenopirit olmak üzere belirli sülfür minerallerinin havaya ve suya maruz kalması sonucu oluşan asit maden drenajından kaynaklanan ağır metal kirliliği Sengupta (1992) ve Yaacob vd. (2009) tarafından araştırılmıştır. Yaacob vd. (2009) yüzey suyu, toprak ve maden atıklarındaki As, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn konsantrasyonlarının yasal sınırları aştığını bildirmiştir.

Katı maden arama, madencilik, kamu altyapısı inşası, endüstriler ve metal teknolojisindeki rutin uygulamalarının bir sonucu olarak üretimlerindeki ciddi artış nedeniyle dünya çapında ağır metallere maruz kalma potansiyeli konusunda artan bir endişe vardır. Gelişmekte olan ülkelerde her yıl yaklaşık 4 milyon insan taş ocakçılığı, kumlama ve tehlikeli kimyasalların emisyonundan kaynaklanan çevre kirliliği nedeniyle ölmektedir (Odeyemi vd., 2021). Taş ocağı madencilik süreçlerinin farklı aşamaları, metallerin toprak, su ve işletme alanlarının çevresindeki bitki türleri gibi çevresel ortamlara nüfuz etmesine neden olmaktadır. Diğerlerinin yanı sıra mangan, arsenik, bakır ve çinkonun, taş ocağının faaliyet gösterdiği yerlerdeki toprak, toz, su ve bitki türlerinde önemli seviyelerde bulunmaları nedeniyle taş ocağı faaliyetleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Tiimub vd., 2015). Taş ocağı madencilik faaliyetleri, ağır metallerin yeraltı sularına, yüzey sularına sızmasına ve ortam havasına daha fazla salınmasına neden olarak taş ocağının faaliyet gösterdiği yerde bulunan örneklerin ağır metallere aşırı maruz kalmasına neden olabilir (Ali vd., 2019).

Topraktaki tüm toksik elementler arasında ağır metaller daha ön plandadırlar, çünkü ağır metaller yüksek toksisite, parçalanmama ve biyolojik birikim özelliklerine sahiptir (Fashola vd., 2016). Ağır metaller ayrıca daha toksik metil bileşiklerine dönüşebilirler ve hatta bazıları besin zinciri yoluyla insan vücudunda zararlı konsantrasyonlarda birikerek insan sağlığını ciddi şekilde tehlikeye atabilir. Bu durum ağır metal kirliliğini ciddi bir sağlık ve ekolojik çevre sorunu haline getirmekte ve geniş çapta endişe yaratmaktadır (Jiang vd., 2021). Hava kirliliğinde rol oynayan faktörler arasında eser metaller özel bir konuma sahiptir, çünkü bunlar tutucu kirleticilerdir ve biyolojik olarak birikme eğilimindedirler ve bazıları küçük miktarlarda bile kanserojen veya zehirleyici etkiler gösterirler. Cr, As, Ni, Zn ve Pb gibi bazı metaller çoğunlukla endüstriyel kökenli ve kanserojendir. Bunlar arasında Pb, As ve Cr, özellikle potansiyel toksisiteleri ve canlılar üzerindeki etkileri açısından zehirli metallerdir (Guney vd., 2023). Cd, Cr, As, Hg, Pb, Cu, Zn ve Ni gibi ağır metaller, kirlilik özelliklerine göre insan sağlığı ve ekolojik çevre üzerindeki etkileri nedeniyle Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından kontrol altına alınması gereken öncelikli kirleticiler olarak listelenmiştir (Chen vd., 2015). Makro besinler olarak Zn, Mn, Fe, Cu, Co, Cr ve Ni, hayvanlar ve bitkiler de dahil olmak üzere canlılar için mikro elementler olarak gereklidir. Bununla birlikte, yüksek miktarlarda yıkıcı sonuçlara da neden olabilirler. As, Cd, Hg ve Pb gibi eser metal elementler, küçük dozlarda bile canlı vücudunda ciddi toksisitelerini ortaya koymaktadır (Guney vd., 2023).

Rize’de taş ocaklarının ağır metal kirliliği açısından çevre üzerindeki etkisine ilişkin bilgi eksikliği bulunmaktadır. Taş ocağı sahalarının çevresindeki toksik ağır metallerin temel konsantrasyonlarının araştırılmasına ihtiyaç vardır. Daha önce hiçbir araştırma Rize ilindeki taş ocaklarının ağır metal kirliliği üzerindeki potansiyel etkisini araştırmamıştır. Rize ilindeki taş ocakları aracılığıyla ağır metallerin olası

salınımı hakkındaki bilgi boşluğunu doldurmayı hedefleyerek, aktif ve pasif taş ocaklarından kaynaklanabilecek ağır metal kirliliği ilk kez bu çalışmada araştırılmıştır. Bu çalışmanın temel amaçları; 1) çok yıllık otsu bir tür olan *Juncus effusus* L. subsp. *effusus* ile odunsu bir tür olan *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. subsp. *barbata* (C.A.Mey.) Yalt.'nın ağır metal içerikleri üzerine taş ocaklarının etkisini belirlemek, 2) taş ocaklarının farklı bitki türlerinin Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb ve Mn seviyelerini nasıl etkilediğini tespit etmek, 3) otsu ve odunsu türleri ağır metal biriktirme yetenekleri açısından değerlendirmek, 4) bitki örneklerinin ağır metal içeriği üzerine yıkama uygulamasının olası etkisini belirlemek, 5) hem seçili alanlar hem de uygulamalar neticesinde elde edilen veriler karşılaştırılarak bitki türlerinin ağır metal kirlilik profillerini ortaya çıkarmaktır. Bu amaçlarla; çalışmanın sonuçlarının bu alanda yapılacak çalışmalara öncülük etmesi hedeflenmiştir.

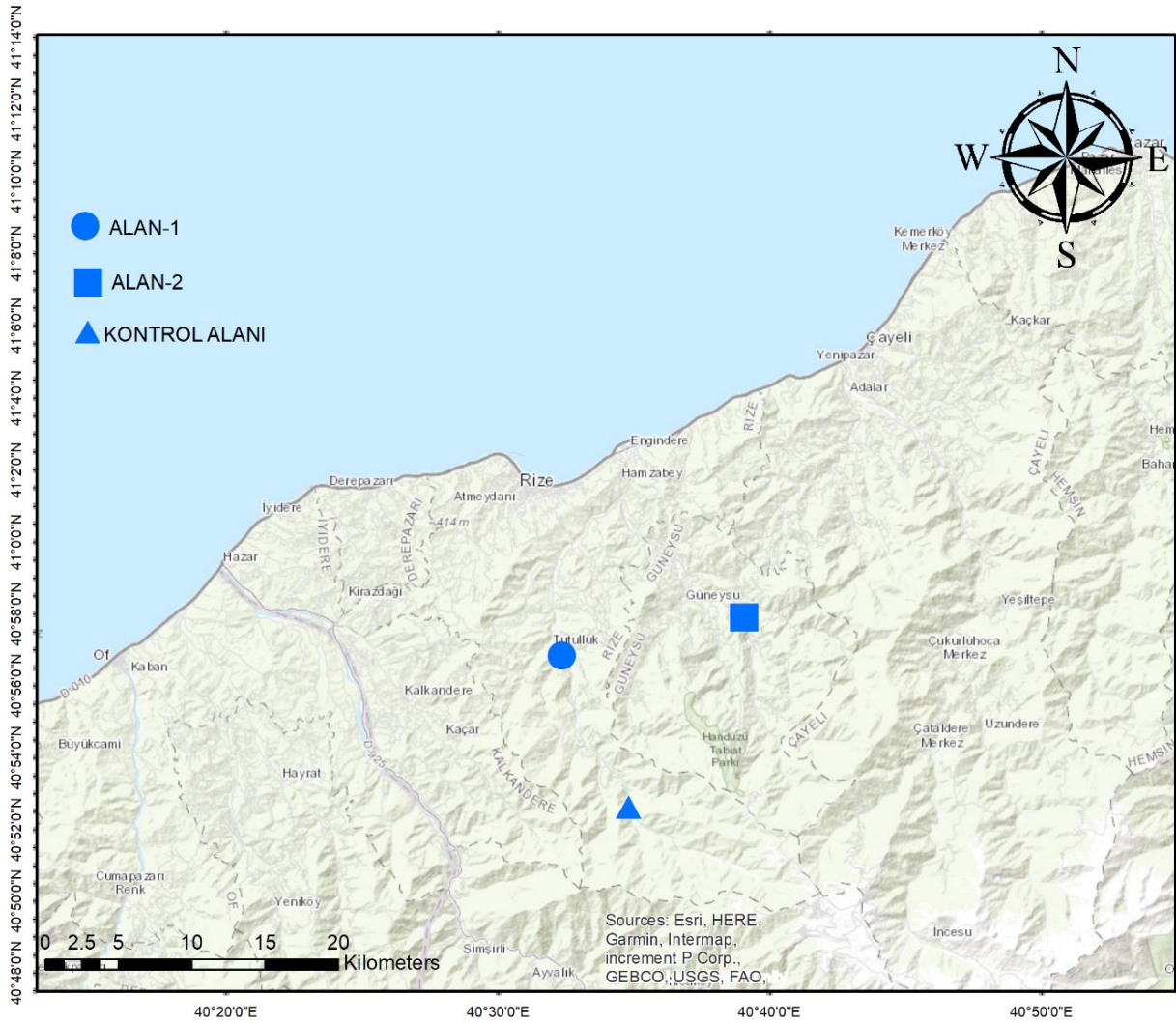
2. Materyal ve metot

2. Material and method

2.1. Çalışma alanı

2.1. Research area

Çalışma, Rize ilinin Merkez ve Güneysu ilçelerinde yer alan taş ocakları sahalarında gerçekleştirildi (Şekil 1). Güneysu ilçesindeki pasif taş ocağı, Merkez ilçesindeki aktif taş ocağı ve kontrol alanı olmak üzere üç farklı alandan örnekleme yapıldı (Tablo 1).



Şekil 1. Örneklem alanının haritası

Figure 1. Map of the sample area

Tablo 1. Örnek konumlarının koordinatları**Table 1.** Coordinates of sample locations

Lokaliteler	Enlem	Boylam
Alan-1 (pasif)	40.947409°	40.538671°
Alan-2 (aktif)	40.964933°	40.650563°
Kontrol alanı (temiz)	40.876701°	40.580136°

2.2. Örneklem ve hazırlık

2.1. Sampling and preparation

Alnus glutinosa (L.) Gaertn. subsp. *barbata* (C.A.Mey.) Yalt. (kara kızılgağaç) Betulaceae familyasına ait, toprak kalitesini iyileştirme yeteneğiyle bilinen odunsu bir bitkidir. Bozulmuş orman ekosistemlerinde, *Alnus glutinosa* subsp. *barbata* önemli bir öncü türdür (Wolfe vd., 2022). Diğer ağaçlarla karşılaştırıldığında, çevresel strese karşı daha dayanıklıdır (Monzón & Azcón, 2001). *Alnus glutinosa* subsp. *barbata* doğal yaşam alanının yanı sıra, bozulmuş ortamlarda da büyüyebilir (Oliveira vd., 2005) ve bozulmuş bölgelerde bozulmuş toprağın kalitesinin geri kazanılmasına yardımcı olur (Świątek vd., 2019). *Juncus effusus* subsp. *effusus* L., Juncaceae familyasından çok yıllık bir bitkidir. Neredeyse küresel bir dağılıma ve çeşitli toksik metal(lö)lere karşı yüksek bir dirençle kanıtlanan geniş bir ekolojik toleransa sahiptir (Müller vd., 2020). Çok yıllık otsu bir bitki türü olan *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve ağaç türü olan *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'dan bitki örnekleri Haziran 2022 tarihinde üç farklı alandan alındı. Örneklem alanlarına ilişkin bilgiler Tablo 1'de verildi. Örneklem alanlarından toplanan bitki numuneleri ağır metal analizleri için laboratuvara getirildi.

Laboratuvara getirilen bitki örneklerinin yarısı saf su ile yıkandı, örnekler yıkanmış ve yıkanmamış olmak üzere iki farklı gruba ayrıldı. Her iki gruba ait bitki örnekleri 70 °C'de 48 saat boyunca sabit ağırlığa ulaşana dek kurutuldu ve kurutulan örnekler porselen havanda toz haline getirildi. Toz haline getirilen örnekler ağır metal analizleri için hazırlandı.

2.3. Kimyasallar ve reaktifler

2.3. Chemicals and reagents

Mevcut araştırmada tercih edilen analitik sınıf kimyasallar ve reaktifler Merck, Darmstadt-Almanya firmasından temin edildi. Çözeltilerin ve seyreltmelerin hazırlanmasında ultra saf su (Human Corporation Zeneer power-I, 18,2 MΩ·cm) kullanıldı. Çalışmada kullanılan tüm laboratuvar malzemeleri 24 saat boyunca %20 HNO₃ çözelti banyosunda dekontamine edildi ve ultra saf suyla yıkandı. Malzemeler temiz hava koşullarında kurutuldu. Kalibrasyon standart çözeltilerinin hazırlanması, tüm analiz edilen elementleri (Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb ve Mn) içeren standart stok çözeltilerinin (Agilent 8500–6940 2A, 27 element karışımı) 1000 ppm'lik uygun seyreltmesinde gerçekleştirildi.

2.4. Metal analizi ve validasyon

2.4. Metal analysis and validation

Öğütücünden geçirilerek homojen hale getirilmiş ve kurutulmuş 0.2 g-0.5 g aralığındaki bitki numuneleri 7 mL suprapur %65 HNO₃ ve 1 mL suprapur %30 H₂O₂ içeren teflon kaplar içerisinde Milestone SK10 ünitesinde HPR-FO-47, HPR-FO-59, HPR-FO-61 prosedürlerine uygun şekilde çözündürüldü. Çözündürme esnasında 15 dakika içerisinde oda sıcaklığından 200 °C sıcaklığa çıkma, ardından 15 dakika 200 °C sabit sıcaklıkta kalma işlemi, ardından bir saat içinde oda sıcaklığına inme işlemi uygulandı. Çözelti, 50 mL'lik bir polipropilen falkon tüplerine aktarıldı ve 50 mL çizgisine kadar ultra saf su ile dolduruldu. Blank (kör) çözelti, numunelerle aynı prosedürle hazırlandı.

Elementlerin konsantrasyonları, Endüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi (ICP-MS, Agilent 7700X) ile ölçüldü. Analiz her numune için üç kez gerçekleştirildi. ICP-MS ile elementleri tanımlamak için kullanılan çalışma koşulları Tablo 2'de verildi. Standart çözeltiler (27 element karışımı: 8500-6940 2A ve 8500-6940 Cıva) Agilent firmasından temin edildi ve kalibrasyon eğrilerinin çizilmesinde kullanıldı. Kalibrasyon eğrisinin doğrusallığı, tespit sınırı ve kantifikasyon sınırı, ICP-MS yöntemi ile bulunan ölçümlerin doğrulanmasına dahil edildi. Araştırılan ağır metallerin kalibrasyon eğrileri doğrusallık gösterdi. Eğri

denklemleri ve korelasyon katsayısı (R) belirlendi ve yöntemin doğruluğuna dair bir gösterge sağlandı. Bu elementler için doğrusal kalibrasyon eğrileri 0.9997 ile 1.0000 arasında korelasyon faktörleri ile bulundu. Tespit sınırı (LOD) tanımı, blankın on ölçümünün standart sapmasının üç katı olarak yapıldı ve ardından kalibrasyon eğrisinin eğimine bölündü. Miktar tayini sınırı (LOQ) tanımı, LOD'nin 3 katı olarak yapıldı. Yöntemin duyarlılığı, tespit sınırı (LOD) ve miktar tayini sınırı (LOQ) değerlerinin belirlenmesi yoluyla değerlendirildi. İncelenen elementlerin LOD ve LOQ sonuçları Tablo 4'te sunulmaktadır. ICP-MS yönteminin gün içi ve günler arası kesinliği ve doğruluğu, kalite kontrol (25, 200 ve 400 ppm) örneklerinin üç tekrarı kullanılarak değerlendirildi. Yöntemin doğruluğu ve kesinliği, kontrol örneklerinin hem günlük hem de günlük olmayan analiz sonuçları için sırasıyla yüzdelik bağıl hata (RE%) ve yüzdelik bağıl standart sapma (RSD%) değerlerinin hesaplanması yoluyla incelendi. Kabul kriterleri, tatmin edici kesinlik ve doğruluğu göstermek için %15'in altındaki değerleri gerektiriyordu. Geri kazanım yüzdesi değeri için %80-120 aralığı kabul edilebilir aralıktır. Bu kriter, numunelerden elde edilen Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb ve Mn miktarlarının kabul edilebilir aralıkta olduğunu doğrulayarak, yöntemin analiz için uygulanabilirliğini ve güvenilirliğini daha da doğrular.

Kalite kontrolü üçlü ölçüm ve sertifikalı referans malzemeler kullanılarak gerçekleştirildi. Sertifikalı referans materyali (CRM) olarak IAEA-336 liken numunesi kullanıldı ve tüm elementler %90 doğrulukla ölçüldü. Tablo 3, ICP-MS sistemi tarafından belirlenen değerler ile sertifikalı konsantrasyon değerlerini göstermektedir. Bu çalışmada, EPA 6020 (Çevresel numunelerde ICP-MS ile çoklu element tayini) yöntemi kullanılarak 1 ppm dahili standart (ISTD Agilent 5188-6525), numunelerle birlikte sürekli olarak analiz edildi.

Tablo 2. ICP-MS cihazının çalışma koşulları

Table 2. Operating conditions of the ICP-MS device

Cihaz	Agilent 7700 x ICP-MS
RF Gücü	1550 W
RF Uyumu	2.1 V
Örnek Derinliği	8.0 mm
Örnek Alım Hızı	0.1 mL min ⁻¹
Plazma Gaz Akış Hızı	15 L min ⁻¹
Yardımcı Gaz Akış Hızı	1.0 L min ⁻¹
Taşıyıcı Gaz Akış Hızı	0.95 L min ⁻¹
He Gaz Akış Hızı	4.3 mL min ⁻¹
Sprey Odası	Yumuşak Çift Geçişli Tip
Sprey Odası Sıcaklığı	2 °C
Meşale	Kuvarz Meşale

Tablo 3. Bitki (IAEA 336) standart referans materyali için sertifikalı ve ölçülen değerlerin (ppm) karşılaştırılması

Table 3. Comparison of certified and measured values (ppm) for plant (IAEA 336) standard reference material

Elementler	Liken				
	Sertifikalı Değerler	Ölçülen Değerler	Geri Kazanım Yüzdesi (%)	R ²	%RSD
As	630	624	99.11	1.0000	8.04
Cr	1060	1048	98.85	0.9999	2.07
Cu	3600	3540	98.34	1.0000	1.23
Mn	63000	62024	98.45	0.9999	0.71
Ni	1070	1075	100.50	0.9999	1.73
Pb	4900	4812	98.20	1.0000	2.70
Zn	30400	31838	104.73	0.9997	0.63
Fe	430000	432710	100.63	0.9999	0.72

2.5. İstatistiksel analiz

2.5. Statistical analysis

Elde edilen verilerin analizleri SPSS Version 29.0 (IBM SPSS Statistics for Windows, Armonk, NY) yazılımı kullanılarak yapıldı. Verilerin normal dağılımdan önemli ölçüde sapıp saptığını belirlemek için Kolmogorov-Smirnov (n>30) normallik testi kullanıldı. Normal olmayan dağılımın ardından veriler

parametrik olmayan Kruskal-Wallis ve Mann-Whitney U testleri kullanılarak analiz edildi. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın lokalitelere göre ağır metal içeriklerinin değişimi Kruskal Wallis H testi ile test edildi. Lokaliteler, uygulamalar (yıkanmış-yıkanmamış) ve bitkiler arasındaki ağır metal içerikleri Mann Withney U testi ile karşılaştırıldı. Ağır metal konsantrasyonları arasındaki ilişkiler Spearman'ın Korelasyon analizi ile incelendi. Önemlilik düzeyi $P < 0.05$ olarak kabul edildi. Deneyler üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi.

3. Bulgular

3. Results

Juncus effusus subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ağır metal içeriklerinin lokalitelere göre istatistiksel olarak önemli farklılık gösterip göstermediğini tespit etmek için uygulanan Kruskal Wallis H testi sonuçlarına bakıldığında sadece Ni ve Zn elementleri $P < 0.05$ seviyesinde, Cu ve Mn elementleri ise $P < 0.01$ seviyesinde önemli farklılıklar gösterdi (X^2 sırasıyla; 6.818; 7.587; 18.743 ve 23.983). Lokaliteler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulandı. Pasif ve aktif alanlardan alınan bitki örneklerinin Fe ve Mn içeriklerinde $P < 0.05$ seviyesinde, Cu içeriğinde ise $P < 0.01$ seviyesinde anlamlı farklılıklar tespit edildi (sırasıyla; $U=37.000$, $z= -2.021$; $U=36.000$, $z= -2.078$ ve $U=12.000$, $z= -3.464$). Pasif ve kontrol (temiz) alanlardan alınan bitki örneklerinin Cu, Zn ve Mn içeriklerinde $P < 0.01$ seviyesinde anlamlı farklılıklar tespit edildi (sırasıyla; $U=3.000$, $z= -3.984$; $U=27.000$, $z= -2.598$ ve $U=5.000$, $z= -3.868$). Aktif ve kontrol (temiz) alanlardan alınan bitki örneklerinin Zn ve As içeriklerinde $P < 0.05$ seviyesinde, Ni ve Mn içeriklerinde ise $P < 0.01$ seviyesinde anlamlı farklılıklar tespit edildi (sırasıyla; $U=36.000$, $z= -2.078$; $U=36.000$, $z= -2.078$; $U=27.500$, $z= -2.570$ ve $U=0.000$, $z= -4.157$).

Bitki çeşitlerinin lokalitelere göre ağır metal içerikleri değerlendirildiğinde, en yüksek konsantrasyonlarının aktif taş ocakları alanından alınan örneklerde tespit edildiği, en düşük konsantrasyonların ise kontrol alanından alınan örneklerde olduğu belirlendi (Tablo 4). *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb ve Mn konsantrasyonları sırasıyla 0.808-1.604, 359.935-1119.938, 1.200-1.856, 12.925-38.491, 29.397-213.925, 0.059-0.205, 0.505-2.767 ve 100.952-430.408 ppm arasında değişmiş olup, ortalamaları ise sırasıyla 1.115, 644.681, 1.468, 22.285, 97.778, 0.121, 1.288 ve 264.152 ppm olarak belirlendi. Genel olarak ortalama ağır metal içerikleri $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Cr > As$ şeklinde tespit edildi (Tablo 4). Tüm örnekleme noktaları toplu olarak değerlendirildiğinde *Juncus effusus* subsp. *effusus*'un Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb ve Mn konsantrasyonları sırasıyla 0.361-1.380, 86.987-175.937, 0.315-1.832, 5.717-28.339, 29.009-112.281, 0.012-0.036, 0.115-0.226 ve 202.220-823.613 ppm arasında değişmiş olup, ortalamaları ise sırasıyla 0.642, 115.943, 0.932, 12.580, 71.269, 0.024, 0.169 ve 514.777 ppm olarak belirlendi. Genel olarak ortalama metal konsantrasyonları $Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > As$ şeklinde tespit edildi (Tablo 4).

Juncus effusus subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ağır metal içeriklerinin uygulamaya göre (yıkanmış-yıkanmamış) istatistiksel olarak önemli farklılık gösterip göstermediğini tespit etmek için Mann Withney U testi uygulandı. Yıkanmış ve yıkanmamış bitki örneklerinin Cr içeriği $P < 0.01$, Ni içeriği ise $P < 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdi (sırasıyla; $U=80.000$, $z= -2.594$ ve $U=99.500$, $z= -1.978$). Bitki türleri bireysel olarak değerlendirildiğinde, *Juncus effusus* subsp. *effusus*'un Ni ve As içerikleri $P < 0.05$, Cr, Fe ve Pb içerikleri ise $P < 0.01$ seviyesinde önemli farklılıklar gösterdi (sırasıyla; $U=18.000$, $z= -1.987$, $U=18.000$, $z= -1.987$, $U=9.000$, $z= -2.782$; $U=9.000$, $z= -2.782$ ve $U=9.000$, $z= -2.782$). *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın Cr içeriği $P < 0.05$, Ni içeriği ise $P < 0.01$ seviyesinde anlamlı farklılıklar gösterdi (sırasıyla; $U=17.000$, $z= -2.075$ ve $U=9.500$, $z= -2.744$). Tüm bitki çeşitlerinin uygulamalara göre ağır metal içerikleri değerlendirildiğinde, en yüksek konsantrasyonlarının yıkanmamış örneklerde tespit edildiği, en düşük konsantrasyonların ise yıkanmış örneklerde olduğu belirlendi (Tablo 5).

Bitkiler arasında ağır metal içerikleri bakımından herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulandı. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın Cr, Fe, Cu, As, Pb ve Mn içeriklerinde $P < 0.01$, Ni içeriklerinde ise $P < 0.05$ seviyesinde anlamlı farklılıklar tespit edildi (sırasıyla; $U=45.000$, $z= -3.702$; $U=0.000$, $z= -5.125$; $U=57.000$, $z= -3.322$; $U=0.000$, $z= -5.125$; $U=0.000$, $z= -5.125$; $U=67.000$, $z= -3.006$ ve $U=90.000$, $z= -2.279$). Spearman'ın sıralama korelasyon katsayısı analizine göre Cr içeriği ile Fe, Ni, Cu, As ve Pb içerikleri arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulundu (sırasıyla; $r_{\text{spearman}}=0.795$, $P < 0.01$; $r_{\text{spearman}}=0.381$, $P = 0.022$; $r_{\text{spearman}}=0.383$, $P < 0.021$; $r_{\text{spearman}}=0.567$, $P < 0.01$ ve $r_{\text{spearman}}=0.794$, $P < 0.01$). Cr içeriği ile Zn içeriği arasında pozitif, Mn içeriği arasında negatif ve anlamsız ilişki bulundu (sırasıyla; $r_{\text{spearman}}=0.135$, $P = 0.432$; $r_{\text{spearman}}= -0.294$, $P < 0.82$).

Tablo 4. Lokallitelere göre bitki örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri (ppm) (Ortalama±SH)
Table 4. Concentration values of some heavy metals in plant samples according to localities (ppm) (Average±SE)

<i>Juncus effusus</i> subsp. <i>effusus</i>						
Lokalliteler	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As Pb Mn
Kontrol alanı (temiz)	0.461±0.043	92.965±2.362	0.459±0.063	6.009±0.115	35.541±2.573	0.015±0.001 0.143±0.012 238.611±12.894
Alan-1 (pasif)	0.593±0.012	120.504±3.317	0.565±0.003	9.428±0.132	78.670±1.283	0.025±0.001 0.165±0.008 554.392±39.878
Alan-2 (aktif)	0.871±0.223	134.360±18.187	1.772±0.025	22.302±2.088	99.598±5.618	0.031±0.001 0.199±0.011 751.327±31.718
Genel	0.642±0.082	115.943±7.174	0.932±0.146	12.580±1.823	71.269±6.763	0.024±0.001 0.169±0.008 514.777±53.798
Minimum	0.361	86.987	0.315	5.717	29.009	0.012 0.115 202.220
Maksimum	1.380	175.937	1.832	28.339	112.281	0.036 0.226 823.613
<i>Alnus glutinosa</i> subsp. <i>barbata</i>						
Lokalliteler	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As Pb Mn
Kontrol alanı (temiz)	0.924±0.057	411.296±19.038	1.376±0.044	15.439±2.057	32.657±0.975	0.078±0.005 0.562±0.022 116.512±5.966
Alan-1 (pasif)	1.130±0.115	572.743±59.626	1.462±0.036	19.217±1.360	85.462±4.593	0.107±0.012 0.973±0.044 278.606±9.415
Alan-2 (aktif)	1.290±0.044	950.005±52.753	1.566±0.129	32.198±1.527	175.215±11.286	0.178±0.009 2.329±0.177 397.338±14.851
Genel	1.115±0.056	644.681±60.450	1.468±0.048	22.285±1.963	97.778±14.776	0.121±0.011 1.288±0.192 264.152±28.515
Minimum	0.808	359.935	1.200	12.925	29.397	0.059 0.505 100.952
Maksimum	1.604	1119.938	1.856	38.491	213.925	0.205 2.767 430.408
LOD	0.029	0.603	0.026	0.125	1.673	0.045 0.038 0.035
LOQ	0.087	1.809	0.078	0.375	5.019	0.135 0.114 0.105

SH: Standart Hata; SE: Standard Error; LOD: Tespit Sınırı; LOQ: Miktar Tayini Sınırı

Tablo 5. Yıkanmış ve yıkanmamış bitki örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri (ppm) (Ortalama $\pm$ SH)
Table 5. Concentration values of some heavy metals in washed and unwashed plant samples (ppm) (Average $\pm$ SE)

<i>Juncus effusus</i> subsp. <i>effusus</i>								
Uygulamalar	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Mn
Yıkanmamış	0.850±0.130	133.633±11.209	1.001±0.207	14.291±3.200	78.281±10.269	0.027±0.002	0.193±0.008	577.161±82.056
Yıkanmış	0.433±0.033	98.253±3.853	0.863±0.215	10.869±1.777	64.257±8.755	0.020±0.002	0.145±0.008	452.392±67.780
Genel	0.642±0.082	115.943±7.174	0.932±0.146	12.580±1.823	71.269±6.763	0.024±0.001	0.169±0.008	514.777±53.798
Minimum	0.361	86.987	0.315	5.717	29.009	0.012	0.115	202.220
Maksimum	1.380	175.937	1.832	28.339	112.281	0.036	0.226	823.613
<i>Alnus glutinosa</i> subsp. <i>barbata</i>								
Uygulamalar	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Mn
Yıkanmamış	1.233±0.081	722.134±95.964	1.596±0.066	22.296±3.300	103.406±21.419	0.126±0.018	1.468±0.320	270.822±39.752
Yıkanmış	0.997±0.056	567.229±69.440	1.341±0.036	22.273±2.343	92.150±21.477	0.116±0.014	1.108±0.213	257.482±43.178
Genel	1.115±0.056	644.681±60.450	1.468±0.048	22.285±1.963	97.778±14.776	0.121±0.011	1.288±0.192	264.152±28.515
Minimum	0.808	359.935	1.200	12.925	29.397	0.059	0.505	100.952
Maksimum	1.604	1119.938	1.856	38.491	213.925	0.205	2.767	430.408

SH: Standart Hata; SE: Standard Error

4. Tartışma

4. Discussion

Çalışmada, aktif ve pasif taş ocaklarının bulunduğu alanlar ile kontrol alanı olarak seçilen temiz alandan toplanan çok yıllık otsu bir bitki olan *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve odunsu bir tür olan *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb ve Mn içerikleri (ppm) tespit edilmiş olup, literatür ışığında değerlendirilmiştir.

Bitki kökleri ağır metallere maruz kalan en önemli organlar olup toprakta bulunan ağır metalleri bitki bünyesine alırlar. Çoğunlukla köklerle alınan bu kirleticiler bitki yaprakları ile de bitki bünyesine giriş yapabilmektedirler. Küresel düzeyde kirliliğe neden olan ağır metaller insan sağlığı ve tüm canlılar için ciddi tehditler ve riskler oluşturur. Taş ocağı faaliyetleri, diğer pek çok insan faaliyeti gibi çevre üzerinde önemli etkilere sahiptir (Okaför, 2006).

Bu çalışmada aktif taş ocağının etrafında yetişen *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın sırasıyla ortalama Cr içerikleri 0.871-1.290 ppm, Fe içerikleri 134.360-950.005 ppm, Ni içerikleri 1.772-1.566 ppm, Cu içerikleri 22.302-32.198 ppm, Zn içerikleri 99.598-175.215 ppm, As içerikleri 0.031-0.178 ppm, Pb içerikleri 0.199-2.329 ppm ve Mn içerikleri ise 751.327-397.338 ppm olarak tespit edilmiş olup en yüksek ağır metal içerikleri bu alanlarda yetişen bitkilerde bulundu. Greksa vd. (2023)'nin yapmış oldukları çalışmalarında, *Juncus effusus* L. yapraklarının örnekleri arasında önemli bir fark ($P < 0.05$) olduğunu ve toplam Zn konsantrasyonunun yapraklar için 36.2 ppm ile 264.59 ppm arasında ve kökler için 53.20 ppm arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. *J. effusus*'un sürgünlerindeki metal(lid) içeriklerine bakıldığında, As için 0.001-0.002 ppm, Ni için 0.035-0.313 ppm, Pb için 0.00024-0.00041 ppm, Zn için 35.08-212.27 ppm, Cu için 58.39-347.07 ppm, Fe için 666.79-2082.25 ppm arasında değişen konsantrasyonlar içerdiği tespit edilmiştir (Khan vd., 2024). *J. effusus*'un sürgün ve köklerinde Pb, Cu ve Zn içerikleri sırasıyla 201.03-315.84 ppm, 26.98-28.11 ppm ve 1361.49-1193.41 ppm olarak belirlenmiştir (Mou vd., 2021). Aynı cinse ait *Juncus rigidus* Desf.'un rizomundaki Pb ve Ni konsantrasyonları sırasıyla 3.55-15.55 ve 0.10-0.30 ppm arasında yer almıştır (Hamza, 2022). Ugulu vd. (2024) *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın Cr ve Cu içeriklerini sırasıyla 0.938 ve 9.918 ppm olarak tespit etmişlerdir. Farklı habitat ortamlarında yetişen *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla 12.8-34.2, 1.84-9.72 ve 57.1-110 ppm arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir (Pecina vd., 2020). *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'da Mn içeriğinin 507-2803 ppm, Zn içeriğinin 61-457 ppm ve Pb içeriğinin ise 0.0-34.8 ppm arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Grygar vd., 2023). Hrdlička ve Kula (2024), *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın Mn içeriğinin 400-1000 ppm olarak belirlenen toksisite sınırını aştığını, Zn içeriğinin 250 ppm fitotoksisite sınırının üzerinde olmadığını, Cu içeriğinin yapraklarda 40 ppm veya 100 ppm olan kritik seviyenin üzerinde olmadığını, Pb içeriğinin ise değişkenlik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Yan vd. (2016) yaprak döken ağaç yapraklarında daha düşük Zn içeriği değerleri bildirmişlerdir. Karasal bitkilerde çeşitli ağır metallerin normal konsantrasyon aralıklarının Cr için 0.1-18 ppm, Cu için 5-30 ppm arasında değiştiği literatürdeki bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Zayed & Terry, 2003; Kabata-Pendias & Pendias, 2011). Literatürde farklı odunsu türler üzerinde yapılan çalışmalar ele alındığında, evsel, endüstriyel ve ağır metal kirliliği oluşturan birçok farklı yerlerden toplanan *Alnus nitida* (Spach) Endl.'nin ağır metal birikim miktarı, bitkinin farklı kısımlarında değişiklik göstermiştir. En fazla ağır metal birikimi yapraklarda gözlemlenirken, en düşük birikim kökte (yapraklar > sürgün > kabuk > kök) görülmüştür. Cu, Mn, Zn, Cr ve Pb konsantrasyonları sırasıyla 78.9, 269.1, 324.45, 2194.1 ve 321.9 ppm olarak tespit edilmiştir (Haq vd., 2022). İki farklı plantasyondan seçilen *Pinus brutia* Ten.'nin Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Ni ve Pb içeriklerinin 2.139-6.622 ppm, 76.823-167.778 ppm, 66.227-45.380 ppm, 12.915-24.400 ppm, 0.427-0.674 ppm, 1.115-2.759 ppm ve 0.433-0.618 ppm, *Quercus trojana* Webb.'nin Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Ni ve Pb içeriklerinin 3.081-5.967 ppm, 90.140-166.090 ppm, 24.519-97.397 ppm, 17.677-18.357 ppm, 0.442-0.721 ppm, 0.695-4.058 ppm ve 0.315-0.765 ppm, *Fraxinus ornus* L.'un Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Ni ve Pb içeriklerinin 3.395-4.791 ppm, 127.363-181.301 ppm, 24.911-22.138 ppm, 17.055-19.421 ppm, 0.547-0.739 ppm, 0.666-1.705 ppm ve 0.487-0.690 ppm ve *Robinia pseudoacacia* L.'nin Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Ni ve Pb içeriklerinin 2.670-5.791 ppm, 101.607-195.950 ppm, 21.918-27.669 ppm, 15.181-21.985 ppm, 0.456-0.881 ppm, 0.550-2.154 ppm ve 0.271-0.832 ppm arasında değiştiği ifade edilmiştir (Samara vd., 2022). *Betula pendula* Roth'da yaprak Mn içeriği değerleri 118-9743 ppm (Hrdlička & Kula, 2004), 284-1790 ppm (Wisłocka vd., 2006) ve 6956-10852 ppm (Wildová vd., 2021) aralığında değişmişken; *Larix decidua* Mill. için aralık 9689-13508 ppm ve *Vaccinium myrtillus* L. için 5982-12172 ppm (Wildová vd., 2021) olarak tespit edilmiştir. Lorenc-Plucinska vd. (2013), *Alnus incana* (L.) Moench (gri kızılalgaç) ve *Alnus glutinosa* (siyah kızılalgaç) fidelerinin Cu ve Pb konsantrasyonları sırasıyla 1510 ppm ve 490 ppm'e kadar yüksek olan topraklarda büyüebildiklerini ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada hem bitki türlerinin kendi içlerindeki hem de bitki türleri arasındaki ağır metal içeriklerinin değişken olduğu, aktif ve pasif taş ocakları ile bağlantısı olmayan kontrol alanındaki bitkilerde bile ağır metallerin izlenildiği görüldü. En yüksek konsantrasyonların ise aktif taş ocağı alanında yetişen bitkilerde olduğu tespit edildi. Bu durum ağır metallerin konsantrasyonunun ve hareketliliğinin çeşitli faktörlere bağlı olması ile açıklanabilir. Ayrıca bunlara kaynaktan gelen kirleticilerin sayısı, kaynaktan uzaklık, hava sıcaklığı, mevcut nem, yağışın zamansal ve mekânsal dağılımı, hava kararlılığı ve rüzgarın hızı ve yönü dahil olabilir. Yukarıda belirtilen kontrol faktörlerine bağlı olarak, bazı kirleticiler

emisyona kaynağından binlerce kilometre uzağı kadar seyahat edebilir (Yin vd., 2011). Özellikle bazı odunsu bitki türleri yapraklarında risk unsurlarını biriktirebilir (Matys Grygar vd., 2021).

Ugulu vd. (2024) çalışmalarındaki otsu ve odunsu türlerin Cr ve Cu konsantrasyonlarının sırasıyla 0.170-8.649 ve 1.559-19.757 ppm arasında değiştiğini, ortalama konsantrasyonları ise 1.90695 ve 7.68473 ppm olarak ifade etmişlerdir. Grygar vd. (2023) çalışmalarındaki otsu bitkilerin genellikle odunsu bitkilerden daha az Mn ve Zn edindiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde çalışmamızdaki otsu tür olan *Juncus effusus* subsp. *effusus*'un ağır metal içeriklerinin, odunsu bir tür olan *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ağır metal içeriklerinden daha az olduğu tespit edildi (Tablo 4). Ağaçlar elementleri emme ve tutma yeteneğine sahip uzun ömürlü organizmalar olduğundan (Mankovská vd., 2004), bitki yapraklarındaki ağır metallerin konsantrasyonunun izlenmesi kirlenmiş bölgelerdeki en etkili biyolojik izleme uygulamalarından biridir. Yapraklarda bu birikimin mümkün olmasının nedeni, bu bitkilerin belirli hücre bölmelerinde ve hücre duvarlarında kompleks oluşturarak ve sekestrasyon yaparak risk unsurlarını detoksifiye edebilmesidir (Angulo-Bejarano vd., 2021). Sood vd. (2012), farklı bitki türleri veya bazı bitki türleri ve/veya türleri arasındaki birikim farkının, bunların tolerans seviyesinden kaynaklandığını bildirmiştir. Ayrıca, bu farkın fitoremediasyon potansiyeli, kimyasal türler ve metallerin başlangıç konsantrasyonu, sıcaklık, pH redoks potansiyeli, tuzluluk ve ağır metaller arasındaki etkileşimin sonucu olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada odunsu tür olan *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın elementleri daha fazla oranda biriktirdiği açıktır ve bu durum kirliliğin ortaya çıkarılması için biyoizlenim imkanı sağlamaktadır.

Juncus effusus subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın sırasıyla yıkanmamış bitki sürgün ve yapraklarının ağır metal içerikleri yıkanmış sürgün ve yapraklara göre daha yüksekti (Tablo 5). Cezayir'de gerçekleşen bir çalışmada, üç farklı lokaliteden üç yıl boyunca alınan *Juncus effusus*'un yıkanmış kök ve sürgünlerinde sırasıyla Pb değerleri 3.47-10.25 ppm ve 6-10.97 ppm iken, Zn değerleri ise 21.46-63.15 ppm ve 31.54-46.38 ppm arasında değiştiği tespit edildi (Boukaka & Mayache, 2020). *Juncus* sp.'nin yıkanmış bitki dokularının (tüm bitki) Cr, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn içerikleri sırasıyla 0.205, 11, 461, 79, 9.919 ve 15.759 ppm olarak tespit edildi (Zare vd., 2020). Guney vd. (2023) farklı ağaç ve çalı türlerinde ve bu bitkilerin organlarında Pb ve Zn konsantrasyonlarının değişimini araştırdıkları çalışmalarında, en yüksek Pb ve Zn konsantrasyonunu sırasıyla 11.794 ppm ile *Tilia tomentosa* Moench'in yıkanmamış yapraklarında ve 0.063 ppm ile *Acer negundo* L.'nin yıkanmamış yapraklarında tespit etmişlerdir. Yıkanmış yaprak analizi, yalnızca yaprağın ağır metal içeriğini gösterirken, yıkanmamış yaprak analizi hem yapraktaki hem de yüzeyinde birikmiş ağır metal içeriğini yansıtır (Yaşar, 2009). Çalışmadaki her iki türün yıkanmamış örneklerinde ağır metal seviyesinin fazla oluşu bu durumu doğrular niteliktedir. Yıkanmamış örneklerin ağır metal içeriklerinin fazla olması, ağır metallerin zamanla bitki yapılarında biriktiğini göstermektedir.

Türkiye genelindeki taş ocaklarındaki ağır metallerin konsantrasyonu, jeolojik ve antropojenik faktörlerden etkilenecek önemli ölçüde değişmektedir. Çalışmalar, özellikle Orta Anadolu ve Karadeniz gibi bölgelerdeki taş ocaklarının, ekolojik ve sağlık riskleri oluşturan çeşitli düzeylerde ağır metal kirliliği sergilediğini göstermiştir. Üç farklı taş ocağından (Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar) alınan sepiolit örnekleri üzerinde yapılan bir çalışmada ortalama Al, Fe ve Pb içerikleri 5456,5 ppm, 3831,5 ppm ve Pb 5,3 ppm olarak rapor edilmiştir. Beylikova ocağından alınan çoğu örnek kabul edilebilir sınırlar içinde kalsa da potansiyel sağlık risklerini gösteren birkaç metal için endişe verici zenginleştirme faktörleri göstermiştir (Hançerlioğulları vd., 2023). Kuzeybatı Karadeniz bölgesindeki terk edilmiş cıva ocağında son derece yüksek arsenik ve cıva konsantrasyonları tespit edilmiş olup önemli ekolojik risklerin mevcut olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca bu metaller için kontaminasyon faktörlerinin çok yüksek olduğu belirlenmiş, bu durumun geçmiş madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan ciddi çevresel etkilere işaret ettiği üzerine dikkat çekilmiştir (Horasan vd., 2021). Ifeoma vd. (2014) hem topraktaki hem de bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonlarının, taş ocağı sahasının yakınında en yüksek seviyede olduğunu ve mesafeyle birlikte azaldığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Ishiagu taş ocağında, odunsu bitki *Milicia excelsa*'daki Zn, Pb ve Cd'nin en yüksek konsantrasyonları, taş ocağına en yakın olarak kaydedilmiştir (Ogbonna vd., 2011). Nijerya'da, taş ocağı sahalarına yakın tıbbi bitkiler, kontrol sahalarındaki bitkilere kıyasla daha yüksek ağır metal konsantrasyonları içermiştir (Ogbonna vd., 2020). Taş ocak alanları çevresindeki bitkilerde ağır metallerin konsantrasyonu genellikle yüksek bulunmuştur (Ekpo vd., 2012). Bu çalışmada, aktif taş ocağının olduğu alandaki bitkiler, pasif taş ocağı ve kontrol alanının olduğu alandaki bitkilerden önemli ölçüde daha yüksek Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb ve Mn içeriklerine sahipti (Tablo 4). Bu, taş ocağı sahasında gerçekleştirilen taş ocağı faaliyetlerinin bir sonucu olabilir. Ayrıca başka bir nedeni de metallerin topraktan köke hareketi, metal emilimi ve taşınması, toz parçacıklarının yapraklara yerleşmesidir (Ediagbonya vd., 2021). Taş ocak sahasından kaynaklanan hava

kirliliği, toksik olabilen ağır metaller içerir, stabildirler ve parçalanamaz veya yok edilemezler ve bu nedenle bitki ve orman toprağında birikme eğilimindedirler (Asati vd., 2016). Taş ocak sahasından kaynaklanan hava kirliliği bitkiler için yaprak yüzeylerine yerleşme açısından sorunlara neden olur ve ayrıca bitkiler üzerinde engel oluşturma ve iç yapılarını tahrip etme, kütikül ve yaprakların aşınması gibi fiziksel etkilere ve ayrıca hayatta kalmayı etkileyebilecek kimyasal etkilere de sahip olabilir (Lameed & Ayodele, 2010). Taş ocak sahasından salınan toz sadece bitki ve toprak üzerinde birikmez, aynı zamanda çevre için toksik olan ağır metaller içerir. Ayrıca, metallerin birikimi ve dağılımının metal biyoyararlanımına, bitki metabolizmasına ve ayrıca kirlenmiş alanlarda büyüyen mikroplara bağlı olduğu bildirilmektedir (Chowdhary vd., 2018).

Bu çalışmada, *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ortalama genel Pb içerikleri sırasıyla 0.169 ve 1.288 ppm olarak tespit edilmiştir. Bitkilerde maksimum izin verilebilir kurşun sınırı Dünya Sağlık Örgütü'ne göre 10 ppm'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen örneklerin kurşun değerleri maksimum izin verilebilir limitin altındadır. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ortalama genel Cr içerikleri sırasıyla 0.642 ve 1.115 ppm olarak tespit edilmiştir. Maksimum izin verilebilir krom sınırı 1.3 ppm'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen örneklerin krom değerleri maksimum izin verilebilir limitin altındadır. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ortalama genel Ni içerikleri sırasıyla 0.932 ve 1.468 ppm olarak tespit edilmiştir. Maksimum izin verilebilir nikel sınırı 10 ppm'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen örneklerin nikel değerleri maksimum izin verilebilir limitin altındadır. Bitkilerin toprak üstü kısımları genellikle 1 ppm'in altında düşük As konsantrasyonları içerir (Kabata-Pendias & Pendias, 2011). *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ortalama genel As içerikleri sırasıyla 0.024 ve 0.121 ppm olarak tespit edilmiştir. Çalışmada analiz edilen örneklerin arsenik değerleri literatürde belirtilen limitin altındadır. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ortalama genel Cu içerikleri sırasıyla 12.580 ve 22.285 ppm olarak tespit edilmiştir. Maksimum izin verilebilir bakır sınırı 10 ppm'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen örneklerin bakır değerleri maksimum izin verilebilir limitin üstündedir. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ortalama genel Mn içerikleri sırasıyla 514.777 ve 264.152 ppm olarak tespit edilmiştir. Maksimum izin verilebilir mangan sınırı 200 ppm'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen örneklerin mangan değerleri maksimum izin verilebilir limitin üstündedir. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ortalama genel Fe içerikleri sırasıyla 514.777 ve 264.152 ppm olarak tespit edilmiştir. Maksimum izin verilebilir demir sınırı 20 ppm'dir (Shah vd., 2013). Çalışmada analiz edilen örneklerin demir değerleri maksimum izin verilebilir limitin üstündedir. *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın ortalama genel Zn içerikleri sırasıyla 71.269 ve 97.778 ppm olarak tespit edilmiştir. Maksimum izin verilebilir çinko sınırı 50 ppm'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen örneklerin çinko değerleri maksimum izin verilebilir limitin üstündedir. Çalışmada ele alınan *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'da, morfolojik olarak herhangi bir toksisite görüntüsünün olmaması maruz kaldıkları ağır metal seviyesini tolere edebildiğini düşündürmektedir. Yapılan çalışmalar bazı bitkilerin dokularında herhangi bir toksisite belirtisi göstermeden önemli miktarda metal biriktirdiğini göstermektedir (Padmapriya vd., 2016). Literatürde çoğu elementin toksisite sınır değerleri belirlenmiş olsa da bu sınırlar her bitki türü için değişkenlik gösterebilir. Öncelikle bitkinin otsu veya odunsu yapıda olması, her elemente karşı farklı tolerans seviyelerine sahip olması ve genetik özellikleri nedeniyle bu değişkenlik ortaya çıkabilir (Yaşar, 2009).

Çevresel ortamlarda ve biyolojik sistemlerde ağır metaller arasındaki korelasyon, önemli bir araştırma alanıdır. Bu ilişki, genellikle metal iyonlarının ortak kaynaklardan gelmesi, benzer taşınım mekanizmalarına sahip olması veya birbirleriyle etkileşime girerek hareketliliklerini ve biyoyararlanımlarını değiştirmesiyle oluşur. Korelasyon ifadesi +1 ile -1 arasındaki değişimdir. 0.5 ile 1 arasındaki ifadeler yüksek korelasyonları, 0.3 ile 0.5 arasındaki ifadeler orta korelasyonları, 0.0 ile 0.3 arasındaki ifadeler zayıf ve değersiz korelasyonları gösterir (Tatar vd., 2019). Bu çalışmada elementler arasındaki korelasyonlar incelendiğinde, her iki bitki türünün Cr elementi ile Fe, Ni, Cu, As ve Pb elementleri arasındaki ilişkinin pozitif ve anlamlı olduğu, Zn ile ilişkinin pozitif ve anlamsız, Mn ile ilişkinin ise negatif ve anlamsız olduğu tespit edilmiştir. Elementler arasındaki ilişkinin seviyesine bakıldığında Cr ile Fe, As ve Pb elementleri yüksek seviyede, Cr ile Ni ve Cu elementleri orta seviyede, Cr ile Zn ve Mn elementleri ise düşük seviyede korelasyon göstermiştir. Ağır metaller arasındaki korelasyon, bu metallerin kaynakları ve taşınım yolları hakkında bilgi sağlar. Pozitif korelasyon, ilgili elementlerin ortak bir kaynağa sahip olduğunu, taşınım sırasında birlikte hareket ettiğini ve benzer davranış sergilediğini gösterirken; negatif korelasyon, bu elementlerin birbirlerinden farklı davranışlar gösterdiğini ve farklı kaynaklardan geldiğini ifade eder (Leventeli vd., 2019; Yalcin vd., 2019; Nodefarahani vd., 2020; Binici vd., 2021; Yalçın, 2021). Ağır metaller arasındaki korelasyon genellikle ortak kirlilik

kaynaklarından kaynaklanmaktadır. Örneğin, madencilik, metal sanayi ve endüstriyel atıklar, çoğunlukla birden fazla ağır metali içeren kirleticiler yaymaktadır. Araştırmalar, Pb, Cd, Zn ve Cu elementlerinin sıklıkla bir arada bulunduğunu göstermektedir (Alloway, 2013). Toprak ve su ortamlarında ağır metallerin hareketliliği ve biyoyararlanımı, büyük ölçüde pH seviyesi, organik madde miktarı ve diğer kimyasal bileşenlerle bağlantılıdır. Örneğin, As ve Fe arasında genellikle güçlü bir ilişki vardır; çünkü arsenik, demir oksitler tarafından tutulur ve redoks koşullarına bağlı olarak hareket kazanabilir (Smedley & Kinniburgh, 2002). Bazı ağır metaller, bitkiler ve mikroorganizmalar tarafından benzer biyokimyasal mekanizmalarla alındığından birbirleriyle korelasyon gösterebilir. Örneğin, Zn ve Cd, kimyasal özelliklerinin benzerliği nedeniyle bitkiler tarafından genellikle birlikte absorbe edilir ve aynı taşıma sistemleri aracılığıyla alınır (Clemens vd., 2013). Ağır metallerin bir arada bulunması toksik etkilerini artırabilir veya azaltabilir (Tchounwou vd., 2012). Toprak pH'sı, ağır metallerin çözünürlüğünü ve hareketliliğini önemli ölçüde belirleyen en temel faktörlerden biridir. Pb, Zn ve Cu, asidik toprak koşullarında benzer çözünürlük özellikleri sergilediklerinden yüksek korelasyon göstermektedir (Violante vd., 2010). Cd ve Zn, benzer kimyasal özellikleri dolayısıyla pH değişimlerine paralel tepkiler verir ve pH 5'in altında birlikte hareket etme eğilimi gösterir. Cu ve Zn, organik madde ile benzer bağlanma mekanizmalarına sahip olduklarından organik içeriği yüksek topraklarda korelasyonları artabilir (He vd., 2015). Kil mineralleri, ağır metallerin adsorpsiyonunda önemli rol oynar ve farklı metallerin birbirleriyle korelasyonunu etkileyebilir (Bradl, 2004; Park vd., 2011). Toprağın katyon değişim kapasitesi, ağır metallerin adsorbe edilme kapasitesini belirler ve farklı metallerin birbirleriyle rekabet halinde olmasına yol açabilir ve bazı metallerin negatif korelasyon göstermesine sebep olabilir. Şaşmaz vd., (2015) elementler arasında negatif ilişki (antagonizm) olduğunu bildirdi: Fe'nin Na, P, S, Mn ile ilişkisi ve Na ile P'nin Cu, Pb, Zn, As ile ilişkisi ve S'nin Cu, Pb ve Mn ile ilişkisi Cu, Pb, As ile ilişkisi. Bunun aksine, bu çalışmada sadece Mn elementi hariç diğer elementler arasında pozitif bir ilişki vardı. Benzer şekilde, Tatar vd. (2019) ise yaptıkları çalışmalarında tüm elementler arasında pozitif ilişkinin olduğunu ifade etmişlerdir. Sinerjik ve antagonistik etkiler Khan vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada da bildirilmiştir. Çeşitli metal uygulamalarındaki farklı tepkiler, aynı metalin değişken konsantrasyonlarda farklı tepki vermesi nedeniyle sinerjik ve antagonistik etkilerden kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, etkiler bitki türleri arasında da değişiklik göstermiş ve bu durum bitkilerin alım mekanizmalarıyla bağlantılı olabilir (Khan vd., 2016). Bazı elementler diğerlerinin emilimini artırırken diğerleri azaltır. Büyüme ortamındaki bir element, çevredeki diğer elementlerin etkilerini arttırarak (sinerjistik), azaltarak (antagonistik) veya ihmal düzeyinde daha hafif (basit etkileşim) etki yoluyla bitki tarafından emilimi etkileyebilir (Paustenbach, 2000). Elde edilen sonuçlar, ağır metal açısından yoğun ortamlarda yetişen bitkilerin alım kapasitesinde sinerjik bir etki olduğunu ve bitkilerin bu element iyonlarının birikim kapasitelerini artırdığını gösterdi. Cu, Cd, Pb ve As gibi ağır metallerin gerek madencilik faaliyetleri gerekse gübre, pestisit kullanımı başta olmak üzere topraklara karıştığı düşünüldüğünde (Dai vd., 2018), aralarında güçlü korelasyon saptanan söz konusu metallerin de benzer antropojenik kaynaklarla örneklem yapılan alanlara girdiği düşünülmektedir.

Ağır metaller atmosfere ulaştıktan sonra çökerek toprağa veya su kaynaklarına karışabilir. Topraktaki ağır metaller, bitkiler aracılığıyla besin zincirine dahil olup insan ve hayvanların vücuduna geçebilir. Ayrıca, gıda yoluyla doğrudan insanlara ulaşabileceği gibi, hayvanların tükettiği yemler aracılığıyla da dolaylı olarak insanlara taşınabilir. Bunun yanı sıra, ağır metaller göller, akarsular ve nehirler gibi yüzey sularını kirlettiği gibi, topraktan sızarak yer altı sularına da zarar verebilir. Ağır metal içeriği yüksek olan suların tarımda kullanılması, bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açabilir (Yerli vd., 2020). Ağır metaller bitki büyümesini engelleyebilir ve besin zincirlerini bozabilir, bu da biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açabilir (Abdullah vd., 2024; Fulke vd., 2024). Ağır metallerin toprak, su kaynakları ve diğer canlılar üzerindeki etkileri oldukça çeşitlidir ve bu durum ciddi çevresel sorunlara yol açabilir. Endüstriyel atıklar, madencilik faaliyetleri ve tarımsal ilaçlar gibi kaynaklardan suya karışan ağır metaller, su ekosistemleri için büyük bir tehdit oluşturur. Bu metaller, su canlılarının dokularında birikerek biyomagnifikasyona yol açar ve besin zinciri boyunca yoğunlukları giderek artar. Bunun sonucunda, suyun kalitesi bozulur ve ekosistemdeki doğal denge zarar görür (Şavran & Küçük, 2022). Ağır metaller, toprağın biyolojik yapısını bozarak verimliliğin düşmesine neden olur. Mikroorganizmaların faaliyetlerini engelleyerek organik madde döngüsünü sekteye uğratar ve bitkilerin gelişimini olumsuz etkiler (Aktop & Çağatay, 2020; Yerli vd., 2020; Şavran & Küçük, 2022). Ağır metaller besin zincirine toprak, su ve hava yoluyla girerek canlı organizmalarda birikime yol açar ve besin zinciri aracılığıyla diğer canlılara geçebilir. Zehirli metaller organizmalarda birikerek insanlar da dahil olmak üzere daha yüksek trofik seviyeleri etkiler (Pant & Singh, 2024; Bargah, 2024). Kirilenmiş topraklarda yetiştirilen sebzeler, yumrular, meyveler ve kuruyemişler gibi gıda ürünleri toksik ağır metaller biriktirebilir. Bu alanlardaki toprak, bu toksik maddelerin başlıca kaynağıdır. İnsanların toksik ağır metallerle maruz kalması toz soluma, kirilenmiş su ve gıda ürünlerinin alımı yoluyla gerçekleşir. Gıda yoluyla ağır

metaller çeşitli organlarda birikerek karaciğer ve böbreklerde metabolizmanın değişmesine, kardiyovasküler, sinir ve kemik bozukluklarına neden olur (Mahmood & Malik, 2014). Sonuç olarak, ağır metallerin çevrede birikimi, toprak ve su kaynaklarının kalitesini düşürerek tüm ekosistemi ve insan sağlığını tehdit eder. Bu nedenle, ağır metal kirliliğinin önlenmesi ve mevcut kirliliğin azaltılması büyük önem taşır.

Taş ocaklarının etkili yönetimi, önemli çevresel ve sağlık riskleri oluşturan ağır metal kirliliğini azaltmak için çok yönlü bir yaklaşım gerektirir. Mevcut düzenlemelerin bu zorlukları kapsamlı bir şekilde ele almak için iyileştirilmesi gerekmektedir. Ağır metal kirliliğinin izlenmesi ve kontrolü, katı önlemlerin uygulanmasını, düzenleyici çerçevelerin güncellenmesini ve kirlilik değerlendirmesi ve önlenmesi için gelişmiş teknolojilerin benimsenmesini içerir. Ağır metallerin çevreye ve ekosistemlere olan zararlarını en aza indirmek için yönetimsel önlemler ve politika değişiklikleri büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda taş ocaklarının işletilmesi sırasında kirliliği erken tespit etmek ve ele almak için indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS), atomik absorpsiyon spektrofotometrisi (AAS) gibi teknikler kullanılarak sahanın toprak ve su kalitesinin düzenli olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (İtam vd., 2024). Madencilik faaliyetleri sonucunda oluşan ağır metal içeren atıkların çevreye zarar vermemesi için etkin atık yönetimi politikaları hayata geçirilmelidir (Li vd., 2013). Çevresel yönetmeliklerin güncellenmesi ve ağır metal kirliliğinin önlenmesi adına; toprak ve suda izin verilen ağır metal konsantrasyonlarına daha sıkı sınırlar koyarak mevcut düzenlemelerin güçlendirilmesi ve bunların uluslararası standartlarla uyumlu olması sağlanmalıdır (Singh vd., 2024). Ağır metal kirliliğine yol açabilecek malzemelerin uygunsuz şekilde atılmasını önlemek için taş ocağı operasyonlarında atık yönetimi için kapsamlı yönergeler geliştirilmelidir (Srinivas, 2023). Ayrıca, uygunsuzluk cezaları da dahil olmak üzere çevre düzenlemelerine uyumu sağlamak için uygulama mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir (Hu vd., 2014). Son olarak; ağır metal kirliliğini izlemek ve kontrol altına almak için gerçek zamanlı olarak ağır metal seviyelerini izlemek için sürekli izleme sistemleri kurulmalı ve sonuçlar kamuoyuyla paylaşılmalıdır. Ağır metallerin toprak ve sudan arındırılması için bakteriler, algler ve hiperakümülatör yeteneği yüksek bazı bitkiler etkili bir şekilde kullanılmalıdır. Metal sanayisi ve madencilik sektöründe ağır metal salınımını en aza indirmek amacıyla gelişmiş filtreleme sistemlerinin kullanımı zorunlu tutulmalıdır. Bu önlemler ve düzenleyici değişiklikler hayati önem taşısa da, taş ocağı operasyonları üzerindeki daha sıkı düzenlemelerin ekonomik etkilerini de dikkate almak önemlidir. Çevre korumayı ekonomik uygulanabilirlikle dengelemek, endüstriyel büyümeyi engellemeden ağır metal kirliliğini en aza indiren sürdürülebilir uygulamalar geliştirmek için endüstri paydaşları ve düzenleyici kurumlar arasında iş birliği gerçekleştirmek gerekli ve önemlidir.

5. Sonuç

5. Result

Bu çalışma, *Juncus effusus* subsp. *effusus* ve *Alnus glutinosa* subsp. *barbata* bitkilerinin ağır metal içerikleri üzerine Rize ilindeki aktif ve pasif taş ocaklarının etkisini ortaya çıkaran ilk çalışmadır. *Alnus glutinosa* subsp. *barbata* Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As ve Pb elementlerini en yüksek oranda biriktirirken, *Juncus effusus* subsp. *effusus* ise sadece Mn elementini en yüksek oranda biriktirmiştir. Bitkilerin Cu, Mn, Fe ve Zn içerikleri, sürdürülebilir büyümeleri için izin verilen sınır değerinde bulunmuştur. Uygulama sonuçları ele alındığında, yıkanmamış yaprakların daha yüksek oranda ağır metal içerdikleri tespit edilmiştir. Sperman'ın sıralama korelasyon katsayısı analizine göre Cr içeriği ile Fe, Ni, Cu, As ve Pb içerikleri arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Elementler arasındaki ilişkinin seviyelerine bakıldığında Cr ile Fe, As ve Pb elementleri yüksek seviyede, Cr ile Ni ve Cu elementleri orta seviyede, Cr ile Zn ve Mn elementleri ise düşük seviyede korelasyon göstermiştir. Bitkiler ağır metal biriktirme yönünden kıyaslandıklarında, odunsu bir tür olan *Alnus glutinosa* subsp. *barbata*'nın çalışılan metalleri daha fazla biriktirdiği ortaya çıkarılmıştır. Mevcut araştırma aktif ve pasif taş ocakları ile temiz alanlarda otsu ve odunsu türlerin biyoakümülyasyonunun izlenmesinin avantajlarını sunmaktadır. Ağır metallerin çevresel ve ekolojik etkileri, ekosistemlerin tüm bileşenlerini etkileyerek geniş çaplı sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, ağır metal kirliliğinin önlenmesi ve mevcut kirliliğin azaltılması için etkin politikalar ve sürdürülebilir temizleme teknolojilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Rize ilindeki taş ocaklarının bitkiler üzerindeki etkisi ile ilgili mevcut bilgi durumu eksiktir. Bu çalışma, taş ocaklarının çevresindeki toksik ağır metallerin kirlilik durumları hakkında bir veri tabanının oluşturulmasına ve gelecekteki çalışmalar ve karşılaştırmalar için referans noktası olarak hizmet etmeyi sağlayacaktır. Elde edilen bulgular, ağır metal kirliliğinin olduğu alanlarda alınacak önlemlere ilişkin yararlı bir bilimsel öngörü oluşturmaktadır. Sonuç olarak, çalışmanın sonuçları çalışma alanının belirli ekolojik ve insan sağlığı risklerine sahip olduğunu göstermiştir; bu nedenle ekolojik çevreyi ve insan sağlığını korumak için bölgedeki ağır metal kirliliğinin önlenmesi, kontrolü ve yönetimine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Araştırmamızın sonuçlarını belli bir ölçüde etkileyebilecek bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Bulgularımız örneklem yapılan alan sayısının azlığı, sınırlı bitki çeşidine yer verilmesi, örnek sayısının azlığı, sadece bir kez örneklem yapılması, sınırlı sayıda metallere odaklanması gibi belirli kısıtlamalardan etkilenebilir. Bir diğer kısıtlama ise çalışmanın sadece Rize ilinin iki farklı ilçesindeki taş ocaklarına odaklanmasıdır. Bu durum; bulguların Türkiye'deki veya dünyadaki diğer madencilik alanlarına genellenebilirliğini sınırlayabilir. Çalışılan bölgenin toprak özellikleri de ağır metallerin yararlanımlarını kısıtlayabilir. Ayrıca çalışma, ağır metal konsantrasyonları hakkında veri sağlarken, bu metallerin çalışılan bitkiler üzerindeki potansiyel biyolojik etkilerini veya insan sağlığı üzerindeki etkilerini araştırmamaktadır.

Yapılan bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, madencilik alanları, endüstriyel atık sahaları ve ağır metal kirliliğine maruz kalan tarım topraklarında su ve toprak arıtımı için ağır metal toleransı ve hiperakümülatör kapasitesi yüksek olan bitki türlerinin belirlenmesi, farklı ağır metaller için spesifik hiperakümülatör bitkilerin seçilmesi, fitoremediasyon potansiyeli yüksek uygun bitki türlerinin yetiştirilmesi önerilir. Bununla birlikte taş ocaklarının toprak erozyonu, su kaynakları, hava kalitesi, habitat kaybı, biyoçeşitlilik üzerine uzun vadeli etkilerinin ortaya çıkarılması, uydu görüntüleme ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi uzaktan algılama teknikleri kullanılarak uzun vadeli ekolojik etkilerinin daha iyi anlaşılması ve çevresel yönetim stratejilerinin geliştirilerek sürdürülebilir çözümler üretilmesi önerilir. Çevre kirliliğini ve buna bağlı sağlık risklerini azaltmak için, kitleleri bilinçlendirme, endüstriyel atıkların uygun şekilde yönetimi, evsel ve endüstriyel atıkların çevredeki alanlara bırakılmasını düzenleyen mevcut yasalarda güncellemeler yapılması, endüstriyel alanların yerleşim yerlerinden uzaklaştırılması, mikrobiyal iyileştirme ve ilgili alanda bilinen tıbbi veya besinsel rolü olmayan yabancı otların/ağaçların fitoremediasyon olarak kullanılması gibi kirliliği azaltma stratejileri önerilir.

Teşekkür

Acknowledgement

Bitkilerin teşhisindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Serdar MAKBUL'a teşekkürlerimi sunarım. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederim.

Yazar katkısı

Author contribution

Araştırma, Metodoloji, Kavramsallaştırma, Kaynaklar, Yazma-İnceleme ve Düzenleme.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Abdullah, M., Ali, S.F., & Khan, S.U. (2024). The overview of the problem of heavy metals contamination in the environment. In: *Heavy Metal Contamination in the Environment* (pp. 1-18). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032685793-1>
- Akkemik, Ü. (Ed.). (2014). Türkiye'nin doğal-egzotik ağaç ve çalıları: Gymnospermiler, Angiospermiler (AG). TC Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü.
- Aktop, Y., & Çağatay, İ.T. (2020). Ağır metallerin balıklarda birikimi ve etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 6(1), 37-44.

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Alloway, B.J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer.
- Angulo-Bejarano, P.I., Puente-Rivera, J., & Cruz-Ortega, R. (2021). Metal and metalloid toxicity in plants: an overview on molecular aspects. *Plants*, 10, 635. <https://doi.org/10.3390/plants10040635>
- Asati, A., Pichhode, M., & Nikhil, K. (2016). Effect of heavy metals on plants: an overview, *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 5(3), 56-66.
- Bargah, R.K. (2024). Heavy metals: environmental pollution and impact on human health, *Futuristic Trends in Chemical Material Sciences & Nano Technology*, Vol. 3 Book 18, IIP Series, Page no.461-482, e-ISBN: 978-93-5747-640-9. <https://www.doi.org/10.58532/V3BDCS18CH37>
- Binici, A., Pulatsü, S., & Bursa, N. (2021). Evaluation of sediment dredging on heavy metal concentrations in Mogan Lake's sediment (Ankara, Turkey). *COMU Journal of Marine Sciences and Fisheries*, 4(2), 159-167. <https://doi.org/10.46384/jmsf.987343>
- Boukaka, K., & Mayache, B. (2020). Phytoremediation of soil contaminated by heavy metals within a Technical Landfill Center Vicinity: Algerian case study. *Pollution*, 6(4), 811-826. <https://doi.org/10.22059/poll.2020.301691.792>
- Bradl, H. (2004). Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277(1), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.04.005>
- Chen, H.Y., Teng, Y.G., Lu, S.J., Wang, Y.Y., & Wang, J.S. (2015). Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of the Total Environment*, 512, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025>
- Chowdhary, P., Yadav, A., Singh, R., Chandra, R., Singh, D.P., Raj, A., & Bharagava, R.N. (2018). Stress response of *Triticum aestivum* L. and *Brassica juncea* L. against heavy metals growing at distillery and tannery wastewater contaminated site. *Chemosphere*, 206, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.156>
- Clemens, S., Aarts, M. G., Thomine, S., & Verbruggen, N. (2013). Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. *Trends in Plant Science*, 18(2), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.003>
- Dabanovic, V., Soskic, M., Durovic, D., & Mugosa, B. (2016). Investigation of heavy metals content in selected tea brands marketed in Podgorica, Montenegro, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(12), 4798-4704. [http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7\(12\).4798-04](http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7(12).4798-04)
- Dai, L., Wang, L., Li, L., Liang, T., Zhang, Y., Ma, C., & Xing, B. (2018). Multivariate geostatistical analysis and source identification of heavy metals in the sediment of Poyang Lake in China. *Science of the Total Environment*, 621, 1433-1444. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.085>
- Ediaghonya, T.F., Ogunjobi, J.A., & Olutayo, O.O. (2021). Effect of quarry activities on selected biological resources around quarry site within Onigambari forest plantation, Oyo State, Nigeria. *Environmental Geochemistry and Health*, 43(6), 2271-2283. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00555-w>
- Ekim, T. (2012). Türkiye Bitkileri Listesi; Damarlı Bitkiler.
- Ekpo, F.E., Nzegblue, E.C., & Asuquo, M. (2012). A comparative study of the influence of heavy metals on soil and crops growing within quarry environment at Akamkpa, Cross River State, Nigeria. *Global Journal of Agricultural Sciences*, 11(1), 1–4. <https://doi.org/10.4314/GJASS.V11I1.1>
- Fashola, M.O., Ngole-Jeme, V.M., & Babalola, O.O. (2016). Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance. *International journal of environmental research and public health*, 13(11), 1047. <https://doi.org/10.3390/ijerph13111047>
- Fulke, A.B., Ratanpal, S., & Sonker, S. (2024). Understanding heavy metal toxicity: Implications on human health, marine ecosystems and bioremediation strategies. *Marine Pollution Bulletin*, 206, 116707. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116707>

- Greksa, A., Žunić, V., Mihajlović, I., Blagojević, B., Vijuk, M., Podunavac-Kuzmanović, S., Kovačević, S., & Štrbac, M. (2023). Analysis of urban runoff remediation potential of zinc with *Juncus effusus* L. and *Iris pseudacorus* L. plants. PREPRINT. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3612181/v1>
- Grygar, T. M., Hošek, M., Elznicová, J., Machová, I., Kubát, K., Adamec, S., Tůmová, Š., Rohovec, J., & Navrátil, T. (2023). Mobilisation of Cd, Mn, and Zn in floodplains by action of plants and its consequences for spreading historical contamination and fluvial geochemistry. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 40461-40477. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25113-y>
- Guney, D., Koc, I., Isinkaralar, K., & Erdem, R. (2023). Variation in Pb and Zn concentrations in different species of trees and shrubs and their organs depending on traffic density. *Baltic Forestry*, 29(2), id661-id661. <https://doi.org/10.46490/BF661>
- Hamza, S.M. (2022). Comparative study of physiological and phenotype characteristics of *Juncus rigidus* L. rhizome in two regions in Basrah government. *British Journal of Global Ecology and Sustainable Development*, 11, 236-245.
- Hançerlioğulları, A., Turhan, Ş., Baştuğ, A., & Madee, Y.G.A. (2023). Türkiye'deki ocaklardan alınan doğal kil mineral örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 26(4), 1691-1696. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1356125>
- Haq, Z.U., Khan, S.M., Abdullah, Z.A., Iqbal, M., Khan, R., Rasheed, S., & Abbas, Z. (2022). Macro-and micro-anatomical diversity in the *Alnus nitida* (SPACH) endl. growing in varying climatic conditions of Sino-japanese region of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 54(3), 1055-1064. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2022-3\(36\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2022-3(36))
- He, Z. L., Yang, X.E., & Stoffella, P.J. (2015). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19(2-3), 125-140. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.010>
- Horasan, B., Ozturk, A., & Tugay, O. (2021). Nb–Sr–Pb isotope analysis in soils of abandoned mercury quarry in northwest Black Sea (Turkey), soil and plant geochemistry, evaluation of ecological risk and its impact on human health. *Environmental Earth Sciences*, 80(15), 1-19. <https://doi.org/10.1007/S12665-021-09775-4>
- Hrdlička, P., & Kula, E. (2004). Changes in the chemical content of birch (*Betula pendula* Roth) leaves in the air polluted Krusne Hory mountains. *Trees*, 18(2), 237–244. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0301-z>
- Hrdlička, P., & Kula, E. (2024). Element contents and their seasonal dynamics in leaves of alder *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(2), 224. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12367-x>
- Hu, H., Jin, Q., & Kavan, P. (2014). A study of heavy metal pollution in China: current status, pollution-control policies and countermeasures. *Sustainability*, 6(9), 5820–5838. <https://doi.org/10.3390/SU6095820>
- Ifeoma, E.L., Awotoye Olusegun, O., & Ogbonna Princewill, C. (2014). Spatial distribution of heavy metals in soil and plant in a quarry site in Southwestern Nigeria. *Research Journal of Chemical Sciences*, 4(8), 1-6.
- Itam, Y.B., Ogar, V.O., Ekpenyong, E.E., & Ebong, E.E. (2024). Assessment of heavy metal contamination and risk associated with quarrying activities in Marksino Concession Area, Akamkpa. *International Journal of Environment and Pollution Research*, 12(2), 12–39. <https://doi.org/10.37745/ijepr.13/vol12n21239>
- Jiang, H.H., Cai, L.M., Hu, G.C., Wen, H.H., Luo, J., Xu, H.Q., & Chen, L.G. (2021). An integrated exploration on health risk assessment quantification of potentially hazardous elements in soils from the perspective of sources. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111489. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111489>
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2011). *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton: CRC.
- Khan, A., Khan, S., Alam, M., Amjad Khan, M., Aamir, M., Qamar, Z., Rehman, Z., & Perveen, S. (2016). Toxic metal interactions affect the bioaccumulation and dietary intake of macroand micro-nutrients, *Chemosphere*, 146, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.014>
- Khan, A.H.A., Velasco-Arroyo, B., Rad, C., Curiel-Alegre, S., Rumbo, C., De Wilde, H., Pérez-de-Mora, A., Martel-Martín, S., & Barros, R. (2024). Metal (loid) tolerance, accumulation, and phytoremediation potential of wetland macrophytes for multi-metal (loid)s polluted water. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35519-5>

- Lameed, G.A., & Ayodele, A.E. (2010). Effect of quarrying activity on biodiversity: Case study of Ogbere site, Ogun State Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(11), 740-750. <https://doi.org/10.5897/AJEST10.166>
- Leventeli, Y., Yalcin, F., & Kilic, M. (2019). An investigation about heavy metal pollution of Duden and Goksu Streams (Antalya, Turkey). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2423-2436. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1702_24232436
- Li, X.Y., Liu, L.J., Wang, Y.G., Luo, G.P., Chen, X., Yang, X.L., Myrna Hall, H.P., Guo, R.C., Wang, H.J., Cui, J.H., & He, X.Y. (2013) Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. *Geoderma*, 192, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.011>
- Madhavan, P., & Sanjay, R. (2005). *Budhpura 'Ground Zero' Sandstone quarrying in India*, India Committee of the Netherlands, Netherlands, 32.
- Mahmood, A., & Malik, R.N. (2014). Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(1), 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.002>
- Maňková, B., Godzik, B., Badea, O., Shparyk, Y., & Moravčík, P. (2004). Chemical and morphological characteristics of key tree species of the Carpathian Mountains. *Environmental Pollution*, 130(1), 41-54. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.10.020>
- Matys Grygar, T., Faměra, M., Hošek, M., Elznicová, J., Rohovec, J., Matoušková, Š., & Navrátil, T. (2021). Uptake of Cd, Pb, U, and Zn by plants in floodplain pollution hotspots contributes to secondary contamination. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51183-51198. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14331-5>
- Monzón, A., & Azcón, R. (2001). Growth responses and N and P use efficiency of three *Alnus* species as affected by arbuscular-mycorrhizal colonisation. *Plant Growth Regulation*, 35, 97–104. <https://doi.org/10.1023/A:1013875501259>
- Mou, F., Yang, J., Li, B., Chen, J., & Wang, J. (2021). Characteristics of heavy metal accumulation in five wild plants in Huize Lead-Zinc mining area. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 261, p. 04015). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126104015>
- Müller, A., Österlund, H., Marsalek, J., & Viklander, M. (2020). The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of the Total Environment*, 709, 136125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136125>
- Nodefarahani, M., Aradpouri S., Noori, R., Tang, Q., Partani, S., & Klöve, B. (2020). Metal pollution assessment in surface sediments of Namak Lake, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 45639-45649. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10298-x>
- Odeyemi, F.A., Soyinka, O.O., Amballi, A.A., & Adenusi, H.A. (2021). Heavy Metals Exposure Through Quarry Operation in Ago Iwoye, Ogun State, Nigeria. *FUW Trends in Science & Technology Journal*, 6(1), 270-27.
- Ogbonna, C.E., Nwafor, F.I., & Ogbonnaya, O.O. (2020). Dust accumulation, heavy metal content and stomata morphology of some medicinal plants at Rock Quarrying locations at Lokpaukwu, Nigeria. *International Journal of Environment and Climate Change*, 10(12), 540-549. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2020/V10I1230331>
- Ogbonna, P.C., Emea, R., & Teixeira da Silva, J.A. (2011). Heavy metal concentration in soil and woody plants in a quarry. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 93(5), 895-903. <https://doi.org/10.1080/02772248.2011.564361>
- Okafor, F.C. (2006). Rural Development and the Environmental Degradation versus Protection: In Sada, P.O. & Odemrho, T. (eds.). *Environmental Issues and Management in Nigerian Development*, 150-163, Unical Press.
- Oliveira, R.S., Castro, P.M.L., Dodd, J.C., & Vosátka, M. (2005). Synergistic effect of *Glomus intraradices* and *Frankia* spp. on the growth and stress recovery of *Alnus glutinosa* in an alkaline anthropogenic sediment. *Chemosphere*, 60, 1462–1470. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.038>

- Padmapriya, S., Murugan, N., Ragavendran, C., Thangabalu, R., & Natarajan, D. (2016). Phytoremediation potential of some agricultural plants on heavy metal contaminated mine waste soils, salem district, tamilnadu. *International Journal of Phytoremediation*, 18(3), 288-294. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1085832>
- Pant, M., & Singh, J. (2024). *Distribution of heavy metals contamination in the environment and their toxicological impacts*. 95-113. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032685793-7>
- Park, J.H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N.S., & Chung, J.W. (2011). Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3), 549-574. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.082>
- Paustenbach, D.J. (2000). The practice of exposure assessment: a state-of-the-art review. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B: Critical Reviews*, 3(3), 179-291. <https://doi.org/10.1080/10937400050045264>
- Pecina, V., Juříčka, D., Kynický, J., Baltazár, T., Komendová, R., & Brtnický, M. (2020). The need to improve riparian forests management in uranium mining areas based on assessment of heavy metal and uranium contamination. *Forests*, 11(9), 952. <https://doi.org/10.3390/f11090952>
- Samara, T., Spanos, I., Papachristou, T.G., & Platis, P. (2022). Assessment of heavy metal pollution using forest species plantations of post-mining landscapes, Ptolemais, N. Greece. *Mining*, 2(3), 578-588. <https://doi.org/10.3390/mining2030031>
- Sasmaz, M., Topal, E.I.A., Obek, E., & Sasmaz, A. (2015). The potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. to remove Cu, Pb, Zn, and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey. *Journal of Environmental Management*, 163, 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.029>
- Sayara, T., Hamdan, Y., & Basheer-Salimia, R. (2016). Impact of air pollution from quarrying and stone cutting industries on agriculture and plant biodiversity. *Resources and Environment*, 6(6), 122–126. <https://doi.org/10.5923/j.re.20160606.04>
- Sengupta, M. (1992). *Environmental Impacts of Mining*, Lewis Publishers. Monitoring, restoration and control. Boca Raton, FL: Lewis Publishers. United Nation, 9781003164012, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781003164012>
- Shah, A., Niaz, A., Ullah, N., Rehman, A., Akhlaq, M., Zakir, M., & Suleman Khan, M. (2013). Comparative study of heavy metals in soil and selected medicinal plants. *Journal of Chemistry*, 2013: 621265. <https://doi.org/10.1155/2013/621265>
- Singh, A., Singh, B. P., Raghav, Y., & Mishra, V. (2024). *Regulatory frameworks and guidelines aimed at controlling and minimizing heavy metals exposure*. 171–179. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032685793-11>
- Smedley, P.L., & Kinniburgh, D.G. (2002). A review of the source, behaviour, and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Sood, A., Uniyal, P.L., Prasanna, R., & Ahluwalia, A.S. (2012). Phytoremediation potential of aquatic macrophyte, *Azolla*. *Ambio*, 41(2), 122-137. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0159-z>
- Srinivas J., Purushotham A.V., Singh, P.K. (2023). Heavy metal contamination in industrial areas - suggestions, recommendations and future perspectives: a review. *International Journal of Science and Research*, 12(2), 1085-1091. <https://doi.org/10.21275/sr23218195916>
- Świątek, B., Woś, B., Chodak, M., Maiti, S. K., Józefowska, A., & Pietrzykowski, M. (2019). Fine root biomass and the associated C and nutrient pool under the alder (*Alnus* spp.) plantings on reclaimed technosols. *Geoderma*, 337, 1021–1027. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.025>
- Şavran, G., & Küçük, F. (2022). Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikimi ve Etkileri. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 65-78.
- Tatar, S., Obek, E., Arslan Topal, E.I., & Topal, M. (2019). Uptake of some elements with aquatic plants exposed to the effluent of wastewater treatment plant. *Pollution*, 5(2), 377-386. <https://doi.org/10.22059/poll.2019.269722.542>

- Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., & Sutton, D.J. (2012). *Heavy metal toxicity and the environment*. In: Luch, A. (eds) *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*. Experientia Supplementum, vol 101. Springer, Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Tiimub, B.M., Sarkodie, P.A., Monney, I., & Maxwell, O. (2015). Heavy metal contamination of soil by quarry dust at Asonomaso in the Ashanti Region of Ghana. *Chemistry and Materials Research*, 7, 42-50.
- Ugulu, I., Sahin, I., & Akcicek, E. (2024). Source identification and assessment of heavy metal contamination in different plant species in the alpine ecosystems of Mt. Madra. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 103656. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103656>
- Vincent, K.N., Joseph, N.N., & Raphael, K.K. (2012). Effects of quarry activities on some selected communities in the lower Manya Krobo District of the Eastern Region of Ghana. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2(3), 1-11. <https://doi.org/10.4236/acs.2012.23032>
- Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A. G., & Pigna, M. (2010). Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3), 268-292. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162010000100005>
- Wildová, E., Elznicová, J., & Kula, E. (2021). Seasonal Dynamics of manganese accumulation in European larch (*Larix decidua* Mill.), silver birch (*Betula pendula* Roth), and bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) over ten years of monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(9), 612. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09415-1>
- Wisłocka, M., Krawczyk, J., Klink, A., & Morrison, L. (2006). Bioaccumulation of heavy metals by selected plant species from uranium mining dumps in the Sudety Mts., Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(5), 811-818.
- Wolfe, E.R., Singleton, S., Stewart, N.U., Balkan, M.A., Ballhorn, D.J. (2022). Frankia diversity in sympatrically occurring red alder (*Alnus rubra*) and Sitka alder (*Alnus viridis*) trees in an early successional environment. *Trees*, 36(5), 1665-1675. <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02317-w>
- Yaacob, W.Z.W., Pauzi, N.S.M., & Mutalib, H.A. (2009). Acid mine drainage and heavy metals contamination at abandoned and active mine sites in Pahang. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 55, 15-20. <https://doi.org/10.7186/bgsm55200903>
- Yalcin, M.G., Coskun, B., Nyamsari, D.G., & Yalcin, F. (2019). Geomedical, ecological risk, and statistical assessment of hazardous elements in shore sediments of the Iskenderun Gulf, Eastern Mediterranean, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 78(15), 438. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8435-5>
- Yalçın, F. (2021). Data Analysis of Heavy metals in Akkaya Lake reservoir soils using multivariate statistical analysis. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(1), 249-257. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i1.249-257.4040>
- Yan, T., Lü, X., Yang, K., & Zhu, J. (2016). Leaf nutrient dynamics and nutrient resorption: A comparison between larch plantations and adjacent secondary forests in Northeast China. *Journal of Plant Ecology*, 9(2), 165-173. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv034>
- Yaşar, Ü. (2009). *Cercis siliquastrum* l. subsp. *siliquastrum* (fabaceae)'un ağır metal kirliliğinde biomonitor olarak kullanımı [Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi]
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Sahin, U., & Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114. <https://doi.org/10.46810/tdfd.718449>
- Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., & Wang, W. (2011). Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2155-2163. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.009>
- Zare, K., Sheykhi, V., & Zare, M. (2020). Investigating the heavy metals' removal capacity of some native plant species from the wetland groundwater of Maharlu Lake in Fars province, Iran. *International Journal of Phytoremediation*, 22(7), 781-788. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1710815>
- Zayed, A., & Terry, N. (2003). Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *Plant Soil*, 249, 139-156. <https://doi.org/10.1023/A:1022504826342>