

Rize'deki Taş Ocağı Çevresinde Yetişen Hedera helix L.'de Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Assessment of Heavy Metal Pollution in Hedera helix L. Growing Around the Quarry in Rize

Şule GÜZEL İZMİRLİ*¹ 

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Rize, Türkiye

Eser bilgisi /Article info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1724782

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Şule GÜZEL İZMİRLİ

e-mail: sule.guzel@erdogan.edu.tr

Geliş tarihi / Received

22.06.2025

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

26.09.2025

Kabul Tarihi / Accepted

26.09.2025

Elektronik erişim / Online available

15.10.2025

Anahtar kelimeler:

Ağır metal

Hedera helix L.

Rize

Taş ocağı

Türkiye

Keywords:

Heavy metal

Hedera helix L.

Rize

Quarry

Türkiye

Özet

Bu çalışmada, taş ocağı faaliyetlerinin *Hedera helix* L. bitkisinin ağır metal içeriği üzerindeki etkisi araştırıldı. Aktif ve pasif taş ocakları ile kontrol alanından alınan *H. helix* yapraklarında krom (Cr), demir (Fe), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), mangan (Mn) ve kobalt (Co) konsantrasyonları indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ile analiz edildi. En yüksek ağır metal konsantrasyonları aktif taş ocakları alanından alınan bitki örneklerinde bulundu. Yıkılmamış yaprakların, yıkamış yapraklara oranla daha yüksek miktarda ağır metal biriktirdiği görüldü. Fe, Cu, Zn, Cd ve Mn içeriklerinin kritik ve toksik değerleri aştığı tespit edildi. Pearson korelasyon analizine göre tüm elementler arasında pozitif yönde ve yüksek seviyede istatistiksel olarak önemli ilişki bulundu. Bu çalışma ile çalışma sahasındaki taş ocağı faaliyetlerinin sahanın etrafındaki ekosistem üzerinde olumsuz etkilerinin olabileceği ve bu durumun çevresel bir soruna dönüşmeden önce zamanında kontrol edilmesi gerektiği ön görüsüne varıldı.

Abstract

In this study, the effects of quarry activities on the heavy metal content of *Hedera helix* L. plant were investigated. Chromium (Cr), iron (Fe), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As), lead (Pb), cadmium (Cd), manganese (Mn) and cobalt (Co) concentrations in the leaves of *H. helix* L. taken from active and passive quarries and the control area were analyzed by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). Plant samples collected from active quarry areas exhibited the highest heavy metal concentrations. Unwashed leaves accumulated greater amounts of heavy metals than washed leaves. The levels of Fe, Cu, Zn, Cd, and Mn were found to exceed critical and toxic thresholds, indicating significant environmental contamination. According to Pearson correlation analysis, a significant positive and high-level relationship was found between all elements. This study predicted that quarry activities in the study area may harm the ecosystem around the site, and this situation should be checked on time before it turns into an environmental problem.

GİRİŞ

Ağır metaller ciddi çevre kirleticileridir ve toksisiteleri ekolojik, evrimsel, beslenme ve çevresel nedenlerden dolayı giderek daha önemli hale gelmektedir (Nagajyoti ve ark. 2010, Jaishankar ve ark. 2014). Ağır metaller toprakta ve bitkilerde birikme kabiliyetine sahip uzun vadeli kirleticiler grubunda yer almaktadır (White ve LeTard 2002). Metal zararlılığı bitkiler üzerinde olağanüstü bir etkiye ve öneme sahiptir ve nihayetinde tüm ekosistem bundan etkilenebilmektedir. Bu toksik ağır metaller, birikmenin yanı sıra büyümeyi geciktirir, ekosistemin verimliliğini düşürür ve tüm ekosistemin metabolizmasını büyük ölçüde değiştirebilir. Bu da bu bitkilerin ve ekosistemin tüketicilerinin fizyolojik ve biyokimyasal karakterlerini etkiler (Nagajyoti ve ark.

2010). Topraklarda yüksek metal konsantrasyonları, mikrobiyal topluluk kompozisyonunu değiştirebilir, besin döngüsü verimliliğini azaltabilir ve düşük biyolojik parçalanabilirlikleri nedeniyle onlarca yıl boyunca varlığını sürdürebilir (Giller ve ark. 1998). Bitki dokularında toksik metallerin birikmesi, besin zinciri yoluyla da taşınarak ekolojik ve insan sağlığı açısından riskler oluşturabilir (Alloway 2013).

Ağır metal kirliliği, öncelikle sanayileşme, madencilik ve uygunsuz atık bertarafı gibi antropojenik faaliyetler nedeniyle önemli çevresel zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Kurşun, cıva ve kadmiyum dâhil olmak üzere bu metaller biyolojik olarak parçalanmaz ve ekosistemlerde birikerek hem biyotik hem de abiyotik bileşenler üzerinde zararlı etkilere yol açabilmektedir. Ağır metaller toprağı ve suyu

kirleterek besin döngüsü ve toprak sağlığı için gerekli olan mikrobiyal toplulukları bozmaktadır (Ehis-Eriakha ve Akemu 2022). Kirlenmiş su kaynakları, suda yaşayan organizmalarda biyolojik birikime yol açarak tüm besin ağlarını etkileyebilir (Donald ve ark. 2022). Yüksek ağır metal seviyeleri bitki büyümesini ve tarımsal üretkenliği engelleyerek gıda güvenliği için risk oluşturabilir (Donald ve ark. 2022). Ayrıca, ağır metallere maruz kalan hayvanlar toksik etkiler yaşayabilir ve bu da üreme başarısının azalmasına ve ölüm oranlarının artmasına yol açabilir (Srivastava ve ark. 2024). Ağır metaller insan besin zincirine girebilir ve nörolojik bozukluklar, kanser dâhil olmak üzere ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir (Lubal 2024, Srivastava ve ark. 2024). Ağır metal kirliliği acil bir çevre sorunu olsa da, bazı bilim insanları belirli metallerin biyolojik işlevler için eser miktarda gerekli olduğunu savunmaktadır. Ancak, bunların birikmesiyle ilişkili riskler bu faydalardan çok daha ağır basmaktadır ve kirliliği azaltmak için acil eylem gerektirmektedir (Ehis-Eriakha ve Akemu 2022). Ağır metallerin düşük konsantrasyonları bile toksik olabilir ve bu da sıkı izleme ve kontrol önlemlerine olan ihtiyacı doğurmaktadır (Donald ve ark. 2022).

Madencilik alanları, çevredeki ekosistemler ve insan sağlığı için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Çoğunlukla ağır metallerle kirlenmiş alanlardır ve buradaki metaller sızarak nehirleri, su kaynaklarını ve yeraltı sularını kirletebilir (Eisler 2004). Taş ocaklığı, çevrede anında ve uzun vadeli istenmeyen etkiler yaratan ve hatta madenin kapatılmasından uzun süre sonra bile ekosistemler üzerindeki zararlı etkileri devam eden bir kalkınma faaliyetidir. Kırılmış kaya ocaklığı faaliyetleri, bir dizi ağır metal içeren önemli miktarda toz ve atık üretmektedir. Toprağa taşınan veya çözünen ağır metaller bitkiler tarafından alınabilir, yüzey veya yeraltı suyuna taşınabilmektedir. Ağır metaller besin zincirine girerek yüksek miktarlarda birikebilir, bitkisel gıdalar veya bitkisel ürünler yenildiğinde ise akut veya kronik toksisiteye (zehirlenme) ve insan sağlığı açısından ciddi risklere yol açabilir (Rabiu 2022).

Ağır metallerden kaynaklanan atmosfer veya toprak kirliliğinin izlenmesinde, özellikle bazı damarlı bitki türleri önemli biyoindikatörler olarak kullanılmaktadır. Yapılan

bazı çalışmalarda, sarmaşık yapraklarının kentsel partikül madde ve metal kirliliği değerlendirmeleri için uygun bir biyoindikatör olduğu gösterilmiştir (Castanheiro ve ark. 2016). Araliaceae familyasına ait olan *Hedera* L. cinsi, Avrupa ve Asya kıtalarının bitki örtüsünde yaygın olan on iki türe sahiptir (McAllister ve Marshall 2017). Bunlardan *Hedera helix* L. (duvar sarmaşığı) türü, yaygın olarak sarmaşık olarak bilinir, her dem yeşil, çok yıllık, Kuzey Yarımküre bölgeleri, Kuzey Amerika, Batı, Güney ve Orta Avrupa ve Asya'da doğal olarak yetişen, geniş bir Avrupa-Akdeniz dağılım alanına sahip bir bitkidir (Al-Snafi 2018). Ormanlık alanlar, orman kenarları, tarlalar, çitler, taşkın yatakları ve deniz seviyesinden 1000 m'ye kadar olan bozulmuş habitatlar dâhil olmak üzere çok çeşitli habitat türlerinde başarıyla yetişebilmektedir (Metcalf 2005, Strelau ve ark. 2018).

Rize ilindeki taş ocaklığı faaliyetlerinin bitkilerin ağır metal içeriklerini olumsuz yönde etkilediğine dair yapılmış birkaç çalışma mevcuttur (Güzel İzmirli 2025a,b). Bu çalışmaların arttırılmasına, taş ocaklarının ağır metal kirliliği yönünden çevre üzerinde nasıl bir etki oluşturduğunun araştırılmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, taş ocaklarından kaynaklanabilecek ağır metal kirliliği biyoindikatör potansiyeli yüksek *H. helix* bitkisinde araştırılmıştır. Bu çalışmada, Rize ilindeki aktif ve aktif olmayan taş ocaklarının çevresinde yetişen *Hedera helix*'in ağır metal (Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd, Mn ve Co) konsantrasyonlarının belirlenmesi, taş ocağı faaliyetlerinin bu türün ağır metal içerikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, yıkanmış ve yıkanmamış yapraklardaki ağır metal düzeylerinin karşılaştırılması, metaller arasındaki ilişkilerin korelasyon analizi ile değerlendirilmesi ve elde edilen tüm bulgular doğrultusunda *H. helix*'in ağır metal kirlilik profilinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca, bu çalışma Rize ilinde aktif ve pasif taş ocakları çevresinde yetişen *Hedera helix*'in ağır metal içeriklerinin incelendiği ilk araştırma niteliğindedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

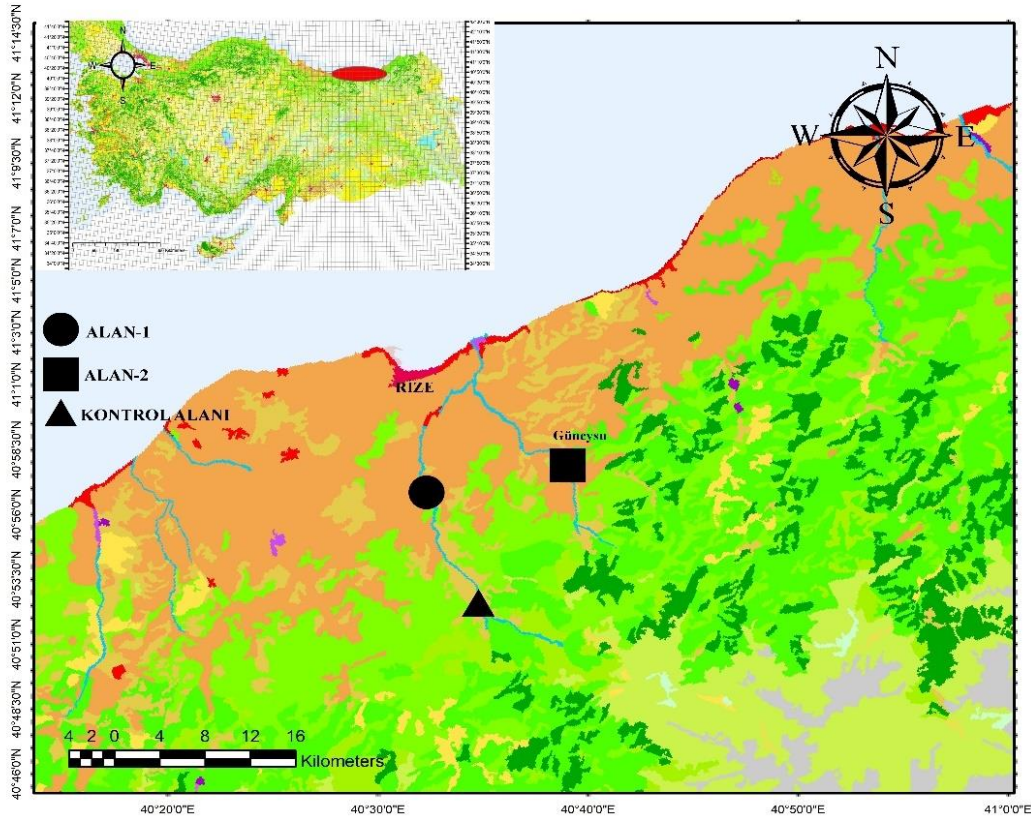
Çalışma, Rize ili Merkez ve Güneysu ilçelerine bağlı Kömürcüler, Gürgen ve Küçükçayır köylerinde

yürütülmüştür. Kömürcüler köyündeki aktif taş ocağı, Gürgen köyündeki pasif taş ocağı (terk edilmiş) ve Küçükçayır köyündeki kontrol alanı olmak üzere üç farklı örnek alan seçilmiştir. Kontrol alanı seçilirken ana yoldan

ve kirlilik faktörlerinden uzaklık ve araç ile ulaşımın olmaması kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Seçilen alanlara ait bilgiler Çizelge 1 ve Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek konumlarının koordinatları

Örnekleme	Lokaliteler	Enlem	Boylam
Alan-1 (Pasif Taş Ocağı)	Gürgen Köyü, Güneysu, Rize	40.947409°	40.538671°
Alan-2 (Aktif Taş Ocağı)	Kömürcüler Köyü, Merkez, Rize	40.964933°	40.650563°
Alan-3 (Kontrol Alanı)	Küçükçayır Köyü, Merkez, Rize	40.876701°	40.580136°



Şekil 1. Çalışma alanının haritası

Örnek Toplama ve Hazırlama

Seçilen alanlardan her biri farklı altı noktadan bitki numuneleri Haziran 2022 tarihinde eş zamanlı olarak aynı gün toplanmıştır. Laboratuvara getirilen bitki örnekleri “yıkamış” ve “yıkamamış” olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmıştır. Örneklerin yarısı yüzeydeki partikül ve dış kirleticilerin uzaklaştırılması amacıyla saf (deiyonize) su ile yıkamıştır. Her iki gruptaki bitki numuneleri 70 °C’de 48 saat boyunca sabit ağırlığa ulaşınca dek kurutulmuştur. Kurutulan örnekler porselen havanda homojen şekilde öğütülerek toz haline dönüştürülmüş ve analiz için hazır hale getirilmiştir.

Kimyasallar ve Reaktifler

Kullanılan tüm analitik saflıktaki kimyasallar ve reaktifler Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Çözelti ve seyreltmelerin hazırlanmasında 18.2 MΩ·cm dirençte ultra saf su (Human Corporation Zeneer Power-I) kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında kullanılan tüm cam ve plastik ekipmanlar, %20’lik HNO₃ çözeltisinde 24 saat bekletilerek dekontamine edilmiş, ardından ultra saf su ile durulanarak temiz hava koşullarında kurutulmuştur.

Numune Hazırlığı ve Çözündürme İşlemi

Homojen hale getirilen ve 0.2 g-0.5 g aralığında tartılan bitki numuneleri, her biri 7 mL suprapur %65 HNO₃ ve 1 mL suprapur %30 H₂O₂ içeren teflon kaplara alınmış, numuneler Milestone SK10 mikrodalga çözündürme ünitesinde çözündürülmüştür. Çözündürme işlemi sırasında sıcaklık, ilk 15 dakika içerisinde oda sıcaklığından 200 °C'ye yükseltilmiş, ardından 200 °C'de 15 dakika süreyle sabit tutulmuştur. Bu aşamayı takiben, numuneler yaklaşık bir saatlik süre zarfında oda sıcaklığına soğutulmuştur. Elde edilen çözeltiler 50 mL hacmindeki polipropilen falcon tüplere aktarılmış ve ultra saf su ile 50 mL'ye tamamlanarak analiz için hazır hale getirilmiştir. Kontrol amacıyla hazırlanan blank (kör) çözelti de, örneklerle aynı prosedürler izlenerek hazırlanmıştır.

Kalibrasyon ve Ağır Metal Analizleri

Kalibrasyon çözeltileri, analiz edilen Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd, Mn ve Co elementlerini içeren Agilent 8500–6940 2A kodlu 27 element karışımından hazırlanan 1000 ppm'lik stok çözeltilerin uygun seyreltmeleri ile oluşturulmuştur. Ağır metal konsantrasyonları, ICP-MS (Agilent 7700X) cihazında üç tekrarlı olarak belirlenmiştir. Cihazda uygulanan analiz koşulları Çizelge 2'de sunulmuştur. Ölçümlerin doğruluğu, kalibrasyon eğrilerinin yüksek derecede doğrusallığı ($R=0.9997-1.0000$), tespit sınırı (LOD) ve miktar tayini sınırı (LOQ) ile değerlendirilmiştir. LOD, kör çözeltilerden elde edilen standart sapmanın üç katının kalibrasyon eğrisi eğimine bölünmesiyle; LOQ ise LOD'un üç katı olarak hesaplanmıştır. Yöntemin hassasiyetine ilişkin LOD ve LOQ değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. ICP-MS cihazının çalışma koşulları

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

Kalite Kontrol ve Güvence Prosedürleri

Analizlerin güvenilirliğini ve doğruluğunu değerlendirmek amacıyla kalite kontrol uygulamaları üçlü tekrarlarla gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon ve ölçüm doğruluğunu sağlamak için uluslararası geçerliliğe sahip sertifikalı referans materyaller kullanılmıştır. Bu kapsamda, IAEA-336 kodlu liken referans materyali, sertifikalı referans materyal (CRM) olarak tercih edilmiştir. ICP-MS ile yapılan analizlerde, tüm hedef elementler için %90'ın üzerinde ölçüm doğruluğu elde edilmiştir. Sertifikalı değerler ile

ICP-MS aracılığıyla belirlenen konsantrasyonlar arasındaki karşılaştırmalı sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur. Bu çalışmada, çoklu element analizleri için ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) belirlediği EPA 6020 standardı esas alınmıştır. Numune analiz sürecinde 1 ppm konsantrasyonundaki iç standart çözeltisi (ISTD Agilent 5188-6525), her örnekle birlikte sürekli olarak sisteme verilmiş ve sinyal düzeltmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu uygulama, analiz sırasında olası matris etkilerini ve cihaz kaynaklı varyasyonları minimize etmeyi amaçlamıştır.

Çizelge 3. IAEA-336 bitki sertifikalı referans materyaline ait ölçülen ve sertifikalı element konsantrasyonlarının karşılaştırılması ($\mu\text{g kg}^{-1}$, kuru ağırlık)

Elementler	Liken						
	Sertifikalı Değerler	Ölçülen Değerler	Geri Kazanım Yüzdesi (%)	R ²	%RSD	LOD	LOQ
As	630	624	99.11	1.0000	8.04	0.045	0.135
Cr	1060	1048	98.85	0.9999	2.07	0.029	0.087
Cu	3600	3540	98.34	1.0000	1.23	0.125	0.375
Mn	63000	62024	98.45	0.9999	0.71	0.035	0.105
Ni	1070	1075	100.50	0.9999	1.73	0.026	0.078
Pb	4900	4812	98.20	1.0000	2.70	0.038	0.114
Zn	30400	31838	104.73	0.9997	0.63	1.673	5.019
Fe	430000	432710	100.63	0.9999	0.72	0.603	1.809
Cd	117	117	99.90	1.0000	13.91	0.004	0.012
Co	290	293	101.11	1.0000	2.41	0.003	0.009

%RSD: Yüzdelik Bağıl Standart Sapma

İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada elde edilen veriler, IBM SPSS Statistics 29.0 (IBM Corp, Armonk, NY, ABD) yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin dağılımı Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. Normallik varsayımını karşılayan veri setlerinde gruplar arası farklılıkların belirlenmesi için Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) uygulanmış, anlamlı bulunan değişkenlerde farklılıkların kaynağı Tukey HSD testi ile ortaya konulmuştur. Yıkanmış ve yıkanmamış yapraklar arasındaki farklar bağımsız örneklem t-testi ile, ağır metal konsantrasyonları arasındaki ilişkiler ise Pearson korelasyon analizi ile incelenmiştir. Parametrik testlerde anlamlı farkın derecesini belirlemek için eta-kare (η^2/d) hesaplaması yapılmıştır. Eta-kare hesaplaması bağımlı değişkendeki toplam varyansın ne kadarının bağımsız değişken tarafından açıklandığı hakkında bilgi verir. Eta-kare değerleri 0.00 ile 1.00 arasında değişir. 0.01, 0.06 ve 0.14 değerlerindeki eta-kare değerleri sırasıyla küçük, orta ve büyük etki büyüklüğü olarak dikkate alınmıştır (Cohen 1988, Emerson 2019). Mekânsal analizler ve harita tasarımı ArcMap 10.8 (ESRI 2020) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arazi örtüsü verileri, Copernicus Arazi İzleme Servisi tarafından sağlanan CORINE Arazi Örtüsü (CLC) veri setinden (European Environment Agency 2018) elde edilmiştir. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR

Örnekleme yapılan alanlar ile ağır metal konsantrasyonları arasındaki farklara ilişkin tek yönlü ANOVA sonuçları ele alındığı tüm elementler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Cr için; $F(2.17)=26.170$, $p < 0.001$, $r=0.88$, $\eta^2=0.777$

Fe için; $F(2.17)=6.927$, $p=0.007$, $r=0.69$, $\eta^2=0.480$

Ni için; $F(2.17)=46.338$, $p < 0.001$, $r=0.93$, $\eta^2=0.861$

Cu için; $F(2.17)=6.522$, $p=0.009$, $r=0.68$, $\eta^2=0.465$

Zn için; $F(2.17)=57.074$, $p < 0.001$, $r=0.94$, $\eta^2=0.884$

As için; $F(2.17)=9.792$, $p=0.002$, $r=0.75$, $\eta^2=0.566$

Pb için; $F(2.17)=27.643$, $p < 0.001$, $r=0.89$, $\eta^2=0.787$

Cd için; $F(2.17)=62.771$, $p < 0.001$, $r=0.95$, $\eta^2=0.893$

Mn için; $F(2.17)=90.145$, $p < 0.001$, $r=0.96$, $\eta^2=0.923$

Co için; $F(2.17)=5.811$, $p=0.014$, $r=0.66$, $\eta^2=0.437$

değerleri elde edilmiştir. Burada F değeri, gruplar arası varyansın gruplar içi varyansa oranını; parantez içindeki (2.17) serbestlik derecesini (df); p değeri istatistiksel anlamlılık düzeyini; r katsayısı etki büyüklüğünün yönünü ve gücünü; η^2 ise açıklanan varyans yüzdesini ifade etmektedir. Etki büyüklüğü değerleri, örneklem alanlarının tüm element içeriklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Veriler, farklı alanlar arasında aynı materyalin birikimde Co içeriklerinde $p < 0.05$, diğer tüm elementlerin içeriklerinde ise $p < 0.01$ seviyesinde önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Örnekleme alanlarından toplanan bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonları Çizelge 4'te gösterilmiştir. Aktif taş ocağı yakınında yetişen bitkiler, pasif taş ocağı ve kontrol alanlarında yetişen bitkilere göre daha yüksek miktarda ağır metal biriktirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca örnekleme

alanları ele alındığında *H. helix* bitkisinin minimum ve maksimum Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd, Mn ve Co konsantrasyonları sırasıyla 0.127-0.657 mg kg⁻¹, 136.300-549.939 mg kg⁻¹, 0.438-1.486 mg kg⁻¹, 4.511-86.886 mg

kg⁻¹, 61.074-262.437 mg kg⁻¹, 0.025-0.075 mg kg⁻¹, 0.137-0.580 mg kg⁻¹, 0.559-13.630 mg kg⁻¹, 137.009-1724.74 mg kg⁻¹ ve 0.048-0.147 mg kg⁻¹ arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4. Bitki örneklerinde örnekleme alanlarına göre bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri (mg kg⁻¹) (Ortalama±SH)

<i>Hedera helix L.</i>										
Alanlar	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cd	Mn	Co
Alan-1	0.36±0.02b	259.40±57.60b	1.03±0.06b	19.77±2.76ab	98.31±8.58b	0.059±0.004a	0.21±0.00b	1.78±0.2b	547.17±73.23b	0.09±0.05ab
Alan-2	0.56±0.03a	443.68±31.77a	1.26±0.07a	50.09±15.37a	222.52±16.46a	0.061±0.005a	0.44±0.04a	10.94±1.2a	1509.88±98.32a	0.11±0.01a
Alan-3	0.22±0.03c	247.01±30.44b	0.50±0.02c	4.91±0.12b	68.03±2.73b	0.034±0.004b	0.17±0.01b	0.74±0.07b	191.58±21.25c	0.07±0.07b
Genel	0.38±0.03	316.70±31.47	0.93±0.08	24.92±6.68	129.62±17.24	0.051±0.003	0.28±0.03	4.49±1.17	749.54±140.57	0.09±0.06
Referans değerler	1.3	20	10	10	50	0.1-1.0	10	0.3	200	0.3

SH: Standart Hata, Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar Tukey HSD testine göre anlamlı derecede farklıdır (p<0.05)

Analiz edilen *H. helix* bitkisinin, yıkanmış ve yıkanmamış yapraklarındaki ağır metal içerikleri Çizelge 5'te verilmiştir. Yıkama işlemi *H. helix*'in Cu elementi için p<0.05, Fe ve Co elementleri için ise p<0.001 seviyesinde anlamlı farklılıklar gösterirken, diğer elementlerde herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir. Ortalamalara bakıldığında, yıkanmamış yaprakların ağır metal içeriklerinin yıkanmış yaprakların ağır metal içeriklerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Cr için t(16)=1.935, p=0.071, d=0.190; Fe için

t(16)=3.276, p=0.005, d=0.402, Ni için t(16)=0.881, p=0.392, d=0.046; Cu için t(16)=2.251, p=0.039, d=0.240; Zn için t(16)=1.192, p=0.251, d=0.082; As için t(16)=1.195, p=0.250, d=0.082; Pb için t(16)=1.361, p=0.192, d=0.104; Cd için t(16)=0.947, p=0.358, d=0.053; Mn için t(16)=1.000, p=0.332, d=0.059 ve Co için t(16)=3.746, p=0.002, d=0.467 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlarla büyük etki boyutuna sahip (d>0.14) Cr, Fe, Cu ve Co elementlerinin azalımı üzerine yıkama işleminin güçlü bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5. Yıkanmış ve yıkanmamış bitki örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri (mg kg⁻¹) (Ortalama±SH)

<i>Hedera helix L.</i>										
Yapraklar	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cd	Mn	Co
Yıkanmamış	0.45±0.04	398.94±30.82	1.00±0.12	38.44±11.89	149.93±27.97	0.056±0.007	0.32±0.05	5.60±2.01	890.11±219.56	0.11±0.007
Yıkanmış	0.31±0.04	234.45±39.62	0.86±0.10	11.40±1.68	109.32±19.44	0.046±0.001	0.23±0.02	3.37±1.22	608.98±175.60	0.07±0.005
Toplam	0.38±0.04	316.70±31.47	0.93±0.08	24.92±6.68	129.62±17.24	0.051±0.003	0.28±0.03	4.49±1.17	749.54±140.57	0.09±0.06

SH: Standart Hata

Pearson korelasyon analizine göre temiz alan ile aktif taş ocağı alanındaki tüm elementler arasında çok güçlü, pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı (p<0.01) ilişkiler

tespit edilmiştir. Ağır metallerin birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren korelasyon katsayıları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Ağır metaller arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cd	Mn	Co
Cr	1.00									
Fe	0.82(**)	1.00								
Ni	0.89(**)	0.60(**)	1.00							
Cu	0.82(**)	0.70(**)	0.77(**)	1.00						
Zn	0.93(**)	0.83(**)	0.82(**)	0.87(**)	1.00					
As	0.65(**)	0.51(*)	0.76(**)	0.77(**)	0.65(**)	1.00				
Pb	0.91(**)	0.77(**)	0.79(**)	0.90(**)	0.96(**)	0.59(**)	1.00			
Cd	0.89(**)	0.77(**)	0.78(**)	0.87(**)	0.99(**)	0.60(**)	0.98(**)	1.00		
Mn	0.94(**)	0.82(**)	0.85(**)	0.83(**)	0.99(**)	0.67(**)	0.94(**)	0.97(**)	1.00	
Co	0.85(**)	0.72(**)	0.80(**)	0.84(**)	0.73(**)	0.73(**)	0.75(**)	0.67(**)	0.72(**)	1.00

** : Korelasyon p<0.01, * : p<0.05 seviyesinde önemlidir

TARTIŞMA

Bu çalışma, Rize ilinde seçilmiş taş ocağı madenlerinin *H. helix* bitkisi üzerinde ağır metal kirliliğini ortaya koyan ilk kapsamlı çalışmadır. Granit, kireç taşı, mermer, kum taşı, arduvaz ve hatta seramik karolar yapmak için kil gibi geleneksel sert döşemelerde kullanılan malzemelerin çoğunu sağlamak için taş ocağı işletmeciliği gereklidir. Ancak, diğer birçok insan yapımı faaliyet gibi, taş ocağı işletmeciliği de çevre üzerinde önemli bir etkiye neden olur.

Bu çalışmada, *H. helix*'in yapraklarındaki Pb içeriğinin 0.137 ila 0.580 mg kg⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. WHO (Dünya Sağlık Örgütü) standartlarına göre bitkilerde kurşunun izin verilen sınırı 10 mg kg⁻¹'dir (Dabanovic ve ark. 2016). Toplanan tüm bitki örneklerinde Pb konsantrasyonu izin verilen sınırın altında kaydedilmiştir. Sonuçlar, Rahman ve ark. (2013), Nazir ve ark. (2015), Kırış (2020) ve Rabiü (2022)'nin bitkilerin Pb değerlerinin izin verilen değerden düşük olduğunu beyan ettikleri raporlarıyla benzerdir. Benzer olarak, ur Rehman ve ark. (2019)'nin yapmış oldukları başka bir çalışmada *H. helix*'in yaprak Pb değerlerinin 1.25 µg g⁻¹ olduğu ve izin verilen değerin çok altında olduğu ifade edilmiştir.

H. helix'in yapraklarındaki Zn içeriği 61.074 ila 262.437 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir. Bitkilerde çinkonun izin verilen sınırı 50 mg kg⁻¹'dir (Dabanovic ve ark. 2016). Toplanan tüm bitki örneklerinde Zn konsantrasyonu izin verilen sınırın üstünde kaydedilmiştir. Benzer şekilde, Kırış (2020) ve Saran ve ark. (2024) çalışmasındaki bitkilerin yüksek Zn içeriğine sahip olduklarını ve izin verilen değerin üzerinde Zn içerdiklerini rapor etmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü'nün bitkiler için önerdiği bakırın izin verilen sınırı 10 mg kg⁻¹'dir (Dabanovic ve ark. 2016). Toplanan tüm bitki örneklerinde Cu konsantrasyonu 4.511-86.886 mg kg⁻¹ aralığında olup, aktif ve pasif taş ocağı alanlarından elde edilen Cu konsantrasyonu izin verilen sınırın üzerinde bulunmuştur. Bu bulgular bitkilerde yüksek Cu konsantrasyonu bildiren Hasan ve ark. (2012), Kırış (2020), Rabiü (2022) sonuçlarına da benzerdir. Temiz ve pasif bölgelere ait Cu içerikleri ise Rahman ve ark. (2013) ve Saran ve ark. (2024)'ün yapmış

oldukları çalışmalardaki sonuçlara benzer olup izin verilen limitin altında bulunmuştur.

Bitkilerde maksimum izin verilebilir Fe sınırı 20 mg kg⁻¹'dir (Shah ve ark. 2013). Çalışma alanındaki bitkilerde Fe konsantrasyonları 136.300–549.939 mg kg⁻¹ aralığında belirlenmiş olup, bu değerlerin tamamı bitkiler için önerilen standart sınırların üzerindedir. Nazir ve ark. (2015), Kırış (2020) ve Saran ve ark. (2024) yapmış oldukları çalışmalarında izin verilen limitten daha yüksek Fe konsantrasyonları bildirmişlerdir.

Çalışma alanındaki tüm bitkilerin Ni konsantrasyonları 0.438 ila 1.486 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir. Bitkilerde Ni için izin verilen sınır 10 mg kg⁻¹'dir (Dabanovic ve ark. 2016). Çalışmada analiz edilen örneklerin Ni değerleri maksimum izin verilebilir limitin altındadır. Benzer şekilde, Rahman ve ark. (2013) yapmış olduğu çalışmada bitkilerdeki Ni içeriğini 1.7 mg kg⁻¹ olarak izin verilen limitin altında tespit etmişlerdir.

Tıbbi bitkilerde Cd değerinin maksimum 0.3 mg kg⁻¹'a kadar toksik olmadığı kabul edilmektedir (WHO 1999). Rahman ve ark. (2013) yapmış olduğu çalışmasında bitkilerdeki Cd içeriğini 111 µg kg⁻¹ olarak tespit etmiştir. Çalışmadaki bitkinin Cd içeriklerinin 0.559-13.630 mg kg⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Kırış (2020)'in sunduğu rapordaki sonuçlar ile benzer olup, izin verilen limitin üzerindedir. ur Rehman ve ark. (2019)'nin yapmış oldukları başka bir çalışmada *H. helix*'in yaprak Cd değerlerinin 0.41 µg g⁻¹ olduğu ve izin verilen değerin üstünde olduğu ifade edilmiştir. *H. helix*'in yaprak dokularında Cd içeriği 0.32-4.23 mg kg⁻¹ olarak limit değerin üzerinde bulunmuştur (Saran ve ark. 2024).

Maksimum izin verilebilir Cr sınırı 1.3 mg kg⁻¹'dir (Dabanovic ve ark. 2016). *H. helix*'in yapraklarındaki Cr içeriğinin 0.127-0.657 mg kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada analiz edilen örneklerin Cr değerleri maksimum izin verilebilir limitin altındadır. Benzer şekilde, Rahman ve ark. (2013) yapmış olduğu çalışmasında bitkilerdeki Cr içeriğini 0.80 mg kg⁻¹ olarak tespit etmişlerdir ve bu konsantrasyon izin verilebilir limitin altındadır.

Bitkilerdeki Co için izin verilen sınır değer 0.3 mg kg^{-1} 'dir (Iqbal ve ark. 2013). Çalışmada *H. helix* bitkisindeki Co içeriklerinin $0.048\text{--}0.147 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değiştiği ve Co düzeylerinin izin verilen sınır değerden düşük olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Kırış (2020) yapmış olduğu çalışmada bitkilerin Co konsantrasyonunu 0.12 ila 0.25 mg kg^{-1} arasında değiştiğini ve bu değerlerin izin verilen değerlerin altında olduğunu ifade etmiştir. Rahman ve ark. (2013)'nin yapmış olduğu çalışmalarında bitkilerdeki Co içerikleri $168 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ olarak izin verilen değerlerin altında tespit edilmiştir.

H. helix'in Mn konsantrasyonları $137.009\text{--}1724.74 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. İzin verilen maksimum Mn sınır değeri 200 mg kg^{-1} 'dir (Dabanovic ve ark. 2016). Çalışmada taş ocakları alanlarından analiz edilen örneklerin Mn değerleri maksimum izin verilebilir limitin üstündedir. Çalışmada elde edilen Mn sonuçları, Kırış (2020)'ın bulduğu sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Temiz alandan alınan örneklerin Mn değerleri ise Saran ve ark. (2024)'ün yapmış olduğu çalışmadaki veriler ile örtüşmekte olup izin verilen değerlerin altındadır.

Çalışmadaki sarmaşık bitkisinin As içeriği 0.025 ila 0.075 mg kg^{-1} arasındadır. Bitkilerde izin verilen maksimum değer $0.1\text{--}1.0 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (WHO 2001). Çalışmada analiz edilen örneklerin As değerleri maksimum izin verilebilir limitin çok altındadır. Benzer şekilde, Rahman ve ark. (2013) yapmış olduğu çalışmalarında bitkilerdeki As içeriğini $90 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$, Liao ve ark. (2014) mango meyvesindeki As miktarının ortalama $8.6 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ olduğunu tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada, As derişim konsantrasyonları 161.65 ila $669.23 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ tespit edilmiştir (Oğuz ve ark. 2016).

Bu verilere dayanarak, *H. helix*'in Cr, Ni, As, Pb ve Co içeriklerinin izin verilen değerler dâhilinde olduğu, Fe, Cu, Zn, Cd ve Mn içeriklerinin ise izin verilen maksimum değerleri aştığı sonucuna varılabilir.

Bu çalışmadaki bulgular sarmaşık (*H. helix*) yapraklarının taş ocakları sahalarında ağır metalleri etkili bir şekilde absorbe ettiğini ortaya koymaktadır. Analizler, ağır metal içeriklerinin incelenen alanlarda değiştiğini göstermiştir. Sonuçlar, en yüksek ve en düşük metal konsantrasyonlarının sırasıyla aktif taş ocağı ve kontrol

sahalarında elde edildiğini göstermektedir. Ogbonna ve ark. (2011), taş ocağı sahasında yetişen *Milicia excelsa*, *Ceiba pentandra*, *Newbouldia laevis* ve *Ficus exasperata* türlerinin sırasıyla Zn, Pb ve Cd içeriklerini $9.10\text{--}1.12$, $7.64\text{--}1.00$, $3.12\text{--}0.51$ ve $3.30\text{--}0.70 \text{ mg kg}^{-1}$ aralıklarında tespit etmiş ve en yüksek metal içeriklerinin aktif taş ocağı sahalarında ve en düşük değerlerin ise kontrol alanlarında bulunduğunu bildirmişlerdir.

Bitki dokularındaki ağır metal konsantrasyonu, taş ocağından uzaklaştıkça azalır ve bu durum kirlilik derecesini ortaya koyar. Örneğin, Ifeoma ve ark. (2014) çalışmalarında Cd seviyelerinin taş ocağından 1 m mesafede 0.21 mg kg^{-1} iken 300 m mesafede ise 0.04 mg kg^{-1} olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada da ağır metal konsantrasyonları alan tipine bağlı olarak anlamlı düzeyde farklılık göstermiştir ($p<0.05$). En yüksek konsantrasyonlar aktif taş ocağı alanlarında, bunu pasif taş ocağı alanları ve en düşük olarak kontrol (temiz) alanları takip etmiştir. Çalışmalar, taş ocağı sahalarına yakın bitkilerin kontrol lokasyonlarına kıyasla daha yüksek ağır metal konsantrasyonları sergilediğini göstermiştir. Örneğin, Pb ve Cd seviyeleri Nijerya'daki kirli sahalardaki bitkilerde belirgin şekilde daha yüksek tespit edilmiştir (Ogbonna ve ark. 2020). Taş ocak sahasına yakın bitki örneklerinde, Al, Cd, Cr, Cu, Fe ve Mn gibi ağır metallerin Dünya Sağlık Örgütü limitlerinin üzerinde yüksek seviyelerde tespit edilmesi, ocak faaliyetlerinden kaynaklanan önemli bir kirliliğin ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerinin göstergesidir (Ogunmade ve ark. 2023).

Taş ocağı sahasının etrafındaki bitkilerin en fazla Fe ve Mn elementlerini biriktirdiği ifade edilmiştir. Aynı çalışmada yer alan, *Aspilia africana* en yüksek Pb ve Co'ya sahipken, *Synedrella nodiflora* ve *Chromolaena odorata* en yüksek Ni'ye sahiptir ve bu durum bu bitkilerin önemli biyoakümülyasyonuna işaret etmektedir (Ayodele ve ark. 2014). Bir başka çalışmada, taş ocağı çevresindeki bitkilerin eşik seviyelerinin üzerinde yüksek düzeyde Mn ve Pb içerdiği, bu durumun potansiyel biyobirikim ve ilişkili sağlık tehlikeleri oluşturduğu, dolayısıyla hayvan tüketimi için uygun olmadığı vurgulanmıştır (Mustapha ve ark. 2016).

Bu çalışmada, *H. helix*'in yıkanmamış yapraklarının ağır metal içeriklerinin yıkanmış yapraklarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, *H. helix*'in yıkanmamış yapraklarındaki Pb, Cd, Cu ve Zn içeriklerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Onete ve Paucă-Comănescu 2008). Distile suyla yıkama işleminin, bitki yüzeylerindeki Al, Fe ve Ni gibi metallerin seviyelerini etkili bir şekilde azalttığı, bazı türlerde bu azalmanın %84'e kadar ulaştığı ifade edilmiştir (Ataabadi ve ark. 2012). Bir başka çalışmada, işlem görmemiş bitki örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları, yüzeylerine biriken tozdan kaynaklanan metal birikimi nedeniyle önemli ölçüde daha yüksek tespit edilmiştir. Yıkama işlemi genellikle Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti ve V gibi metallerin konsantrasyonlarını azaltmıştır (Nesterkov 2019). Aksoy ve ark. (2012)'nin şehir içi, yol kenarı, sanayi, dere kıyısı, kenar semt ve kontrol bölgesi olmak üzere seçmiş oldukları bölgelerde yetişen sebzelerin yıkanmış ve yıkanmamış yapraklarında Cr, Cd, Cu, Ni, Zn ve Pb içeriklerini araştırdıkları çalışmalarında yıkanmamış sebze örneklerinde en yüksek miktarda ağır metal konsantrasyonunu tespit etmişlerdir. Yıkanmamış bitkilerdeki ağır metallerin konsantrasyonu hem toprak hem de havadaki kaynaklardan önemli ölçüde etkilenir. Çalışmalar, bitkilerin kirli ortamlardan Cu, Zn, Fe ve Pb gibi ağır metalleri biriktirebileceğini ve havadaki tozun bu konsantrasyonlara önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bitki örneklerinin yıkanması, havadaki bu kirliliğin kapsamını ortaya koyar ve genellikle bitki yüzeylerindeki metal konsantrasyonlarında önemli bir azalmaya neden olur. Yıkanmış yaprak analizi, yalnızca bitki dokusuna alınmış ağır metal birikimini belirlerken; yıkanmamış yaprak analizi, hem bitki dokusundaki hem de yaprak yüzeyinde birikmiş olan ağır metallerin toplam içeriğini yansıtır (Yaşar 2009). Yıkanmamış örneklerde ağır metal içeriklerinin yüksek düzeyde tespit edilmesi, bu metallerin zamanla bitki yüzeyi ve dokularında birikim gösterdiğine işaret etmektedir.

Bitkilerde ağır metallerin birbirleriyle olan korelasyonları, çevresel koşullar ve bitki türlerinden etkilenen karmaşık etkileşimleri ortaya koymaktadır. Çeşitli ağır metaller ve Cu-Cd, Cu-Zn ve Zn-Pb gibi temel elementler arasında önemli pozitif korelasyonlar bulunmuştur ve bu da emilim ve translokasyon süreçleri sırasında sinerjik etkileşimleri,

bitkiler içinde alım için rekabet edebileceğini veya benzer taşıma mekanizmalarını paylaşabileceğini göstermektedir. Bu korelasyonlar, söz konusu elementlerin iyonik yarıçaplarındaki ve oktahedral koordinasyon geometrisindeki benzerlikten kaynaklanır (Shen ve ark. 2020).

Kumar ve ark. (2017)'nin çeşitli bitkiler üzerine yapmış olduğu çalışmada, Co elementinin Cu ve Cr ile pozitif, Cd ve Zn arasında yüksek pozitif ve Pb, Ni ile pozitif bir korelasyon gösterdiğini ve bu durumun bitkilerdeki ağır metaller arasındaki karşılıklı ilişkileri vurguladığını, bir metalin konsantrasyonu arttıkça diğerlerinin de artma eğiliminde olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Yu ve ark. (2001) Cu, Zn, Ni ve Cd elementleri arasında anlamlı korelasyonlar saptamış ve bunun aynı kirlilik kaynaklarından ileri gelebileceğini ifade etmişlerdir. Yalçın (2021), *H. helix*'in element alım kapasitesinde sinerjik bir etki bulunduğunu bildirmiştir. Ayrıca, elementlerin taşınım sırasında birlikte hareket ettiklerini ve bu durumun, tüm elementlerin ortak bir kaynağa sahip olarak benzer davranış sergilemelerinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Metal birikimi, araştırılan bitkide $Mn > Fe > Zn > Cu > Cd > Ni > Cr > Pb > Co > As$ sırasını takip etmiş ve bu durum muhtemelen kirlenmiş saha topraklarındaki çıkarılabilir metal konsantrasyonlarını yansıtmaktadır. Yukarıdaki bulgular, kirlenmiş alanlarda kendiliğinden yetişen *H. helix* bitkisinin ağır metallerle kirlenmiş koşullara uyum sağlayabildiğini ve yapraklarında yüksek oranda çoklu metal biriktirebildiğini göstermektedir. Bu bitki, metalle kirlenmiş alanların restorasyonu için uygun olabilir ve de uygulanabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, aktif ve pasif taş ocaklarının *Hedera helix* bitkisinde ağır metal birikimine etkisini değerlendiren ilk araştırmadır. Bulgular, taş ocağı sahalarında Fe, Cu, Zn, Cd ve Mn düzeylerinin WHO limitlerini aştığını, özellikle yıkanmamış yapraklarda atmosferik birikimin önemli olduğunu ortaya koymuştur. Taş ocağı sahalarında tespit edilen ağır metal konsantrasyonları, kontrol sahasıyla karşılaştırıldığında daha yüksektir. Güçlü korelasyonlar, metallerin ortak kirlilik kaynaklarından geldiğini

göstermektedir. Elde edilen bulgular, *H. helix*'in ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde ve ekosistem izlemelerinde potansiyel olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, taş ocaklarının çevresel etkilerinin düzenli olarak izlenmesi; özellikle metal yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda rehabilitasyon çalışmalarının yürütülmesi, toz kontrolü sağlanması ve yeşil bariyerlerin oluşturulması önemlidir.

Ayrıca, farklı mevsimlerde ve çeşitli mesafe aralıklarında yapılacak uzun süreli izleme çalışmaları ile metal birikiminin mekânsal ve zamansal değişimi belirlenmeli, benzer yöntemler diğer yerel bitki türlerinde de uygulanarak kapsamlı bir biyomonitör veri tabanı oluşturulmalı ve bu veriler ışığında sürdürülebilir taş ocağı yönetim planları hayata geçirilmelidir.

TEŞEKKÜR

Bitkilerin teşhisindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Serdar MAKBUL'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Aksoy A, Osma E, Serin M, Leblebici Z (2012) İstanbul'da bazı sebzeler ve topraklarda ağır metal birikimi. *Ekoloji Dergisi*, 21:1-8.
- Alloway BJ (2013) Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer.
- Al-Snafi AE (2018) Pharmacological and therapeutic activities of *Hedera helix* a review. *IOSR Journal of Pharmacy*, 8(5):41-53.
- Ataabadi M, Hoodaji M, Najafi P (2012) Assessment of washing procedure for determination some of airborne metal concentrations. *African Journal of Biotechnology*, 11(19):4391-4395. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2781>
- Ayodele OJ, Shittu OS, Balogun T (2014) Heavy metal pollution assessment of granite quarrying operations at Ikole-Ekiti Nigeria. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2(6):333-339. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20140206.16>
- Castanheiro A, Samson R, De Wael K (2016) Magnetic and particle based techniques to investigate metal deposition on urban green. *Science of the Total Environment*, 571:594-602. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.026>
- Cohen J (1988) Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd Edn. Lawrence Erlbaum Associates Hillsdale, NJ.
- Dabanovic V, Soskic M, Durovic D, Mugosa B (2016) Investigation of heavy metals content in selected tea brands marketed in Podgorica Montenegro. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(12):4798-4704. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7\(12\).4798-04](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7(12).4798-04)
- Donald AN, Raphael PB, Olumide OJ, Amarachukwu OF (2022) The synopsis of environmental heavy metal pollution. *American Journal of Environmental Sciences*, 18:125-134. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2022.125.134>
- Ehis-Eriakha CB, Akemu SE (2022) Impact of heavy metal pollution on the biotic and abiotic components of the environment. *South Asian Journal of Research in Microbiology*, 13(3):38-54. <https://doi.org/10.9734/SAJRM/2022/v13i330302>
- Eisler R (2004) Arsenic hazards to humans, plants, and animals from gold mining. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 180:133-165. https://doi.org/10.1007/0-387-21729-0_3
- Emerson RW (2019) Eta-squared effect size in ANOVA tests. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 113(4):396-397. <https://doi.org/10.1177/0145482X19868350>
- ESRI (2020) ArcMap 10.8 [Computer software]. Environmental Systems Research Institute. <https://desktop.arcgis.com>
- European Environment Agency (2018). CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 2020_20u1 [Data set]. Copernicus Land Monitoring Service. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Giller KE, Witter E, McGrath SP (1998) Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(10-11):1389-1414. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00270-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00270-8)
- Güzel İzmirli Ş (2025a) Farklı bitki türlerinin ağır metal içerikleri üzerine taş ocaklarının etkisinin değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15(2):432-450. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1607018>
- Güzel İzmirli Ş (2025b) Taş ocağı faaliyetlerinin *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (kartal eğrelti otu)'un ağır metal içeriği üzerine etkisi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 10(5):638-646. <https://doi.org/10.35229/jaes.1723228>
- Hasan Z, Anwar Z, Khattak KU, Islam M, Khan RU, Khattak JZK (2012) Civic pollution and its effect on water quality of river Toi at district Kohat NWFP. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4(3):334-339.
- Ifeoma EL, 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.
- Iqbal H, Khattak B, Ayaz S, Rehman A, Ishfaq M, Abbas MN, Malik MS, Wahap A, Imran A, Mehsud S (2013) Pollution based study of heavy metals in medicinal plants *Aloe vera* and *Tamarix aphylla*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(4):054-058. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2013.3409>
- Jaishankar M, Mathew BB, Shah MS, Gowda KRS (2014). Biosorption of few heavy metal ions using agricultural wastes. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 2(1):1-6.
- Kırış E (2020) Health risk assessment of trace elements in medicinal plants consumed as medicine and food in Rize Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29:5259-5270.
- Kumar V, Sharma A, Dhunna G, Chawla A, Bhardwaj R, Thukral AK (2017) A tabulated review on distribution of heavy metals in various plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3):2210-2260. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7747-1>
- Liao X, Fu Y, He Y, Yang Y (2014) Occurrence of arsenic in fruit mango plant (*Mangifera indica* L.) and its relationship to soil properties. *Catena*, 113:213-218. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.07.011>
- Lubal MJ (2024) Impact of heavy metal pollution on the environment. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 45(11):97-105. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i114074>
- McAllister HA, Marshall RH (2017) *Hedera* the Complete Guide. The Royal Horticultural Society, London, UK, pp 401.

- Metcalf DJ (2005) *Hedera helix* L.. *Journal of Ecology*, 93(3):632-648.
- Mustapha B, Kubmarawa D, Shagal MH, Hayatudeen A (2016) Heavy metal profiles of medicinal plants found within the vicinity of quarry site in Demsa Adamawa State Nigeria. *British Journal of Applied Science and Technology*, 13(1):1-6.
- Nagajyoti P, Lee K, Sreekanth T (2010) Heavy metals occurrence and toxicity for plants a review. *Environmental Chemistry Letters*, 8(3):199-216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>
- Nazir R, Khan M, Masab M, Rehman HU, Rauf NU, Shahab S, Ameer N, Sajed M, Ullah M, Rafeeq M, Shaheen Z (2015) Accumulation of heavy metals (Ni, Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe) in the soil, water and plants and analysis of physico-chemical parameters of soil and water collected from Tanda Dam Kohat. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(3):89-97.
- Nesterkov AV (2019) Surface pollution of meadow plants during the period of reduction of atmospheric emissions from a copper smelter. *Russian Journal of Ecology*, 50(4): 408-412. <https://doi.org/10.1134/S106741361904012X>
- Ogbonna PC, Emea R, Teixeira da Silva JA (2011) Heavy metal concentration in soil and woody plants in a quarry. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 93(5):895-903. <https://doi.org/10.1080/02772248.2011.564361>
- Ogbonna CE, Nwafor FI, Ogbonnaya OO (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>
- Ogunmade TB, Adeyemi OO, Osobamiro TM, Olubusoye BS, Alabi OJ (2023) Assessment of the level of heavy metals in ecosystem around quarry site in Ogun State, Nigeria. PREPRINT Version 1 Available at Research Square.
- Oğuz Hİ, Bağdatlı M, Erdoğan O, Karatepe A, Karipçin F (2016) Sulama suyu kaynakları ve çerezlik kabak (*Cucurbita pepo* L.)'ta arsenik kontaminasyonunun belirlenmesi: Nevşehir ilinde örnek bir uygulama. *Derim*, 33(1):109-118. <https://doi.org/10.16882/derim.2016.49349>
- Onete M, Paucă-Comănescu M (2008) Heavy Metal Content Assessment in Plants. In: Onete M (Ed) Species monitoring in the Central Parks of Bucharest, Ars Docendi University of Bucharest, pp 26-53.
- Rabiu M (2022) A phyto analysis of heavy metal pollution in abandoned quarry in Mpape, FCT, Abuja, Nigeria. *African Journal of Environmental Sciences and Renewable Energy*, 3(1):12-23.
- Rahman MM, Asaduzzaman M, Naidu R (2013) Consumption of arsenic and other elements from vegetables and drinking water from an arsenic-contaminated area of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 262:1056-1063. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.06.045>
- Saran A, Mendez MJ, Much DG, Imperato V, Thijs S, Vangronsveld J, Merini LJ (2024) Quantification of airborne particulate matter and trace element deposition on *Hedera helix* and *Senecio cineraria* leaves. *Plants*, 13(17):2519. <https://doi.org/10.3390/plants13172519>
- 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*, 621265:1-5. <https://doi.org/10.1155/2013/621265>
- Shen Z, Chen Y, Xu D, Li L, Zhu Y (2020) Interactions between heavy metals and other mineral elements from soil to medicinal plant Fengdan (*Paeonia ostii*) in a copper mining area, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27:33743-33752. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09358-z>
- Srivastava H, Saini P, Singh A, Yadav S (2024) Heavy Metal Pollution and Biosorption, In: Saini P (Ed) Biosorption Processes for Heavy Metal Removal, IGI Global Scientific Publishing, pp 1-38.
- Strelau M, Clements DR, Benner J, Prasad R (2018) The biology of Canadian weeds: 157. *Hedera helix* L. and *Hedera hibernica* (G. Kirchn.) Bean. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(5): 1005-1022. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0009>
- ur Rehman K, Hamayun M, Khan SA, Iqbal A, Hussain A (2019) Heavy metal analysis of locally available anticancer medicinal plants. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 16(1):105-111. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2727>
- White R, LeTard LA (2002) Investigating environmental pollution through dendrochemical analysis. *OSCAR Journal*, 9.
- WHO (1999) Monographs on Selected Medicinal Plants. World Health Organization. Vol 1, WHO Geneva.
- WHO (2001) Environmental Health Criteria 224 Arsenic and Arsenic Compounds. World Health Organization Geneva.
- 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>
- Yaşar Ü (2009) *Cercis siliquastrum* L. subsp. *siliquastrum* (Fabaceae)'un ağır metal kirliliğinde biomonitor olarak kullanımı. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yu KC, Tsai LJ, Chen SH, Chang DJ, Ho ST (2001) Multivariate correlations of geochemical binding phases of heavy metals in contaminated river sediment. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 36(1):1-16. <https://doi.org/10.1081/ESE-100000467>