



## Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesinde Biyomonitör Bitkilerin Rolü

### The Role of Biomonitor Plants in the Detection Heavy Metal Pollution

 Alperen MERAL<sup>1,\*</sup>,  Hülya TORUN<sup>2</sup>

Endüstrileşmenin kaçınılmaz sonuçlarından olan kirlenme bütün dünyada en büyük problemlerden birisi haline gelmiştir. Gerekli tedbirler alınmadığı takdirde, çok uzak olmayan bir gelecekte, biyolojik dengenin bozulacağı, yerkürenin yaşanmaz hale geleceği muhakkaktır. Bu zorluğun üstesinden gelmek için metallere duyarlı bitkilerin biyomonitör olarak kullanılması kabul görmüştür. Böylece biyomonitör bitkilerin toksik metal analizleri yapılarak toprak, su ve havadaki toksik metal düzeyleri hakkında bilgi alınabilmektedir. Bu sayede, bitkisel organizmaya ilişkin biyomonitör türler eser elementlerin atmosferdeki konsantrasyonlarını araştırmak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada trafik yoğunluğu, sanayileşme ve antropojenik etkiler gibi farklı kaynakların oluşturmuş olduğu ağır metal konsantrasyonlarının izlenmesinde 59 farklı alandan toplanan bitkilerin biyomonitör olarak kullanılabilme potansiyelleri araştırılmıştır. Örneklem alarlar seçilirken kent kır farkının gözlemlenmiş ve farklı antropojen etkiler altında ağır metal miktarlarının değişimine bakılmıştır. Araziden toplanan bitkilerde Fe, Cu, Cr, Mn, Pb, Zn, Ni ve Al analizleri yapılmış ve araştırmaya dahil edilmiştir. Araştırma Trabzon İli sınırları içerisinde 3 kent ve 3 kır olmak üzere 6 lokasyonda gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda gruplar arasındaki farkların belirlenebilmesi için One-Way ANOVA testi yapılmıştır. Yapılan istatistikî analizlere bakıldığında Cu ve Zn değerleri arasında lokasyon bazında anlamlı bir farklılık görülememişken diğer parametrelerde lokasyon bazında anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır Metal, Biyomonitör, Çevre sağlığı, Hava Kalitesi

Pollution, an unavoidable by product of industrialisation, has emerged as a significant global issue. If appropriate steps are not implemented, the biological equilibrium will inevitably be disturbed, rendering the Earth uninhabitable in the foreseeable future. To address this difficulty, the utilisation of metal-sensitive plants as biomonitors has been endorsed. Consequently, biomonitoring plants can be examined for hazardous metals, providing data regarding toxic metal concentrations in soil, water, and air. Biomonitoring plant species are employed to examine atmospheric quantities of trace elements. This study examined the capacity of plants gathered from 59 distinct locations to serve as biomonitors for assessing heavy metal concentrations resulting from various sources, including traffic density, industrialisation, and anthropogenic influences. The selection of sample areas considered the urban-rural disparity and analysed variations in heavy metal concentrations due to several anthropogenic effects. The plants gathered from the field were examined for Fe, Cu, Cr, Mn, Pb, Zn, Ni, and Al and incorporated into the study. The study was conducted in six locations, comprising three urban and three rural areas, within Trabzon Province. A One-Way ANOVA test was conducted to ascertain the differences among the groups based on the analyses. The statistical analysis indicated no significant difference in Cu and Zn values based on location, although substantial changes were noted in other parameters by location.

**Keywords:** Heavy metal, Biomonitoring, environmental health, Air quality

Geliş Tarihi: 11.10.2024, Düzeltme Tarihi: 25.11.2024 Kabul Tarihi: 26.11.2024

Adres: <sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü E-mail: alperenmeral@gmail.com

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölüm E-mail: hulyatorun@duzce.edu.tr

## 1. Giriş

Ağır metal kirliliği, kalıcılığı, insan ve ekolojik sağlık üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle önemli bir küresel endişe haline gelmiştir (Akün, 2020; Dixit vd., 2015; Sharma vd., 2023; Singh vd., 2002). Endüstriyel süreçler, madencilik ve ağır metal içeren fungusit ve gübre kullanımı gibi antropojenik faaliyetler toprak ve su kaynaklarında kadmiyum, kurşun ve cıva gibi ağır toksik metallerin varlığının artmasına neden olmuştur (Bücker-Neto vd., 2017; Elyamine vd., 2018; Tirry vd., 2018; Tiwari & Lata, 2018). Toprak ve yeraltı suları bitkilere ve gıda zincirine ağır metal girişinin birincil yollarıdır. Bu durum insan ve hayvan refahı için ciddi tehditler oluşturmaktadır. Ağır metaller ile kirlenmiş toprakların dekontaminasyonu ve iyileştirilmesi de zorlu bir görevdir (Kaparwan vd., 2020).

Ağır metal kirliliğinin tespitinde biyomonitör bitkilerin kullanılması çeşitli avantajlara sahiptir. İlk olarak, biyomonitör bitkiler geleneksel fizikokimyasal izleme yöntemlerine kıyasla uygun maliyetli ve kolay uygulanabilir (Batham & Sharma, 2019). Ayrıca bu bitkiler gözden kaçabilecek aralıklı veya dağınık kirliliği tespit edebildikleri için ağır metal kirliliğinin daha kapsamlı değerlendirilmesine olanak sağlayabilirler (Akün, 2020).

Ağır metal kirliliğinin belirlenmesi için yerel ölçekte genel olarak epifit bitkiler, yosunlar, likenler ve çiçekli bitkiler kullanılmaktadır (Vural, 2021). Ağır metal biriktiren bitkiler, fitoetraksiyon olarak bilinen bir süreç ile kirlenmiş topraklardan ağır metalleri azaltmak ve konsantre etmek, kirlenmiş dokuları içinde biriktirme ve yoğunlaştırma için de kullanılabilirler (Karr, 1999; Zaghoul vd., 2020). Bu yaklaşım maliyetli ve çevreye zarar verebilecek geleneksel iyileştirme yöntemlerine göre daha sürdürülebilir ve çevre dostu alternatifler olarak kullanılabilir (Koleli vd., 2015).

Çeşitli çalışmalar ağır metal biyoremediasyonu için çeşitli bitki türlerinin potansiyelini ortaya koymuştur. Örneğin Türkiye, Mersin-Fındıklı'daki serpantin florası krom, nikel ve bakır gibi ağır metalleri yüksek seviyelerde biriktirme kabiliyeti göstermiştir (Koleli vd., 2015). Bitkilerin biyomonitör olarak kullanılması karasal ekosistemlerle sınırlı olmayıp sucul ortamlara da uzanmaktadır (Carter vd., 2017). Su sümbülü ve su mercimeği gibi bazı su bitkileri, ağır metaller ile kirlenmiş su kütlelerinin iyileştirilmesinde başarıyla kullanılmıştır (Singh vd., 2002). Benzer şekilde Çin'deki Yongding Nehri Havzası'nda, su kalitesini izlemek için suda yaşayan bitkiler kullanılmış ve kirlenmiş su kütlelerinin iyileştirilmesinde başarıyla kullanılmıştır (Xie vd., 2021).

Farklı bitkiler farklı kirlenmişlere karşı farklı derecelerde hassasiyet gösterdiğinden, biyomonitör olarak uygun bitki türlerinin seçimi çok önemlidir. Araştırmacılar, bu bitki

göstergelerini dikkatlice seçerek ve izleyerek çevrenin durumu hakkında bilgi edinebilir, politika yapıcıları bilgilendirebilir ve çevre yönetimi stratejilerine rehberlik edebilirler (Erum Kazi vd., 2022; Iliopoulou-Georgudaki vd., 2003; Xie vd., 2021).

Bu araştırmada Trabzon ilinde farklı 6 lokasyon ve 59 noktada duvar fesleğeni (*Parietaria judaica* L.) bitkisi toplanarak ağır metal (Fe, Cu, Cr, Mn, Pb, Zn, Ni ve Al) analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak bitkinin biyomonitör olarak değerlendirilme performansı değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Araştırmaya konu olarak *Parietaria judaica* L. (duvar fesleğeni) bitkisi seçilmiştir. *P. judaica* bitkisi literatürde, ekolojik olarak antropojenik etki ile ilişkili anlamına gelen synantropik tür olarak değerlendirilmektedir (Meral, 2015). *P. judaica*'nın en önemli özelliklerinden biri dikkat çekici esnekliğidir. Bitkinin antibakteriyel ve antikandidal özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir, bu da onu çeşitli bulaşıcı hastalıkların tedavisi için potansiyel bir aday haline getirmektedir. Bu bulgu özellikle ilgi çekicidir, çünkü bitkinin tıbbi amaçlar için kullanılabilir değerli fitokimyasallara sahip olabileceğini düşündürmektedir (Qadi vd., 2020). *P. judaica* çok farklı ekolojiye sahip alanlarda ve çok kısıtlı şartlarda gelişim gösterebilmesinden dolayı araştırmaya konu edilmiştir (Meral, 2015; Yalcinalp & Meral, 2017).

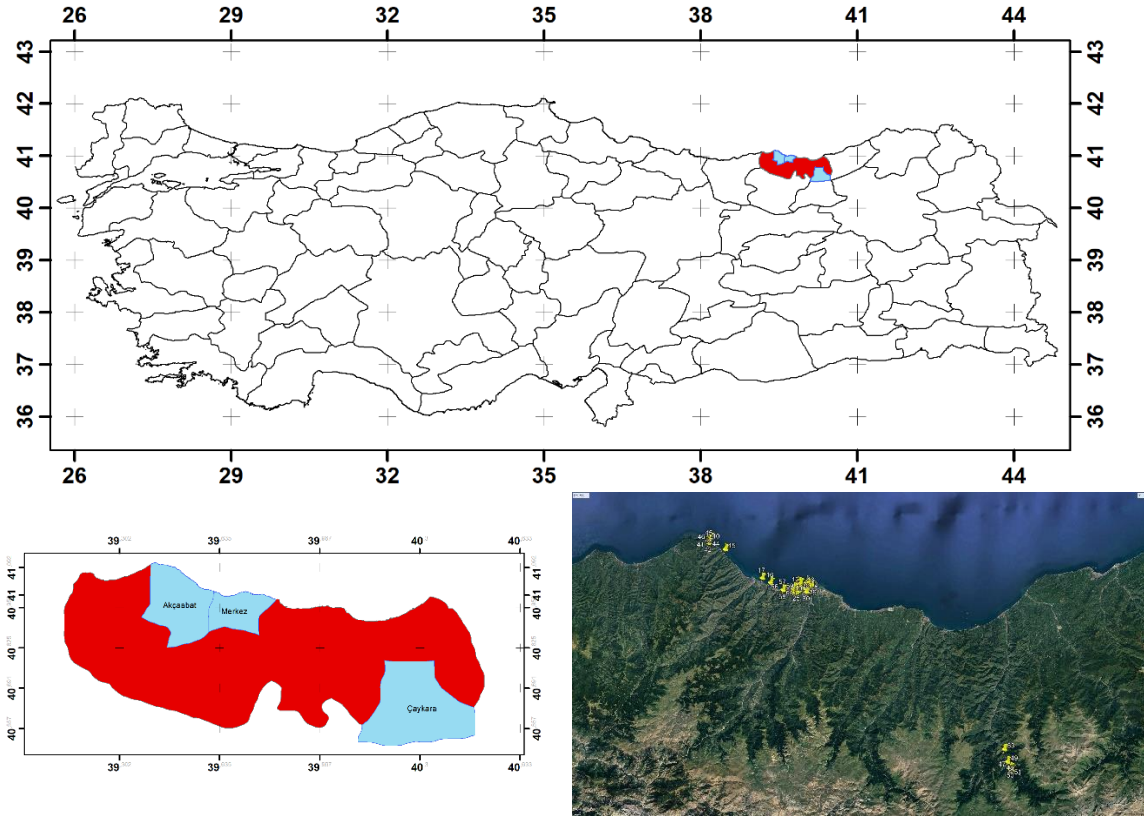


Şekil 1. Farklı alanlarda çekilmiş *Parietaria judaica* L. fotoğrafları (Meral, 2015).

*Parietaria judaica* L. 20-50cm boylanabilen, çok yıllık, otsu bir türdür. Gövdeler sık dallı, yere serili veya yarı dik gelişim gösterir. Yapraklar genişçe yumurtamsı ile hemen hemen eliptik form arasında ve 7 cm'e kadar uzunluktadır; almaşık dizilidir. Çiçeklenme Nisan-Ağustos ayları arasında gerçekleşir. Çiçek kurulları her bir yaprak koltuğundan 2 yanal demet şeklinde çıkar; demetler yaklaşık 1 cm boydadır (Floranatolica, 2024).

### 2.1.1. Çalışma Alanı

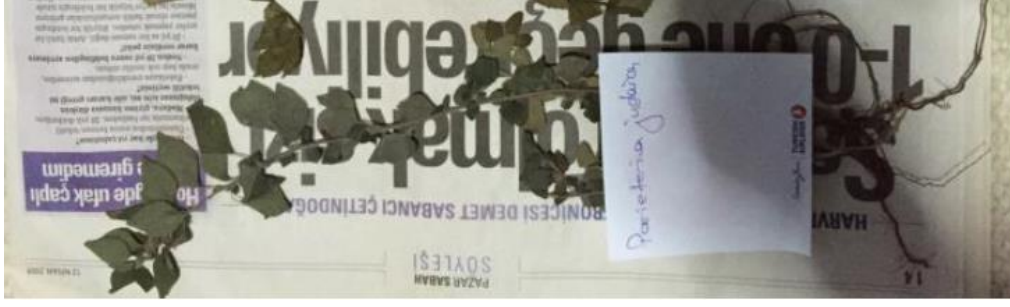
Çalışma alanı olarak Trabzon İlinde 3 farklı ilçede (Akçaabat, Merkez, Çaykara) kent ve kır olmak üzere toplam 6 lokasyon belirlenmiştir. Örneklem alanları olarak *Parietaria judaica* L. bitkisinin bulunduğu duvarlar ve ruderal alanlar seçildiğinden, rasgele örneklem metodu kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı ve bitki toplanan lokasyonlar

### 2.2. Metod

Toplanan numunelerin ağır metal analizleri DÜBİT (Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi) tarafından yapılmıştır. Toplanan numuneler koordinatlandırılarak numaralandırılmış ve tekniğine uygun olarak gazete kağıtları arasında preslenmiştir (Şekil 4).



**Şekil 3.** Preslenmiş bitkilerden örnek

Kurutulan numuneler sonrasında öğütücü değirmen kullanılarak toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen numuneler kilitli poşetlere konularak etiketlenmiştir.

0,35 gr. bitki örneklerinin üzerine 5 ml HNO<sub>3</sub> (Nitrik Asit), 1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Hidrojen peroksit) eklenerek mikrodalga fırında yakıldıktan sonra damıtma işlemi yapılmıştır (Yazıcı, 2024). Damıtılan numuneler ultra saf su yardımı ile 50ml'ye tamamlandıktan sonra ICP-MS cihazında analiz edilmiştir. Bitkilerin barındırdıkları Fe, Cu, Cr, Mn, Pb, Zn, Ni ve Al miktarları bu işlemlerden sonra tespit edilmiştir.

Analizler tamamlandıktan sonra SPSS 20 ve Graphpad Prism programları kullanılarak lokasyon bazlı farklılıkları gözlemleyebilmek için One-Way ANOVA, parametrelerin birbirleri ile ilişkilerinin belirlenebilmesi için korelasyon analizleri yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

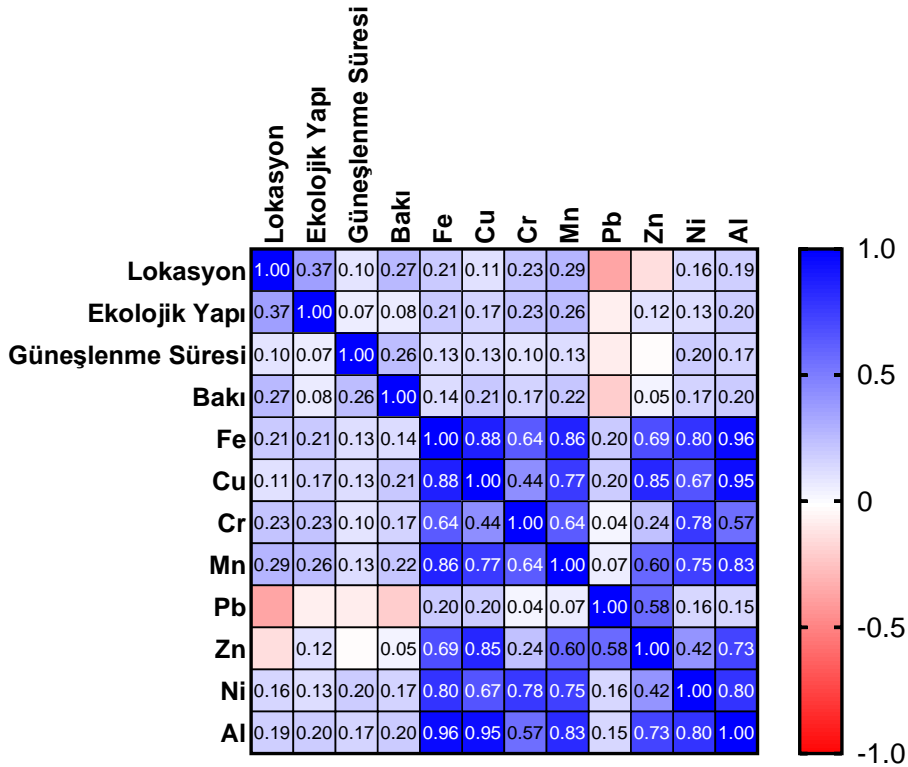
İstatistiki analizler sonucunda lokasyon bazlı farklılıkları tespit etmek için One-Way ANOVA testi yapılmıştır. Yapılan istatistikî analizlere bakıldığında örnek alınan 6 lokasyonda (Akçaabat ve güneyi, Merkez/Değirmendere ve güneyi, Çaykara ve Güneyi) Cu ve Zn değerleri arasında lokasyon bazında anlamlı bir farklılık görülememişken Fe, Cr, Mn, Pb, Ni ve Al parametrelerinde lokasyon bazında sınırlı da olsa anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Lokasyon bazlı One-Way Anova analizi

Lokasyon	Örnek Sayısı	Fe	Cu	Cr	Mn	Pb	Zn	Ni	Al
1	10	1033,40a	7,31a	0,00a	34,27a	19,34b	94,90a	0,00a	713,60a
2	5	658,60a	3,31a	0,17a	27,75a	1,06a	41,60a	0,00a	548,60a
3	9	1351,44a	21,76a	0,00a	75,10ab	8,30ab	89,44a	0,86a	2026,77ab
4	21	1441,00a	6,64a	4,02a	61,31ab	2,65a	48,42a	0,00a	1168,61ab
5	7	3800,28b	30,68a	15,83b	201,45b	3,17a	65,42a	4,72b	4296,85b
6	7	1496,85a	13,33a	2,07a	136,90ab	0,00a	94,90a	0,70a	4296,85b

Diğer ağır metaller ile lokasyonlar arasındaki ilişkiye bakıldığında ağır metal birikimlerinde özellikle 5. lokasyonda (Merkez/Değirmendere) farklılıklar gözlemlenmiştir.

Ardından parametrelerin birbirleri arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek için korelasyon analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda seçilen lokasyonlar ile bitkilerin toplandıkları alanların ekolojik yapısı, güneşlenme süreleri ve bakıları arasında herhangi bir ilişki tespit edilememiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Korelasyon tablosu

Bitkilerde ağır metal birikimi, bitki türü ve genetik özelliklerin yanı sıra pH ve topraktaki organik madde içeriği gibi birçok faktörden etkilenir (Bücker-Neto vd., 2017). Bitkilerde ağır metal birikimini yöneten başlıca faktörlerden biri, bu metallerin topraktaki konsantrasyonudur. Ağır metaller yer kabuğunun doğal bileşenleridir. Ancak sanayileşme, madencilik, gübre ve pestisit kullanımı gibi insan faaliyetleri nedeniyle konsantrasyonları önemli ölçüde artmıştır. Sonuç olarak, birçok endüstriyel ve tarımsal bölgedeki topraklar yüksek seviyelerde ağır metallerle kirlenmiş ve bu da bitkiler tarafından alımlarının artmasına neden olmuştur (Singh vd., 2002)

Bitkilerde ağır metal birikimini etkileyen bir diğer önemli faktör de toprak ortamıdır. Toprağın pH'ı, ağır metallerin çözünürlüğünü ve kullanılabilirliğini belirlediği için kritik bir faktördür. Genel olarak, asidik topraklar (düşük pH) daha yüksek çözünür ağır metal

konsantrasyonlarına sahip olma eğilimindedir, bu da bitkilerin topraktaki ağır metali alımı için daha iyi bir ortam oluşturur (Kumar vd., 1995). Rize ilinde çay tarımı yapılan arazilerde ağır metal içeriklerinin belirlenmesini konu edinen çalışma da bu ifadeyi doğrular bir literatür olarak karşımıza çıkmaktadır (Özkan & Demir, 2023).

Benzer şekilde, toprağın organik madde içeriği de bitkilerde ağır metal birikimini etkileyebilir. Organik madde ağır metallere bağlanarak biyoyararlanımlarını azaltabilir ve bitkiler tarafından alımlarını sınırlayabilirler (Bücker-Neto vd., 2017; Chitimus vd., 2020; Kumar vd., 1995; Singh vd., 2002). Doğu karadeniz ilinde yaygın olarak yer alan kırmızı sarı podzolik toprakların %70'i organik madde yönünden yüksek durumdadır (Özyazıcı vd., 2013).

#### 4. Sonuçlar

Yapılan bu araştırmadan hareketle Trabzon ilinde ağır sanayinin gelişmemiş olması, örneklem yapılan bölgelerde madencilik faaliyetlerinin sınırlı olması, ağırlıklı olarak çay ve fındık tarımının pestisit kullanımının yoğun olmaması, her ne kadar seçilen lokasyonlar farklı olsa da, *Parietaria judaica* L. bitkisindeki ağır metal birikimi üzerine etki etmemiştir.

WHO'ya göre müsaade edilen ağır metal limitlerine bakıldığında *Parietaria judaica* L.'nin bünyesinde barındırdığı ağır metal miktarı oldukça fazladır. Bu durumda bitkinin biyomonitör olarak kullanılabilmesi söylenebilir. Bir bitkinin biyomonitör olabilmesi için o bölgenin bitki örtüsü içerisinde olması gerekmektedir. Bu durum doğal olarak yayılış gösteren ve ruderal bitki sınıfına giren *Parietaria judaica* L.'nin biyomonitör olarak kullanılabilmesinin bir başka kanıtıdır.

Günümüzde yol kenarları ve duvarların temiz görünmesi bu alanların sağlıkları ile de doğru orantılı olarak görülmektedir. Bu alanlar gerek ilgili kurumlar gerekse kullanıcılar tarafından sıklıkla temizlenmektedir. Doğal yayılış gösteren ve sınırlı yaşam şartlarında yaşayan, ayrıca herhangi bir bakıma ihtiyacı olmayan bu bitkilerin alandan uzaklaştırılmaya çalışılması sıklıkla yapılan yanlışlardandır.

Sonuç olarak ruderal bitkilerin kent ekolojisindeki yeri yadsınamaz bir gerçektir. Ortamda hazır yaşayan, adaptasyon sağlamış ve bakım maliyeti gerektirmeyen *Parietaria judaica* L. gibi ruderal bitkilerin yaşamalarına izin verilerek ekolojiye ve hava kirliliğine olumlu katkıları desteklenmelidir.

#### Teşekkür

Bu çalışma VIII. Ulusal Süs Bitkileri Kongresi'nde Poster Bildiri olarak sunulmuştur.

## Kaynaklar

- Akün, M. E. (2020). Heavy Metal Contamination and Remediation of Water and Soil with Case Studies From Cyprus. İçinde *Heavy Metal Toxicity in Public Health*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90060>
- Batham, M., & Sharma, J. (2019). Remediation of Heavy Metals from Soil by Eco Approaches. *Recent Advances in Biology and Medicine*, 5, 1. <https://doi.org/10.18639/RABM.2019.869984>
- Bücker-Neto, L., Paiva, A. L. S., Machado, R. D., Arenhart, R. A., & Margis-Pinheiro, M. (2017). Interactions between plant hormones and heavy metals responses. *Genetics and Molecular Biology*, 40(1 suppl 1), 373-386. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2016-0087>
- Carter, J. L., Resh, V. H., & Hannaford, M. J. (2017). Macroinvertebrates as Biotic Indicators of Environmental Quality. İçinde *Methods in Stream Ecology* (ss. 293-318). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813047-6.00016-4>
- Chitimus, A., Nedeff, F., Sandu, I., Radu, C., Mosnegutu, E., & Sandu, I. G. (2020). Influence of Bacau City's antropic activities on the heavy metals concentration measured on Bistrita and Siret River Sides. *Revista de Chimie*, 71(1), 350-354. <https://doi.org/10.37358/RC.20.1.7856>
- Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B., Rai, J., Sharma, P., Lade, H., & Paul, D. (2015). Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. *Sustainability*, 7(2), 2189-2212. <https://doi.org/10.3390/su7022189>
- Elyamine, A. M., Moussa, M. G., Ismael, M. A., Wei, J., Zhao, Y., Wu, Y., & Hu, C. (2018). Earthworms, Rice Straw, and Plant Interactions Change the Organic Connections in Soil and Promote the Decontamination of Cadmium in Soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2398. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112398>
- Erum Kazi, E. K., Satish Kulkarni, S. K., Shaikh, Y. I., Shaikh, V. S., & Neeraj Prasad, N. P. (2022). A Case Study on Estimation of Air Quality in Hadapsar Suburban of Pune India. *Oriental Journal Of Chemistry*, 38(1), 118-129. <https://doi.org/10.13005/ojc/380115>
- Floranatolica. (2024). *Parietaria judaica-Duvar fesleğeni*. <https://www.floranatolica.com/eukaria/gui/species.php?ID=Parietaria-judaica> (Erişim Tarihi: 25.11.2024).
- Iliopoulou-Georgudaki, J., Kantzaris, V., Katharios, P., Kaspiris, P., Georgiadis, Th., & Montesantou, B. (2003). An application of different bioindicators for assessing water quality: a case study in the rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece). *Ecological Indicators*, 2(4), 345-360. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(03\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(03)00004-9)
- Kaparwan, D., Rana, N. S., & Dhyani, B. P. (2020). Heavy Metals Toxicity in Agricultural Soils– Critical Review of Possible Sources, Influence on Soil Health and Remedial Measures to Remove, Reduce and Stabilize Contaminants in Soil. *International Journal*



- of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(6), 1467-1482.  
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.182>
- Karr, J. R. (1999). Defining and measuring river health. *Freshwater Biology*, 41(2), 221-234.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00427.x>
- Koleli, N., Demir, A., Kantar, C., Atag, G. A., Kusvuran, K., & Binzet, R. (2015). Heavy Metal Accumulation in Serpentine Flora of Mersin-Findikpinari (Turkey) – Role of Ethylenediamine Tetraacetic Acid in Facilitating Extraction of Nickel. İçinde *Soil Remediation and Plants* (ss. 629-659). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799937-1.00022-X>
- Kumar, P. B. A. N., Dushenkov, V., Motto, H., & Raskin, I. (1995). Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science & Technology*, 29(5), 1232-1238. <https://doi.org/10.1021/es00005a014>
- Meral, A. (2015). Peyzaj mimarlığı kapsamında kentsel ve kırsal duvar vejetasyonu ve ekolojik karakteristikleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özkan, F., & Demir, Y. (2023). Rize İlinde geleneksel ve organik çay tarımı yapılan alanların topraklarında bazı verimlilik parametreleri ile ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1405-1417.  
<https://doi.org/10.21597/jist.1114164>
- Özyazıcı, M. A., Aydoğan, M., Bayraklı, B., & Dengiz, O. (2013). Doğu Karadeniz Bölgesi kırmızı-sarı podzolik toprakların temel karakteristik özellikleri ve verimlilik durumu. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(1), 24-32.
- Qadi, M., Jaradat, N., Al-lahham, S., Ali, I., Abualhasan, M. N., Shraim, N., Hussein, F., Issa, L., Mousa, A., Zarour, A., Badrasawi, A., Baarah, A. M., & Al-Omari, R. (2020). Antibacterial, Anticandidal, Phytochemical, and Biological Evaluations of Pellitory Plant. *BioMed Research International*, 2020, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2020/6965306>
- Sharma, J. K., Kumar, N., Singh, N. P., & Santal, A. R. (2023). Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment. *Frontiers in Plant Science*, 14.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1076876>
- Singh, B. K., Singh, V. P., & Singh, M. N. (2002). Bioremediation of contaminated water bodies. *Progress in Industrial Microbiology*, 537-548. [https://doi.org/10.1016/S0079-6352\(02\)80026-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6352(02)80026-1)
- Tirry, N., Tahri Joutey, N., Sayel, H., Kouchou, A., Bahafid, W., Asri, M., & El Ghachtouli, N. (2018). Screening of plant growth promoting traits in heavy metals resistant bacteria: Prospects in phytoremediation. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(2), 613-619. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.06.004>
- Tiwari, S., & Lata, C. (2018). Heavy Metal Stress, Signaling, and Tolerance Due to Plant-Associated Microbes: An Overview. *Frontiers in Plant Science*, 9.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00452>

- Vural, H. (2021). Trafik Kaynaklı Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesinde Peyzaj Bitkilerinin Biyomonitör Olarak Kullanılabilirliği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(4), 1174-1186. <https://doi.org/10.30910/turkjans.985895>
- Xie, Y., Jinjin, G., Guo, Y., Peng, W., & Wang, L. (2021). Temporal and Spatial Variation of water quality in the Yongding River Basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 831(1), 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/831/1/012052>
- Yalcinalp, E., & Meral, A. (2017). Wall vegetation characteristics of urban and sub-urban areas. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su9101691>
- Yazıcı, İ. (2024). *Kent içi açık otopark alanları ve yakın çevresindeki bazı ağaçların biyomonitör olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi: 'İstanbul örneği'* [Master]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zaghloul, A., Saber, M., Gadow, S., & Awad, F. (2020). Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 127. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>