

# Giresun Karayolu Tozuna Maruz Kalan Kara Lahana Bitkisindeki Ağır Metal Kirliliği ve Sağlık Risk Değerlendirmesi

Elif APAYDIN<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Merkezi Araştırma  
Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma  
Merkezi Giresun, Türkiye

## Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment in Black Cabbage Plant Exposed to Giresun Road Dust

### Öz

Karadeniz Bölgesi'nin coğrafik konumu sebebiyle şehirleri birbirine bağlayan otoyollar Karadeniz sahili boyunca devam etmekte olup, yerleşim yerleri denizden uzaklaşarak dağlara, tepelere, yükseltilere kuruludur ve Giresun da bu şehirlerden biridir. Düz araziler çok azdır bu sebeple Giresun halkı en küçük düz araziye değerlendirmektedir ve çeşitli tarımsal faaliyetlerde kullanmaktadır. Karadeniz Bölgesi ve Giresun' da hemen her sofrada yer alan, çeşitli şekillerde yemeği yapılan ve mineral kaynağı olan kara lahana (*Brassica oleracea*) bitkisi halk tarafından çeşitli yapılarıdaki toprağa ekilip, yetiştirilmektedir. Bu çalışmada; trafik yoğunluğu fazla olan karayolu kıyısında yetişen, yol tozunun ve taşıtların neden olduğu egzoz gazı gibi birçok kirliliğe maruz kalan kara lahana bitkisinin, trafikten 10 km uzak yerde yetişen örneklerine oranla Krom (Cr), Mangan (Mn), Demir (Fe), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Arsenik (As), Selenyum (Se), Kadmiyum (Cd), Kurşun (Pb) ağır metal birikimlerini kantitatif olarak ifade etmek amaçlandı. Tüm numuneler arasında en fazla ağır metal birikimi, % 85.94 fark ile Zn'da gözlemlendi. Ağır metallerin sağlık açısından risk analizleri (THQ, EDI, EWI) yapıldı, THQ değeri < 1 olduğu için insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu ifade edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal, kara lahana, Giresun, ICP-MS

### ABSTRACT

Due to the geographical location of the Black Sea Region, highways connecting the cities continue along the Black Sea coast and settlements are built on mountains, hills and elevations away from the sea, and Giresun is one of these cities. There is very little flat land, so the people of Giresun utilize the smallest flat land and use it for various agricultural activities. The black cabbage (*Brassica oleracea*) plant, which is found on almost every meal in the Black Sea Region and Giresun, which is cooked in various types and is a source of minerals, is planted and grown in all types of soil by the people. In this study, it was aimed to quantitatively determine the heavy metal accumulations of Chromium (Cr), Manganese (Mn), Iron (Fe), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Copper (Cu), Zinc (Zn), Arsenic (As), Selenium (Se), Cadmium (Cd), Lead (Pb) in cabbage plants grown along the highways with high traffic density and exposed to many pollutants such as road dust and exhaust gas caused by vehicles compared to the samples grown 10 km away from the traffic. The highest heavy metal accumulation among all samples was observed in Zn with a difference of 85.94 %. Health risk analyses (THQ, EDI, EWI) of heavy metals were performed and it was stated that the negative impact on human health was insignificant since the THQ value was less than 1.

**Keywords:** Heavy metal, black cabbage, Giresun, ICP-MS



Geliş Tarihi/Received 22.01.2024  
Kabul Tarihi/Accepted 03.04.2024  
Yayın Tarihi/Publication Date 22.05.2024

**Sorumlu Yazar/Corresponding author:**

Elif APAYDIN,

E-mail: [elif.apaydin@giresun.edu.tr](mailto:elif.apaydin@giresun.edu.tr)

Cite this article: Apaydin E Heavy metal pollution and health risk assessment in black cabbage plant exposed to Giresun road dust. *J Ata-Chem.* 2024;4(1):26-34.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.

## GİRİŞ

Artan nüfus beraberinde daha fazla yol, taşıt ve yerleşim yeri ihtiyacı doğurmuştur. Nüfusla doğru orantılı olarak kentleşme ve endüstriyel faaliyetler değişmiş, sonucunda ise çevre ve hava kirliliğinde ciddi derecede artışlar olmuştur.<sup>1-7</sup> Kentleşmenin neden olduğu trafik, buna bağlı olarak yol tozu insan sağlığı ve ekosistem için ciddi tehdit unsurudur.<sup>7,8</sup> Dünya genelinde her 8 ölümden birisinin hava kirliliği ile ilişkili olduğu, hava kirliliğinin; yılda ortalama 3.8–4.3 milyon prematüre doğuma ve yaklaşık 7 milyon insanın ölümüne neden olduğu belirtilmektedir.<sup>10,11</sup>

Toz partiküllerinin içeriğinde var olan toksik kimyasallar, biyolojik atıklar, ağır metaller, hidrokarbonlar, patojen mikroorganizmalar gibi maddeler nedeniyle sağlık üzerine etkilerinin araştırılması oldukça önemlidir. Bu unsurlardan biri olan ağır metaller biyolojik olarak parçalanamazlar, toksiktirler ve bazı ağır metaller Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından kanserojen olarak sınıflandırılmıştır.<sup>12</sup> Yol tozu içeriğinde yer alan ağır metaller; solunum yolu, sindirim yolu ve deri yoluyla insan vücuduna girebilmektedir.<sup>13,14</sup> Farklı nedenlerle atmosfere yayılan gazlar; CO<sub>2</sub>, HF, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, hidrokarbonlar gibi kirletici emisyonları içermekte olup, bu gazların fazla miktarları doğada asit yağmurlarına dönüşebilmektedir. Bu yağmurların etkisi ile toprak asitleşip, emisyonlar içerisinde bulunabilecek S, Cd, Cu, Zn, Fe gibi ağır metaller yer üstünde; toprak ve bitkide birikim oluşturabilmektedir.<sup>15</sup> Bitkiler topraktan besin iyonlarını alırken seçici olmak amaçlanabilir fakat ortamdan istenmeyen madde geçişlerine engel olunamaz. Ağır metaller, besin zincirine dahil olarak; bitkileri, bitkiler ile beslenen insan ve hayvanları toksik olarak etkileyen bir döngüde işgalci rol alırlar. Ni, Cr ve Pb'nun toprakta bulunabilme aralığı 10-100 mg/kg iken, Cd'un 1 mg/kg dan az bulunması normal kabul edilmektedir. Cr temel bir mikroelementtir fakat yüksek derişimleri memeliler ve diğer hayvanlar için toksiktir ve Ni aynı grup canlılar için kansorejen tehditi taşımaktadır.<sup>16,17</sup> Ağır metaller, su ve tarım döngüsü ile besin halkasına girebilir ve insan sağlığını doğrudan tehdit edebilirler.<sup>18</sup> Yapılan çalışmalar özellikle havadan solunum yoluyla veya besinlerle vücuda alınan ağır metallerin çok daha zararlı ve ölümcül olabileceğini ortaya koymaktadır.<sup>19,20</sup> Ağır metallerin insan vücudunda etkisi araştırıldığında; vücutta tutundukları yer, vücutta kalma süreleri ve vücuda giren ve yerleşen miktarın sonuçlarda büyük rol oynadığı görülmektedir. Örneğin; Pb ve Hg ağır metali merkezi sinir sistemine, Cd böbreklere ve Ni ciğerlere etki etmektedir. Pb ağır metalinin vücuttaki semptomları; eritrosit sentezi bozulabilmektedir, anemi var olabilir, sistemik kan basıncı

artabilir, nefropati, enselepati ortaya çıkabilmekte ve hatta çocuklarda ölümlere dahi neden olabilmektedir.<sup>21</sup> Cd'un sağlığa etkileri araştırıldığında, akciğer ve prostat kanserine sebep olduğu literatüre geçerken, Cd'un aşırı birikiminde; kan basıncında artma, böbrek yetmezliği, karaciğer yetmezliği ve bazı organ kanserleri gibi hastalıkların ortaya çıktığı kayıt edilmiştir.<sup>22</sup> Ni'nin vücutta fazla oluşu; akciğer fibrosisi, kalp-damar ve böbrek hastalıklarına neden olduğu, kanserojen etkisi kayda geçmiştir.<sup>23</sup> Cu'nun düşük derişimleri dahi tarım ürünlerinde, sudaki organizmalarda ve insan yaşamında toksik etki oluşturmaktadır.<sup>23</sup> Zn'nin vücuttaki toksik etkisi mide krampı ve ishal şeklinde olup, hayvanlar üzerinde kanserojenik etkisi belirlenmiştir.<sup>24</sup> Bitkilerin ağır metal birikim düzeyleri analiz edilerek, toprak ve havadaki ağır metallerin çeşitleri ve değerleri hakkında yorum yapılabilmektedir.<sup>25-30</sup> Büyük ve kalabalık şehirlerdeki sokak tozlarının çevre kirliliğinde rol aldığı çalışmalarda ifade edilmektedir. Toz içeriğinde yer alan araba eksozları, ev atıkları, sanayi kaynaklı kirleticiler ve rüzgarın taşıma etkisiyle karışımda yer alan ağır metallerin kalitatif ve kantitatif miktarları canlıların yaşamları açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmanın temel hedefleri şunlardır: 1- Karadeniz Sahil Yolu üzerinde yer alan Giresun ilinde çok sık tüketilen kara lahana bitkisinin yol tozundan ötürü maruz kaldığı ağır metal kirliliğini tayin etmek. 2- Bu değerleri yol tozuna maruz kalmamış bitki örnekleriyle karşılaştırmak. 3- Haftalık (EWI) ve günlük (EDI) metal alımlarını yorumlamak. 4- Hedef tehlike katsayısını (THQ) kullanarak ağır metal maruziyeti içeren ve içermeyen bitki tüketiminin, bu metallerle ilişkili potansiyel sağlık risklerini değerlendirmek şeklindedir. Bu amaçla, Giresun iline bağlı farklı istasyonlardan toplanan Giresun halkı için önemli olan kara lahana (*Brassica oleracea*) bitkisinin trafik yoğunluğuna göre değişen Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb olmak üzere 11 adet ağır metal miktarını belirlemek istenmiştir. Analizi yapılmak istenen metaller, çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeli olarak gruplandırıldığından ve bu nedenle ATSDR'nin öncelikli kirletici listesinde yer aldığından çalışmada yer almıştır.<sup>31,32</sup> Sonuçlar günlük ve haftalık ağır metal maruziyet miktarı (EDI ve EWI) ile ve hedef tehlike oranı olan THQ (Target Hazard Quotient) ile kontrol edilmiştir.

## YÖNTEMLER

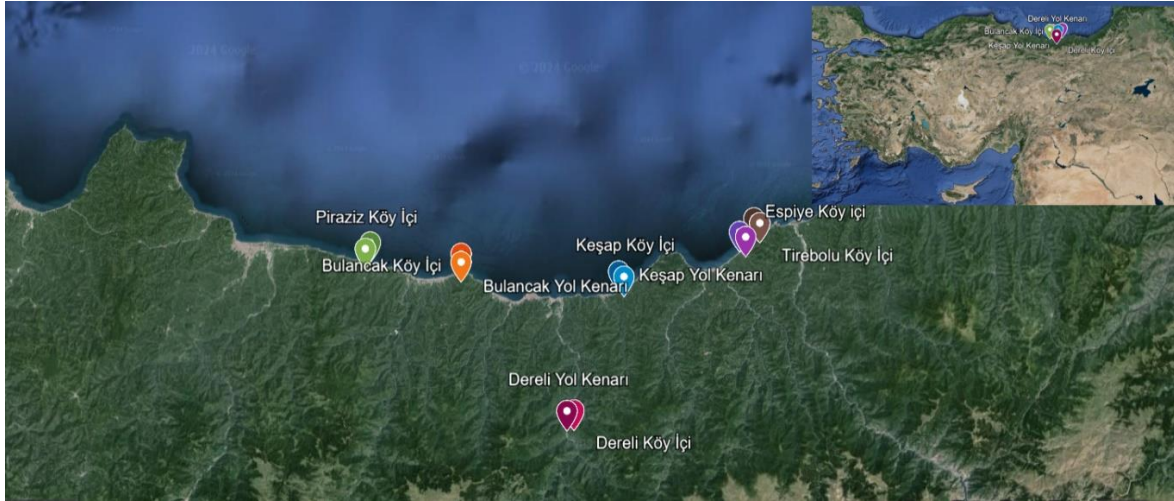
Çalışmada; Karadeniz sahil yolu boyunca yer alan Giresun ilçeleri istasyon olarak belirlenmiştir. Şehrin batısından başlayarak yer alan Piraziz, Bulancak, Keşap, Dereli, Espiye ve Tirebolu ilçelerinden trafik yoğunluğuna

maruz kalan bitki numuneleri ve aynı ilçeye bağlı trafik yoğunluğu olmayan, 10 km uzaklığındaki alanlardan numuneler toplanmıştır (Şekil 1).

### Numunelerin Analizler İçin Hazırlanması

Toplanan bitki numuneleri yıkanmadan etüvde 105 °C' de 24 saat bekletilerek, nemi uçurulmuştur. Numuneler

öğütülerek, 0.25 er gram tartıldı, HNO<sub>3</sub>+HCl (5 mL %65 konsantre HNO<sub>3</sub> ve 3 mL %70 konsantre HCl) karışımı içinde, Cem Mars 5 mikrodalga yakma ünitesinde 200 C' de yakılarak sıvılaştırıldı.<sup>33</sup> Son hacimleri 50 mL olacak şekilde deiyonize su ile tamamlandı ve analiz öncesinde numuneler 0.45 µm enjektör filtreden süzüldü.<sup>34,35</sup>



Şekil 1. Çalışma alanı ve bitki numunelerinin toplanma istasyonları

### ICP-MS Analizleri

ICP, numunedeki elementlerin atomize edildiği ve uyarıldığı, manyetik alanla desteklenen 7000-8000 °K gibi yüksek sıcaklıkta bir plazma tekniğidir. Plazma, gazlı iyon akımı olarak adlandırılır. ICP tekniğinde plazma, argon gazının hem inert hem de kolayca iyonlaşabilir olması nedeniyle radyofrekans jeneratörü tarafından oluşturulan manyetik alanla etkileşime girmesiyle oluşturulur. MS dedektör sistemi daha hassas ölçümlerde tercih edilmektedir. Bruker 820 MS/ICP-MS analiz sistemi kullanıldı.<sup>34</sup> Multi element standartları karışımı (Merck, Darmstadt, Germany) iç standart eklemeyen analiz edilmiş, kalibrasyon grafikleri çizilmiş ve gerekli seyreltmeler göz önünde tutularak hesaplamalar yapılmıştır.

Bruker ICP-MS CA270107 metot uygulamasına göre yapılan analizlerin dedeksiyon limitleri Co, Cu, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe, Zn olarak sırasıyla; 0.2, 0.3, 0.3, 2, 3, 2, 300, 6 ng/g olarak verilmiştir.

### Risk Değerlendirme Yöntemleri

İnsan sağlığı risk değerlendirmesinde, kimyasallara maruz kalma sonucu ortaya çıkabilecek sağlık sorunlarını tahmin etmek için kanserojen ve kanserojen olmayan etkilerin hesaplanması adına iki yöntem kullanılmaktadır.<sup>36-</sup>

<sup>38</sup> Kanserojen olmayan etkilerin risk değerlendirmesi; hedef tehlike oranına (THQ) göre yapılmaktadır ve THQ değerinin 1'in altında olması insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu anlamına gelirken, THQ 1'den büyük veya 1'e eşit ise, potansiyel bir sağlık riski vardır şeklinde yorumlanmaktadır.<sup>33,38</sup> THQ; Chien ve diğerleri (2002) tarafından sunulan denklem kullanılarak hesaplanmıştır<sup>36</sup>:

$$THQ = (EF \times ED \times WI \times C) / (RfD \times ATn) \times 10^{-3} \quad (1)$$

THQ hedef tehlike bölgesi; EF: maruziyet sıklığı (365 gün / yıl); ED: ömür boyu (70 yıl) maruz kalma süresi; WI: bitki alımının günlük vücut ağırlığına oranıdır (g/kg/gün); C: metal konsantrasyonu (mg/L); RfD: bir ağır metal için oral referans dozudur ve sırasıyla Cr:0.003, Mn:0.14, Ni:0.02, Zn:0.3, Cu:0.005, Co:0.0003, Pb:0.002 ve Cd:0.0005 mg/kg/gün değerlerindedir ve ATn kanserojen olmayanlar için ortalama süredir (70 yıl olduğu varsayılmıştır).<sup>39</sup> Ağır Metallerin Tolere Edilebilir Günlük Alım Miktarı (EDI) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$EDI = (CxW) / BW \quad (2)$$

C, metalin miktarı; W, günlük ortalama tüketim miktarı (kg/gün); BW, Toplam vücut ağırlığı (kg) BW: 72.8.<sup>40</sup> Haftalık

alım miktarı EWI olarak hesaplanıp ifade edilmektedir.

### İstatistiksel Analiz

Verilerin aktarımı ve anlamlılık ifadesi için Windows istatistik paket programı PASW Statistics 18 kullanılmıştır. Verilerin homojenliği için yapılan Levene's Testine göre verilerin dağılımı normaldir ( $p>0,05$ ). Örneklerin ağır metal birikimleri üzerinde istasyon değişkenliğinin fark gösterip göstermediğini belirlemek için yapılan tek yönlü ANOVA testi sonucuna göre kurşun (Pb) haricinde tüm ağır metal sonuçlarında % 95 güven seviyesinde anlamlı fark bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada; çeşitli nedenlerle ağır metal birikimine maruz kalan bitki numunelerinin, maruz kalamayan bitki numunelerine göre ağır metal birikimi araştırılmış olup, sonuçlar sağlık risk değerlendirme yöntemleri ile hesaplanıp, değerlendirilmiştir. Bu bağlamda Tablo 1.' de görüldüğü üzere örneklerin ağır metal değerleri mg/kg olarak verilmiştir.

Yol tozuna bağlı ağır metal kirliliği YK numune sonuçlarına bakıldığında; Co:  $2.671\pm 1.25$  mg/kg Piraziz YK örneğinde; Cu:  $12.234\pm 1.16$  mg/kg Piraziz YK örneğinde; Pb:  $1.558\pm 1.35$  mg/kg Dereli YK örneğinde; Ni:  $31.769\pm 1.05$  Dereli YK örneğinde; Cr:  $18.515\pm 1.12$  Tirebolu YK örneğinde; Mn:  $85.267\pm 0.95$  Dereli YK örneğinde; Fe:  $48.978\pm 1.09$  Espiye YK örneğinde; Zn:  $156.521\pm 0.91$  Bulancak YK örneğinde en fazla birikimdedir (Şekil 2). Cd, Se, As ağır metalleri hiçbir örnekte tespit edilmemiş olup, Tablo 1' de bu metallere yer verilmemiştir. Çalışmanın amacını destekleyici olarak Tablo 1, deneysel sonuçlara bakıldığında; yol tozu kirliliğine maruz kalan ve ağır metal birikimi beklenen YK örneklerinde ağır metal birikimleri daha fazladır. Pb'nin toksik etkisi yadsınamazdır<sup>26</sup> ve Dereli YK örneklerinde ( $1.558\pm 1.35$  mg/kg) bu değer diğer ağır metal birikimlerine göre dikkat edilecek düzeydedir. Bahsedilen kirlilikler deneysel sonuçlara göre (Tablo 1).

en çok Zn'de birikim oluşturmuştur ki en fazla düzeyde tespit edilen Bulancak YK örneğinde  $156.21\pm 0.91$  mg/kg değerinde olan Zn, Kİ örneğinde  $35.12\pm 1.01$  mg/kg olarak tespit edilmiş olup % 77.52' lik kayda değer bir fark mevcuttur (Tablo 1).

İstanbul'da E-5 karayolunda, 22 farklı noktadan alınan yol tozu örneklerinde, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd ve Ni derişimleri çalışılmış ve çalışma sonucunda, Cu, Pb ve Zn birikim miktarının, toprakta bulunması gereken azami miktardan daha fazla olduğu tespit edilmiş, bu durumun insan sağlığı açısından risk oluşturduğu bildirilmiştir.<sup>41</sup>

Türkmen ve ark. bir çalışmada; Giresun' da yetişen kara lahanada bitkisinin ICP-MS ile ağır metal birikimlerini Krom  $0.17\pm 0.01$ , Mangan  $13.5\pm 0.60$ , Demir  $49.3\pm 5.01$ , Kobalt  $1.47\pm 0.01$ , Nikel  $5.04\pm 0.35$ , Bakır  $2.56\pm 0.15$ , Çinko  $33.0\pm 5.36$ , Kurşun  $1.97\pm 0.08$  olarak ifade etmişlerdir ve bu çalışmada yer alan köy içi (Kİ) örneklerinin ağır metal birikimleriyle benzerdir. Cr değeri çalışmada neredeyse 100 kat fazladır, bu farklılık toprak çeşitliliğine ve dönemsel büyüme şartlarına bağlanabilir.<sup>33</sup> Literatürdeki bir başka çalışmada; kırsal alandan alınan yaprak lahanadaki Cu, Mn, Ni, Zn ve Pb derişimleri sırasıyla  $4,17\pm 1,4$ ;  $8,85\pm 1,55$ ;  $2,37\pm 0,56$ ;  $83,63\pm 24,53$ ,  $3,45\pm 0,83$  mg/kg, endüstriyel alandan alınan yaprak lahanadaki Cu, Mn, Ni, Zn ve Pb derişimleri  $10,11 \pm 0,3$ ;  $15,23\pm 2,32$ ;  $5,65\pm 1,45$ ;  $293,25\pm 14,75$ ;  $5,46\pm 0,75$  mg/kg değerlerindedir ki farklı tür bitki kullanılmış olup, endüstriyel alandaki ağır metal kirliliğinin daha fazla olduğu görülmektedir.<sup>42</sup> Başka bir çalışmada, sigara içilen alanlarda sıklıkla kullanılan D. amoena, D. marginata, F. elastica, S. wallisii ve Y. massengena olmak üzere beş iç mekan süs bitkisinin Cu, Co ve Ni eser metalin konsantrasyonundaki derişimler belirlemek amaçlanmış, S. wallisii ve Y. massengena'da Ni alımı ve birikimi sigara içilen alanlarla ilişkili olarak arttığı, bununla birlikte, Co ve Cu birikim oranının çevresel emisyonlar dikkate alındığında bağımsız kaldığı görülmüştür.<sup>11</sup>

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği' ne göre lahanalar başlığı altında ağır metal alımındaki maksimum limit (mg/kg yaş ağırlık) şöyledir: Pb: 0.30; Cd: 0.10 (Uygulama Tarihi 1: 31/12/2024 tarihinden itibaren). ABD Çevre Koruma Ajansı'nın referans dozlar olarak kullandığı 28(US-EPA IRIS 2006) çerçeve de esas alınmıştır ve hesaplanan EDI ve EWI değerlerinin uygunluğu görülmüştür (Tablo 3 ve Tablo 4).

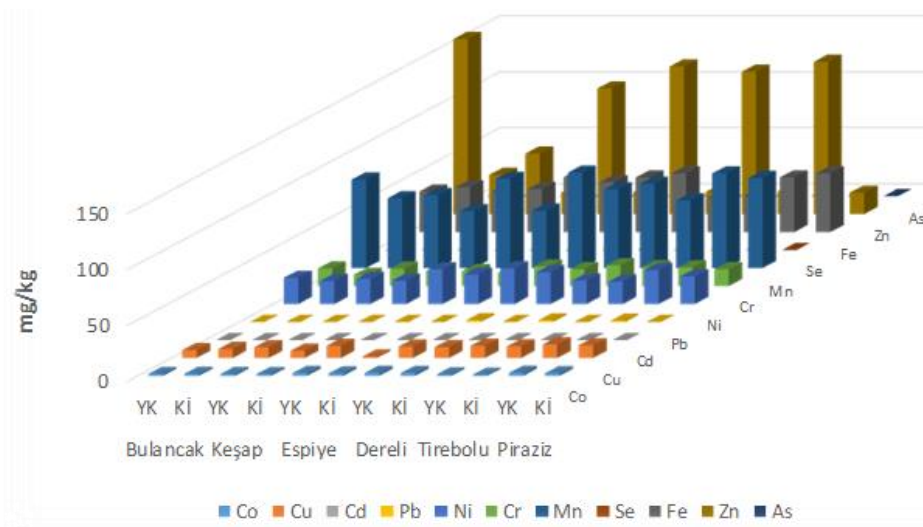


**Tablo 1.** Karadeniz Sahil Yolu üzerinde bulunan 6 ilçenin (Balancak, Keşap, Espiye, Dereli, Tirebolu, Piraziz) yol kenarından(YK) ve köy içlerinden (Kİ) toplanan kara lahana bitkisinin ağır metal değerleri (mg/kg)

	İst.	Co	Cu	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe	Zn
Balancak	YK	1.9 <sup>a</sup>	7.1 <sup>a</sup>	0.1	23.4 <sup>a</sup>	15.7 <sup>a</sup>	79.1 <sup>a</sup>	36.2 <sup>a</sup>	<b>156.2<sup>a</sup></b>
	Kİ	1.96 <sup>a</sup>	8.1 <sup>b</sup>	<LOD	20.5 <sup>b</sup>	10.0 <sup>a</sup>	62.4 <sup>ab</sup>	40.2 <sup>b</sup>	35.1 <sup>b</sup>
	% Fark	3.15	14.08	-	12.39	36.30	21.11	11.05	<b>77.52</b>
Keşap	YK	1.76 <sup>a</sup>	9.6 <sup>a</sup>	0.01	22.2 <sup>a</sup>	15.6 <sup>a</sup>	65.2 <sup>a</sup>	35.8 <sup>a</sup>	54.1 <sup>a</sup>
	Kİ	1.7 <sup>a</sup>	6.5 <sup>b</sup>	<LOD	20.9 <sup>a</sup>	13.2 <sup>a</sup>	50.9 <sup>ab</sup>	38.4 <sup>a</sup>	19.13 <sup>b</sup>
	% Fark	3.41	32.29	-	5.86	15.38	21.93	7.26	<b>64.63</b>
Espiye	YK	2.6 <sup>a</sup>	10.8 <sup>a</sup>	<LOD	30.6 <sup>a</sup>	13.3 <sup>a</sup>	79.8 <sup>a</sup>	<b>48.9<sup>a</sup></b>	112.3 <sup>a</sup>
	Kİ	2.25 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	<LOD	26.6 <sup>a</sup>	11.7 <sup>a</sup>	51.3 <sup>b</sup>	44.5 <sup>a</sup>	19.8 <sup>b</sup>
	% Fark	13.46	87.78	-	13.07	12.03	35.71	9.00	<b>82.37</b>
Dereli	YK	<b>2.72<sup>a</sup></b>	10.3 <sup>a</sup>	<b>1.6</b>	<b>31.8<sup>a</sup></b>	17.5 <sup>a</sup>	<b>85.3<sup>a</sup></b>	48.9 <sup>a</sup>	131.9 <sup>a</sup>
	Kİ	2.53 <sup>a</sup>	9.71 <sup>a</sup>	<LOD	28.5 <sup>a</sup>	15.1 <sup>a</sup>	70.3 <sup>a</sup>	52.5 <sup>a</sup>	19.75 <sup>b</sup>
	% Fark	6.99	5.73	-	10.38	13.71	17.58	7.36	<b>85.02</b>
Tirebolu	YK	1.35 <sup>a</sup>	11.0 <sup>b</sup>	1.52	21.1 <sup>a</sup>	<b>18.5<sup>a</sup></b>	75.4 <sup>a</sup>	30.5 <sup>a</sup>	127.3 <sup>a</sup>
	Kİ	1.08 <sup>a</sup>	10.4 <sup>a</sup>	<LOD	20.1 <sup>a</sup>	16.9 <sup>b</sup>	60.4 <sup>a</sup>	32.5 <sup>a</sup>	20.2 <sup>b</sup>
	% Fark	20	5.45	-	4.73	8.64	19.89	6.56	<b>84.13</b>
Piraziz	YK	2.67 <sup>a</sup>	<b>12.2<sup>a</sup></b>	1.14	30.3 <sup>a</sup>	16.6 <sup>a</sup>	84.6 <sup>a</sup>	48.9 <sup>a</sup>	136.1 <sup>a</sup>
	Kİ	2.4 <sup>a</sup>	11.4 <sup>a</sup>	<LOD	24.7 <sup>a</sup>	15.0 <sup>a</sup>	80.5 <sup>a</sup>	52.5 <sup>a</sup>	19.13 <sup>b</sup>
	% Fark	10.11	6.56	-	18.48	9.64	4.84	7.36	<b>85.94</b>

YK:Yol Kenarı ve Kİ:Köy içi numune kodlarıdır. Koyu renkli değerler, ağır metalin tüm örnekler arasındaki maksimum birikim değeridir. a ve b harfleri tür-istasyon farklılığını istatistiki olarak belirtmek için kullanılmıştır (p<0.05).

|% Fark|, numuneler arasındaki % mutlak farkı ifade eder.



**Şekil 2.** Numune istasyonlarına bağlı ağır metal birikimlerini gösteren sütun grafiği (mg/kg)

**Tablo 2.** 6 ilçenin (Bulancak, Keşap, Espiye, Dereli, Tirebolu, Piraziz) yol kenarından (YK) ve köy içlerinden (Kİ) alınan bitki örneklerinde ağır metallerin kanserojen olmayan risk değerlendirme THQ değerleri. (THQ değerleri % 1'in altındadır).

		Yetişkin							
		Co	Cu	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe	Zn
THQ	YK	4.20x10 <sup>-3</sup>	1.49x10 <sup>-4</sup>	1.06x10 <sup>-4</sup>	3.12x10 <sup>-4</sup>	3.17x10 <sup>-3</sup>	3.27x10 <sup>-4</sup>	3.48x10 <sup>-5</sup>	2.34x10 <sup>-4</sup>
	Kİ	3.88x10 <sup>-3</sup>	1.16x10 <sup>-4</sup>	NA	2.76x10 <sup>-4</sup>	2.67x10 <sup>-3</sup>	2.62x10 <sup>-4</sup>	3.63x10 <sup>-5</sup>	4.33x10 <sup>-5</sup>
		Çocuk							
THQ	YK	4.8x10 <sup>-5</sup>	9.2x10 <sup>-3</sup>	1.3x10 <sup>-5</sup>	8.0x10 <sup>-3</sup>	1.0x10 <sup>-4</sup>	1.4x10 <sup>-2</sup>	1.2x10 <sup>-4</sup>	3.6x10 <sup>-1</sup>
	Kİ	4.5x10 <sup>-5</sup>	7.1x10 <sup>-3</sup>	NA	7.1x10 <sup>-3</sup>	8.8x10 <sup>-5</sup>	1.1x10 <sup>-2</sup>	1.3x10 <sup>-4</sup>	6.7x10 <sup>-2</sup>

**Tablo 3.** Tüketilen ağır metallerin hesaplanan tahmini günlük alım miktarları (EDI) mg/gün/70 kg vücut ağırlığı cinsinden tahmini günlük alım miktarı

		Yetişkin							
		Co	Cu	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe	Zn
EDI	YK	1.3x10 <sup>-3</sup>	6.0x10 <sup>-3</sup>	1.6x10 <sup>-2</sup>	9.5x10 <sup>-3</sup>	4.6x10 <sup>-2</sup>	2.4x10 <sup>-2</sup>	3.48x10 <sup>-5</sup>	2.34x10 <sup>-4</sup>
	Kİ	1.2x10 <sup>-3</sup>	4.6x10 <sup>-3</sup>	1.4x10 <sup>-2</sup>	8.0x10 <sup>-3</sup>	3.7x10 <sup>-2</sup>	2.5x10 <sup>-2</sup>	3.63x10 <sup>-5</sup>	4.33x10 <sup>-5</sup>
		Çocuk							
EDI	YK	1.9x10 <sup>-3</sup>	9.2x10 <sup>-3</sup>	2.4x10 <sup>-2</sup>	1.5x10 <sup>-2</sup>	7.0x10 <sup>-2</sup>	3.7x10 <sup>-2</sup>	1.2x10 <sup>-4</sup>	3.6x10 <sup>-1</sup>
	Kİ	1.8x10 <sup>-3</sup>	7.1x10 <sup>-3</sup>	2.1x10 <sup>-2</sup>	1.2x10 <sup>-2</sup>	5.6x10 <sup>-2</sup>	3.9x10 <sup>-2</sup>	1.3x10 <sup>-4</sup>	6.7x10 <sup>-2</sup>

**Tablo 4.** Tüketilen ağır metallerin hesaplanan tahmini haftalık alım miktarları (EWI) mg/gün/70 kg vücut ağırlığı cinsinden tahmini haftalık alım miktarı

		Yetişkin							
		Co	Cu	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe	Zn
EWI	YK	8.8x10 <sup>-3</sup>	4.2x10 <sup>-2</sup>	1.1x10 <sup>-1</sup>	6.6x10 <sup>-2</sup>	3.2x10 <sup>-1</sup>	1.7x10 <sup>-1</sup>	3.48x10 <sup>-5</sup>	2.34x10 <sup>-4</sup>
	Kİ	8.1x10 <sup>-3</sup>	3.2x10 <sup>-2</sup>	9.7x10 <sup>-2</sup>	5.6x10 <sup>-2</sup>	2.6x10 <sup>-1</sup>	1.8x10 <sup>-1</sup>	3.63x10 <sup>-5</sup>	4.33x10 <sup>-5</sup>
		Çocuk							
EWI	YK	1.4x10 <sup>-2</sup>	6.4x10 <sup>-2</sup>	1.7x10 <sup>-2</sup>	1.0x10 <sup>-1</sup>	4.9x10 <sup>-1</sup>	2.6x10 <sup>-1</sup>	1.2x10 <sup>-4</sup>	3.6x10 <sup>-1</sup>
	Kİ	1.3x10 <sup>-2</sup>	5.0x10 <sup>-2</sup>	1.5x10 <sup>-1</sup>	8.6x10 <sup>-2</sup>	3.9x10 <sup>-1</sup>	2.7x10 <sup>-1</sup>	1.3x10 <sup>-4</sup>	6.7x10 <sup>-2</sup>

## SONUÇLAR VE YORUM

Sonuç olarak; yol tozu kirliliklerine maruz kalan kara lahana bitkisinde, toksik olan ağır metal birikimleri

dedekte edilmiş ve sonuçların sağlık risk değerlendirme hesaplanmıştır. Yol tozu kirliliğine maruz kalan numunelerin ağır metal birikimleri daha fazladır. Co, Cu, Mn ve Fe olmak üzere dört ağır metalin iki istasyon

arasındaki farkının en çok olduğu istasyon Espiye' dir. Tablo 1' e göre bir istasyona ait yol kenarı ve köy içinden alınan numunelerin ağır metal farkları (YK-Kİ), istasyonlar arasında istatistiki olarak anlamlı bir değişim göstermemiştir. Yani istasyonlara dair; daha fazla ya da daha az ağır metal birikimi vardır şeklinde yorum yapılamamaktadır. Cd, Se ve As hiçbir örnekte tespit edilmemiştir. Toksik etkisi fazla olan Pb ise bazı örneklerde hiç tespit edilmezken, yol tozu maruziyeti olan YK örneklerinde özellikle Dereli istasyonu YK örneğinde maksimum değerdedir. Hesaplanan THQ değeri 1' den küçük olduğundan sağlık açısından risk göstermemektedir (Tablo 2) ve hesaplanan değerler günlük-haftalık alımı aşmamaktadır (Tablo 3 ve Tablo 4). Bu araştırmanın sonucunda; yol tozuna maruz kalan kara lahana bitkisinde maruziyete bağlı ağır metal birikimlerinde artış tespit edilmiş olup, bu tarz çevresel kirliliklere maruz kalma durumu olan tarımsal ürünlerin tüketiminde dikkat edilmesi önerilmektedir. Kirliliğe bağlı ağır metal birikimlerindeki artışa istinaden kara lahana bitkisinin bilimsel çalışmalarında biyomonitör olarak kullanımı umut verici olacaktır.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Yazar Katkıları:** Elif Apaydın: Kavramsallaştırma; Veri Toplama; Finansman temini; Araştırma; Metodoloji; Yazım yönetimi

**Çıkar Çatışması:** Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

**Finansal Destek:** Yazar bu çalışmaya için herhangi bir finansal destek almamıştır.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** Elif Apaydın: Conceptualization; Data curation; Funding acquisition; Investigation; Methodology; Project administration.

**Conflict of Interest:** The author has no conflicts of interest to declare.

**Financial Disclosure:** The author received no financial support for this study.

## Kaynaklar

1. Sulhan OF, Sevik H, Işınkaralar K. Assessment of Cr and Zn deposition on *Picea pungens* Engelm in urban air of Ankara, Türkiye. *Environ Dev Sustain*. 2023;25(5):4365-4384.
2. Yücedağ C, Kaya LG. Effects of air pollutants on plants. *Techno-Science*. 2016;7(1):67-74.
3. Doğan S, Kiliçoğlu C, Akıncı H, et al. Determining the suitable settlement areas in Alanya with GIS-based site selection analyses. *ESPR*. 2023;30(11):29180-29189.
4. Çetin M. The effect of urban planning on urban formations determining bioclimatic comfort area's effect using satellitia imagines on air quality: a case study of Bursa city. *Air Quality, Atmosphere & Health* 2019;12(10):1237-1249.
5. Işınkaralar O, Işınkaralar K, Sevik H, et al. Spatial modeling the climate change risk of river basins via climate classification: a scenario-based prediction approach for Türkiye. *Natural Hazards*. 2024;120: 511-528.
6. Kaya E, Ağca M, Adıgüzel F, et al. Spatial data analysis with programming for environment. *HERA*. 2019; 25(6):1521-1530.
7. Adıgüzel F, Çetin M, Kaya E, et al. Defining suitable areas for bioclimatic comfort for landscape planning and landscape management in Hatay, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*. 2020;139(3):1493-1503.
8. Colbeck I, Nasir ZA, Ali Z. The state of ambient air quality in Pakistan. *ESPR*. 2010;17: 49-63.
9. Mendell MJ, Heath G. Do indoor environments in schools influence student performance? *Indoor Air*. 2005;15(1):27-32.
10. Işınkaralar K, Işınkaralar O, Koç İ, et al. Assessing the possibility of airborne bismuth accumulation and spatial distribution in an urban area by tree bark: A case study in Düzce, Türkiye. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023:1-12
11. Ghoma WEO, Sevik H, Işınkaralar K. Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *ESPR*. 2023; 30(30):75768-75776.
12. Trujillo-Gonzalez JM, Torres-Mora MA, Keesstra S, et al. Heavy metal accumulation related to population density in road dust samples taken from urban sites under different land uses. *Science Total Environ*. 2016; 553:636-642.
13. Hoskins JA. Health effects due to indoor air pollution. *Indoor And Built Environment*. 2016;12:427-433.

14. Zhang J, Smith KR. Indoor air pollution: a global health concern. *Br Med Bull.* 2003;68:209-225.
15. Topbaş M, Brohi AR, Karaman MR. Çevre Kirliliği. *T.C. Çevre Bakanlığı Yayınları.* 1998;83:13-37.
16. Yıldız N. Toprak Kirlenici Bazı Ağır Metallerin (Zn, Cu, Cd, Pb, Co ve Ni) Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler. *AÜZFD.* 2001;32(2):207-213.
17. Apaydın E. Sağlıkta Ağır Metaller Ve Eser Elementler. *İksad Yayınevi,* 2023;13:279:287.
18. Chunhabundit R. Cadmium Exposure and Potential Health Risk from Foods in Contaminated Area, Thailand. *Toxicol Res.* 2016;32(1):65-72.
19. Key K, Kulaç Ş, Koç İ, et al. Determining the 180-year change of Cd, Fe, and Al concentrations in the air by using annual rings of *Corylus Colurna L.* *Water, Air, & Soil Pollution.* 2022;233(7):244-251.
20. Kuzmina N, Menshchikov S, Mohnachev P, et al. Change of aluminum concentrations in specific plants by species, organ, washing, and traffic density. *BioResources.* 2023;18(1):792-803.
21. Shahid M, Dumat C, Khalida S, et al. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. *J. Hazard. Mater.* 2017;325:36-58.
22. WHO/IPCS. Environmental Health Criteria Document 134. Cadmium, WHO. Genova. 1992.
23. WHO/IPCS. Principles for Evaluating Chemical Effects on the Aged Population, Environmental Health Criteria Document 144. IPCS, WHO, Genova.1993.
24. Bakar C, Baba A. Metaller ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu, 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı. 30 Ekim–1 Kasım 2009. Ürgüp Bld., Kültür Merkezi, Ürgüp/ Nevşehir.
25. Sevik H, Çetin M, Özel HU, et al. Determination of Pb and Mg Accumulation in Some of the Landscape Plants in Shrub Forms. *ESPR.* 2020;27(2):2423-2431.
26. Alaçouri HAA, Genç CO, Arıcağ B, et al. The Possibility of Using Scots Pine Needles as Biomonitor in Determination of Heavy Metal Accumulation. *ESPR.* 2020;27(16):20273-20280.
27. İstanbullu SN, Sevik H, Işınkaralar K, et al. Spatial distribution of heavy metal contamination in road dust samples from an urban environment in Samsun, Türkiye. *Bul Environ Contam Toxicol.* 2023;110:78.
28. Kamunda C, Mathuthu M, Madhuku M. Health risk assessment of heavy metals in soils from Witwatersrand Gold Mining Basin, South Africa. *Int J. Environ. Res. Public Health.* 2016;13(7):663.
29. Zheng N, Wang Q, Zhang X, et al. Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. *Sci. Total Environ.* 2007;387(1-3):96-104.
30. Mutlu T. Heavy metal concentrations in the edible tissues of some commercial fishes caught along the Eastern Black Sea coast of Turkey and the health risk assessment. *Spectroscopy Letters.* 2021;54:6:437-445.
31. Mutlu T. Distribution of toxic and trace metals in fish from the Black Sea: Implications for human health risks. *Emerging Contaminants.* 2024;10(2):100295.
32. Savaş DS, Sevik H, Işınkaralar K, et al. The potential of using *Cedrus atlantica* as a biomonitor in the concentrations of Cr and Mn. *ESPR.* 2021;28(39):55446-55453.
33. Türkmen M, Akyurt İ, Duran K, et al. Giresun Yöresinden Bazı Yenilebilir Bitkilerde Metal Birikimlerinin Değerlendirilmesi. *KFBD.* 2016;6(14):99-105.
34. Alam MGM, Tanaka A, Stagnitti F, et al. Observations on the effects of caged carp culture on water and sediment metal concentrations in Lake Kasumigaura, Japan. *Ecotoxicol. and Environ. Safety.* 2001;48(1):107-115.
35. Wan D, Han Z, Liu D, et al. Risk Assessments of Heavy Metals in House Dust from a Typical Industrial Area in Central China. *Human and Ecological Risk Assessment.* 2016;22(2):489-501.
36. Chien LC, Hung TC, Choang KY, et al. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. *Science total environ.* 2002;285(1-3):177-185.



37. Verep B, Mutlu T. Heavy Metal Concentrations and Health Risk Assessment in Sardasarda (Bloch, 1793) Caught in the Turkish Black Sea Coasts. *Acta Aquatica Turcica*. 2022;18(2):208-216.
38. Akkan T, Mutlu T. Assessment of Heavy Metal Pollution of Çoruh River (Turkey). *KFBD*. 2022;12(1):355-367.
39. US-EPA IRIS United States. Environmental protection agency, integrated risk information system. 2006. <http://www.epa.gov/iris/substS>
40. TUIK, Türkiye İstatistik Kurumu. 2018. <http://www.tuik.gov.tr/>
41. Sezgin N, Özcan HK, Demir G, et al. Determination of Heavy Metal Concentrations in Street Dusts in Istanbul E-5 Highway. *Environment International*, 2003;29:979-985.
42. Tanak AG. Samsun Çevresinde Yetişen Bazı Yeşil Bitkilerdeki Ağır Metallerin Tayini. Yüksek İhtisas Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Samsun. 2006.