

# Havadaki Metal Kirliliğinin (Ca, Mg, Mn) Tespitinde Kent Merkezindeki Mavi Ladin (*Picea pungens*) Ağacının Yaprak ve Dallarının Biyomonitör Olarak Kullanılabilirliği

Taher Abdulai Alttaher ATEYA<sup>1</sup>, Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR<sup>2</sup>, İsmail KOÇ<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Ana Bilim Dalı, Kastamonu, Türkiye

<sup>2</sup>Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Fakültesi, Kastamonu, Türkiye

<sup>3,\*</sup>Düzce Üniversitesi, Ormanlık Meslek Yüksekokulu, Düzce, Türkiye

## Makale Tarihiçesi

Gönderim: 26.11.2022

Kabul: 18.05.2023

Yayın: 15.08.2023

## Araştırma Makalesi



**Öz** – Dünya özellikle son yüzyılda iklim değişikliği, küresel ısınma ve hava kirliliği gibi üç temel problemle karşı karşıya kalmıştır. Artan insan nüfusu daha fazla kentleşme ve endüstrileşme dolayısıyla hava kirliliğe sebep olmaktadır. Çeşitli sebeplerle doğaya salınan ağır metaller havada bulunan partikül maddelere tutunarak gerek insan gerekse de bitkiler için son derece zararlı olabilmektedirler. Bitki büyüme ve gelişmesi için gerekli olan makro ve mikro besin elementleri içerisinde kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve mangan (Mn) aynı zamanda bir ağır metaldir. Bazı ağır metaller düşük miktarları canlı toplulukları için son derece tehlikeli olmakta iken bitki için gerekli olan besin elementleri de belli eşik değerleri aştıkları zaman bitki için toksik bir etki yapmaktadırlar. Bundan dolayı Ca, Mg ve Mn elementlerinin bitki organlarındaki miktarlarının ve bu konsantrasyonlarının yıllar içerisindeki değişiminin tespiti son derece önemlidir. Ankara Ulus semtindeki bir mavi ladin (*Picea pungens* Engelm.) ağacından alınan dal ve yaprak örneklerinde analizler gerçekleştirilerek, Ca, Mg ve Mn konsantrasyonlarının bitki kısımlarına ve yıllara göre değişimleri incelenmiştir. Çalışma sonuçları Ca, Mg ve Mn metal konsantrasyonlarının bitki kısımları ve organ yaşına bağlı olarak önemli miktarda farklılaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, *Picea pungens* ağacının dal ve yaprakları ağır metal konsantrasyonlarının izlenmesinde yani biyomonitör olarak kullanımına uygun olduğunu göstermektedir. Çalışmada tercih edilen yöntem, ağacı hayatı bir tehlikeye sokmayan, sürdürülebilir bir metot olarak değerlendirilebilir.

**Anahtar Kelimeler** – Biyomonitör, kalsiyum, magnezyum, mangan, *Picea pungens*

## The Usability of Blue Spruce (*Picea pungens*) Tree Leaves and Branches in the City Center as Biomonitors for the Detection of Metal Pollution (Ca, Mg, Mn) in the Air

<sup>1</sup>Kastamonu University, Institute of Science, Department of Engineering Management, Kastamonu, Türkiye

<sup>2</sup>Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kastamonu, Türkiye

<sup>3,\*</sup>Düzce University, Forestry Vocational School, Düzce, Türkiye

## Article History

Received: 26.11.2022


Accepted: 18.05.2023

Published: 15.08.2023


## Research Article

**Abstract** – Especially in the last century, the world has faced three main problems: climate change, global warming, and air pollution. The increasing human population causes air pollution due to more urbanization and industrialization. Heavy metals released into nature for various reasons can harm humans and plants by adhering to particulate matter in the air. Among the macro and micronutrients required for plant growth and development, calcium (Ca), magnesium (Mg), and manganese (Mn) are also heavy metals. While low amounts of some heavy metals are hazardous for living communities, the nutritional elements necessary for the plant also have a toxic effect on the plant when they exceed certain threshold values. Therefore, it is crucial to determine the amounts of Ca, Mg, and Mn elements in plant organs and the change of these concentrations over the years. The changes of Ca, Mg, and Mn concentrations according to plant parts and years were investigated by analyzing branch and leaf samples taken from a Blue spruce (*Picea pungens* Engelm.) tree in the Ulus district of Ankara. The results revealed that Ca, Mg, and Mn metal concentrations differed significantly depending on plant parts and organ age. This result shows that the branches and leaves of *Picea pungens* tree are suitable for monitoring heavy metal concentrations, that is, as a biomonitor. The preferred method in the study can be considered sustainable and does not endanger the tree's life.

**Keywords** – Biomonitor, calcium, magnesium, manganese, *Picea pungens*

<sup>1</sup>  taherateya1819@gmail.com

<sup>2</sup>  obayraktar@kastamonu.edu.tr

<sup>3</sup>  ismailkoc@duzce.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İsmail KOÇ

## 1. Giriş

Dünyamız özellikle son yüzyılda küresel iklim değişikliği (Cantürk ve Kulaç, 2021; Chaudhry ve Sidhu, 2021) ile kuraklığın artması ve yağış miktarının azalması (Ogaya ve Peñuelas, 2021; Koç vd., 2022a), ormanlara sosyal baskının artması ve ormansızlaşma (Durkaya vd., 2020; Kaptan vd., 2021), arazi kullanımının değişimi (Aksoy ve Kaptan, 2021; Kaptan, 2021; Kaptan vd., 2022), yanında çevresel kirlilik (hava, toprak, su) (Şahin vd., 2020; Yadav vd., 2021; Kuzmina vd., 2023), kentleşme (Rahman ve Alam, 2021; Khan vd., 2021) ve erozyon, sel ve taşkınlar (Kilicoglu vd., 2021; Dogan vd., 2022) gibi birçok felaketle yüz yüze kalmıştır. Bu felaketlerden öncelikle küresel iklim değişikliği, kuraklık ve kirlilik bitkilerin büyüme, gelişim ve fizyolojisi üzerinde birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır (Koç, 2022a). Bu olumsuz durumlara maruz kalan odunsu bitki toplulukları toprakta bulunan ve bitki toplulukları için hayati olan besin elementlerini (mikro ve mikro) su ile hücrelerine alamamakta ve dolayısıyla büyüme ve gelişimleri sekteye uğramaktadır (Mansoor vd., 2021; Koç vd., 2022b; Ullah ve Farooq, 2022).

Bitkiler besin zincirinin üreticiler kısmında yer almasından dolayı yeryüzündeki bütün canlı topluluklarıyla devamlı bir etkileşim içerisinde (Ninkovic vd., 2019; Varol vd., 2022). Bitki toplulukları yaşam döngüleri boyunca güneş ışığını yapraklarındaki klorofil pigmentleriyle absorbe etmekte ve stomaları vasıtasıyla hücrelerine aldıkları karbondioksiti kullanarak diğer canlılar için gerekli olan fotosentezi üretmekle beraber kendileri için de besin maddesi üretmektedirler (Kume vd., 2019; Gur vd., 2021; Koç ve Nzokou, 2022). Buldukları ortamdaki toprak yapısı (Neina, 2019; Shults vd., 2020; Cetin vd., 2022), iklim (yağış ve sıcaklık) (Bell vd., 2020; Koç, 2022b) ve yükselti (Özel vd., 2021) faktörler bitkilerin büyüme ve gelişmesi üzerinde etkilidir. Bitki büyümesi ve gelişimi, bitkinin sahip olduğu genetik yapı (Hrivnak vd., 2017; Housset vd., 2018; Özel vd., 2022) ile çevresel etkenlerin etkileşimi altında oluşmakta (Li vd., 2020; Koç, 2022a; Mu vd., 2022) ve bu sürecin tüm aşamalarında bitki besin elementleri son derece önemli bir rol oynamaktadır (Abdelaal vd., 2021).

Bitkilerin kullandıkları besin elementlerini mikro ve makro olarak sınıflandırılmaktadır. Makro besin elementleri (hidrojen, karbon, oksijen, azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum, fosfor, kükürt) bitki büyüme ve gelişmesinde olması gereken elementler olup, bu elementlerin eksikliğinde bitki büyümesi sekteye uğramaktadır (Çobanoğlu vd., 2022). Macro besin elementlerinin yanında mikro besin elementleri (mangan, demir, çinko, vb. gibi) de bitki büyüme ve gelişmesinde rol oynamaktadırlar.

Kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve mangan (Mn) gibi besin elementleri bitkinin büyüme ve gelişmesi için önemli bir elementler olması yanında (Çobanoğlu vd., 2022) bitki bünyesinde miktarının belli değerlerin üzerine çıkması dolayısıyla bir toksik etki yapmaktadır. Ağır metal olarak sınıflandırdığımız kurşun (Pb), krom (Cr), nikel (Ni) ve civa (Hg) gibi elementlerin düşük miktarları bile canlı organizmalar için toksik ve zararlı birçok etkisi bulunmaktadır (Ghori vd., 2019; Jamla vd., 2021; Isinkalar vd., 2022a; Cobanoglu vd., 2023). Bitki büyüme ve gelişmesi için gerekli olanların makro ve mikro besin elementlerinin bile eşik değerini aşan yüksek dozları canlı organizmalar için toksik etki yapmaktadır (Ghori vd., 2019; Kumar vd., 2021; Yaashikaa vd., 2022). Bu sebepten dolayı bu metallerin su, hava ve toprak içerisindeki miktarının veya konsantrasyonlarının belirlenmesi son derece önemlidir (Isinkalar vd., 2022b).

Birçok kirlenici tarafından (fabrika, egzoz gazları, aşırı gübreleme) doğaya salınan metallerin çökmesi nedeniyle bu kirleniciler bitkilerin çeşitli kısımlarında ve toprakta metal birikimi yapmaktadır. Başta ağır metaller olmak üzere metaller bitkilerin tohumlarının çimlenmesinden başlayıp, büyüme ve gelişmesini, ürün kalitesini, azot döngüsünü, fotosentetik aktiviteyi ve enzim yapısını bozmakta veya sekteye uğratmaktadır (Aydın ve Pakyürek, 2020). Bunların yanında ağır metallerin hem bitkiler hem de insanlar üzerinde birçok zararlı yönleri (alerjik reaksiyonlar, astım, depresyon, kanser gibi) mevcuttur (Mishra vd., 2019). Özellikle son yıllarda meydana gelen hızlı ve kontrolsüz kentleşme, endüstriyel faaliyetler sonucunda çevresel problemlerden en önemlisi olan kirliliği artırmakta (Şahin vd., 2020; Uzun vd., 2022) ve bu metallerin atmosferdeki oranında ciddi artışlara sebep olmuştur (Mariana vd., 2021). Dünya nüfusunun 2050 yılında

yaklaşık %68'i kentsel alanlarda yaşayacağı düşünülürse (United Nations, 2019) bu metallerin havadaki konsantrasyonlarının öncelikle belirlenmesi ve azaltılması hem insan sağlığı hem de çevresel açıdan son derece önemlidir (Çobanoğlu vd., 2022).

Ancak, su ve topraktaki metal konsantrasyonlarının belirlenmesinde doğrudan ölçüm yöntemleri kullanılırken havadaki metal konsantrasyonunun belirlenmesinde pahalı ölçüm aletleri gerektirmesinden dolayı biyomonitörlerden yararlanılmaktadır (Koç, 2021). Bu yöntem ağır metal miktarlarının dönemsel değişiminin izlenmesi konusunda daha güvenilir bilgiler sağlamanın yanında hem ucuz hemde kolaydır. Liken ve yosunlar biyomonitör olarak ilk kullanılan türler olmuştur (Paoli vd., 2018; Chen vd., 2019). Ancak, havadaki değişimin uzun yıllardaki etkisinin belirlenmesinde (metal birikiminin hangi yılda meydana geldiği) yetersiz kalmaktadır (Cetin vd., 2022). Bu sorunu gidermek için özellikle, yetişme ortamındaki iklimsel değişikliklerden dolayı odunsu türlerde meydana gelen yıllık halkalar, ağır metallerin havadaki konsantrasyonlarının belirlenmesinde son yıllarda sıkça tercih edilmektedir (Key vd., 2022). Ancak yıllık halkaların elde edilmesi için bu odunsu bitki veya ağaçların kesilmesi gerekmektedir ve bu durum bitkiye zarar vermektedir (Cetin vd., 2020). Odunsu bitki topluluklarına zarar vermeden havadaki bu metal kirliliğinin tespitinde ağacın dalları ve dalların üzerinde bir yıldan uzun bir süre kalabilen iğne yapraklar kullanılabilir.

Peyzaj açısından ve mavi-yeşil, gümüşü renginden dolayı en çok tercih edilen, yaz kuraklığından ve yağış yetersizliğinden fazla etkilenmeyen, asit yağmurları ve zehirli gazlara toleransı yüksek ve toprak isteği bakımından kanaatkâr tür olması (Vacek vd., 2021) nedeniyle mavi ladin bu çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada Ca, Mg ve Mn elementinin havadaki konsantrasyonunun son yıllardaki nasıl bir değişim gösterdiğini belirlemek amacıyla, mavi ladin ağacının dal ve yaprakları araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı, Örnek Alımı ve Hazırlanması

Çalışma, 2019 yılında dünya başkentleri arasında en kirli 46 başkenti (18.4 µg/m<sup>3</sup>) olan (IQAir, 2019) Ankara ili Ulus semtinde Ulus-Kızılay karayolunun kenarında, yola yaklaşık 2 m. mesafedeki bulunan bir mavi ladin ağacının yol tarafına bakan dallarından elde edilen dal ve ibre örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin alındığı ağacın önünden geçen anayol sekiz şeritli bir yol olup gün içerisinde hemen her saatte yoğun bir trafik bulunmaktadır.

Kesilen dal parçaları laboratuvarda yaşlarına göre sınıflandırılmış ve farklı yaşlardan örnekler alınmıştır. Mavi ladin çok yıllık ibreli bir ağaç türü olması dolayısıyla dal ve ibrelerin hangi yıl oluştukları bilinebilmekte diğer bir deyişle yaşları tespit edilebilmektedir. Sınıflandırılan örnekler yaklaşık 1 ay boyunca laboratuvar ortamında hava kurusu haline getirilmiş ve sonrasında 45 °C sıcaklıktaki etüvde 1 ay boyunca kurutulmuştur. Kahve öğütücüsü yardımıyla toz haline getirilen örneklerden 0,5 g alınıp (3 tekrarlı olarak) üzerine 10 ml %65'lik HNO<sub>3</sub> ilave edilmiştir. Daha sonra bu örnekler mikro dalga cihazında 280 PSI basınç altında 180 °C'de 20 dakika yakılmıştır. Soğuyan örnekler bulunduğu balon jojeler üzerine deiyonize su ilave edilerek 50 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler 45 µm'lik fitre kâğıttan süzülerek GBC Integra XL – ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma- Optik Emisyon Spektromesi) cihazında uygun dalga boylarında okumalar gerçekleştirilmiştir (Gültekin, 2020). 0,5 gr alınan örnekler 50 ml'ye kadar su ile tamamlandığı için sonuçları 100 ile çarpılıp gerçek değerleri elde edilmiştir. Ca, Mg ve Mn elementleri için dal ve ibrelerden yıl ve organ bazında elde edilen örnekler 3 tekrarlı olarak alınmıştır.

### 2.2. İstatistiksel Analizler

Ölçümler sonuçları SPSS 21.0 paket programına yardımıyla değerlendirilmiştir. Verilere üzerinde öncelikle Varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve ANOVA analizinde anlamlı bulunan faktörler için Duncan testi (alpha=0.05) uygulanmıştır.

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında değerlendirilen elementlerin organ bazındaki konsantrasyonları arasında istatistiki olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan ANOVA sonuçları Tablo 1 de gösterilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, mavi ladin ağacının dal ve ibre örneklerinde Mg ve Mn bazında istatistiki olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmişken ( $p=0,000$ ) Ca elementinde anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ( $p=0,773$ ). Mg ve Mn element konsantrasyonları dallara kıyasla ibre örneklerinde daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 1

Elementlerin organ bazında konsantrasyonlarına ait ANOVA ve Duncan sonuçları

Element	İbre	Dal	F değeri
Ca (ppm)	3255,1	3257,0	0,773 ns
Mg (ppm)	878,3 b	742,3 a	0,000 ***
Mn (ppm)	28,2 b	21,3 a	0,000 ***

Farklı harfler (a, b) her element için bitki kısmındaki farklılıkları göstermektedir. ns: istatistiksel olarak anlamlı değil. \*\*\* =  $p<0.001$ .

#### 3.1. Ca Element Konsantrasyonunun Yıl Organ Bazında Değişimi

Ca element konsantrasyonunun bitki kısımları ve yıl bazında nasıl bir değişim olduğuna ilişkin analiz (ANOVA ve Duncan test) sonuçları Tablo 2’de özetlenmiştir. Mavi ladin ağacının dal ve ibrelerindeki Ca konsantrasyonunu 2014 yılı dışında bütün yıllardaki değişiminin istatistiki olarak anlamlıdır ( $p<0,05$ ). Ancak yine bazı yıllarda Ca konsantrasyonu dallarda, bazı yıllarda ise ibrelerdeki daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde 2013, 2015, 2016 ve 2018 yıllarında ibrelerde, 2017 ve 2019 yıllarında ise dallardaki Ca konsantrasyonunun daha yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Mavi ladin ağacının dal ve ibrelerindeki Ca konsantrasyonunu 2014 yılı dışında bütün yıllardaki değişiminin istatistiki olarak anlamlıdır ( $p<0,05$ ). Ancak yine bazı yıllarda Ca konsantrasyonu dallarda, bazı yıllarda ise ibrelerdeki daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde 2013, 2015, 2016 ve 2018 yıllarında ibrelerde, 2017 ve 2019 yıllarında ise dallardaki Ca konsantrasyonunun daha yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Yıllar bazında değişimler incelendiğinde hem dallarda hem ibrelerde Ca konsantrasyonunun yıl bazında değişim miktarı istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0,0001$ ) olduğu bulunmuştur. İbrelerdeki ve dallardaki Ca konsantrasyonunun sırasıyla 3248,4 - 3259,6 ppm ve 3227,1 - 3313,9 ppm arasında değiştiği belirlenmiştir. Ancak yıllar bazındaki Ca konsantrasyonları da birbirine oldukça yakındır.

Tablo 2

Ca element konsantrasyonunun (ppm) yıl ve organ bazında değişimi

Yıl	Dal	İbre	F Değeri
2013	3242,6 Ab	3252,5 Bb	116,371 ***
2014	3252,3 c	3254 c	3,981 ns
2015	3228,1 Aa	3257,2 Bd	1277,385 ***
2016	3249,3 Ac	3259,6 Be	140,413 ***
2017	3285,9 Bd	3257 Ad	38,457 **
2018	3227,1 Aa	3248,4 Ba	373,237 ***
2019	3313,9 Be	3256,9 Ad	2402,712 ***
F Değeri	264,455 ***	315,989***	

Farklı harfler (a, b, c, .vb.) her yıl için bitki kısımlarında veya her bitki kısmında yıllar içinde önemli farklılıkları göstermektedir. Küçük harfler bitki organlarında yıllar arasındaki farklılıkları belirtirken, büyük harfler aynı yıldaki bitki organları arasındaki farkı belirtir. ns: istatistiksel olarak anlamlı değil. \*\*\* =  $p < 0,001$ , \*\* =  $p < 0,01$ .

### 3.2. Mg Element Konsantrasyonunun Yıl Organ Bazında Değişimi

Mg element konsantrasyonunun bitki kısımları ve yıl bazında nasıl bir değişim olduğuna ilişkin analiz (ANOVA ve Duncan test) sonuçları [Tablo 3](#)'de özetlenmiştir. Mg konsantrasyonunun dal ve ibrelerdeki değişimi bütün yıllarda istatistiksel olarak farklılık gösterdiği ( $p < 0,001$ ) tespit edilmiştir. Ortalama Mg konsantrasyonları incelendiğinde, 2019 yılı hariç bütün yıllarda dallarda elde edilen Mg konsantrasyonunun ibrelerde elde edilen Mg konsantrasyonundan daha düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. İbre ve dallardaki ortalama Mg konsantrasyonları arasında en yüksek fark 2017 yılında elde edilmiş olup, 2017 yılında ibrelerde belirlenen Mg konsantrasyonu dallarda belirlenenin yaklaşık 1,89 katıdır.

Tablo 3

Mg element konsantrasyonunun (ppm) yıl ve organ bazında değişimi

Yıl	Dal	İbre	F Değeri
2013	867,6 Af	989,7 Bf	2314,2 ***
2014	867,9 Af	925,9 Bc	393,7 ***
2015	615,9 Ab	728,2 Ba	13159,4 ***
2016	845,7 Ae	979,7 Be	2758,7 ***
2017	497,3 Aa	940,7 Bd	104530,3 ***
2018	674,8 Ac	854,2 Bb	11253,1 ***
2019	826,9 Bd	729,5 Aa	90,1 **
F Değeri	1317,4 ***	4896,5 ***	

Farklı harfler (a, b, c, .vb.) her yıl için bitki kısımlarında veya her bitki kısmında yıllar içinde önemli farklılıkları göstermektedir. Küçük harfler bitki organlarında yıllar arasındaki farklılıkları belirtirken, büyük harfler aynı yıldaki bitki organları arasındaki farkı belirtir. \*\*\* =  $p < 0,001$ , \*\* =  $p < 0,01$ .

### 3.3. Mn Element Konsantrasyonunun Yıl Organ Bazında Değişimi

Mn element konsantrasyonunun bitki kısımları ve yıl bazında nasıl bir değişim olduğuna ilişkin analiz (ANOVA ve Duncan test) sonuçları [Tablo 4](#)'de özetlenmiştir. Mn'nin dal ve ibrelerdeki konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p < 0,001$ ). İbrelerdeki Mn konsantrasyonunun 2019 yılı dışındaki tüm yıllarda dallardakinden daha yüksektir (Tablo 4). Konsantrasyonlar arasındaki en yüksek fark 2018 yılında olup ibrelerdeki Mn konsantrasyonu dallardaki Mn konsantrasyonundan yaklaşık iki kat fazladır.

Tablo 4

Mn element konsantrasyonunun (ppm) yıl ve organ bazında değişimi

Yıl	Dal	İbre	F Değeri
2013	26,3 Ae	34,3 Bf	3444,9 ***
2014	25,5 Ad	29,9 Be	903,2 ***
2015	16,1 Aa	26,5 Bd	5847,2 ***
2016	20,5 Ac	25,3 Bc	10368,0 ***
2017	16,0 Aa	21,9 Bb	3097,6 ***
2018	19,2 Ab	38,7 Bg	14259,4 ***
2019	25,3 Bd	20,9 Aa	195,0 ***
F Değeri	1333,2 ***	3984,4 ***	

Farklı harfler (a, b, c, .vb.) her yıl için bitki kısımlarında veya her bitki kısmında yıllar içinde önemli farklılıkları göstermektedir. Küçük harfler bitki organlarında yıllar arasındaki farklılıkları belirtirken, büyük harfler aynı yıldaki bitki organları arasındaki farkı belirtir. ns: istatistiksel olarak anlamlı değil. \*\*\* =  $p < 0,001$ , \*\* =  $p < 0,01$ .

Mn konsantrasyonunun hem dallarda hem de ibrelerde belirlenen Mn konsantrasyonunun yıl bazında değişimi istatistiki olarak anlamlıdır ( $p < 0,001$ ). Dallarda en düşük Mn konsantrasyonu 16,1 ppm ile 2015 yılında elde edilirken ibrelerde ise en düşük Mn konsantrasyonu 20,9 ppm ile 2019 yılında tespit edilmiştir. Dallardaki en yüksek Mn konsantrasyonu ise 26,3 ppm ile 2013 yılında elde edilirken ibrelerde ise en yüksek Mn konsantrasyonu 38,7 ppm ile 2018 yılında tespit edilmiştir. Genel olarak hem dallarda hem de ibrelerde Mn konsantrasyonu ile yıl arasında bir ilişki olduğunu söylemek oldukça zordur.

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Bitkiler için gerekli olan besin maddelerinden makro besin elementleri (N, P, K, Ca gibi) bitkiler için tüm yaşam boyunca gereklidir. Mikro besin elementlerinin eksikliğinde ise bitki büyüme ve gelişiminde bazı olumsuzluklar yaşayabilmektedir. Ca elementi bitkilerin büyüme ve gelişmesinden kalite ve verimine kadar olan birçok aşamasında önemli rolü bulunmaktadır (Mossi, 2018; Erdem vd., 2023). Bundan dolayı günümüze kadar süregelen çalışmalarda çoğunlukla gübrelemenin bitkinin kalitesi ve verimi üzerinde durulmuşken (Akladios ve Mohamed, 2018) bu metalin bitkiye olumsuz etkisi üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır (Çobanoğlu vd., 2022).

Bu çalışmada, ibrelerdeki Ca konsantrasyonu genellikle dallardaki konsantrasyondan daha yüksek seviyede olduğu ve Ca konsantrasyonunu yıl bazında çok farklı olmadığı tespit edilmiştir. Ancak, yapılan bir çalışmada dallarda tespit edilen Ca konsantrasyon miktarı ibrelere kıyasla 1,41 kat daha fazla bulunmuştur (Mossi, 2018). Oysa başka bir çalışmada, Ca konsantrasyonunun bitki farklı kısımları arasında 10 kat oranında farklılıklar gösterebileceği ifade edilmiştir (Çobanoğlu vd., 2022). Farklı elementlerde de benzer sonuçlara tespit edilmiş olup bu farklılığın bitki türü ve organından kaynaklandığı vurgulanmıştır (Turkyılmaz vd., 2020; Sevik vd., 2020). Bir başka çalışmada, organ yaşı artışının Ca konsantrasyon miktarı ile pozitif bir korelasyona sahip olduğunu bildirmiştir (Cetin vd., 2020).

Bu çalışmada dallardaki Mg konsantrasyonu ibrelere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Birçok peyzaj bitkisi organları üzerinde yapılan bir çalışmada Mg konsantrasyonunun bitki organları arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır (Sevik vd., 2020). Yapılan bir başka çalışmada ise *Ailanthus altissima* ve *Prunus cerasifera* türlerinin yapraklarında tespit edilen Mg konsantrasyonu *Tilia tomentosa* ve *Eleagnus angustifolia* türlerinden yaklaşık olarak 2 kat daha fazladır (Turkyılmaz vd., 2018). Mavi ladin ağacının dal örnekleri üzerinde yapılan bu çalışmada Mg konsantrasyonu ile yıllar arasında güçlü bir ilişki olduğunu söylemek mümkün değildir. Ancak yapılan bir çalışmada organ yaşı ile Mg konsantrasyonu arasında pozitif bir korelasyon olduğu bildirilmiştir (Çobanoğlu, 2019).

Bu çalışmada mavi ladin ağacının ibre örneklerindeki Mn konsantrasyonunun genel olarak dal örneklerine kıyasla daha yüksek (yaklaşık iki kat) olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara benzer sonuçlar bir başka

çalışmada ortaya konulmuştur ve o çalışmadaki yaprak ve dal arasındaki Mn konsantrasyon farkı 1,99 olarak bulunmuştur (Mossi, 2018). Bir başka çalışmada, Mn konsantrasyonu endüstriyel alanda ortalama Mn konsantrasyonu fıstık çamı ve zakkum bitkisinin yaprak ve odununda arasındaki yaklaşık olarak sırasıyla 6,91 ve 4,56 olarak tespit edilmiştir (Olivia ve Mingorance, 2006). Ancak dört farklı türün yaprakları üzerinde yapılan bir çalışmada Mn konsantrasyonu en yüksek *Eleagnus angustifolia* yapraklarına tespit edilmiş olup türlerinin yaprakları arasında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamıştır (Türkyılmaz vd., 2018). Bu çalışmada dal ve ibre yapraklardaki Mn konsantrasyonu ile yıl arasında bir ilişki bulunamamıştır. Yapılan başka çalışmalarda da benzer şekil de sonuçlar ortaya konulmuştur ve herhangi bir doğru orantı tespit edilememiştir (Alkharam, 2019; Çobanoğlu, 2019).

Bilindiği üzere metaller bitki bünyesine ya topraktan su ile beraber ya da havadan girebilmektedirler. Havadaki partiküllere yapışan metaller öncelikle bitkinin dal ve yapraklarına yapışmakta ve sonrasında bitki bünyesine alınmaktadır. Tutunma yüzeyinin pürüzlü olması havada partikül maddeye tutunmuş durumda bulunan metallerin bu yüzeylere daha kolay tutunmasına dolayısıyla o yüzeylerde daha yüksek konsantrasyonda metal ihtiva etmesine sebep olmaktadır (Koç, 2021; Yayla vd., 2022; Sulhan vd., 2022).

Bitki kısımları üzerinde tespit edilen metal konsantrasyonları hem çevresel kirleticilerin hemde bitkinin test edilen organının yapısıyla ilgilidir. Havada bulunan partikül maddelerine tutunan metaller bitkinin organlarına tutunmakla kalmayıp partikül maddeleri kontamine etmek suretiyle bitki kısımlarındaki metal konsantrasyonlarında bir artışa sebep olmaktadır (Türkyılmaz vd., 2020; Isinkaralar vd., 2022a). Yapılan bir çalışmada, dış kabuktaki metal konsantrasyonun iç kabuğa kıyasla daha yüksek olduğu bildirmiştir (Koç, 2021).

Ağır metallerin bitki bünyesine alınması birbirinden bağımsız gözükse ancak birbirini etkisi olan sayısız faktörün etkileşimi altında şekillendiğini göstermektedir. Bitkilerin farklı kısımlarında bulunan tespit edilen ağır metal konsantrasyonları yani ağır metal biriktirme potansiyelleri, bitki türe yani anatomik yapısı ile doğrudan ilişkilidir (Arıcak vd., 2020).

Bütün fenotipik karakterler gibi bitki metabolizması da çevre koşulları (Mu vd., 2022) ile genetik yapının (Housset vd., 2018) müşterek etkileşimi altında biçimlenmektedir. Dolayısıyla bitkinin metabolik yapısını etkileyen ana faktör olan bitkinin genetik yapısı (Hrivnak vd., 2017) yanında toprak (Neina, 2019; Shults vd., 2020) ve iklim (yağış ve sıcaklık) (Venios vd., 2020; Koç, 2022b) etmenlere ek olarak, bitki orijini, stres seviyesi ve süresi (Seleiman vd., 2021), gübreleme (Abdelaal vd., 2021) gibi dış faktörler bitkilerdeki ağır metal depolanmasına etki etmektedir.

Bundan dolayı öncelikle hangi ağır metalin hangi bitkinin hangi organında daha fazla tutulduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin yakın geçmişteki ağır metal kirliliğinin izlenmesinde kullanılabilecek türler arasında *Picea*, *Abies*, *Pinus* vb. cinslerin türleri sayılmaktadır. Ancak bu cinslerin bazı türleri üzerinde yapılan bir çalışmada en uygun türün *Picea pungens* olduğu belirlenmiştir (Türkyılmaz vd., 2018).

Çalışma sonuçları Ca, Mg ve Mn metal konsantrasyonlarının bitkinin farklı kısımlarında bulunan organ ve organ yaşına bağlı olarak kayda değer ölçüde değiştiğini ortaya çıkartmıştır. Bu sonuç, türün ibre ve dallarının, ağır metal konsantrasyonlarının izlenmesinde yani biyomonitör olarak kullanımına uygun olduğunu göstermektedir. Çalışmada tercih edilen yöntem, ağacı hayati bir tehlikeye sokmayan, sürdürülebilir bir metot olarak değerlendirilebilir. Bu yöntem *Picea pungens* gibi ibreleri ağaç üzerinde uzun yıllar kalabilen ve organ yaşı doğru olarak tespit edilen bitki türlerinde (*Picea*, *Abies* ve *Pinus*) kullanılabilir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Taher Abdulai Alttaher ATEYA'nın Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı'nda "Kentsel Planlama Çalışmalarında Ağır Metal Kirliliğinin Değişiminin İzlenmesinde *Picea pungens* Engelm.'in Kullanılabilirliği" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## Yazar Katkıları

Taher Abdulai Alttaher ATEYA: Literatür taraması, araştırma, metodoloji, deneyler, yazım.

Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR: İstatistiksel analizler, metodoloji, yazım, kontrol.

İsmail KOÇ: İstatistiksel analizler, yazım, kontrol, düzenleme.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

## Kaynaklar

- Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Király, L., & Künstler, A. (2021). The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology*, 10(6), 520.
- Akladios, S. A., & Mohamed, H. I. (2018). Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annum*) plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 236, 244-250.
- Aksoy, H., & Kaptan, S. (2021). Monitoring of land use/land cover changes using GIS and CA-Markov modeling techniques: a study in northern Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8), 1-21.
- Alkharam, A.S.A. (2019). *The Opportunities of Abies nordmanniana subsp. equi-trojani (Asc. & Sint. ex Boiss.) Coode & Cullen Species for Usability as biomonitor in monitoring the change of heavy metal concentrations in recent past* (Master's thesis). Access address: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Aricak, B., Cetin, M., Erdem, R., Sevik, H., & Cometen, H. (2020). The usability of scotch pine (*Pinus sylvestris*) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2).
- Aydın, Ş. D., & Pakyürek, M. (2020). Heavy metal accumulation potential in pomegranate fruits and leaves grown in roadside orchards. *PeerJ*, 8, e8990.
- Cantürk, U., & Kulaç, Ş. (2021). The effects of climate change scenarios on *Tilia ssp.* in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(12), 1-15
- Cesur, A., Zeren Cetin, I., Cetin, M., Sevik, H., & Ozel, H. B. (2022). The use of *Cupressus arizonica* as a biomonitor of Li, Fe, and Cr pollution in Kastamonu. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(6), 1-9.
- Cetin, M., Aljama, A. M. O., Alrabiti, O. B. M., Adiguzel, F., Sevik, H., & Zeren Cetin, I. (2022). Using topsoil analysis to determine and map changes in Ni Co pollution. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 1-11.
- Cetin, M., Sevik, H., & Cobanoğlu, O. (2020). Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21816-21825.
- Chaudhry, S., & Sidhu, G. P. S. (2021). Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant Cell Reports*, 1-31.
- Chen, Y. E., Wu, N., Zhang, Z. W., Yuan, M., & Yuan, S. (2019). Perspective of monitoring heavy metals by moss visible chlorophyll fluorescence parameters. *Frontiers in Plant Science*, 10, 35.
- Çobanoğlu, H., Şevik, H., & Koç, İ. (2022). Havadaki Ca konsantrasyonunun tespitinde ve trafik yoğunluğu ile ilişkisinde yıllık halkaların kullanılabilirliği. *Icontech International Journal*, 6(3), 94-106.
- Cobanoğlu, H., Sevik, H., & Koç, İ. (2023). Do annual rings reveal Cd, Ni, and Zn pollution in the air related to traffic density? An example of the Cedar tree. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(2), 65.
- Çobanoğlu, O. (2019). *The possibilities of using blue spruce (Picea pungens Engelm) as a bio-monitor by measuring the recent accumulation of heavy metals in its leaves* (Master's thesis). Access address: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Dogan, S., Kilicoglu, C., Akinci, H., Sevik, H., & Cetin, M. (2022). Determining the suitable settlement areas in Alanya with GIS-based site selection analyses. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.



- Durkaya, B., Kaptan, S., & Durkaya, A. (2020). Socio-economic and cultural sources of conflict between forest villagers and forest; a case study from Black Sea Region, Turkey. *Crime, Law and Social Change*, 74(2), 155-173.
- Erdem, R., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2023). The Change of the Concentrations of B and Na in Some Forest Soils Depending on Plant Species. *Forestist*, (InPress)
- Ghori, N. H., Ghori, T., Hayat, M. Q., Imadi, S. R., Gul, A., Altay, V., & Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(3), 1807-1828.
- Gur, E., Cetin, M., Ozel, H. B., Guney, K., & Sevik, H. (2021). The effect of hormone treatments on germination and seedling characters of sage (*Salvia officinalis* L.) seeds. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 36(2), 62-69.
- Housset, J. M., Nadeau, S., Isabel, N., Depardieu, C., Duchesne, I., Lenz, P., & Girardin, M. P. (2018). Tree rings provide a new class of phenotypes for genetic associations that foster insights into adaptation of conifers to climate change. *New Phytologist*, 218(2), 630-645.
- Hrivnák, M., Paule, L., Krajmerová, D., Kulaç, Ş., Şevik, H., Turna, İ., ... Gömöry, D. (2017). Genetic variation in tertiary relics: The case of eastern-Mediterranean *Abies* (*Pinaceae*). *Ecology and Evolution*, 7(23), 10018-10030.
- IQAir, (2019). 2019 world air quality report: region & city pm2.5 ranking. <https://www.iqair.com/us/world-most-polluted-cities> (2019).
- Isinkaralar, K., Koc, I., Erdem, R., & Sevik, H. (2022a). Atmospheric Cd, Cr, and Zn deposition in several landscape plants in Mersin, Türkiye. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(4), 1-10.
- Isinkaralar, K., Koç, İ., Kuzmina, N. A., Menshchikov, S. L., Erdem, R., & Aricak, B. (2022b). Determination of heavy metal levels using *Betula pendula* Roth. under various soil contamination in southern urals, Russia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(12), 12593-12604.
- Jamla, M., Khare, T., Joshi, S., Patil, S., Penna, S., & Kumar, V. (2021). Omics approaches for understanding heavy metal responses and tolerance in plants. *Current Plant Biology*, 27, 100213.
- Kaptan, S. (2021). Changes in forest areas and land cover and their causes using intensity analysis: the case of Alabarda forest planning unit. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(7), 1-17.
- Kaptan, S., Aksoy, H., & Durkaya, B. (2022). Estimation of uneven-aged forest stand parameters, crown closure and land use/cover using the Landsat 8 OLI satellite image. *Geocarto International*, 37(5), 1408-1425.
- Kaptan, S., Durkaya, A., & Durkaya, B. (2021). Investigation of land cover changes and social pressures in forest areas in Turkey: the case of Drahn Forest Planning Unit. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(23), 1-15.
- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2022). 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*, 233(7), 1-13.
- Khan, I., Hou, F., Le, H. P., & Ali, S. A. (2021). Do natural resources, urbanization, and value-adding manufacturing affect environmental quality? Evidence from the top ten manufacturing countries. *Resources Policy*, 72, 102109.
- Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2021). Integrating multicriteria decision-making analysis for a GIS-based settlement area in the district of Atakum, Samsun, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 379-388.
- Koç, İ. (2021). Using *Cedrus atlantica*'s annual rings as a biomonitor in observing the changes of Ni and Co concentrations in the atmosphere. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 35880-35886.
- Koç, İ. (2022a). Comparison of the gas exchange parameters of two maple species (*Acer negundo* and *Acer pseudoplatanus*) seedlings under drought stress. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(1), 65-76.
- Koç, İ. (2022b). Determining the near-future biocomfort zones in Samsun province by the global climate change scenarios. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 22(2), 181-192.
- Koç, İ., & Nzokou, P. (2022). Do various conifers respond differently to water stress? A comparative study of white pine, concolor and balsam fir. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 22(1), 1-16.

- Koç, İ., Cantürk, U., & Çobanoğlu, H. (2022b). Changes of plant nutrients K and Mg in several plants based on traffic density and organs. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 8(1), 54-59.
- Koç, İ., Nzokou, P., & Cregg, B. (2022a). Biomass allocation and nutrient use efficiency in response to water stress: insight from experimental manipulation of balsam fir, concolor fir and white pine transplants. *New Forests*, 53(5), 915-933.
- Kumar, A., Jigyasu, D. K., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Shabnam, A. A., Cabral-Pinto, M. M. S., ... Bhatia, A. (2021). Nickel in terrestrial biota: Comprehensive review on contamination, toxicity, tolerance and its remediation approaches. *Chemosphere*, 275, 129996.
- Kume, A., Akitsu, T., & Nasahara, K. N. (2018). Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems? *Journal of Plant Research*, 131(6), 961-972.
- Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H. B., ... & Sevik, H. (2023). Change of Aluminum Concentrations in Specific Plants by Species, Organ, Washing, and Traffic Density. *BioResources*, 18(1), 792-803.
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M. R., & Wu, H. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 148, 80-89.
- Mansoor, S., Kour, N., Manhas, S., Zahid, S., Wani, O. A., Sharma, V., ... Ahmad, P. (2021). Biochar as a tool for effective management of drought and heavy metal toxicity. *Chemosphere*, 271, 129458.
- Mariana, M., HPS, A. K., Mistar, E. M., Yahya, E. B., Alfatah, T., Danish, M., & Amayreh, M. (2021). Recent advances in activated carbon modification techniques for enhanced heavy metal adsorption. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102221.
- Mishra, S., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S., & Chowdhary, P. (2019). Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. In *environmental biotechnology: for sustainable future* (pp. 103-125). Springer, Singapore.
- Mossi, M.M.M (2018). *Determination of heavy metal accumulation in the some of landscape plants for shrub forms* (PhD. thesis). Access address: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Mu, Q., Guo, T., Li, X., & Yu, J. (2022). Phenotypic plasticity in plant height shaped by interaction between genetic loci and diurnal temperature range. *New Phytologist*, 233(4), 1768-1779.
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 5794869, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>.
- Ninkovic, V., Rensing, M., Dahlin, I., & Markovic, D. (2019). Who is my neighbor? Volatile cues in plant interactions. *Plant Signaling & Behavior*, 14(9), 1634993.
- Ogaya, R., & Peñuelas, J. (2021). Climate change effects in a Mediterranean forest following 21 consecutive years of experimental drought. *Forests*, 12(3), 306.
- Oliva, S. R., & Mingorance, M. D. (2006). Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts. *Chemosphere*, 65(2), 177-182.