

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜMÜŞHANE İLİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİ TESPİTİ İÇİN SARIÇAM
(*Pinus sylvestris* L.) BİTKİSİNİN BİYOMONİTÖR OLARAK KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat AYDIN

ARALIK 2017

GÜMÜŞHANE

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMANCILIK VE ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞHANE İLİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİ TESPİTİ İÇİN SARIÇAM
(*Pinus sylvestris* L.) BİTKİSİNİN BİYOMONİTÖR OLARAK KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat AYDIN

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
"Ormancılık ve Çevre Bilimleri Anabilim Dalı"
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.12.2017
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 22.12.2017**

ARALIK 2017

KABUL ve ONAY

Doç. Dr. Duygu ÖZDEŞ danışmanlığında **Murat AYDIN** tarafından hazırlanan “**GÜMÜŞHANE İLİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİ TESPİTİ İÇİN SARIÇAM (*Pinus sylvestris* L.) BİTKİSİNİN BİYOMONİTÖR OLARAK KULLANILMASI**” isimli bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **Ormancılık ve Çevre Bilimleri** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.


Başkan : Prof. Dr. Selim ŞEN

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Duygu ÖZDEŞ

Üye : Doç. Dr. Özgün KALKIŞIM

ONAY

Bu tez 24/01/18 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Perkan ŞİPAHİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ormancılık ve Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum ***“Gümüşhane İlinde Ağır Metal Kirliliği Tespiti için Sarıçam (Pinus sylvestris L.) Bitkisinin Biyomonitör Olarak Kullanılması”*** isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim. 06/12/2017

Murat AYDIN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜMÜŞHANE İLİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİ TESPİTİ İÇİN SARIÇAM (*Pinus sylvestris* L.) BİTKİSİNİN BİYOMONİTÖR OLARAK KULLANILMASI

Murat AYDIN

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ormancılık ve Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Duygu ÖZDEŞ

2017, 73 Sayfa

Bu çalışma, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) bitkisi yapraklarının ağır metal kirliliğinde biyomonitor olarak kullanılabilirliğini belirleyerek, bu bitki aracılığıyla Gümüşhane ilinde Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Cr, Al, Co, As ve Hg gibi ağır metallerin seviyelerinin nicel olarak saptanması amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla ağır metal kirliliğinin yüksek seviyede olabileceği şehir merkezi, organize sanayi bölgesi, transit yol ve sanayi bölgelerinden 35 farklı lokaliteden sarıçam örnekleri toplanmıştır. Ayrıca kirliliğin en az olabileceği 7 farklı kontrol noktasından örnekler alınmıştır. Ağır metal analizlerinden önce yaprak örnekleri, uygun çözücü karışımları kullanılarak kapalı sistem mikrodalga cihazında çözünürleştirilmiştir. Daha sonra örnekler uygun hacme seyreltilip, indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrofotometrisi (ICP-MS) cihazı yardımıyla ağır metallerin analizleri yapılmıştır.

Çalışmamızda en yüksek ortalama Pb, Cr, Al, Mn ve Co seviyeleri sırasıyla 7,44 $\mu\text{g g}^{-1}$, 1,09 $\mu\text{g g}^{-1}$, 764,6 $\mu\text{g g}^{-1}$, 144,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 0,17 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak sanayi bölgesinden alınan numunelerde, en yüksek ortalama Cd, Cu, Ni ve Zn miktarları sırasıyla 0,25 $\mu\text{g g}^{-1}$, 4,69

$\mu\text{g g}^{-1}$, $0,93 \mu\text{g g}^{-1}$ ve $53,5 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak transit yol üzerinden alınan numunelerde, en yüksek ortalama Fe miktarı $379,3 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak şehir merkezinden alınan numunelerde ve en yüksek ortalama As miktarı ise $0,78 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak organize sanayi bölgesinden alınan numunelerde gözlemlenmiştir. Analizi yapılan bitki yapraklarının tamamında Hg seviyelerinin tayin sınırının altında olduğu tespit edilmiştir. Yaprak örneklerinde Pb, Cd, Cu, Ni, Cr ve Co konsantrasyonlarının bitkilerde tolere edilebilir üst sınırdan daha düşük olduğu görülmesine rağmen, Al seviyeleri tüm örneklerde bitkilerde tolere edilebilir üst sınırdan daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Biyomonitör, Gümüşhane, İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrofotometrisi, Kirlilik, Sarıçam

ABSTRACT

MS THESIS

UTILIZATION OF SCOTCH PINE (*Pinus sylvestris* L.) AS BIOMONITOR FOR DETERMINATION OF HEAVY METAL POLLUTION IN GUMUSHANE PROVINCE

Murat AYDIN

Gumushane University

The Graduate School of Forestry and Environmental Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Duygu ÖZDEŞ

2017, 73 Pages

This study was carried out to investigate the usage of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) leaves as biomonitor in heavy metal pollution and to determine the levels of heavy metals such as Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Cr, Al, Co, As and Hg, quantitatively in Gumushane province by utilizing this plant. For this purpose scotch pine samples were collected from 35 different localities from the city center, organized industrial zone, highway area and industrial zone where the heavy metal pollution may be at high levels. In addition, the samples were collected from 7 different control points where the contamination is minimal. Prior to heavy metal analysis leaf samples were digested in a closed vessel microwave system using appropriate solvent mixtures. Then the samples were diluted to the appropriate volume and analyzed for the heavy metals by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS).

In the study, the highest mean Pb, Cr, Al, Mn and Co levels were obtained as 7,44 $\mu\text{g g}^{-1}$, 1,09 $\mu\text{g g}^{-1}$, 764,6 $\mu\text{g g}^{-1}$, 144,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 0,17 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectively in the industrial zone, the highest mean Cd, Cu, Ni and Zn levels were found as 0,25 $\mu\text{g g}^{-1}$, 4,69 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,93 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 53,5 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectively in the highway area, the highest Fe amount was obtained as 379,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ in the city center while the highest As level was determined as 0,78 $\mu\text{g g}^{-1}$ in the organized industrial zone. The Hg levels were obtained below detection

limit in all the analyzed plant leaves. Although the Pb, Cd, Cu, Ni, Cr and Co concentrations were detected lower than the tolerable limits of them in the plant samples, the Al levels were obtained higher than the tolerable limits of it in the plant samples in all analyzed leaf samples.

Keywords: Heavy Metal, Biomonitor, Gumushane, Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrophotometer, Pollution, Scotch Pine

TEŞEKKÜR

Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ormancılık ve Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; her mevsim yaprakları yeşil kalan ve Gümüşhane ilinde en yaygın bitki türleri arasında yer alan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) türünün iğne yapraklarının ağır metal kirliliğinde biyomonitor olarak kullanılabilirliğini belirlemek, bu bitki aracılığıyla Gümüşhane ilinde Pb, Cd, Ni, Al, As, Cu, Fe, Cr, Hg, Zn, Co ve Mn gibi ağır metallerin seviyelerini nicel olarak saptamak ve Gümüşhane'de ağır metal kirliliğini en az seviyeye indirmede bu bitki türünün katkısının olup olmayacağını ortaya koymak amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında samimi desteklerini yanımda hissettiğim, değerli danışmanım Doç. Dr. Duygu ÖZDEŞ'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca beni bugünlere getiren değerli babam Cengiz AYDIN ve annem Meryem AYDIN'a, ayrıca yanımda oldukları için abim Burak AYDIN ve eşim Şenay AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Katma değeri yüksek bir çalışma olması temennilerimle.

Murat AYDIN
Gümüşhane, 2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Ağır Metal Kaynakları ve İnsan Sağlığına Etkileri.....	4
1.2.1. Kurşun (Pb).....	6
1.2.2. Kadmiyum (Cd).....	7
1.2.3. Bakır (Cu).....	9
1.2.4. Çinko (Zn).....	10
1.2.5. Demir (Fe).....	10
1.2.6. Mangan (Mn).....	11
1.2.7. Nikel (Ni).....	12
1.2.8. Krom (Cr).....	13
1.2.9. Alüminyum (Al).....	14
1.2.10. Kobalt (Co).....	15
1.2.11. Arsenik (As).....	16
1.3. Ağır Metal Kirliliğinde Bitkilerin Biyomonitör Olarak Kullanılması.....	17
1.4. Sarıçam'ın (<i>Pinus sylvestris</i> L.) Botanik Özellikleri.....	20
1.5. Çalışma Alanının Özellikleri.....	22
1.5.1. Coğrafi Konum.....	22

1.5.2. Genel Bitki Örtüsü.....	22
1.5.3. İklim.....	23
1.5.4. Sanayi.....	24
1.6. Analiz Yöntemi.....	25
1.6.1. ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi).....	25
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	28
2.1. Bitki Materyallerinin Alınması.....	28
2.2. Yöntem.....	28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
3.1. Kurşun (Pb).....	33
3.2. Kadmiyum (Cd).....	35
3.3. Bakır (Cu).....	38
3.4. Çinko (Zn).....	41
3.5. Demir (Fe).....	44
3.6. Mangan (Mn).....	46
3.7. Nikel (Ni).....	48
3.8. Krom (Cr).....	51
3.9. Alüminyum (Al).....	53
3.10. Kobalt (Co).....	56
3.11. Arsenik (As).....	58
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
5. KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	<i>Pinus sylvestris</i> L. Bitkisi ve Yaprığının Genel Görünüşü.....	20
Şekil 1.2.	Sarıçam Ağacının Türkiye’deki Yayılış Lokasyonları.....	21
Şekil 1.3.	Gümüşhane İli Haritası.....	23
Şekil 1.4.	ICP-MS Cihazının Donanım Detayı.....	26
Şekil 1.5.	ICP-MS Agilent 7700 Series Cihazı Genel Görünüşü.....	27
Şekil 2.1.	Numunelerin Alındığı Kontrol ve Transit Yol Bölgesi Uydu Görüntüsü.....	31
Şekil 2.2.	Numunelerin Alındığı Şehir Merkezi Bölgesi Uydu Görüntüsü.....	31
Şekil 2.3.	Numunelerin Alındığı Organize Sanayi Bölgesi Uydu Görüntüsü.....	32
Şekil 2.4.	Numunelerin Alındığı Sanayi Bölgesi Uydu Görüntüsü.....	32
Şekil 3.1.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Pb Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Pb Kirlilik Düzeyleri.....	35
Şekil 3.2.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Cd Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Cd Kirlilik Düzeyleri.....	38
Şekil 3.3.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Cu Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Cu Kirlilik Düzeyleri.....	40
Şekil 3.4.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Zn Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Zn Kirlilik Düzeyleri.....	43

Şekil 3.5.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Fe Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Fe Kirlilik Düzeyleri	45
Şekil 3.6.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Mn Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Mn Kirlilik Düzeyleri.....	48
Şekil 3.7.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Ni Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Ni Kirlilik Düzeyleri.....	50
Şekil 3.8.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Cr Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Cr Kirlilik Düzeyleri.....	53
Şekil 3.9.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Al Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Al Kirlilik Düzeyleri.....	55
Şekil 3.10.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama Co Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama Co Kirlilik Düzeyleri.....	58
Şekil 3.11.	(a) Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Yapraklarındaki Ortalama As Seviyelerinin Tolere Edilebilir Üst Sınır ile Karşılaştırılması (b) Çeşitli Lokalitelerden Toplanan Bitki Yapraklarında Ortalama As Kirlilik Düzeyleri.....	60

TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No:</u>
Tablo 1.1. Biyomonitör Bitkilerin Avantaj ve Dezavantajları.....	3
Tablo 1.2. Toksik Ağır Metal Kaynakları.....	5
Tablo 1.3. Tolere Edilebilir Ağır Metal Düzeyleri.....	6
Tablo 1.4. ICP-MS Cihazının Basitleştirilmiş Çalışma Prensibi.....	26
Tablo 2.1. Bitki Örneklerinin Topladığı Lokaliteler.....	30
Tablo 3.1. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Pb Seviyeleri....	34
Tablo 3.2. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Pb Azalma Oranları.....	35
Tablo 3.3. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Cd Seviyeleri....	37
Tablo 3.4. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Cd Azalma Oranları.....	38
Tablo 3.5. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Cu Seviyeleri....	40
Tablo 3.6. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Cu Azalma Oranları.....	41
Tablo 3.7. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Zn Seviyeleri....	43
Tablo 3.8. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Zn Azalma Oranları.....	43
Tablo 3.9. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Fe Seviyeleri....	45
Tablo 3.10. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Fe Azalma Oranları.....	46
Tablo 3.11. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Mn Seviyeleri...	47
Tablo 3.12. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Mn Azalma Oranları.....	48
Tablo 3.13. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Ni Seviyeleri....	50
Tablo 3.14. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Ni Azalma Oranları.....	51
Tablo 3.15. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Cr Seviyeleri....	52
Tablo 3.16. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Cr Azalma Oranları.....	53
Tablo 3.17. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Al Seviyeleri....	55

Tablo 3.18.	Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Al Azalma Oranları.....	56
Tablo 3.19.	Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Co Seviyeleri....	57
Tablo 3.20.	Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Co Azalma Oranları.....	58
Tablo 3.21.	Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin As Seviyeleri....	60
Tablo 3.22.	Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde As Azalma Oranları.....	60

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Çevre kirliliği günümüzde tüm dünyayı etkileyen, gelecek nesillerin bugünkü kirlilik yükünden zarar görebileceği ve oluşan kirliliğin ülke sınırlarını aşarak küresel etkilere sebep olabileceği ciddi yaşam problemleri arasında ön sıralarda yer almaktadır.

Çevre kirliliği çoğunlukla insan aktiviteleri sonucu oluşmaktadır. Endüstriyel faaliyetlerin hızla gelişmesine paralel olarak bu alanlarda kullanılan kimyasal maddelerin doğaya daha çok karışması, sanayileşme, ulaşım araçlarının kullanım oranının artması, enerji için tüketilen kömür, petrol ve uranyum gibi doğal kaynakların varlığı, yoğun maden işletmeciliği ve tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar nedeniyle çevre kirliliği ciddi boyutlara ulaşmıştır (Attademo vd., 2017). Doğal yollarla oluşan çevre kirliliği ekosistem tarafından belli boyutlara kadar etkisiz veya zararsız hale getirilebilmesine rağmen insanlar tarafından oluşturulan kirliliklerden bazıları atmosferde dar bir alanda yoğunlaştığından, bu yapay kirlilik türleri biyolojik dengenin bozulmasına ve ekolojik sistemde ciddi boyutta değişimlere neden olmaktadır (Ahmed vd., 2016).

Çevre kirliliğine sebep olan faktörlerden biri de canlılar üzerinde son derece toksik etki oluşturan ve yer kabuğunda doğal olarak bulunan ağır metallerdir (Fashola vd., 2016). Günümüzde ekosistemin her aşamasında olumsuz etkileri görülebilen ağır metal kirliliği dünyada olduğu kadar ülkemizde de ciddi boyutlarda görülmektedir (Rashed, 2015). Kimyasal maddeler, hayvansal gübreler, zirai ilaçlar, petrolden elde edilen kurşunlu benzin ve motorin, pil, akü, bataryalar ile enerji üretiminde kullanılan kömür gibi kaynakların ağır metal kirliliğine sebep olduğu bilinmektedir (Mahour ve Mahour, 2012; Sakan vd., 2015). Ağır metaller, insan vücuduna gıdalar, içme suyu ve hava yolu ile girerler. Bakır, demir, mangan, molibden ve çinko gibi bazı esansiyel ağır metaller belli konsantrasyon seviyelerinde canlı metabolizmasında önemli rol oynamasına rağmen kadmiyum, civa ve kurşun gibi esansiyel olmayan ağır metallerin metabolizmada hiçbir fonksiyonu bulunmamaktadır (Pathania, 2016; Suvarapu ve Baek, 2016; Zhao vd., 2017). Bu tür ağır metaller biyolojik organizmalarda birikir ve etkili dozlara ulaştıklarında da akciğer kanseri, astım, alzheimer, beyin dokularında tahribat, böbrek yetersizliği, deri hastalıkları, işitme bozuklukları, kansızlık, sakat doğumlar, kısırlık, mide ağrıları, yüksek tansiyon, ruhsal ve

nörolojik etkilere bağılı davranış bozuklukları gibi pek çok sağıık sorunları meydana getirirler (Boğa, 2007; Ugulu, 2015).

Gümüşhane ilinde de çevre kirliliğine yol ağan etmenlerin başıında ağır metaller gelmektedir. Gümüşhane ili, 6.575 km² yüzölçümüne sahip olup, Doğu Karadeniz Bölgesinin iç kesiminde 38° 45' - 40° 12' doğu boylamları ile 39° 45' - 40° 50' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Doğusunda Bayburt, batısında Giresun, kuzeyinde Trabzon ve güneyinde Erzincan ile komşudur. İlin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1210 metredir. Gümüşhane'nin ekonomisi genel olarak tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Gümüşhane'de zengin maden yatakları bulunmakta olup, madencilik faaliyetleri yoğun bir şekilde yürütölmektedir. Etrafının yüksek dağlarla çevrili olması ve hava sirkölasyonunun fazla olmaması nedeniyle atmosfer kirliliğinin yoğun olduğu bir yerleşim yeridir. Bu nedenle Gümüşhane ilinde, insanlar ve diğer canlı organizmalar üzerinde son derece olumsuz etkileri bulunan ağır metallerin kirlilik boyutunun ve dağılımının tespit edilmesi önem arz etmektedir.

Bitkiler, sanayi tesisleri ve transit yol geğişleri gibi ağır metal kirlilik potansiyeli yüksek olan bölgelerde yaprak, gövde ve kökleri tarafından ağır metalleri bünyesine alabilmekte ve bu durum bitki bünyesinde ağır metal birikmesi ile sonuçlanmaktadır. Ağır metallerin bitki bünyesinde oluşturduğu birikimin tespiti ise o bölgelerde oluşın çevre kirliliği hakkında fikir vermesi yönünden önem arz etmektedir. Sonuçta bu tespitlere dayanılarak kirlilik azaltma yöntemlerinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Markert, 1993; Shukla vd., 2014; Cansaran vd., 2016).

Ağır metal kirliliği tespitinde biyomonitör olarak ekosistemde hayvanlar ve çeşitli aletler kullanılabilmesine rağmen daha çok bitkilerin kullanımı tercih edilmektedir. Çünkü bitkilerin yer değiştirmeden aynı alanda uzun süre bulunmaları, temin edilmelerinin kolay olması ve ucuza mal edilebilmeleri yönüyle çeşitli avantajları söz konusudur (Kleckerová ve Dočekalová, 2014; Yılmaz vd., 2006).

Biyomonitor olarak kullanılacak olan bitkilerin aşıaıda belirtildiği gibi bazı özelliklere sahip olmaları gerekmektedir (Akgüç, 2007; Aksoy vd., 2012);

- ✓ Temin edilecek alanda fazlaca bulunmalı,
- ✓ Mümkünse homojen olarak geniş alanlarda yayılım göstermeli,
- ✓ Bulunduğu bölgedeki ağır metalleri bünyesinde biriktirebilmeli,
- ✓ Tespiti ve örnek temini kolay olmalı,
- ✓ Uygulanacak analiz metoduna uygun nitelikte olmalıdır.

Bitkilerin biyomonitor olarak kullanılmasının avantaj ve dezavantajları ise karşılaştırmalı olarak Tablo 1.1’de verilmektedir.

Tablo 1.1. Biyomonitör Bitkilerin Avantaj ve Dezavantajları

Biyomonitör Bitkilerin Avantajları	Biyomonitör Bitkilerin Dezavantajları
Çalışma materyali direkt doğadan temin edildiği için maliyeti düşüktür.	Standardizasyon işlemi kısıtlı şekilde yapılabilir.
Kirleticilerin biyolojik etkileri hakkında kalitatif bilgiler elde edilmesi mümkündür.	Tekrarlanabilirliği çeşitli çalışma alanları için düşüktür.
Ölçüm zamanından önceki birikim durumu hakkında bilgi sağlar.	Toprak ve havadan karışan kirleticileri kesin sınırlar içinde ayırt etmek zordur.
Bakım gibi maliyet ve araştırma süresini değiştirecek külfeti yoktur.	Enstrümantal yöntemlere göre sonuç almak uzun sürer.
İnceleme yapılması için enerji sağlayan bir ekipmana ihtiyaç yoktur.	

Ağır metal kirliliğinin izlenmesinde ve tespitinde, bugüne kadar yapılan çalışmalarda *Robinia pseudoacacia* L. (Aksoy vd., 2000; Tzvetkova ve Petkova, 2015), liken (Caridi vd., 2017), *Amaranthus viridis* (Eid ve Shaltout, 2016), *Angelica sylvestris*, *Apium nodiflorum*, *Tradescantia fluminensis*, *Nasturtium officinale*, *Persicaria lapathifolia*, *Arctium lappa*, *Typha latifolia* (Baldantoni ve Alfani, 2016), *Maclura pomifera* (Rafin.) Schneider (Cansaran vd., 2016), *Pongamia pinnata* ve *Kigelia africana* (Sharma vd., 2015), *Juniperus virginiana* (Severoglu vd., 2015), *Cupressus sempervirens*, *Ligustrum ovalifolium* ve *Euonymus japonicus* (Mansour, 2014), *Pyracantha Coccinea* Roem. (Akgüç, 2007) ve *Tillandsia usneoides* (Pellegrini vd., 2014) gibi farklı bitki türleri kullanılmıştır. Ayrıca Vural (2013), Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ve *Robinia pseudoacacia* bitkisindeki ağır elementlerin konsantrasyonlarını araştırmıştır. Bu tez kapsamında ise Gümüşhane ilinde ağır metal kirliliğinin tespitinde; çok yıllık ve sürekli yeşil kalabilen, yüksek yapılı bitki türü olarak Gümüşhane ilinde en fazla yayılım gösteren türlerden biri olan ve Tablo 1.1’de bahsedilen özellikleri de azami ölçüde kapsayan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) bitkisi yapraklarının biyomonitor olarak kullanılabilirliği test edilmiştir. Yaptığımız literatür araştırmasına göre, Gümüşhane ilinde ağır metal kirliliği tespiti için sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) bitkisi yapraklarının bir gereç olarak kullanıldığına dair herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu bilgiler doğrultusunda, yapılan tez çalışmasının amacı aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- ✓ Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) bitkisi yapraklarının Gümüşhane ilinde ağır metal kirliliği tespitinde biyomonitör olarak kullanılıp kullanılamayacağını ortaya koymak,
- ✓ Bu bitkinin biyomonitör olarak kullanılabilirliğinin tespit edilmesi halinde, bu bitkiyi kullanarak Gümüşhane ilinde Pb, Cd, Ni, Al, As, Cu, Fe, Cr, Hg, Zn, Co ve Mn gibi ağır metallerinin sebep olduğu kirliliğin boyutlarını tespit etmek,
- ✓ Gümüşhane ilinde ağır metal kirliliğini en az seviyeye indirmede, bu bitki türünün katkısı olup olamayacağını ortaya koymak amaçlanmıştır.

1.2. Ağır Metal Kaynakları ve İnsan Sağlığına Etkileri

Genel olarak toksik etkileri olan ve çevreye baca gazları, evsel atıklar, nükleer ve termik santraller, fabrikalar, maden işletmeleri, trafik, tarım ilaçları ve aşırı gübreleme gibi faaliyetlerle yayılarak kirliliğine neden olabilen, yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha büyük olan metaller, ağır metal olarak adlandırılmaktadır (Güven vd., 2004). Bu gruba 60'tan fazla metal dahil edilmektedir. Başlıca antropojenik kökenli ağır metal kaynakları Tablo 2.1'de görülmektedir.

Günümüzde modern yaşamın getirdiği imkan ve teknolojilerden faydalanırken enerji kaynaklarının da fazlaca kullanıldığı ortadadır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı, ziraat alanında ve sanayide kullanılan kimyasal maddeler ve bunların atıkları ağır metal içermekte olup, çevre kirliliğine yol açtığı bilinmektedir (Kahvecioğlu vd., 2003; Kartal vd., 2004). Benzin gibi fosil kaynaklı yakıtlara katılan alkali kurşun çevre kirliliğine yol açtığı için kullanımı ülkemizde sınırlandırılmış veya durdurulmuştur. Yine kozmetik sektöründe ağır metal içerikli ürünler piyasada mevcuttur. Bunun yanı sıra sigara içerisinde de ağır metal içerikli maddeler yer almaktadır. Çevresel yatırımlardan; evsel atık depolama tesislerindeki çöp sızıntı sularında, atık su arıtma tesislerine ait arıtma çamurlarında ve kimyasal madde üretimi yapan bir tesisin baca gazında ağır metal kirliliği oluşumu söz konusudur (Sarı, 2009). Ayrıca şehir merkezlerine yakın yerlerde yetiştirilen sebze, meyve ve bakliyat gibi gıda maddelerinin ağır metal içeriğinin, yerleşim yerlerine uzak ve ulaşımın sınırlı olduğu alanlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Tarım alanlarında verimi arttırmaya yönelik bilinçsizce yapılan zirai ilaçlama çalışmaları da toprakta ve o toprakta yetişen bitkide ağır metal seviyesinde artışa sebep olmaktadır. Temizlik amacıyla

kullanılan maddeler ve deterjanlar toprak ve yüzey suları ile denizlerde uzun vadede ciddi ağır metal birikintisine sebebiyet vererek kirlenmeye yol açmaktadır.

Doğal yollarla veya antropojenik faktörlerle atmosfere yayılan ağır metaller; bitkiler, içme suları ve besin zinciri yoluyla insanlara ve hayvanlara ulaşır ve aynı zamanda canlı organizmalar tarafından havadan toz halinde doğrudan solunurlar. Vücuttan uzaklaştırılamayan ve zaman içinde toksik değerlere ulaşan bu metaller, metabolizmadaki çözünürlükleri, emilimleri, taşınimleri ve kimyasal reaktivliklerine göre insanlarda, ruhsal ve nörolojik etkilere bağlı davranış bozuklukları, bazı organların işlevini yapamaması, çeşitli sakatlıklar ve hatta kanserojenik etkilere neden olmaktadır (Jaishankar vd., 2014; Jan vd., 2015).

Tablo 1.2. Toksik Ağır Metal Kaynakları

1. Partikül ve Dumanlar	<ul style="list-style-type: none">• Taşıtlar (Cd, Pb, Mo)• Fosil Yakıtlar (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, V, U, Pb, Sr, Zn, Ti)• Şehir ve Fabrika (Cd, Cu, Pb, Sn, Hg, V)
2. Endüstri	<ul style="list-style-type: none">• Plastikler (Co, Cr, Cd, Hg)• Tekstil (Zn, Al, Ti, Sn)• Ağaç İşletmeciliği (Cu, Cr, As)• Rafineri (Pb, Ni, Cr)• Ev aletleri üretimi (Cu, Ni, Cd, Zn, Sb)
3. Metal ve Maden Sanayi	<ul style="list-style-type: none">• Demir ve Çelik Endüstrisi (Zn, Cu, Ni, Cr, Cd)• Metal İşletmeciliği (Zn, Cu, Ni, Cr, Cd, Hg, Pb, As)• Metallerin Eritilmesi (As, Cd, Hg, Pb, Sb, Se)
4. Tarım	<ul style="list-style-type: none">• Sulama (Cd, Pb, Zn)• Kimyasal ve Hayvansal Gübreler (As, Cd, Cu, Mn, Zn, U, V)• Kireçler (As, Pb)• Metal Aşınması (Fe, Pb, Zn)
5. Atıklar	<ul style="list-style-type: none">• Lağım (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, V, Pb, Zn)• Kazma ve Delmeler (As, Cd, Fe, Pb)• Küller (Cu, Pb)

Bazı ağır metallerin haftalık alım düzeyleri ile Dünya Sağlık Örgütü ve Gıda Katkıları Gıda ve Tarım Örgütü (WHO/FAO), Türk Gıda Kodeksi (TGK), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (İTASH), Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından gıdalarda ve içme sularında tolere edilebilir maksimum miktarlar Tablo 2.2’de verilmiştir.

1.2.1. Kurşun (Pb)

Kurşun, atom numarası 82 ve atom kütlesi 207,19 g/mol olan mavimsi veya gümüş grisi renkte yumuşak bir metaldir. Kurşun, çok iyi işlenebilen bir element olup, dayanıklılığı düşük olduğu için çoğunlukla başka elementlerle alaşım veya bileşik oluşturularak kullanılmaktadır. Doğada serbest halde nadiren bulunan kurşun, elektriği az iletir ve korozyona karşı da oldukça dayanıklıdır.

Boya hammaddesi olarak (kurşun oksit ve kurşun karbonat), akü sanayisinde, insektisitlerde, su borularında, kozmetik malzemelerde bulunan pigment ve diğer ana maddelerde ve kuyumculuk işlemlerinde altının geri kazanımında kullanılmaktadır.

Tablo 1.3. Tolere Edilebilir Ağır Metal Düzeyleri

	Haftalık Alım Düzeyi* (mg kg ⁻¹)	TGK** (mg kg ⁻¹)	İTASHY*** (µg L ⁻¹)	EPA**** (µg L ⁻¹)	WHO***** (µg L ⁻¹)
Pb	0,025	0,2	10	1,3	10
Hg	0,0016	1	1	2	1
Cd	0,007	0,05	5	5	3
As	0,015	-	10,0	6	10
Cu	0,5	10	2000	1300	2000
Ni	0,035	-	20	-	20
Al	7	-	-	-	200
Cr	1,4	-	-	-	50
Zn	105	5-50	-	-	3000
Fe	126	52	-	300	2000
Mn	35	-	-	-	500

* Dünya Sağlık Örgütü ve Gıda Katkıları Gıda ve Tarım Örgütü (WHO/FAO) tarafından belirlenmiştir.

** Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde belirtilmiştir.

*** İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik tarafından belirlenen içme sularında tolere edilebilir maksimum miktar

****Çevre Koruma Ajansı tarafından belirlenen içme sularında tolere edilebilir maksimum miktar

*****Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen içme sularında tolere edilebilir maksimum miktar

Kurşun, insan ve diğer canlı metabolizması için çok zehirli bir element olmasına karşın atmosferdeki yoğunluğu gün geçtikçe artış göstermektedir. Kurşun işleyen endüstri kuruluşlarının yanı sıra otomobil emisyonları ve maden ocakları önemli kurşun kaynaklarıdır. Ekolojik olarak kurşun, katı formda çökme eğilimindedir ve çoğunlukla özel durumlar dışında kompleks oluşturmaz. Doğaya salınan kurşun genellikle $Pb_3(PO_4)_2$, $PbCO_3$ ve PbS gibi zor çözünebilir bileşikler oluşturduğundan besin zincirinde yer alan bitkilerden önemli oranda kurşun alınımı söz konusu olmamaktadır. Atmosferde yer alan kurşunun toprağa $PbSO_4$ formunda girdiği veya hızlıca bu bileşiğe dönüştüğüne dair tespitler bulunmaktadır. $PbSO_4$ suda iyi çözünür ve eğer değişime uğramaz ise toprakta süzülür. pH değeri 5,0'dan büyük olan ve en az %5 oranında organik madde içeren topraklarda, atmosferik kurşun toprağın 2–5 cm üstünde kalır. Fakat toprakta oldukça stabil organo-metal komplekslerini oluşturduğu için, bu topraklarda yetişen bitkiler tarafından adsorbe edilmesi güçtür. Bu sebeple bitkinin diğer kısımlarına taşınma oranı düşüktür. Dal ve yapraklarda kurşun birikimi çoğunlukla hava yoluyla gerçekleşir (Geça ve Korolczuk, 2017).

Kurşun, çoğunlukla antropojenik faaliyetler sonucunda, metalik formda veya bileşik halinde çevreye yayılarak hem canlı sağlığına hem de ekolojik sisteme ciddi zararlar veren en önemli ağır metaldir. Maruz kalınan doza bağlı olarak insan ve hayvanlarda öldürücü etki yapabilmektedir. Kurşun insan vücudunda metabolize olamamaktadır. Bu oran bile, demir ve kalsiyum gibi birçok mineralin vücut tarafından emilimini azaltmaktadır. Vücuda alınan kurşun öncelikle kana, sonra yumuşak dokulara (böbrek, kemik iliği, karaciğer ve beyin) ve son olarak ta mineral içeren sert dokulara (kemik ve diş) yayılır. Kemiklerde biriken kurşun zamanla (20 yıl yarılanma ömrü zarfında) çözünerek böbreklerde zarar vermektedir (Singhal ve Thomas, 1979). İnsanlarda yine normal olmayan beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarına sebep olabilmektedir. Ayrıca çocuklar üzerinde yapılan araştırmalarda kandaki kurşun miktarı arttıkça IQ seviyesinin düştüğü tespit edilmiştir (URL-1, 2012; Papanikolau vd., 2005).

1.2.2. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, atom numarası 48 ve atom ağırlığı 112,41 g/mol olan bir geçiş metalidir. Oldukça yumuşak bir metal olup, kolaylıkla levha veya tel haline getirilebilir. Kuru havada bozulmadan kalabilmekte, nemli ortamda ise oksitlenmektedir. Günümüzde kadmiyum

evre kirliliğine sebep olan ve canlı metabolizması için gerekli olmayan ağır metaller arasında yerini almaktadır.

Endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı koruyucu özelliğı nedeniyle gemi sanayinde, boya sanayinde, alaşımlarda ve elektronik sanayi gibi sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Diğer taraftan fosfatlı gübrelerde, deterjanlarda ve rafine petrol türevlerinde de bulunmaktadır. Bunların yaygın kullanımı sonucunda da önemli miktarda kadmiyum kirliliğı ortaya çıkmaktadır. Atmosfere daha çok araç lastiklerinin aşınmasından, yanan motor yağından ve en çok dizel yakıtlardan atılmaktadır. Diğer bir antropojenik kadmiyum kaynağı ise metal işlenen ocaklar ve metal eritme işlemleridir. Kadmiyum madeni enderdir, fakat maden yataklarında özellikle Zn elementi ile birlikte bulunur. Kadmiyumun doğaya yayılım miktarı yıllık 25,000–30,000 tondur ve ayrıca bunun 4,000–13,000 tonu insan faaliyetleri sonucu meydana gelmektedir. İnsan yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları ise rafine edilmiş yiyecek maddeleri, sigara dumanı, çay, kahve, su boruları, kömür yakılması, tohum aşamasında kullanılan gübreler, kabuklu deniz ürünleri ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır (Godt vd., 2006).

Kadmiyum ve çinko doğada benzer yapılarda ve bir arada bulunurlar. Bu iki metal insan vücudunda da benzer fonksiyonel özelliklere sahiptir. Kadmiyumun suda çözünme özelliğı yüksek olan bir element olması nedeniyle doğada yayılım hızı da oldukça yüksektir. Suda çözünebilirliğı sebebiyle, Cd^{+2} iyonları halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınarak akümle olma özelliğine sahiptir (Boğa, 2007).

Kadmiyum seviyesi insan vücudunda ilerleyen yaşlarda artış gösterir ve genel olarak 50’li yaşlarda maksimum seviyeye ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Normalde canlı vücudunda 40 mg’a kadar kadmiyum bulunabilmekte ve günlük olarak da 40 µg’a kadar kadmiyum vücuttan atılabilmektedir. Kırsal alanlara oranla endüstri bölgelerinde havadaki kadmiyum oranı çok daha yüksektir. Kadmiyum müsaade edilen değerlerin üzerinde alındığında; ishale, karın ağrılarına, ciddi kusmaya, kemik kırılmasına, üreme bozukluklarına, kısırlık ihtimaline, merkezi sinir sisteminin yıpranmasına, bağışıklık sisteminde hasara, psikolojik bozukluklara, DNA hasarına ve kanser olma ihtimaline neden olmaktadır (Stoeppler ve Piscator, 1988). Dünya Sağlık Örgütüne göre kadmiyum 1. sınıf kanserojen bir madde olarak değerlendirilmektedir (Wen vd., 2009).

1.2.3. Bakır (Cu)

Eski çağlardan bu yana bilinen bir element olan bakır, atom numarası 29 ve atom kütlesi 63,55 g/mol olan bir geçiş metalidir. Kırmızımsı renkte, dövülebilir ve parlak bir metal olup, aşınmaya ve korozyona karşı dirençli, ısı ve elektriği çok iyi iletmektedir. Doğal olarak Cu-63 (%69,09) ve Cu-65 (%30,91) olmak üzere iki izotopun karışımı halinde bulunur. Bazik bileşiklerden yalnızca amonyaktan etkilenir ve oksijen varlığında amonyak, elementel bakır tetraamin kompleksi oluşturarak çözer. Hem organik hem de anorganik asitler bir yükseltgen varlığında bakır çözerken, kükürt ve kükürtlü bileşikler ise bakırda korozyona yol açarlar.

Bakır, çok farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmasından dolayı otomotivde, basınçlı sistemlerde, boru ve vana imalatında, elektrik santralleri, elektrik ve elektronik uygulamaları gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bakır ekosisteme; trafik yoğunluğu, madencilik faaliyetleri, boya, ahşap koruyucular, pestisit kullanımı, arıtım ve atık su arıtım teknolojileri sonucunda girer.

Bakır, pek çok meyve ve sebzede bulunan canlılar için mutlak gerekli bir elementtir. Örneğin kuru erikte; 3,7-5,0 mg/kg, elmada; 0,1- 2,3 mg/kg ve ay çekirdeğinde; 14,3-19,0 mg/kg aralığında bakır bulunur. Anne sütü ise 200-400 µg/L bakır içermektedir. Bakır, yetişkin insanlarda ortalama 50-120 mg aralığında bulunmakta olup, pek çok enzim ve proteinin yapısında yer alarak aminoasitler, yağ asitleri ve vitaminlerin vücuttaki fonksiyonlarını yerine getirmesi için gereklidir. Ayrıca beyin, sinirler ve bağ dokusu için de gerekli olup, vücuttaki diğer bir esansiyel element olan demirin fonksiyonlarını yerine getirmesinde aktivatör olarak görev yapar. Bakır eksikliği, insanlarda büyümede gecikme, solunum sisteminde enfeksiyonlar, kemik erimesi, anemi, saç ve deride renk kaybı gibi rahatsızlıklara yol açarken fazla miktarda alınması halinde ise mukoza iltihaplanması, damar hastalıkları, karaciğer ve böbrek hastalıkları ile merkezi sinir sistemi hastalıkları görülebilir. Bakır çalığı olarak bilinen akut bakır zehirlenmesi yiyecek ve içeceklere kazayla bakır içeren maddelerin karışmasıyla veya kasten bakır tuzlarının yutulması sonucu meydana gelen seyrek bir zehirlenme türü olup kusma, ishal, mide bulantısı ve kramplara sebep olmaktadır (Tobiasz ve Walas, 2014; Imbrea vd., 2016). Ayrıca alınan doza bağlı olarak koma durumuna ve ölümlere sebebiyet verebilir (Massaro, 2002). Bir günde alınabilecek maksimum bakır değeri kadınlarda 12 mg, erkeklerde 10 mg ve 6-10 yaş grubu çocuklarda ise 3 mg olarak belirlenmiştir (URL-1, 2012).

1.2.4. Çinko (Zn)

Çinko, mavimsi açık gri renkte, parlak ve kırılğan bir metal olup, atom numarası 30 ve atom kütlesi 65,38 g/mol olan bir elementtir. Kompleks cevherlerden elde edilen bakır bazlı alaşımların üretiminde ortaya çıkmasına rağmen, metalik çinkonun üretimi hakkında kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Çinko kaplamalar, demir konstrüksiyon malzemelere göre korozyona karşı daha dayanıklıdır ve bu özellik en önemli kullanım alanını oluşturmaktadır. Çinko; kibrit, kauçuk, kozmetik, plastik, sabun, baskı mürekkebi, ilaç ve kuru pil üretiminde, metal para yapımında, otomotiv endüstrisinde, pirinç, nikelli gümüş ve lehim alaşımların eldesinde kullanılır. Ayrıca çinko oksit (ZnO) boya pigmenti olarak kullanılırken, çinko sülfid floresan özelliğe sahip olduğundan floresan lambaların ve televizyon ekranlarının yapımında da kullanılır.

Çinko bağışıklık sisteminin gelişmesi, yaraların iyileşmesi, hormonların salgılanması, sinir uyarılarının iletilmesi ve karbohidrat, yağ, protein ve nükleik asit sentezi gibi çeşitli metabolik işlemler için vücuda belli konsantrasyon seviyelerinde alınması gereken elementlerden biridir. Pek çok ağır metalle kıyaslandığında çinko metali ve birçok bileşiği düşük toksik etki gösterirler. Çinkonun toksik etkisi metalin kendisinden ziyade yapısında bulunan bileşiğin anyonik kısmının toksikliğine bağlıdır. Çinko veya çinko tuzlarından dolayı insanlarda zehirlenme durumu nadiren görülmesine rağmen, aşırı çinko alımında iştah kaybı, bağışıklık sisteminde zayıflama, yaraların geç iyileşmesi, kolesterolün yükselmesi, uyuşukluk ve kas fonksiyonlarında düzensizlik gibi olumsuzluklar gözlenmektedir. Ayrıca karın ağrısı, bulantı ve kusma gibi sorunlar da meydana gelmektedir (Mertz, 2012).

Çinko endüstriyel faaliyetler sonucunda meydana gelen atık sularla, lağım sularıyla ve asit yağmurlarıyla toprağa ve doğal olarak o topraklarda yetişen bitkilere ulaşmaktadır. Bitkilerdeki Zn konsantrasyonu 5-100 mg kg⁻¹ aralığında değişim göstermekte olup, Zn toksisitesi bitkilerde çoğunlukla 400 mg kg⁻¹'dan sonra başlamaktadır (Scherz ve Kirchhoff, 2006; Ribas vd., 2017).

1.2.5. Demir (Fe)

Yerkürenin en temel elementi olan ve yerkabuğunun yaklaşık %5'ini oluşturan demir, atom numarası 26 ve atom kütlesi 55,84 g/mol olan, gümüş beyazı ya da gri renkte, ısı ve elektriği iyi ileten, yumuşak ve dövülebilir bir metal olup manyetik özellik gösterir.

Nemli havalarda oksitlenerek paslandığından dolayı korozyona karşı dayanıksızdır. Doğada serbest halde nadiren bulunan demir; oksitler, silikatlar, sülfürler ve karbonatlar halindeki minerallerde oldukça fazla miktarda bulunur. Demir, yerkabuğunda alüminyumdan sonra en çok bulunan metal olup, demir mineralleri ise oksijen, silisyum ve alüminyumdan sonra dünyada en çok bulunan dördüncü cevherlerdir.

Günümüzde sanayi ve endüstrinin temel taşı oluşturarak demir, alaşım ve bileşik olarak bilgisayar parçaları, manyetik depolama ürünleri, kesici ve delici aletler, elektrik ve elektronik ürünler, gemi gövdeleri ve parçaları, bütün ulaşım araçları ve parçaları, beyaz eşyalar gibi daha birçok ürünün yapısında bulunmaktadır.

Demir, akciğerlerden dokulara oksijenin, dokulardan akciğerlere ise karbondioksitin taşınmasında görev alan ve kana kırmızı rengini veren hemoglobinin yapısı için önemli bir elementtir. Oksijen, kırmızı kan hücreleri içerisinde bulunan hemoglobin molekülünün +2 değerlikli demir içeren hem kısmına bağlanır. Dolayısıyla demir iyonlarının solunum için önemli rolü vardır. Demir eksikliğinde vücuttaki oksijen miktarı dolaylı olarak azalacağından yorgunluk, baş ağrısı, halsizlik ve nefes darlığı meydana gelebilir. Yetişkin bir insanın günlük demir ihtiyacı yaklaşık 18 mg olup bu miktar da yedikleri besinlerden karşılanmaktadır. Fazla miktarda demir alımı ise karaciğerde siroza, pankreasta fibrozise yol açabilmekte, şeker hastalığına ve kalp rahatsızlıklarına neden olabilmektedir (Peng vd., 2017).

1.2.6. Mangan (Mn)

Yerkabuğunda en fazla bulunan elementler arasında beşinci sırada yer alan mangan, atom numarası 25 ve atom kütlesi 54,94 g/mol olan grimsi metal renkte, toz haline getirilebilen, sert ve kırılgan özellikte, elektrik ve ısıyı iletebilen bir geçiş metalidir. Metalik halde mangan, açık havada yükseltgenir, nemli ortamda paslanır ve yüksek sıcaklıklarda oksijenle yanma özelliği bulunmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle kimyasal açıdan demire benzer davranışlar göstermektedir.

Endüstride yaygın olarak demir ve çelik alaşımlarının üretiminde kullanılan mangan, yeryüzünde 300 civarında mineralin yapısında ve ayrıca tarımda kullanılan birçok gübrenin içeriğinde bulunmaktadır. Çeliğin dayanıklılığını artıran, paslanmasını ve aşınmasını önleyen bir metal olduğu için paslanmaz çelik üretiminde kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarının dışında yine çimento yapımında, fotoğrafçılık alanında, elektronik cihazlarda, korkuluklar ve parmaklıklarda, içecek kutularının üretiminde, oto boyalarında, pillerde,

kibrit, havai fişek ve hayvan yemi üretiminde ve ayrıca duman önleyici olarak dizel yakıtlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarında meydana gelen atıklar atmosferde mangan kirliliğine neden olmakla birlikte daha çok demir-çelik üretimi, fosil yakıtların, kömür ve petrol ürünlerinin yanması gibi insan faaliyetleri ile orman yangınları ve volkanik olaylar gibi doğal yollardan çevreye yayılımı söz konusu olmaktadır.

İnsanlarda büyüme, üreme, yaraların iyileşmesi, beyin fonksiyonları, tiroit ve böbrek üstü bezleri ile şeker, insülin ve kolesterol metabolizmasında önemli rol oynayan mangan gerekli bir eser element olup, eksikliğinde yorgunluk, hafıza sorunları, sinirlilik, kilo kaybı, büyüme geriliği, iskelet bozuklukları ve üreme sorunları gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir. Günde ortalama 2-3 mg mangan alınması sağlık için yeterli olmaktadır. Mangan sadece insanlar için değil aynı zamanda bitkiler ve hayvanlar için de gerekli bir elementtir. Bitkilerde fotosentezin devamı için gerekli olmakla birlikte hayvanlarda, protein, yağ ve karbonhidrat metabolizmaları için kullanılan enzimlerin bileşeni olarak rol oynar. İnsan vücudunda tolere edilebilir düzeylerden daha fazla mangan alınması ise nörolojik sorunlara ve hormon bozukluklarına yol açmaktadır (Costa ve Aschner, 2014). Yapılan araştırmalarda aşırı mangan içeren besinler tüketen bebeklerde dikkat toplama güçlükleri, öğrenme yetersizlikleri ve şiddet belirtilerinin ortaya çıktığı görülmüştür (Makishima vd., 2010).

1.2.7. Nikel (Ni)

Altın rengini andıran parlak görünümlü, karışık metalik ve gümüş-beyaz renkte bir metal olan nikel, atom numarası 28 ve atom kütlesi 58,69 g/mol olan, doğada saf halde bulunmayıp genelde kobalt ile birlikte oluşan, oldukça sert ve katı yapıya sahip bir geçiş metalidir.

Endüstri ve tıp başta olmak üzere birçok sektörün önemli hammaddesi olan nikel, madeni paralardan otomotiv sektörüne kadar oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Nikel alaşımları yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeyi önlediğinden elektrik fırınlarında ısıtıcı olarak kullanılmaktadır. Korozyona karşı direnci oldukça yüksek olan bir metal olduğu için korozyona maruz kalan yerler, başlıca kullanım alanlarını oluşturmaktadır. Mekanik ve fiziksel özellikleri de oldukça iyidir. Bu nedenle kaplama olarak da kullanılan önemli bir metaldir. Bu alanların dışında yine kaşık, bıçak, metal mutfak aletleri, çekiç, pense, tornavida gibi aletler, kaynak ürünleri, mıknatıs, pil, batarya, akümülatör, araç motor

gövdeleri, motor parçaları, elektrik fişi, makine parçaları ve tıbbi protezlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde işlenebilir nikel yatağı bulunmadığı için nikel madenciliği yapılamamaktadır. Atmosferde meydana gelen nikel kirliliği başta endüstriyel faaliyetler olmak üzere, mineral ve organik gübreler, kimyasal ilaçlar, nikel katkılı dizel yakıtlar ve motor yağlarının egzozla yayılması ve kanalizasyon atıklarından kaynaklanmaktadır.

Nikel canlı metabolizmasına fındık, çikolata, bazı meyve ve sebzeler ile bazı deniz ürünleri gibi nikel içeren gıdaların tüketilmesiyle, tencere, ısıtıcılar, kahve makineleri gibi ev aletleri ve bazı takılar vasıtasıyla alınmaktadır. Nikelin fazla miktarda vücuda alınması akciğer, burun ve gırtlak kanseri riskini artırmakla birlikte akciğerlerde tıkanma, solunum yetersizliği, astım ve kronik bronşit, alerjik reaksiyonlar, kalp rahatsızlıkları, halsizlik ve baş dönmesi gibi sağlık sorunlarına da neden olmaktadır (Hassler, 1983; Zhou vd., 2014).

1.2.8. Krom (Cr)

Aşınmaya, ısıya ve nemli havaya karşı dayanıklı, paslanmaz ve aşırı sert yapısı nedeniyle endüstri ve sanayide vazgeçilmez bir element olan krom, atom numarası 24 ve atom kütlesi 52 g/mol olan gümüş gri ve mavimsi beyaz renkte bir metaldir. Doğada saf halde bulunmayıp, başka elementlerle bileşik halinde bulunur.

Krom; metallere sertlik sağlaması, metalik görünüşü ve dayanıklılığı sebebiyle, zırhlı araç yapımında, paslanmaz çelik üretiminde, demir alaşımları, refrakter ve kimya sanayisinde, otomotiv, mutfak ve banyo malzemelerinde ve metalürjide yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca kromun demir ve nikel alaşımları büyük yapılarda ve önemli makine ve motor parçalarında kullanılır. Bu alanların dışında, boya, cila, cam ve seramik malzemeleri, deri sanayi, çimento ve sokak aydınlatma sistemleri gibi birçok sektörde alaşım halinde veya saf olarak çeşitli işlemlerden geçirilerek kullanılmaktadır. Krom metalinin üretilebildiği tek mineral ise “ FeCr_2O_4 ” kimyasal formülüne sahip kromittir. Kromit minerali ve krom yatakları ultra bazik kayalar içinde bulunur. Ülkemizde oldukça fazla oranda maden yataklarından çıkarılan krom, yurtdışına en fazla ihraç edilen madenlerden biridir.

Krom, doğada çoğunlukla +3 ve +6 yükseltgenme basamağında bulunur. Cr(VI), hücre membranına kolaylıkla girip karsinojenik ve mutajenik etki göstermesine rağmen, Cr(III) belli konsantrasyon seviyelerine kadar canlı metabolizması için gereklidir. Cr(VI)

buharının solunması, nazal epitel hücrelerine zarar vermekte ve akciğerlerde skuamoz hücre karsinomlarına sebep olmaktadır. Krom içeren minerallerin endüstriyel oksidasyonu ve fosil yakıtların, ağaç ve kağıt ürünlerin yanması sonucunda doğada Cr(VI) miktarı artmaktadır. Cr(VI) iyonları havada ve saf suda nispeten kararlı iken, ekosistemdeki organik yapılarda ve toprakta tekrar Cr(III) formuna indirgenir. Kromun kayalardan ve topraktan suya, ekosisteme, havaya ve tekrar toprağa olmak üzere doğal bir dönüşümü vardır. Ancak yılda yaklaşık olarak 6700 ton krom bu çevrimden ayrılarak denize akar ve okyanus tabanında çöker. Cr(III), vücutta insülin hareketini sağlayarak, karbohidrat, su ve protein metabolizmasını etkiler. Cr eksikliğinde (Cr(III)) insanda kan şekeri ve kolesterol düzeyi bozulur (Burrows, 1983). Günde ortalama krom alımı 30-200 µg olup, bu miktarda alınan herhangi bir yükseltgenme basamağında bulunan kromun toksikolojik bir etkisi yoktur. Fazla miktarda alınması halinde ise sindirim bozuklukları, kanamalı hemoroid, kasılmalar ve akciğer kanseri görülmektedir (Espada-Bellido vd., 2013).

1.2.9. Alüminyum (Al)

Yerkabuğunun yaklaşık %8'ini oluşturan alüminyum; oksijen ve silisyumdan sonra doğada en çok bulunan üçüncü elementtir. Pek çok bileşik ve alaşımıyla endüstrinin vazgeçmeyeceği metaller arasında yer alan alüminyum; atom numarası 13 ve atom kütlesi 26,97 g/mol olan, parlak görümlü, gri renkte, oldukça dayanıklı, ısı ve elektrik iletkenliği yüksek, sıcak ve soğuk olarak kolaylıkla işlenebilen, hava şartlarına ve çeşitli kimyasal maddelere karşı dirençli ve alev almayan bir metaldir. Alüminyum doğada serbest veya elementel halde bulunmaz. Üretiminin yaklaşık tamamı, kayaçların dış etkilerle aşınması sonucu oluşmuş artık bir toprak türü olan boksit cevherinden sağlanmaktadır.

Alüminyum bileşikleri ve alaşımları tabakçılıkta, kumaş boyacılığında, sert suların yumuşatılmasında ve inşaat malzemesi olarak kapı ve pencerelerin yapımında yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, en çok kullanıldığı ürünler ise jantlar, motor gövdeleri, şaseler, cep telefonları, tabletler, bilgisayarlar, elektronik ürünler, beyaz eşyalar, gıda ambalaj ürünleri, kablolar, ayna, elektrik direkleri ve bozuk paradır.

Kullanım alanının yaygınlığı nedeniyle günümüzde insan sağlığı ile ilişkisi gittikçe önem kazanan alüminyum belli konsantrasyon seviyelerine kadar genellikle zararsız bir metal olarak bilinmektedir. Fakat yine de yüksek derişimlerine ya da düşük dozlarına uzun süreli maruz kalındığında sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Vücuda fazla miktarda

alındığında kanda birikerek bazı proteinlere bağlanır ve daha sonra vücut içinde hızla dağılıp kemik ve beyinde birikir. Kemiklerde kalsiyumun yerini alır ve normal osteoid oluşumuna zarar verir (Yokel ve Golub, 1997). Uzun vadede insanlarda Alzheimer hastalığına neden olduğuna dair literatürde çok fazla çalışma bulunmaktadır (Lehmann vd., 2016).

1.2.10. Kobalt (Co)

Atom numarası 27 ve atom kütlesi 58,93 g/mol olan kobalt, günümüzde kullanım alanı ve değeri git gide artan bir element haline gelmiştir. Doğada saf halde nadiren bulunmaktadır. Çeşitli bileşiklerle birlikte çıkarılmakta ve bazı kimyasal işlemlerin ardından elde edilmektedir. Örneğin kükürtlü filizler ve arseniğin kavrulma işlemlerinin ardından kobalt elde edilebildiği gibi arsenik, demir, nikel, bakır, mangan ve çinko cevherlerinden yan ürün olarak ta elde edilebilir.

Bataryaların hammaddesi olan ve boyalara mavi renk veren kobalt, diş protezinde kullanılan önemli bir metal olup, demir ve nikelden daha fazla manyetik özelliğe sahip olduğu için mıknatıs yapımında kullanılır. Korozyona, aşınmaya ve yüksek ısıya dayanıklı malzemeler ile kaplama materyalleri gibi ürünlerin yapımında da kobaltın payı büyüktür. Cam, manyetik malzemeler, yapıştırıcılar, elektronik malzemeler, bilgisayar sarf malzemeleri, biyolojik arıtma sistemleri, sterilizasyon işlemleri, vida ve civatalar, bıçak, neşter, pens gibi cerrahi işlemlerde kullanılan malzemeler, cep telefonları, elektrikli araçlar, süs eşyaları ve mavi renkli takılar kobaltın kullanıldığı başlıca ürünlerdir. Ülkemizde 13 adet kobalt işletmesi bulunmakta olup, bu işletmelerin biri de Gümüşhane ilinin Şiran ilçesinde bulunmaktadır.

Kırmızı kan hücresi alyuvarların üretimi ve merkezi sinir sisteminin korunmasını sağlayan B12 vitamini kobalt içermektedir. Kobalt eksikliğinde vücutta alyuvarların yeniden oluşumu durur. Belli konsantrasyon seviyelerinde canlı metabolizmasına alınan kobalt; damar tıkanıklığı, yüksek tansiyon, migren ve anemi gibi sorunları çözmeye yardımcı olup, yüksek dozda alınması halinde ise guatr, hipotroidizm, tansiyon düşüklüğü ve kalp yetmezliği gibi sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Ahmed vd., 2007).

1.2.11. Arsenik (As)

Doğada serbest halde, çok geniş alanlara dağılmış olarak bulunan arsenik atom numarası 33 ve atom ağırlığı 74,92 g/mol olan metalik gri renkte, metal ile ametal arasında özellikler gösteren metaloid serisinde yer alan bir elementtir. Minerallerde genellikle arsenit ve arsenat filizleri şeklinde bulunmakta olup kurşun, bakır, kobalt ve nikel cevherlerinde arseniğe rastlanılmaktadır.

Ticari olarak genellikle bakır, kurşun, kobalt ve altın cevherlerinden yan ürün olarak elde edilen ve kimyasal uygulamalarda etkin bir madde olan arsenik ve bileşikleri; matbaa mürekkebi, böcek öldürücüler, deri ve ahşap koruyucular, tekstil boyaları ve pigmentler, fare zehri, kanser ilaçları, duvar kağıtları ve seramik gibi pek çok ürünün üretiminde kullanılmaktadır.

Gıdalara ve sulara bulaşması, başlıca tarım ilaçları, orman yangınları ve endüstriyel uygulamalar ile olmaktadır. Madencilikte kullanılan siyanür de önemli bir arsenik kaynağıdır. Arseniğin yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonu 2 mg/kg'dır. Kırsal bölgelerde havadaki ortalama toplam arsenik konsantrasyonu 0,02-4,00 ng/m³ aralığında değişirken bu miktarlar kentsel bölgelerde 3-200 ng/m³ arasındadır. Okyanusa açık deniz suyunda arsenik konsantrasyonu 1-2 µg/L civarında olup, nehir ve göllerdeki konsantrasyonu genelde 10 µg/L'nin altındadır. Yapılan araştırmalarda tavuklar, pirinç ve meyve suları başta olmak üzere birçok besin ve gıdanın arsenik içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca sigara da arsenik içermektedir.

Arsenik, endüstriyel açıdan faydalı bir element olmasına rağmen kanserojen özelliği sebebiyle birçok kanser türünün oluşumunda etkili olması nedeniyle insanlar için oldukça tehlikelidir. Arsenik inorganik ve organik olmak üzere doğada iki formda bulunmaktadır. Doğal olarak yeryüzünde ve yiyeceklerde bulunan organik arsenik bileşikleri çok zehirli değildir. Vücut tarafından böbreklerde kolaylıkla giderilirler. İnorganik arsenik bileşikleri ise toprağı ve dolayısıyla yiyecek maddelerini kirleterek esas problemi oluştururlar. Tek seferde yüksek dozda arsenik alınması akut arsenik zehirlenmesine neden olmakta ve mide bulantısı, şiddetli karın ağrısı, kusma, ağız ve boğazda yanma, dolaşım bozukluğu ve kalp yetersizliği sonucu birkaç saat içinde ölüm olayı meydana gelmektedir. Az miktarlarda farklı zamanlarda arsenik alınması halinde ise kronik zehirlenmeler oluşmakta ve yavaş yavaş güçten düşme, boşaltım sistemi bozuklukları, deride tümör

ortaya çıkması, şuur kaybı, sinir sistemi bozukluğu ve kansızlık gibi belirtiler ortaya çıkmaktadır (Jaishankar vd., 2014; Chakrabarty, 2015).

1.3. Ağır Metal Kirliliğinde Bitkilerin Biyomonitör Olarak Kullanılması

Toksik ağır metaller canlı metabolizmasına gıdalar, içme suları, toprak ve havadan doğrudan solunma yolu ile girerler. Solunum yoluyla alınan ağır metallerin kana geçmesi beslenme yoluyla alınanlara oranla daha fazladır. Hava örneğini almadaki zorluklar ve metallerin havadaki konsantrasyonlarının düşük olması nedeniyle ağır metal analizleri daha çok toprak ve su gibi çevresel örneklerde yapılmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek için metallere duyarlı bitkilerin biyomonitör olarak kullanılması son zamanlarda büyük ilgi görmüştür. Bu amaçla mantarlar, likenler, yüksek bitkilerin gövde, kök, kabuk ve yaprakları metal kirliliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yüksek yapılı bitkilerin ise tek yıllık olanlarından ziyade, çok yıllık ve sürekli yeşil kalanları tercih edilmektedir. Böylece kirliliğin yıllık veya kısa dönemli değişimleri hakkında bilgi edinilebilmektedir (Markert, 1993; Shukla vd., 2014).

Bitkinin çeşitli organları tarafından bünyesine alınan ağır metaller; bitkinin türüne, maruz kalınan ağır metalin çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak bitki bünyesinde de bir takım olumsuzluklara yol açmaktadır. Bitkiler için tolere edilebilir ağır metal sınırları aşıldığında bitkilerin fizyolojik aktiviteleri engellenmekte, verimlilikleri azalmakta ve hatta ölümleri meydana gelmektedir (Vaikosen ve Alade, 2017). Bu nedenle yaşanan çevrede bulunan ağır metallerin tür ve miktarlarının tespiti sadece insan ve hayvan sağlığı açısından değil aynı zamanda, bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir.

Bitkiler yapılarındaki metalleri havadan adsorpladıkları gibi kökleri yardımıyla toprak ve sudan da alabilirler. Bu nedenle biyomonitör olarak kullanılan bitkinin yaprak, dal, kök ve kabuk kısımlarının metal konsantrasyonları toprak, su ve havayı içeren çevre kirlenmesinin göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Ağır metal kirliliğinin izlenmesinde ve tespitinde, bugüne kadar yapılan çalışmalarda farklı bitki türleri kullanılmıştır. Bu çalışmalara bazı örnekler aşağıda sıralanmıştır.

Akgüç (2007), Muğla ilinde ağır metal kirliliğinin boyutlarını ortaya koymak ve *Pyracantha coccinea* Roem. (Ateş dikenini) bitkisinin biyomonitör ve fitoremediasyon amaçlı olarak kullanıp kullanılamayacağını saptamak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. *Pyracantha coccinea* örnekleri Muğla'da dört farklı mevkide bulunan toplam 34 lokaliteden 2006 yılında toplanmıştır. Yıkanmış ve yıkanmamış yaprak

örnekleri ve dal örneklerinde Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Mn ve Ni değerleri ICP-OES ile ölçülmüştür. Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda *Pyracantha coccinea*'nın Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Mn ve Ni için biyomonitör özellik gösterdiği ayrıca, ağır metal arıtımı için fitoremediasyon amaçlı olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Muğla'da özellikle ağır metal kirliliğinin yoğun olduğu yerlere bol miktarda *Pyracantha coccinea* dikilmesi suretiyle topraktaki antropojenik kaynaklı ağır metallerin arıtılmasında etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

Elif ve Akçay (2000), 1992-1994 yılları arasında, *Pinus sylvestris* L. (Pinaceae) ve *Robinia pseudoacacia* L. (Fabaceae) filizlerinin üzerinde biriken Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Fe ve Al gibi ağır metallerin miktarlarını analiz ederek, Sivas şehrinin antropojenik ağır metal kirliliğini, kentin karakteristik özelliklerine sahip yedi istasyonunda yerel ve zamansal olarak izlenmiştir.

Ekincioglu (2008), Tuzla Gölü (Palas-Kayseri) çevresinde belirlenen 12 istasyondan alınan *Salicornia freitagii* bitkisinin kök, gövde ve yapraklarında ve ayrıca bitkinin yetiştiği topraktan alınan örneklerde Cd, Ni, Pb, Fe ve Cu konsantrasyonlarını araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre *Salicornia freitagii* örneklerinin farklı kısımlarındaki ağır metal konsantrasyonları sırasıyla Fe; 13,0-68,5 $\mu\text{g g}^{-1}$, Pb; 2,78-19,5 $\mu\text{g g}^{-1}$, Cu; 5,85-7,56 $\mu\text{g g}^{-1}$, Ni; 1,08-15,3 $\mu\text{g g}^{-1}$, Cd; 0,18-0,92 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, çalışma alanında değişik kaynaklardan meydana gelen bir kirlenmenin olduğu belirlenmiş olup *Salicornia freitagii*'nin ağır metal kirliliğini belirlemede uygun bir tür olduğu tespit edilmiştir.

Okunola vd. (2007), Nijerya'nın Kanuda metropolitan şehrinde, *Sida acuta-burm F.* ve yetiştiği topraklarda, 24 adet otoyol kenarından 30 farklı lokaliteden örnekler toplamış ve Pb, Cd, Zn, Cu ve Mn içeriklerini FAAS ile analiz ederek Avrupa Birliği limit değerlerini aşıp aşmadığını belirlemiştir.

Kleckerova ve Docekalova (2014), Çek Cumhuriyetinin farklı şekillerde kirliliklerden etkilenebilecek 5 farklı bölgesinden topladıkları Karahindiba bitkisinin yaprak ve köklerinde ve ayrıca bitkinin yetiştiği toprakta Cd, Hg ve Pb analizi yapmıştır. Örnekler 2011 Nisan ayında toplanmış olup, metal analizlerinde Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre kullanılmıştır. Trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde analizi yapılan ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca örneklerin yıkanmasıyla ağır metal konsantrasyonlarının önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak Karahindiba bitkisinin ağır metal iyonlarının tespitinde biyomonitor olarak kullanılacağı kanaatine varılmıştır.

Li vd. (2007), Çin’de doğal yetişen *Sophora japonica* L. bitkisinin yapraklarında ve yetiştikleri topraklarda Zn, Cd, Hg, Pb, Cu ve Cr konsantrasyonlarını analiz etmiştir. Trafikğin yoğun yaşandığı yol kenarları ile parklardaki ağır metal miktarları karşılaştırılmış ve trafikğin neden olduğu kirlilik boyutları ortaya çıkarılmıştır.

Al-Alawi vd. (2007), Ürdün’de, petrol rafinerileri ve termal güç istasyonlarının bulunduğu endüstri alanlarında çam kabuklarını biyomonitör olarak kullanarak Cu, Pb, Cd, Mn, Co, Ni, Zn, Fe ve Cr konsantrasyonlarını analiz etmiş olup çam kabuklarının kurak ortamlarda biyomonitor olarak kullanılmasının uygunluğunu araştırmıştır.

Al-Khlaifat ve Al-Khashman (2007), Ürdün’ün Akabe şehrinde *Phoenix dactylifera* L. bitkisinin ağır metal kirliliği için biyomonitör olarak kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Şehir içi, şehir kenarı, otoyol kenarları ve kırsal alanlardan toplanan bitki yapraklarının içerdiği Fe, Pb, Zn, Cu, Ni ve Cr konsantrasyonları FAAS yöntemi kullanılarak ölçülmüştür.

Bayçu ve Önal (1993), Cd ve Pb kirliliğinin tespitinde, İstanbul E-5 Otoyolu kenarlarındaki on farklı yerde yetişen *Ailanthus altissima* bitkisinin yaprakları ile aynı bölgedeki toprak örneklerini; Yücel vd. (1995), Cu, Pb, Zn ve Cd konsantrasyonlarının belirlenmesinde Porsuk çayının (Eskişehir) on örnek noktasından topladığı toprak ve *Phragmites australis* ve *Sparganium erectum* yapraklarını; Çavuşoğlu vd. (2002), Kırıkkale-Ankara karayolu üzerindeki kurşun kirliliğini araştırmak için *Elaeagnus angustifolia* ağaçlarının yapraklarını kullanmıştır.

Ağır metal kirliliğinin izlenmesinde ve tespitinde, bugüne kadar yapılan çalışmalarda farklı ülkelerde farklı bitki türlerinin kullanıldığı görülmektedir. Antakya’da teşbih ağacı (*Melia azedarach*) (Bozdoğan, 2016), Kırgızistan’ın Bişkek kentinde *Juniperus virginiana* L. (Severoglu vd., 2015), Pakistan’da *Bubulcus ibis* L. (Malik ve Zeb, 2009), yine ülkemizde *Nerium oleander* L. (Aksoy ve Ozturk, 1997), *Aesculus hippocastanum* L. (Yılmaz vd., 2006) ve *Phoenix dactylifera* L. (Aksoy ve Ozturk, 1996) kullanılmıştır.

Yapılan tez kapsamında da sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) bitkisi yapraklarının Gümüşhane ilinde ağır metal kirliliğinin tespitinde biyomonitor olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

1.4. Sarıçam'ın (*Pinus sylvestris* L.) Botanik Özellikleri

Dünya üzerinde oldukça geniş bir alana yayılan sarıçam, çeşitli ülkelerde farklı isimler ile anılmaktadır. Örneğin İngilizler *Scotch Pine*, *Wild Pine*, Fransızlar *Pin de Riga*, Almanlar *Gemeine Kiefer* (Adi Orman Çamı) adını vermişlerdir. Önceleri *Pinus rubra* Mill., *Pinus rigensis* Desf., *Pinus resinosa* Savi, *Pinus humulis* Link, *Pinus kotchiana* Klotzsch isimleri verilen bu türün taksonomik kural gereğince geçerli ismi günümüzde *Pinus sylvestris* L. olmuştur. Sarıçam, *Gymnospermae* sınıfından, *Pinaceae* familyasının *Pinus* (çam) cinsinin bir türüdür. Değişik iklim şartları altında yetişebilen sarıçamın birçok alttürü bulunmaktadır. Şekil 1.1'de *Pinus sylvestris* L. bitkisi ile yaprağının genel görünüşü verilmektedir.

Silindirik gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı ya da dolgun gövdeli, yayvan tepeli ve kalın dallı bir ağaç türü olan sarıçam, yetiştirme bölgesine göre 20-45 m'ye kadar boylanabilir. Yaşlı gövdeler gri kahverengi, kalın ve çatlaklıdır. Genç sürgünleri yeşilimsi bir renktedir. İkinci yıldan itibaren bu renk gri kahverengiye dönüşür (Ewa, 2013).



Şekil 1.1. *Pinus sylvestris* L. Bitkisi ve Yaprığının Genel Görünüşü

Dünya genelinde mevcut çam türleri içerisinde en geniş coğrafik alana yayılışı olan sarıçam, Avrupa ve Asya'da takriben 3700 km eninde ve 14700 km uzunluğunda çok geniş doğal yayılış alanına sahiptir.

Şekil 1.2'de sarıçam ağacının Türkiye'deki yayılış lokasyonları görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi Eskişehir'in batısındaki Yeşildağ'dan başlayıp doğuya doğru Kuzey Anadolu dağlarının yüksek kesimlerini kaplayarak, Sarıkamış üzerinden Kafkaslara geçen sarıçam, 38° 34' -41° 48' kuzey enlemleri (Pınarbaşı-Ayancık hattı) ile 28° 00' - 43° 05' (Orhaneli-Kağızman hattı) doğu boylamları arasında doğal yayılışa sahiptir.



Şekil 1.2. Sarıçam Ağacının Türkiye’deki Yayılış Lokasyonları

Sarıçamların oluşturulduğu ormanlar, ülkemizdeki toplam orman alanının %5,5’ini meydana getirmektedir. Türkiye’deki iğne yapraklı ağaç türleri içinde kapladığı alan bakımından kızılçam ve karaçamdan sonra 3. sırada gelmektedir. Sarıçama, denizden yükseltisi 0-2700 m arasında olan çeşitli yükselti kademelerinde rastlanır. Genellikle dağlık bölgelerde yayılmakta ise de, yüksek ovalarda ve dar vadi tabanlarında da görülür. Karadeniz Bölgesinde Of ve Sürmene dolaylarında deniz kıyısına kadar inen sarıçam, Artvin ve Rize çevresinde doğu ladini ile karışık orman oluşturarak 2100 metreye kadar çıkar. Zigana dağlarında, Gümüşhane ve Giresun dolaylarında 100-2400 m arasında saf ya da karışık, Amasya, Sinop, Ayancık, İnebolu, daha içeri doğru Boyabat, Tosya ve Kastamonu dolaylarında, Ilgaz dağlarında, Bolu yöresinde Seben, Köroğlu ve Abant çevresi ormanlarında saf ya da göknar ve kayınla karışık durumda 700-2000 m yüksekliklerde geniş bir yayılım gösterir. Türkiye’deki doğal yayılış sahalarının iklim şartlarından da anlaşılacağı üzere sarıçam genellikle kışları soğuk geçen dağlık alanlarda yaygındır.

Sarıçam genellikle gevşek, geçirgen ve kumlu kil topraklarını tercih etmekte olup, tuz konsantrasyonu fazla olan topraklarda yetişmemektedir. Sarıçamın en verimli yetiştiği toprakların optimum pH değerleri ise 5,0-5,7 arasında olduğu bilinmektedir (URL-6, 1993).

1.5. Çalışma Alanının Özellikleri

1.5.1. Coğrafi Konum

Gümüşhane ili 6.575 km² yüzölçümüne sahip olup, Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nün iç kesiminde 38° 45' - 40° 12' doğu boylamları ile 39° 45' - 40° 50' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Kuzeyinde Trabzon, doğusunda Bayburt, batısında Giresun ve güneyinde Erzincan ile komşu olan ilin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1210 metredir.

Şekil 1.3'te il haritası gösterilen Gümüşhane ili, 657.500 hektarlık yüzölçümü ile Türkiye'nin yüzölçümünün yaklaşık %0,84'ünü oluşturmaktadır. Gümüşhane ili yeryüzü şekilleri bakımından iki farklı özellik göstermektedir. Birincisi yüksek bir plato olan Şiran, Kelkit ve Köse ilçelerini kapsayan güney kesimi, ikincisi ise dar ve derin vadilerle birbirinde ayrılmış yüksek dağların bulunduğu Merkez, Torul ve Kürtün ilçelerini kapsayan kuzey kesimidir. Dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahip olan Gümüşhane ili arazisinin %60'ını dağlar, %29'unu platolar ve %11'ini ovalar oluşturmakta olup ilin en yüksek noktası 3.331 metre ile Abdal Musa Tepesi'dir. İlin önemli akarsularından biri Gümüşhane'nin içinden geçerek Karadeniz'e dökülen 142 km uzunluğundaki Harşit Çayıdır (URL-2, 2017).

1.5.2. Genel Bitki Örtüsü

Gümüşhane ili topraklarının %40'ı çayır ve meralarla, %26'sı ekili dikili yerler ve %22'si orman ve fundalıklarla kaplıdır. İlin özellikle kuzey ve kuzeye bakan bölgeleri bitki örtüsü yönünden oldukça zengindir. Harşit Vadisi'nde 1500 m rakıma kadar yapraklı ağaçlardan meydana gelen ormanlarla kaplıdır. 1500 ile 2300 m arasında ise, genellikle sarıçam ve ladin gibi iğne yapraklı ağaçlardan meydana gelen ormanlar yer almaktadır (URL-2, 2017).



Şekil 1.3. Gümüşhane İli Haritası

1.5.3. İklim

Gümüşhane ili iklim özellikleri bakımından Karadeniz ile Doğu Anadolu Bölgeleri arasında bir geçiş teşkil etmekte olup, karasal bir iklime sahiptir (URL-5, 2017). Yıllık ortalama rüzgar hızı 9,9 m/sec, ortalama yerel basınç 879,6 hpa, en düşük yerel basınç 853,0 hpa, en yüksek yerel basınç 897,8 hpa, ortalama sisli gün sayısı %4,9, ağustos ayı sisli gün sayısı %0,2 gün (en az sisli ay), ekim ayı sisli gün sayısı %0,7 gün (en sisli ay) ve yıllık ortalama yağış miktarı 409,2 mm'dir. Gümüşhane'de en sıcak ay, Ağustos ayı olup ortalama sıcaklık 30,3°C ve en soğuk ay Ocak ayı olup ortalama sıcaklık -0,1°C olduğu bilinmektedir. Gümüşhane'de açık ve güneşli geçen gün sayısı ortalama 79 gündür. Kapalı geçen gün sayısı ortalaması ise 68 gündür. En fazla güneşlenme Temmuz, en az güneşlenme Ocak ve Aralık aylarında olmaktadır.

Gümüşhane'nin 2100 metre rakıma kadar olan kısımlarında; ladin, çam, göknar, mazı, meşe, titrek kavak ve Özbek kavağı, büyük yapraklı ıhlamur, dağ akça ağacı, ak söğüt, adi ceviz, sakallı kızılgağaç, kiraz, yabani elma, mahlep, sarıçam, kadran ardıcı, bodur ardıç, boyacı sumacı, erik, ılgın, yabani fındık, kuşburnu, alıç ve tespiti yapılamayan yüzlerce odunsu bitki bulunmaktadır. Merkezde ablan otu, peygamber çiçeği, başlık otu, saman çiçeği, bodur mazı ve henüz tespiti yapılamayan yüzlerce otsu ve endemik bitki çeşidi bulunmaktadır (URL-2, 2017).

1.5.4. Sanayi

Gümüşhane'nin kalkınmada öncelikli iller kapsamına alınması sonucunda son yıllarda çeşitli teşvik unsurlarının katkısıyla ilimizdeki sanayi tesisi sayısında az da olsa artış görülmüştür. İlin sanayi gelişmesinde başta madencilik olmak üzere, yöresel gıda üretimi, mermer ve taş ocakları gibi işletmeler önde gelen sektörler olarak görülmektedir. Gümüşhane'de sanayi siciline kayıtlı 265 adet işletme bulunmaktadır. Bu işletmelerde toplam 3.638 kişi istihdam edilmektedir.

Karamustafa Köyünde bulunan krom-çinko-bakır yatağında cevher elde edilmesi için 2010 yılında başlatılan çalışmalar devam etmektedir.

Mastra Altın-Gümüş yatağında Eurogold Firması tarafından üretime yönelik ön çalışmalar yapılmış ancak üretime geçilmemiştir. Bu yatak, daha sonra 2005 yılında Koza Altın İşletmeleri A.Ş. tarafından satın alınmıştır. 2007-2008 yıllarında çıkartılan cevher, ayırıştırma için il dışına gönderilmekte iken, 2009 yılında maden ocağı mahalinde kurulan ayırıştırma tesisi hizmete açılmıştır. Bu tarihten itibaren çıkartılan cevher yerinde ayırıştırılarak dore metali (%75 altın, %25 gümüş) haline getirilmektedir.

Gümüştaş Madencilik Ticaret AŞ. tarafından Gümüşhane Mezire mevkiindeki ocakta kurşun-çinko-bakır cevheri çıkartılmakta olup, cevher organize sanayi bölgesinde kurulacak tesiste ayırıştırma işlemine tabi tutulacaktır.

Merkez ilçe Eski Gümüşhane civarında bulunan Hazine Mağara, Kırkpavli ve Dere madeni isimli zuhurlarda altın ve gümüş madenlerine yönelik olarak özel şirketler tarafından arama ve sondaj çalışmaları devam etmekte olup, yakın zamanda bir ocağın işletmeye açılması için çalışmalara hız verildiği bilinmektedir.

Şiran ilçesindeki küçük çaplı yatlardan üretilen barit, Şiran ilçesinde bulunan Alpar Madencilik Ltd. Şti.'ne ait tesiste öğütülerek yurt içinde pazarlanmaktadır.

Kale çevresindeki kireç taşı (kireç hammaddesi) sahalarında üretim 1974 yılında Gümüşkale Kireç Sanayi tarafından başlatılmış olup, 1990 yılında üretime son verilmiştir. Tesis, 1998 yılında özelleştirilmiştir. 2005 yılında yeni bir firma ile ortaklık tesis edilmiş olup, 2006 yılında tekrar işletmeye açılmıştır. 2009 yılında ortaklık yapısı devam eden işletmenin üretimi devam etmektedir.

Kelkit-Gümüşgöze beldesindeki linyit kömür yataklarında özel sektör tarafından üretim yapılmakta ancak yöresel ihtiyacın bir kısmı karşılanabilmektedir.

Gümüşhane'nin genelinde mevcut olan mermer ve doğal taş sahalarından çok az bir kısmında özel firmalarca blok ve tabaka halinde üretimler yapılarak

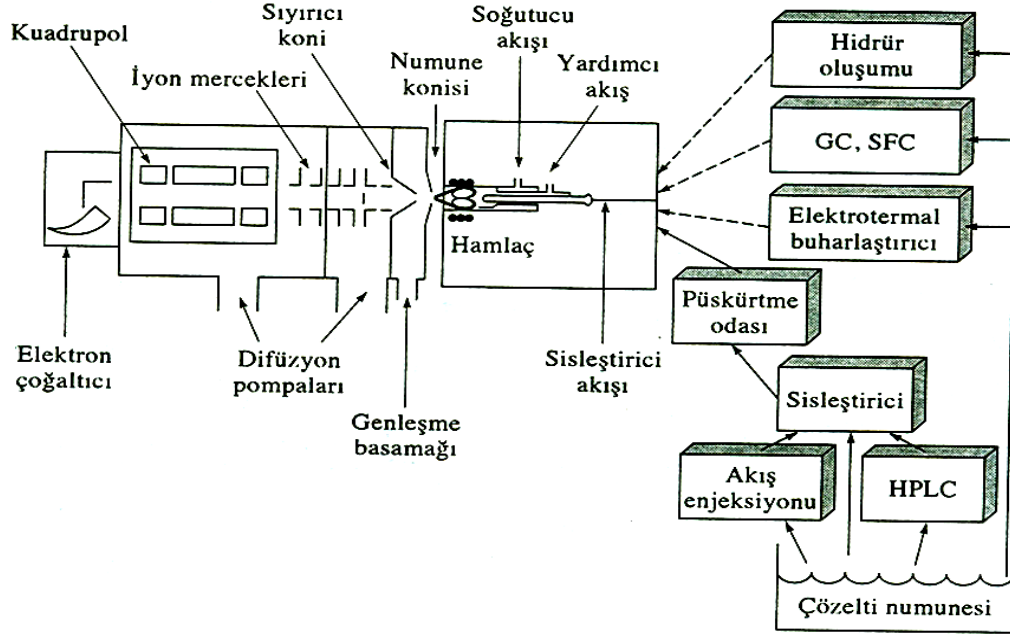
pazarlanmaktadır. Karamustafa Köyü ve Köse Dağı yöresinde oldukça geniş bir alanda “Gümüşhane Graniti” olarak isimlendirilen granitoyik kayalar mevcuttur (URL-2, URL-3 2017).

1.6. Analiz Yöntemi

1.6.1. ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi)

İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometrisi, katı veya sıvı numunelerde eş zamanlı olarak çok sayıda elementin hızlı, ucuz, hassas ve güvenilir biçimde analiz edilmesine imkan sağlayan bir analiz tekniğidir. ICP-MS cihazının donanım detayı Şekil 1.4.’de verilmektedir. ICP-MS cihazı ile analiz işlemi; analiz numunesinin 10.000 K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından iyonize edilmesi, iyonlaştırılmış elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element seviyelerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içermektedir. Numune içerisinde bulunan elementlerin derişimleri oldukça kısa bir sürede ölçülür.

Tablo 1.4’de gösterilen basitleştirilmiş çalışma prensibi uygulanarak ICP-MS ile çözeltide bulunan eser element seviyeleri belirlenebilir. Birçok element için gözlenebilir sınırlar ppb veya daha düşük derişimlerde. Çok sayıda elementi aynı anda analiz edebilme özelliği sayesinde nitel analizlerde ve izotop oranlarının belirlenmesinde olduğu gibi, başta metalik elementler olmak üzere periyodik tablodaki elementlerin büyük çoğunluğunun nicel ve yarı-nitel tayinlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.4. ICP MS Cihazının Donanım Detayı

ICP-MS'in çalışma aralığı diğer yöntemlere oranla oldukça geniştir. Birçok element için pg-mg/L arasında kalibrasyon grafikleri çizilebilmektedir (Steve, 2007).

Tablo 1.4. ICP-MS Cihazının Basitleştirilmiş Çalışma Prensipleri

Örnekleme	Plazma İyon kaynağı	İyon lensleri	Reaksiyon hücresi	Quadrupole MS	Dedektör
Sıvı örnekleri dumansı hale çevirir.	Örnek matrisini parçalayarak iyon formları oluşturur.	İyonları merkezler ve fotonlar ile yüksüz parçacıkları uzaklaştırır.	Spektral karışımları uzaklaştırır.	İyonları kütle/yük değerlerine göre ayırır.	İyonları dedekte eder ve sayımları değerlendirme sistemine aktarır.

Şekil 1.5'de genel görünüşü verilen ICP-MS'in en cazip yönlerinden biri, optik yöntemlere göre daha düşük gözlenebilir sınırları sağlamasıdır. Bu sınırlar, birçok durumlarda grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrofotometresinden (GFAAS) daha

düşüktür (URL-4, 2015).



Şekil 1.5. ICP-MS Agilent 7700 Series Cihazı Genel Görünüşü

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Bitki Materyallerinin Alınması

Çalışmamızda, Gümüşhane ilinde ağır metal kirliliğinin boyutlarını nicel olarak saptamak için sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) bitkisinin yapraklarının biyomonitor olarak kullanılabilirliği test edilmiştir. Çalışma alanı ağır metal kirliliğinin yüksek seviyede olabileceği şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgeleri olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Belirlenen bu bölgelerden 2016 yılı Ekim ayı içerisinde 35 farklı lokaliteden sarıçam örnekleri toplanmıştır. Ayrıca kirliliğin en az olabileceği kontrol noktalarından örnekler alınmıştır. Numunelerin toplandığı lokaliteler Tablo 2.1’de ve ayrıca tüm lokasyonlara ait uydu görüntüleri Şekil 2.1-2.4’teki resimlerle verilmiştir. Örnek alımında bitki yapraklarını temsil etmesi için ağacın farklı yönlerinden yapraklar alınarak karıştırılmıştır. Toplanan yapraklar steril plastik poşetlere konularak laboratuvara getirilmiştir.

Toplanan örneklerin bir kısmı distile su ile yıkanarak tozlar ve muhtemel hava kaynaklı ağır metal partiküllerinden arındırılması sağlanmıştır. Yıkanmayan diğer kısım ise herhangi bir işlemde geçirilmemiştir. Mikrobiyal çürümeyi önlemek ve kuru ağırlıkları almak üzere yıkanmış ve yıkanmamış yaprak örnekleri petri kabına konularak 80°C’de etüvde 24 saat bekletilmiştir. Kurutma işleminden sonra örnekler blender ile öğütülüp 150 µm’lik elekten geçirilmiştir. Her işlem öncesi, blender bıçakları ve haznesi, muhtemel bir kontaminasyonu engellemek için, önce deterjanla çeşme suyunda temizlenmiş daha sonra distile sudan geçirilerek kurutulmuştur. Öğütülmüş örnekler, kilitli küçük poşetlere konularak analiz aşamasına kadar bekletilmiştir.

2.2. Yöntem

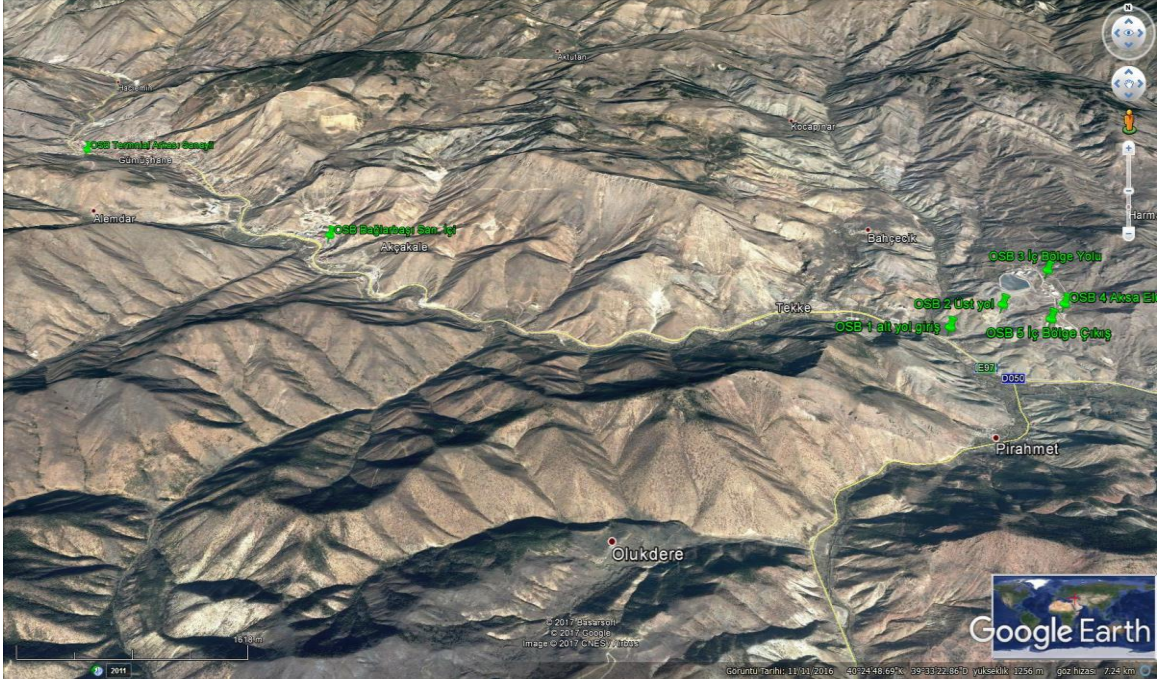
Ağır metal analizlerinden önce yaprak örnekleri, uygun çözücü karışımları kullanılarak kapalı sistem mikrodalga cihazında (Milestone Start D model) çözünürleştirilmiştir. Bu amaçla yaprak örneklerinden 0,500 g tartılarak teflon kaplara konulmuştur. Üzerlerine 6 mL HNO₃ ve 2 mL H₂O₂ eklenerek, 15 dakika, 180°C sıcaklıkta

ve 1200 W güçte, yine 15 dakika, 180°C sıcaklıkta ve 1200 W güçte ve son olarak 10 dakika soğutma şartlarında çözme işlemi gerçekleştirilmiştir. Teflon kaplar içindeki çözünmüş örnekler filtre kağıdından süzildükten sonra 50 mL hacme tamamlanıp İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrofotometrisi (ICP-MS) (Agilent 7700 Series) yardımıyla Pb, Hg, As, Cd, Ni, Al, Cu, Fe, Cr, Zn, Co ve Mn gibi ağır metallerin analizleri yapılmıştır.

ICP-MS ile Pb, Hg, As, Cd, Ni, Al, Cu, Fe, Cr, Zn, Co ve Mn tayininde her bir element için hesaplanan tayin sınırları (LOQ) sırasıyla 0,033, 0,055, 0,059, 0,043, 0,016, 0,051, 0,035, 0,083, 0,018, 0,013, 0,025 ve 0,023 $\mu\text{g L}^{-1}$ 'dir.

Tablo 2.1. Bitki Örneklerinin Topladığı Lokaliteler

LOKALİTELERİN BULUNDUKLARI MEVKİLER	LOKALİTELER
Kontrol	S1. Kocapınar S2. Kabaköy Yolu S3. Bahçecik Köyü S4. Yeniyol Köyü S5. Olukdere Köyü S6. Altınpınar S7. Çamlıköy (Mavrengel)
Şehir Merkezi	S8. Emirler Mezarlığı S9. 1.Toki S10. Karaer Mah. Valilik Bina Arkası S11. İnönü Mah. Aydın Doğan Spor Salonu Arkası S12. Karaer Mah. Emniyet Müdürlüğü Bayırı S13. İnönü Mah. Gümüşhane Bel. İtfaiye Amirliği S14. Gümüşhane Çevre Şeh. İl. Müd. Arkası
Transit Yol	S15. Terminal Yanı S16. Gümüşhane Şehir Stadı S17. Gümüşhane Üniversitesi M.Y.O. S18. Zigana Köstere Köyü Yol Ayrımı S19. Akçakale-Tekke Yolu 4.4 km S20. Harmancık (Torul) S21. Tekke Transit Yol
Organize Sanayi Bölgesi (OSB)	S22. OSB 1 Alt Yol Girişi S23. OSB 2 Üst Yol S24. OSB 3 İç Bölge Yolu S25. OSB 4 Aksa Gümüşhane İstasyonu S26. OSB 5 İç Bölge Çıkış S27. Bağlarbaşı Sanayi içi S28. Terminal Arkası Sanayi
Sanayi	S29. Yıldız Bakır A.Ş. S30. Koza Altın A.Ş. S31. Gümüşhane Kireç San. A.Ş. S32. Cengiz İnş. Yeni Zigana Tüneli (Torul) S33. Arazlar A.Ş. Taş Ocağı S34. Aşkale Çimento A.Ş. S35. Gümüştaş Maden Zenginleştirme Tesisi
Yıkanmış	S36. Karaer Mah. Valilik Bina Arkası S37. Karaer Mah. Emniyet Müdürlüğü Bayırı S38. Terminal Yanı S39. Üniversite M.Y.O. Transit Yol S40. OSB 1 Alt Yol S41. Bağlarbaşı Sanayi İç OSB S42. Altınpınar S43. Yeniyol Köyü S44. Gümüşhane Kireç San. A.Ş. S45. Arazlar A.Ş. Taş Ocağı



Şekil 2.3. Numunelerin Alındığı Organize Sanayi Bölgesi Uydu Görüntüsü



Şekil 2.4. Numunelerin Alındığı Sanayi Bölgesi Uydu Görüntüsü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kurşun (Pb)

Pb seviyesi şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında sırasıyla $0,35-3,60 \mu\text{g g}^{-1}$, $1,26-10,15 \mu\text{g g}^{-1}$, $0,71-8,97 \mu\text{g g}^{-1}$ ve $0,73-45,96 \mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında tespit edilmiş olup, ortalama Pb miktarı ise sırasıyla 1,49, 3,85, 3,08 ve 7,44 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Tablo 3.1). Kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında Pb seviyesi $0,02-1,04 \mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama Pb seviyesi ise $0,39 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak tayin edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ortalama Pb kirlilik miktarının sırasıyla sanayi > transit yol > organize sanayi bölgesi>şehir merkezi>kontrol şeklinde olduğu belirlenmiştir. (Şekil 3.1) Kontrol numuneleri dışında, analizi yapılan numuneler içerisinde en düşük Pb miktarı $0,35 \mu\text{g g}^{-1}$ ile Emirler mezarlığından (şehir merkezi, 8 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde, en yüksek Pb miktarı ise $45,96 \mu\text{g g}^{-1}$ ile Gümüştaş maden zenginleştirme tesislerinden (sanayi, 35 numaralı lokasyon) alınan numunelerde tespit edilmiştir. 35 numaralı lokasyonda Pb kirliliğini artıran en önemli sebebin madencilik faaliyetleri olduğu düşünülmektedir.

Yıkamış yapraklarda, yaprak yüzeyine kontamine olmuş Pb uzaklaşma oranları Tablo 3.2.'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi yaprak yüzeylerinde, yıkama sonucu Pb uzaklaşma oranı %6,3-%35,4 aralığında olup, en düşük ve en yüksek uzaklaşma yüzdesi sırasıyla Yeniyol Köyü'nden alınan kontrol grubu numunelerinde (4 numaralı lokasyon) ve OSB-1 alt yol girişinden (22 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde gözlemlenmiştir. Öztürk (2008), *Celtis Australis* L. (*Ulmaceae*)'in ağır metal kirliliği için biyomonitör olarak kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada, yıkama ile *C. australis* yapraklarından uzaklaşan Pb oranlarını, çalışmamızda elde edilen sonuçlara benzer şekilde %13,2-33,9 aralığında tespit etmiştir.

Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ve *Robinia pseudoacacia* bitkisindeki ağır elementlerin konsantrasyonlarının araştırıldığı çalışmada, bitki sürgünlerindeki Pb seviyesinin tayin sınırının altında olduğu görülmüştür (Vural, 2013). Çalışmamızda karayolundan alınan yaprak örneklerinde Pb saptanması, çalışmanın yapıldığı dönemlerin farklı olması nedeniyle artan taşıt trafiği ve diğer antropojenik

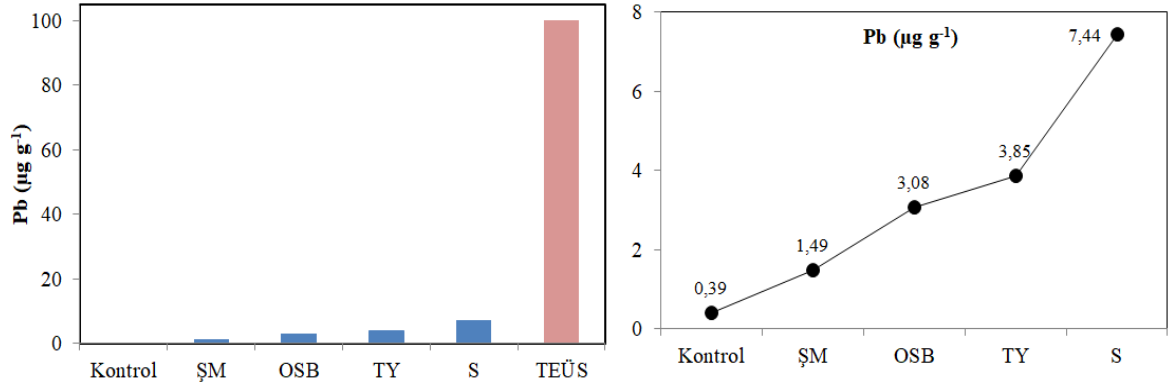
faaliyetlerle alakalı olabileceğini işaret etmektedir. Samsun, Ordu, Giresun, Trabzon ve Rize illeri ile Hopa ilçesi arasında uzanan Karadeniz Sahil yolundan, 23 lokaliteden toplanan *Verbascum sinuatum* L. (*Scrophulariaceae*) (sığırkuyruğu) türünün yapraklarında taşıtların sebep olduğu ağır metal kirliliğinin boyutlarının araştırıldığı çalışmada ise yaprak örneklerinde tespit edilen Pb miktarının ($52,3-83,0 \mu\text{g g}^{-1}$), çalışmamızdan elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmekte olup, ağır metal kirliliğinin trafik yoğunluğu ve hava sirkülasyonu ile doğru orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir. (Duru vd., 2011) Belgrad şehir parklarında yetişen ıhlamur ve kestane yapraklarının ağır metal kirliliğinin tespitinde biyomonitor olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada ise Pb konsantrasyonları ıhlamur ve kestane yapraklarında sırasıyla $1,88-11,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ve $5,4-20,3 \mu\text{g g}^{-1}$ aralığında tespit edilmiş olup (Tomasevic vd., 2004), bu araştırmanın sonuçları ise bulgularımızla paralellik göstermektedir.

Çalışmamızda analizi yapılan sarıçam bitkisinin yapraklarında Pb tespit edilmesi Gümüşhane ilinde yaygın olarak yürütülen madencilik faaliyetlerinin yanı sıra, aşınmış lastik tozu, motor ve gres yağlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kontrol grubu örneklerde Pb kirlilik düzeylerinin, kirlenmiş bölgelerden alınan yaprak numunelerine göre genel olarak daha az olduğu görülmektedir. Bu durum da kirliliğin özellikle madencilik ve endüstriyel faaliyetler ile trafik gibi antropojenik faktörlerden kaynaklandığını göstermektedir. Kontamine olmuş bitkilerde kabul edilen Pb seviyesi $30-100 \mu\text{g g}^{-1}$ aralığındadır (Ross, 1994). Buna göre Gümüşhane ilinde şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında tespit edilen Pb miktarlarının toksit sınırların altında olduğu görülmektedir (Şekil 3.1).

Tablo 3.1. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Pb Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	$0,11 \pm 0,01$	8	$0,35 \pm 0,02$	15	$1,75 \pm 0,11$	22	$2,60 \pm 0,16$	29	$1,30 \pm 0,08$
2	$0,34 \pm 0,02$	9	$3,60 \pm 0,22$	16	$1,26 \pm 0,08$	23	$1,79 \pm 0,11$	30	$0,78 \pm 0,05$
3	$0,02 \pm 0,00$	10	$1,35 \pm 0,08$	17	$7,45 \pm 0,45$	24	$1,30 \pm 0,08$	31	$0,73 \pm 0,04$
4	$0,80 \pm 0,05$	11	$0,80 \pm 0,05$	18	$2,45 \pm 0,15$	25	$0,91 \pm 0,05$	32	$0,87 \pm 0,05$
5	$0,35 \pm 0,02$	12	$2,31 \pm 0,14$	19	$10,15 \pm 0,61$	26	$0,71 \pm 0,04$	33	$0,95 \pm 0,06$
6	$1,04 \pm 0,06$	13	$0,78 \pm 0,05$	20	$1,33 \pm 0,08$	27	$8,97 \pm 0,54$	34	$1,46 \pm 0,09$
7	$0,05 \pm 0,00$	14	$1,26 \pm 0,08$	21	$2,55 \pm 0,15$	28	$5,29 \pm 0,32$	35	$45,96 \pm 2,76$
Ort.	$0,39 \pm 0,02$	Ort.	$1,49 \pm 0,09$	Ort.	$3,85 \pm 0,23$	Ort.	$3,08 \pm 0,18$	Ort.	$7,44 \pm 0,45$

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.1. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Pb seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Pb kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.2. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Pb Azalma Oranları (%)

	LN*	NY (µg g ⁻¹)**	YY(µg g ⁻¹ ***)	Azalma (%)
Kontrol	4	0,80±0,05	0,75±0,05	6,3
	6	1,04±0,06	0,96±0,06	7,7
Şehir Merkezi	10	1,35±0,08	1,26±0,08	6,7
	12	2,31±0,14	1,51±0,09	34,6
Transit Yol	15	1,75±0,11	1,57±0,09	10,3
	17	7,45±0,45	6,41±0,38	14,0
Org. San. Böl.	22	2,60±0,16	1,68±0,10	35,4
	27	8,97±0,54	7,40±0,44	17,5
Sanayi	31	0,73±0,04	0,65±0,04	11,0
	33	0,95±0,06	0,86±0,05	9,5

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.2. Kadmiyum (Cd)

Şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi, sanayi ve kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında belirlenen minimum ve maksimum Cd oranları sırasıyla 0,01-0,03 µg g⁻¹, 0,01-0,62 µg g⁻¹, 0,03-0,81 µg g⁻¹, 0,03-0,29 µg g⁻¹ ve 0,01-0,13 µg g⁻¹ aralıklarında tespit edilmiş olup, ortalama Cd miktarı ise sırasıyla 0,01, 0,25, 0,19, 0,09 ve 0,04 µg g⁻¹ olarak bulunmuştur (Tablo 3.3). Farklı kirlenme ortamlarından toplanan sarıçam bitkisinin yapraklarında ortalama Cd kirlilik düzeyleri Şekil 3.2’de görülmektedir. Şekil 3.2’den de görüldüğü üzere ortalama Cd kirlilik miktarı sırasıyla transit yol>organize sanayi bölgesi>sanayi>kontrol>şehir merkezi şeklindedir. Kontrol bölgelerinden alınan numunelerin Cd içeriğinin, şehir merkezinden alınan numunelerde tespit edilen Cd seviyesinden az da olsa yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç, kontrol

bölgelerinde bulunan sarıçam bitkisinin ortama bırakılan atık maddeler nedeniyle kirlendiğini işaret etmektedir. Yapılan analizlerde kontrol numuneleri dışında, en düşük Cd miktarı 0,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak, şehir merkezinde yer alan Emirler Mezarlığı (8 numaralı lokasyon), Karaer Mahallesi Valilik bina arkası (10 numaralı lokasyon) ve Gümüşhane Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü arkası (14 numaralı lokasyon) ile transit yol üzerinde yer alan terminalden (15 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde tespit edilmişken, en yüksek Cd miktarı ise 0,81 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak OSB alt yol girişinden (14 numaralı lokasyon) alınan numunelerde görülmüştür.

Yıkamış yapraklarda, yaprak yüzeyine kontamine olmuş Cd uzaklaşma oranları Tablo 3.4’de verilmiştir. Yıkama sonucu Cd uzaklaşma oranı %0-%92,6 aralığında olup, en düşük Cd uzaklaşma yüzdesi Yeni yol Köyü (kontrol, 4 numaralı lokasyon), Karaer Mahallesi Valilik bina arkası (şehir merkezi, 10 numaralı lokasyon), Karaer Mahallesi Emniyet Müdürlüğü bayırı (şehir merkezi, 12 numaralı lokasyon), terminal (transit yol, 15 numaralı lokasyon) ve Arazlar A.Ş. taş ocağından (sanayi, 33 numaralı lokasyon) alınan numunelerde ve en yüksek Cd uzaklaşma yüzdesi OSB alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde gözlemlenmiştir. *Cercis Siliquastrum* L. Subsp *Siliquastrum* bitkisinin ağır metal kirliliğinde biyomonitor olarak kullanımının araştırıldığı çalışmada yıkama sonucunda uzaklaşan Cd oranı %29,0-41,7 aralığında tespit edilmiştir (Yaşar, 2009).

Çalışmamızda analizi yapılan yaprak örneklerinin pek çoğunda Cd tespit edilmesine rağmen, Vural (2013), Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ve *Robinia pseudoacacia* bitkisindeki ağır metallerin konsantrasyonlarını araştırdığı çalışmada, bitki sürgünlerindeki Cd seviyesinin tayin sınırının altında olduğunu tespit etmiştir. Cd kirliliğinin, madencilik faaliyetlerinin yanı sıra motorlu taşıtlar tarafından çevreye verilen emisyonlardan, araç lastiklerinin aşınmasından, yanan motor yağından ve en çok dizel yakıtların havaya verilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Cd, ayrıca Pb üretiminde yan ürün olarak oluşmaktadır. Cd’nin boya ve nikel-kadmiyumlu pil sanayinde kullanımı yaygın olup, atık çamur ve fosfat içeren gübreler en önemli antropojenik Cd kaynağını teşkil etmektedir. Vural (2013)’ün çalışmasının aksine yaprak örneklerinde Cd tespit edilmesi her iki çalışma arasında geçen süreçte söz konusu Cd kirliliği oluşturan etmenlerin artışından kaynaklandığını işaret etmektedir. Amansoslar’da (Hatay) yetişen farklı bitki türlerinde ağır metal birikiminin incelendiği çalışmada Cd miktarının 0,02-2,03 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında değiştiği, en yüksek Cd seviyeleri ise sarı kantaron (*Hypericum amblysepalum*), Isırgan otu (*Urtica urens*) ve binde birlik otu (*Hipericum*

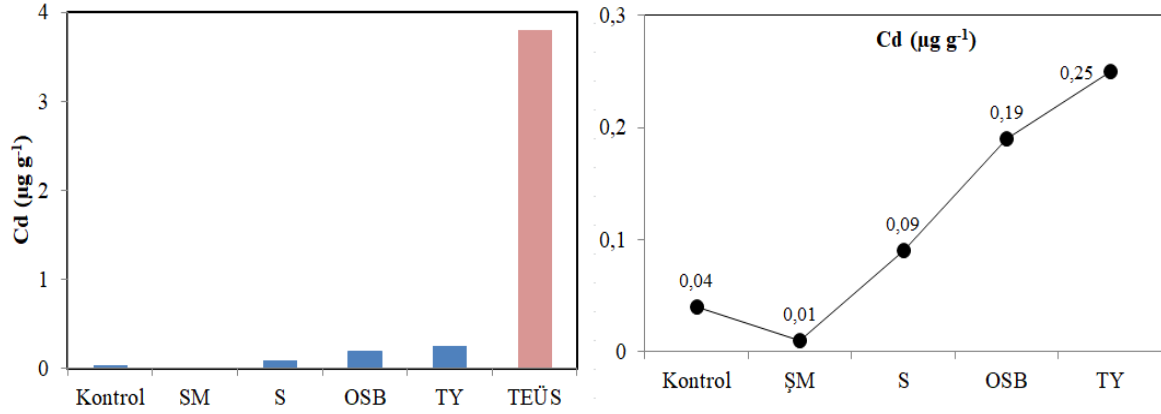
lanugmosum var. *scabrellum*) yapraklarında sırasıyla 2,03, 1,88 ve 1,59 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit edilmiş olup, *Hypericum amblysepalum*'un yaprak örneklerinde özellikle Cd ağır metal içeriğinin yüksek seviyede bulunması bu bitkinin toplandığı bölgenin karayollarına yakın olması ile ilişkili olabileceği düşünülmüştür (Ergün vd., 2010). Yine İstanbul'un kentsel alanlarında yetişen 7 farklı yaprak döken ağaç türünde yapılan ağır metal analizlerinde *Acer sp.*, *Aesculus sp.*, *Ailanthus sp.*, *Fraxinus sp.*, *Platanus sp.*, *Populus sp.* ve *Robinia sp.* türlerinde ortalama Cd seviyesi sırasıyla 0,36, 0,28, 0,2, 0,26, 0,81 ve 0,27 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak rapor edilmiştir (Baycu vd., 2006). Bu araştırmanın sonuçları bulgularımızla paralellik göstermektedir.

Kontamine olmuş bitkilerde kabul edilen Cd seviyesi 0,03-3,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığındadır (Ross, 1994). Buna göre analiz edilen yaprak örneklerinin hiç birinde, bitkiler için tolere edilebilir üst sınırın aşılmadığı görülmektedir (Şekil 3.2).

Tablo 3.3. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Cd Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	0,13±0,01	8	0,01±0,00	15	0,01±0,00	22	0,81±0,04	29	0,13±0,01
2	0,01±0,00	9	0,03±0,00	16	0,02±0,00	23	0,18±0,01	30	0,03±0,00
3	TSA**	10	0,01±0,00	17	0,62±0,03	24	0,09±0,00	31	0,06±0,00
4	0,01±0,00	11	TSA	18	0,40±0,02	25	0,03±0,00	32	0,05±0,00
5	0,09±0,00	12	0,02±0,00	19	0,31±0,02	26	0,03±0,00	33	0,03±0,00
6	0,06±0,00	13	0,02±0,00	20	0,24±0,01	27	0,09±0,00	34	0,03±0,00
7	TSA**	14	0,01±0,00	21	0,15±0,01	28	0,12±0,01	35	0,29±0,01
Ort.	0,04±0,00	Ort.	0,01±0,00	Ort.	0,25±0,01	Ort.	0,19±0,01	Ort.	0,09±0,00

*Lokasyon Numaralaması **Tayin Sınırının Altında



Şekil 3.2. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Cd seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Cd kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir Merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.4. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Cd Azalma Oranları (%)

	LN*	NY (µg g ⁻¹)**	YY(µg g ⁻¹ ***)	Azalma (%)
Kontrol	4	0,01±0,00	0,01±0,00	0,0
	6	0,06±0,00	0,04±0,00	33,3
Şehir Merkezi	10	0,01±0,00	0,01±0,00	0,0
	12	0,02±0,00	0,02±0,00	0,0
Transit Yol	15	0,01±0,00	0,01±0,00	0,0
	17	0,62±0,03	0,17±0,00	72,6
Org. San. Böl.	22	0,81±0,04	0,06±0,00	92,6
	27	0,09±0,00	0,06±0,00	33,3
Sanayi	31	0,06±0,00	0,01±0,00	83,3
	33	0,03±0,00	0,03±0,00	0,0

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.3. Bakır (Cu)

Cu içeriği şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi, sanayi ve kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında sırasıyla 2,30-7,05 µg g⁻¹, 3,37-6,94 µg g⁻¹, 2,69-9,15 µg g⁻¹, 2,45-10,76 µg g⁻¹ ve 2,29-5,86 µg g⁻¹ aralıklarında tespit edilmiştir (Tablo 3.5). Ortalama Cu seviyeleri açısından yapılan değerlendirmede en yoğun kirlenmenin sırasıyla 4,69 µg g⁻¹ ile transit yol, 4,62 µg g⁻¹ ile organize sanayi bölgesi, 4,54 µg g⁻¹ ile sanayi, 4,18 µg g⁻¹ ile şehir merkezi ve 3,74 µg g⁻¹ ile kontrol bölgelerinden alınan numunelerde olduğu görülmektedir (Şekil 3.3). Kontrol numuneleri dışında, en düşük Cu miktarı Emirler mezarlığından (şehir merkezi, 8 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde (2,30 µg g⁻¹), en yüksek Cu miktarı ise Gümüştaş maden

zenginleştirme tesislerinden (sanayi, 35 numaralı lokasyon) alınan numunelerde ($10,76 \mu\text{g g}^{-1}$) tespit edilmiştir. Kontrol grubu örneklerde ise belirlenen ortalama Cu seviyesi, kirlenmiş bölgelerden alınan yaprak numunelerine göre daha az olduğu görülmektedir.

Yıkama sonucunda en düşük Cu uzaklaşma yüzdesi %4,2 olarak Bağlarbaşı sanayi içinden alınan numunelerinde tespit edilmişken (organize sanayi bölgesi, 27 numaralı lokasyon), en yüksek uzaklaşma miktarı %39,2 olarak OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde elde edilmiştir (Tablo 3.6). Çalışmamıza benzer şekilde, bitki yapraklarının yıkanması sonucunda Yaşar (2009), *Cercis Siliquastrum* L. Subsp. *Siliquastrum* bitkisinin yapraklarında ve Öztürk (2008), *Celtis Australis* L. bitkisinin yapraklarında Cu uzaklaşma miktarını sırasıyla %9,1-27,8 ve %12,9-32,0 aralıklarında belirlemiştir.

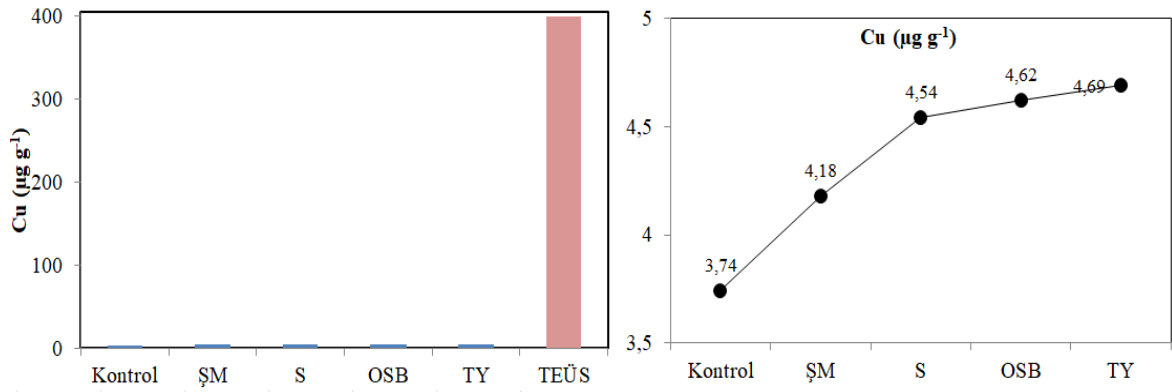
Vural (2013), Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ve *Robinia pseudoacacia* bitkisindeki ağır metallerin konsantrasyonlarını araştırdığı çalışmada, bitki sürgünlerindeki Cu seviyesini $2,75\text{-}34,4 \mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama Cu miktarını ise $6,21 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiş olup, bu araştırmanın sonuçlarının çalışmamızdan elde edilen verilere yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca Denizli’de ağır metal kirliliğinin *Robinia pseudoacacia* türünün yaprakları kullanılarak araştırıldığı çalışmada ortalama Cu miktarı sanayi bölgesi, kentsel yol kenarı ve kırsal yol kenarından alınan yaprak örneklerinde çalışmamızdan elde edilen verilerden daha yüksek olup, sırasıyla $16,92$, $20,81$ ve $12,22 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak (Çelik vd., 2005) bulunmuştur. *Cercis siliquastrum* L. subsp. *siliquastrum* bitkisinin yapraklarının ağır metal kirliliğinin tespitinde biyomonitor olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada ise ortalama Cu miktarı şehir içi, şehir parkı, yol kenarı ve boğaz sahil şeridi bölgelerinden alınan yaprak örneklerinde, çalışmamızda elde edilen ortalama Cu seviyelerinden kısmen daha yüksek olup, sırasıyla $6,38$, $6,36$, $11,24$ ve $5,35 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak tayin edilmiştir (Yaşar, 2009).

Çalışmamızda analiz edilen yaprak örneklerinde tespit edilen Cu içeriğinin insan aktivitesi sonucu oluşan emisyon ve atmosferik depositler, pestisit kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, fosil yakıtlar, trafik ve maden işletmeciliği gibi etmenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Cu, mobilitesinin yüksek bir element olması nedeniyle bitki bünyesine hızlı giriş yaparak, her yöne doğru hızla yayılıp birikmektedir. Kontamine olmuş bitkilerde kabul edilen Cu seviyesi $100\text{-}400 \mu\text{g g}^{-1}$ aralığındadır (Ross, 1994). Buna göre sarıçam bitkisinin yapraklarında tespit edilen Cu miktarlarının toksik sınırların bir hayli altında olduğu görülmektedir (Şekil 3.3).

Tablo 3.5. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Cu Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	4,89±0,24	8	2,30±0,12	15	4,99±0,25	22	9,15±0,46	29	2,45±0,12
2	2,37±0,12	9	7,05±0,35	16	3,59±0,18	23	2,69±0,13	30	2,88±0,14
3	2,58±0,13	10	3,82±0,19	17	6,94±0,35	24	3,96±0,20	31	3,22±0,16
4	2,29±0,11	11	4,10±0,21	18	3,37±0,17	25	3,57±0,18	32	4,69±0,23
5	2,90±0,15	12	5,00±0,25	19	5,59±0,28	26	3,00±0,15	33	3,12±0,16
6	5,31±0,27	13	2,71±0,14	20	4,52±0,23	27	5,53±0,28	34	4,67±0,23
7	5,86±0,29	14	4,31±0,22	21	3,85±0,19	28	4,47±0,22	35	10,76±0,54
Ort.	3,74±0,19	Ort.	4,18±0,21	Ort.	4,69±0,23	Ort.	4,62±0,23	Ort.	4,54±0,23

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.3. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Cu seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Cu kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir Merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.6.Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Cu Azalma Oranları (%)

	LN*	NY ($\mu\text{g g}^{-1}$)**	YY($\mu\text{g g}^{-1}$ ***	Azalma (%)
Kontrol	4	2,29 \pm 0,11	2,07 \pm 0,10	9,6
	6	5,31 \pm 0,27	4,65 \pm 0,23	12,4
Şehir Merkezi	10	3,82 \pm 0,00	3,43 \pm 0,17	10,2
	12	5,00 \pm 0,25	3,72 \pm 0,19	25,6
Transit Yol	15	4,99 \pm 0,25	4,32 \pm 0,22	13,4
	17	6,94 \pm 0,35	5,73 \pm 0,29	17,4
Org. San. Böl.	22	9,15 \pm 0,46	5,56 \pm 0,28	39,2
	27	5,53 \pm 0,28	5,30 \pm 0,27	4,2
Sanayi	31	3,22 \pm 0,16	3,02 \pm 0,15	6,2
	33	3,12 \pm 0,16	2,96 \pm 0,15	5,1

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.4. Çinko (Zn)

Zn seviyesi şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında sırasıyla 13,7-64,7 $\mu\text{g g}^{-1}$, 24,7-117,3 $\mu\text{g g}^{-1}$, 12,2-152,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 12,7-109,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında tespit edilmiş olup, ortalama Zn miktarı ise sırasıyla 31,0, 53,5, 50,5 ve 45,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Tablo 3.7).

Kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında Zn seviyesi 17,5-47,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında (ortalama 32,2 $\mu\text{g g}^{-1}$) tayin edilmiştir. Farklı kirlenme ortamlarından toplanan sarıçam bitkisinin yapraklarında ortalama Zn kirlilik düzeyleri Şekil 3.4’de görülmektedir. En düşük Zn miktarı OSB-4 Aksa Gümüşhane İstasyonundan (organize sanayi bölgesi, 25 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde (12,2 $\mu\text{g g}^{-1}$), en yüksek Zn miktarı ise OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan numunelerde (152,6 $\mu\text{g g}^{-1}$) tespit edilmiştir. Kontrol grubu örneklerde tespit edilen ortalama Zn seviyesinin şehir merkezinden alınan yaprak numunelerinde tespit edilen ortalama Zn seviyesinden daha yüksek olduğu, buna rağmen transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinde tespit edilen ortalama Zn seviyelerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Yıkama sonucunda yaprak yüzeyine kontamine olmuş Zn uzaklaşma oranları %1,4- %71,2 aralığındadır (Tablo 3.8). En düşük uzaklaşma yüzdesi Karaer Mah. Valilik bina arkasından (şehir merkezi, 10 numaralı lokasyon) alınan numunelerinde tespit edilmişken, en yüksek uzaklaşma miktarı OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22

numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde elde edilmiştir. Yaşar (2009), *Cercis Siliquastrum* L. Subsp. *Siliquastrum* bitkisinin yapraklarında ve Öztürk (2008), *Celtis Australis* L. bitkisinin yapraklarında Zn uzaklaşma miktarını sırasıyla %20,9-28,5 ve %12,4-29,1 aralıklarında belirlemiştir.

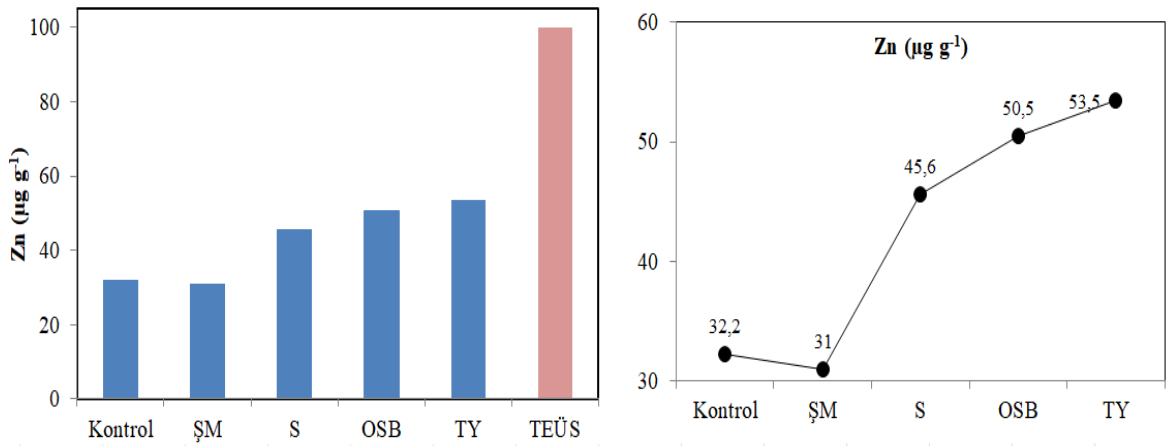
Toprak ve atmosferdeki ağır metal içeriklerinin tespit edilmesi amacıyla İspanya maden yatağı yakınlarından kontamine olmuş 25 adet *Populus alba* bitkisi yaprakları ile kontamine olmamış 10 adet ağacın yapraklarının biyomonitor olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada, kontamine olmuş ve kontamine olmamış bitki yapraklarında Zn seviyeleri sırasıyla 542,1 ve 81,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak rapor edilmiştir (Madejon vd., 2004). Yaşar (2009), şehir içi, şehir parkı, yol kenarı, boğaz sahil şeridi ve kontrol bölgelerinden alınan yıkanmamış *Cercis Siliquastrum* L. Subsp. *Siliquastrum* (Fabaceae) yaprak örneklerinde Zn miktarını sırasıyla 17,64, 16,81, 31,21, 20,89 ve 7,57 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiştir. Vural (2013), tarafından *Robinia pseudoacacia* bitkisi sürgünlerinde tespit edilen Zn miktarının (17,6 $\mu\text{g g}^{-1}$) çalışmamızdan elde edilen verilerden oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Zn kirliliğine neden olan en önemli etmen madencilik faaliyetleri olmasının yanı sıra ZnO içeren taşıt lastikleri ve fosil yakıtlar da Zn kirliliğine neden olan kaynaklar arasında yer almaktadır. Kontamine olmuş bitkilerde kabul edilen Zn seviyesi 20-100 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığındadır (Ross, 1994). Buna göre çalışmamızda elde edilen ortalama Zn seviyeleri dikkate alındığında; şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinin ortalama Zn seviyesi bitkilerde tolere edilebilir üst sınırı aşmamasına rağmen (Şekil 3.4), Gümüşhane Üniversitesi M.Y.O.'dan (transit yol, 17 numaralı lokasyon), OSB-1 alt yol girişi (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon), Gümüştaş Maden Zenginleştirme Tesisinden (sanayi, 35 numaralı lokasyon) alınan bitki yapraklarında Zn seviyelerinin bitkilerde tolere edilebilir üst sınırı aştığı görülmektedir.

Tablo 3.7. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Zn Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	17,5±0,9	8	13,7±0,7	15	47,4±2,4	22	152,6±7,6	29	49,6±2,5
2	19,0±0,9	9	54,7±2,7	16	31,8±1,6	23	18,3±0,9	30	35,8±1,8
3	26,4±1,3	10	19,9±1,0	17	117,3±5,9	24	24,4±1,2	31	49,7±2,5
4	31,3±1,6	11	64,7±3,2	18	24,7±1,2	25	12,2±0,6	32	28,6±1,4
5	47,4±2,4	12	29,1±1,5	19	72,3±3,6	26	67,7±3,4	33	33,4±1,7
6	41,0±2,1	13	20,9±1,0	20	36,3±1,8	27	24,3±1,2	34	12,7±0,6
7	43,2±2,2	14	14,1±0,7	21	44,6±2,2	28	54,0±2,7	35	109,8±5,5
Ort.	32,2±1,6	Ort.	31,0±1,6	Ort.	53,5±2,7	Ort.	50,5±2,5	Ort.	45,6±2,3

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.4. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Zn seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Zn kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir Merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.8. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Zn Azalma Oranları (%)

	LN*	NY ($\mu\text{g g}^{-1}$)**	YY($\mu\text{g g}^{-1}$ ***)	Azalma (%)
Kontrol	4	31,3±1,6	30,5±1,5	2,6
	6	41,0±2,1	17,1±0,9	58,3
Şehir Merkezi	10	19,9±1,0	19,6±1,0	1,4
	12	29,1±1,5	28,5±1,4	2,1
Transit Yol	15	47,4±2,4	44,7±2,2	5,6
	17	117,3±5,9	69,2±3,5	41,0
Org. San. Böl.	22	152,6±7,6	43,9±2,2	71,2
	27	24,3±1,2	9,5±0,5	61,0
Sanayi	31	49,7±2,5	29,8±1,5	40,1
	33	33,4±1,7	32,4±1,6	2,9

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.5. Demir (Fe)

Fe içeriği şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi, sanayi ve kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında sırasıyla 138,7-623,8 $\mu\text{g g}^{-1}$, 178,7-642,2 $\mu\text{g g}^{-1}$, 85,7-746,6 $\mu\text{g g}^{-1}$, 99,0-614,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 78,1-182,9 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında tespit edilmiş olup, ortalama Fe miktarı ise sırasıyla, 334,3, 345,0, 325,8 ve 116,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Tablo 3.9). Ortalama Fe seviyeleri açısından yapılan değerlendirmede en yoğun kirlenmenin sırasıyla 379,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ ile şehir merkezi, 345,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ ile organize sanayi bölgesi, 334,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ ile transit yol, 325,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ ile sanayi ve 116,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ ile kontrol bölgelerinden alınan numunelerde olduğu görülmektedir (Şekil 3.5). Kontrol numuneleri dışında, en düşük Fe miktarı OSB-5 iç bölge çıkışından (organize sanayi bölgesi, 26 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde (85,7 $\mu\text{g g}^{-1}$) ve en yüksek Fe miktarı ise terminal arkası sanayi bölgesinden (organize sanayi bölgesi, 28 numaralı lokasyon) alınan numunelerde (746,6 $\mu\text{g g}^{-1}$) tespit edilmiştir. Kontrol grubu örneklerde tespit edilen ortalama Fe seviyesinin, şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinde tespit edilen ortalama Fe seviyelerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Yıkama sonucunda en düşük Fe uzaklaşma yüzdesi %0,1 olarak OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan numunelerde tespit edilmişken, en yüksek uzaklaşma miktarı %70,3 olarak Arazlar A.Ş. Taş Ocağından (sanayi, 33 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde elde edilmiştir (Tablo 3.10). Yaşar (2009), *Cercis Siliquastrum* L. Subsp. *Siliquastrum* bitkisinin yapraklarında yıkama sonucu uzaklaşan Fe miktarını (%17,3-48,2), çalışmamızda yıkama sonucunda uzaklaşan Fe miktarından daha düşük aralıkta tespit etmiştir.

Vural (2013), Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ve *Robinia pseudoacacia* bitkisindeki ağır metallerin konsantrasyonlarını araştırdığı çalışmada, bitki sürgünlerindeki Fe seviyesini 38,59-693,32 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama Fe miktarını ise 102,76 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiş olup, bu araştırmadan elde edilen ortalama Fe miktarının, çalışmamızdan elde edilen ortalama Fe seviyelerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Amanoslar'da (Hatay) yetişen *Lavandula stoechas subsp. stoechas* bitkisinin Fe içeriği ise çalışmamızdan elde edilen Fe seviyelerinden daha yüksek olup, 1542,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tayin edilmiştir (Ergün vd., 2010).

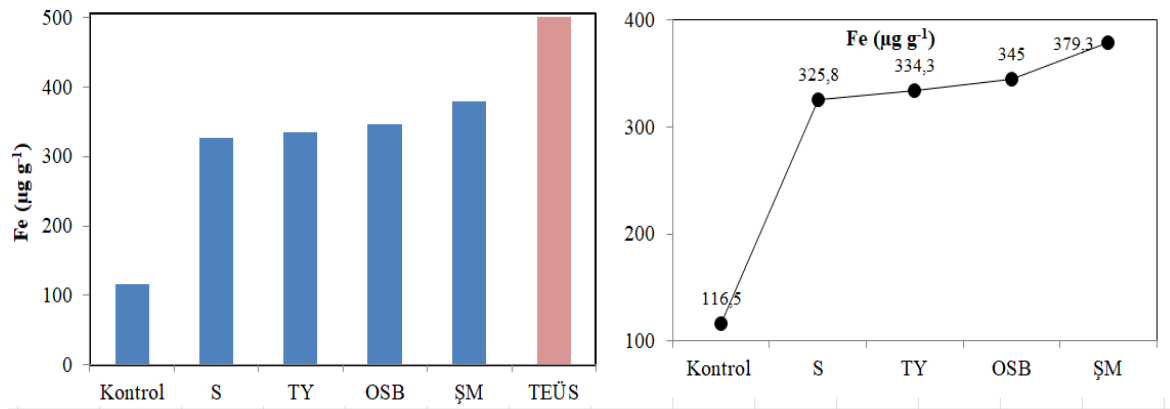
Bitki dokulardaki Fe elementinin normal değerleri 50-500 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığındadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 1994). Buna göre çalışmamızda elde edilen ortalama Fe

seviyeleri dikkate alındığında şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinin ortalama Fe seviyesi bitkilerde tolere edilebilir üst sınırı aşmamasına rağmen (Şekil 3.5), Karaer Mah. Valilik Bina arkasından (şehir merkezi, 10 numaralı lokasyon), Karaer Mah. Emniyet Müdürlüğü bayırından (şehir merkezi, 12 numaralı lokasyon), Gümüşhane Üniversitesi M.Y.O.'dan (transit yol, 17 numaralı lokasyon), Bağlarbaşı sanayi içinden (organize sanayi bölgesi, 27 numaralı lokasyon), terminal arkası sanayi bölgesinden (organize sanayi bölgesi, 28 numaralı lokasyon) ve Aşkale Çimento A.Ş.'den (sanayi, 34 numaralı lokasyon) alınan bitki yapraklarında Fe seviyelerinin bitkilerde tolere edilebilir üst sınırı aştığı görülmektedir.

Tablo 3.9. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Fe Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	93,7 \pm 4,7	8	138,7 \pm 6,9	15	401,8 \pm 20,1	22	367,2 \pm 18,4	29	245,2 \pm 12,3
2	95,1 \pm 4,8	9	358,4 \pm 17,9	16	327,8 \pm 16,4	23	130,6 \pm 6,5	30	99,0 \pm 4,9
3	98,7 \pm 4,9	10	519,5 \pm 26,0	17	642,2 \pm 32,1	24	253,3 \pm 12,7	31	370,4 \pm 18,5
4	182,9 \pm 9,1	11	434,7 \pm 21,7	18	178,7 \pm 8,9	25	137,6 \pm 6,9	32	237,5 \pm 11,9
5	85,9 \pm 4,3	12	623,8 \pm 31,2	19	410,6 \pm 20,5	26	85,7 \pm 4,3	33	451,4 \pm 22,6
6	181,0 \pm 9,1	13	231,1 \pm 11,6	20	199,4 \pm 10,0	27	693,9 \pm 34,7	34	614,0 \pm 30,7
7	78,1 \pm 3,9	14	349,0 \pm 17,4	21	179,8 \pm 9,0	28	746,6 \pm 37,3	35	263,4 \pm 13,2
Ort.	116,5 \pm 5,8	Ort.	379,3 \pm 19,0	Ort.	334,3 \pm 16,7	Ort.	345,0 \pm 17,2	Ort.	325,8 \pm 14,3

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.5. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Fe seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Fe kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.10. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Fe Azalma Oranları (%)

	LN*	NY ($\mu\text{g g}^{-1}$)**	YY ($\mu\text{g g}^{-1}$ ***	Azalma (%)
Kontrol	4	182,9 \pm 9,1	168,7 \pm 8,4	7,8
	6	181,0 \pm 9,1	117,0 \pm 5,8	35,4
Şehir Merkezi	10	519,5 \pm 26,0	500,8 \pm 25,0	3,6
	12	623,8 \pm 31,2	388,4 \pm 19,4	37,7
Transit Yol	15	401,8 \pm 20,1	297,3 \pm 14,9	26,0
	17	642,2 \pm 32,1	206,3 \pm 10,3	67,9
Org. San. Böl.	22	367,2 \pm 18,4	366,7 \pm 18,3	0,1
	27	693,9 \pm 34,7	493,6 \pm 24,7	28,9
Sanayi	31	370,4 \pm 18,5	289,3 \pm 14,5	21,9
	33	451,4 \pm 22,6	134,2 \pm 6,7	70,3

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.6. Mangan (Mn)

Şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi, sanayi ve kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında belirlenen minimum ve maksimum Mn miktarları sırasıyla 33,0-205,1 $\mu\text{g g}^{-1}$, 53,2-162,2 $\mu\text{g g}^{-1}$, 48,2-339,8 $\mu\text{g g}^{-1}$, 44,3-254,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 26,4-633,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında tespit edilmiş olup, ortalama Mn miktarı ise sırasıyla 86,1, 83,5, 122,6, 144,2 ve 162,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Tablo 3.11). Farklı kirlenme ortamlarından toplanan sarıçam bitkisinin yapraklarında ortalama Mn kirlilik düzeyleri Şekil 3.6'da görülmektedir. Şekil 3.6'dan da görüldüğü üzere ortalama Mn kirlilik miktarı sırasıyla kontrol>sanayi>organize sanayi bölgesi>şehir merkezi>transit yol şeklinde değişim göstermektedir. Kontrol grubu örneklerde tespit edilen ortalama Mn seviyesinin, kirlenmiş bölgelerden alınan yaprak numunelerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç, antropojenik faaliyetlerin kontrol bölgelerinde sarıçam bitkisinin yapraklarında Mn kirliliğine neden olduğunu işaret etmektedir. Yapılan analizlerde kontrol numuneleri dışında, en düşük Mn miktarı Karaer Mah. Emniyet Müdürlüğü bayırından (şehir merkezi, 12 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde (33,0 $\mu\text{g g}^{-1}$), en yüksek Mn miktarı ise OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan numunelerde (339,8 $\mu\text{g g}^{-1}$) tespit edilmiştir.

Yıkama sonucunda yaprak yüzeyine kontamine olmuş Mn uzaklaşma oranları %0,6-%88,1 aralığındadır (Tablo 3.12). En düşük Cd uzaklaşma yüzdesi Karaer Mah. Emniyet Müdürlüğü bayırından (şehir merkezi, 12 numaralı lokasyon) alınan numunelerinde tespit

edilmişken, en yüksek uzaklaşma miktarı OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde elde edilmiştir.

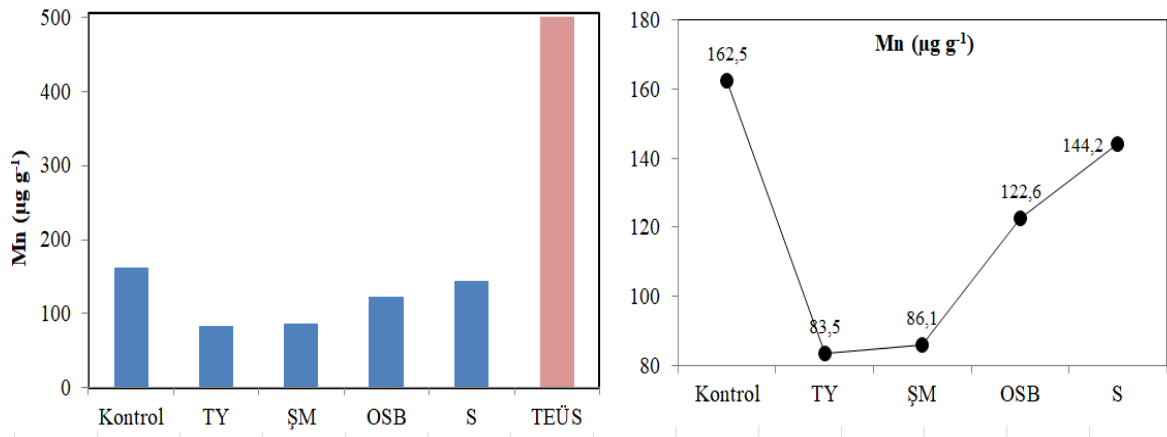
Vural (2013), *Robinia pseudoacacia* bitki sürgünlerindeki Mn seviyesini 3,74-14,00 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama Mn miktarını ise 7,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiştir. Çalışmamızda elde edilen Mn değerleri Vural (2013)'ın çalışmasından elde edilen verilerden oldukça yüksektir. Ayrıca çalışma verilerimiz, Aslanhan (2012)'ın ağır metallerin takibi için biyomonitor olarak kullandığı kavak, iğde, sığır kuyruğu ve ekinaps örneklerinin Mn içeriğine kısmen daha yakın olup, bu bitki türlerinde Mn seviyeleri sırasıyla 28,35-93,61 $\mu\text{g g}^{-1}$, 48,30-95,20 $\mu\text{g g}^{-1}$, 26,08-133,27 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 290,23-759,93 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında tespit edilmiştir.

Mn kirliliğinin özellikle madencilik faaliyetleri, fosil yakıtlar, taşıt trafiği ve tarım ilaçları gibi faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bitkide Mn için tolere edilebilir üst sınır 500 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiş olup (Ross, 1994), sarıçam bitkisinin yapraklarında tespit edilen ortalama Mn miktarlarının bitkilerde tolere edilebilir üst sınırı aşmamasına rağmen, Olukdere Köyü'nden (kontrol numunesi, 5 numaralı lokasyon) alınan örneklerde sınır değerin aşıldığı görülmektedir (Şekil 3.6). 5 numaralı lokasyonda görülen yüksek Mn kirliliğine ise tarım ilaçlarının sebep olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 3.11. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Mn Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	119,0±6,0	8	44,7±2,2	15	84,6±4,2	22	339,8±17,0	29	227,0±11,4
2	69,4±3,5	9	205,1±10,3	16	64,5±3,2	23	64,3±3,2	30	44,3±2,2
3	145,7±7,3	10	80,1±4,0	17	64,2±3,2	24	49,6±2,5	31	74,5±3,7
4	70,4±3,5	11	106,7±5,3	18	162,2±8,1	25	52,2±2,6	32	254,5±12,7
5	633,3±31,7	12	33,0±1,7	19	92,7±4,6	26	113,2±5,7	33	83,0±4,1
6	26,4±1,3	13	74,1±3,7	20	53,2±2,7	27	190,7±9,5	34	197,9±9,9
7	73,1±3,7	14	58,7±2,9	21	63,2±3,2	28	48,2±2,4	35	128,0±6,4
Ort.	162,5±8,1	Ort.	86,1±4,3	Ort.	83,5±4,2	Ort.	122,6±6,1	Ort.	144,2±7,2

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.6. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Mn seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Mn kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.12. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Mn Azalma Oranları (%)

	LN*	NY (µg g ⁻¹)**	YY(µg g ⁻¹ ***	Azalma (%)
Kontrol	4	70,4±3,5	58,5±2,9	16,8
	6	26,4±1,3	25,0±1,3	5,3
Şehir Merkezi	10	80,1±4,0	58,2±2,9	27,4
	12	33,0±1,7	32,8±1,6	0,6
Transit Yol	15	84,6±4,2	65,5±3,3	22,6
	17	64,2±3,2	63,0±3,2	1,9
Org. San. Böl.	22	339,8±17,0	40,6±2,0	88,1
	27	190,7±9,5	168,8±8,4	11,5
Sanayi	31	74,5±3,7	52,3±2,6	29,8
	33	83,0±4,2	49,9±2,5	39,9

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.7. Nikel (Ni)

Belirtilen lokasyonlardan alınan sarıçam örneklerinde minimum ve maksimum Ni içeriği şehir merkezinde; 0,54-1,01 µg g⁻¹ (ortalama 0,68 µg g⁻¹), transit yolda; 0,42-1,67 µg g⁻¹ (ortalama 0,93 µg g⁻¹), organize sanayi bölgesinde; 0,27-1,94 µg g⁻¹ (ortalama 0,73 µg g⁻¹) ve sanayi bölgesinde; 0,31-1,49 µg g⁻¹ (ortalama 0,79 µg g⁻¹) aralıklarında tespit edilmiştir (Tablo 3.13). Kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında Ni seviyesi 0,21-0,83 µg g⁻¹ (ortalama 0,53 µg g⁻¹) aralığında tayin edilmiştir. Farklı kirlenme ortamlarından toplanan sarıçam bitkisinin yapraklarında ortalama Ni kirlilik düzeyleri Şekil 3.7’de görülmektedir. Şekil 3.7’den de görüldüğü üzere ortalama kirlilik miktarı

sırasıyla transit yol>sanayi>organize sanayi bölgesi>şehir merkezi>kontrol şeklinde değişim göstermektedir. Kontrol grubu örneklerde tespit edilen ortalama Ni seviyesinin, kirlenmiş bölgelerden alınan yaprak numunelerinde tespit edilen ortalama Ni seviyelerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kontrol grubu örneklerinde Ni seviyesinin düşük olması kirliliğin çoğunlukla antropojenik faktörlerden kaynaklandığını işaret etmektedir. Kontrol numuneleri dışında, analizi yapılan numunelerin tamamı dikkate alındığında, en düşük Ni miktarının OSB-4 Aksa Gümüşhane İstasyonu'ndan (organize sanayi bölgesi, 25 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde ($0,27 \mu\text{g g}^{-1}$), en yüksek Ni seviyesinin ise OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan numunelerde ($1,94 \mu\text{g g}^{-1}$) tespit edildiği görülmektedir.

Yıkama sonucunda yaprak yüzeyine kontamine olmuş Ni uzaklaşma oranları %0-%70,1 aralığındadır (Tablo 3.14). En düşük uzaklaşma yüzdesi Karaer Mah. Valilik bina arkasından (şehir merkezi, 10 numaralı lokasyon) alınan numunelerde tespit edilmişken, en yüksek uzaklaşma miktarı OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde elde edilmiştir. Yaşar (2009), *Cercis Siliquastrum* L. Subsp. *Siliquastrum* bitkisinin yapraklarında yıkama sonucu uzaklaşan Ni miktarını (%14,8-28,4), çalışmamızda yıkama sonucunda uzaklaşan Ni miktarından daha düşük aralıkta tespit etmiştir.

Vural (2013), Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ve *Robinia pseudoacacia* bitkisindeki ağır metallerin konsantrasyonlarını araştırdığı çalışmada, bitki sürgünlerindeki Ni seviyesini $1,09-5,41 \mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama Ni miktarını ise $2,1 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiş olup, bu araştırmanın sonuçlarının çalışmamızdan elde edilen ortalama Ni seviyelerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Baycu vd. (2006), İstanbul'un kentsel alanlarında yetişen *Acer sp.*, *Aesculus sp.*, *Ailanthus sp.*, *Fraxinu ssp.*, *Platanus sp.*, *Populus sp.* ve *Robinia sp.* türlerinde ortalama Ni miktarını sırasıyla 1,8, 1,4, 1,6, 2,1, 2,2, 1,8 ve $2,3 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiştir. Çin'de *Sophora japonica* L. bitkisinin yapraklarında yapılan ağır metal analizlerinde, Ni miktarı yol kenarı ve park yerinde sırasıyla $2,19-2,76 \mu\text{g g}^{-1}$ ve $1,41-1,85 \mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında ve ortalama Ni miktarı ise sırasıyla 2,48 ve $1,63 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak rapor edilmiştir (Li vd., 2007). Çalışmamızdan elde edilen ortalama Ni seviyelerinin literatürde verilen bu çalışmalardan daha düşük olduğu görülmektedir.

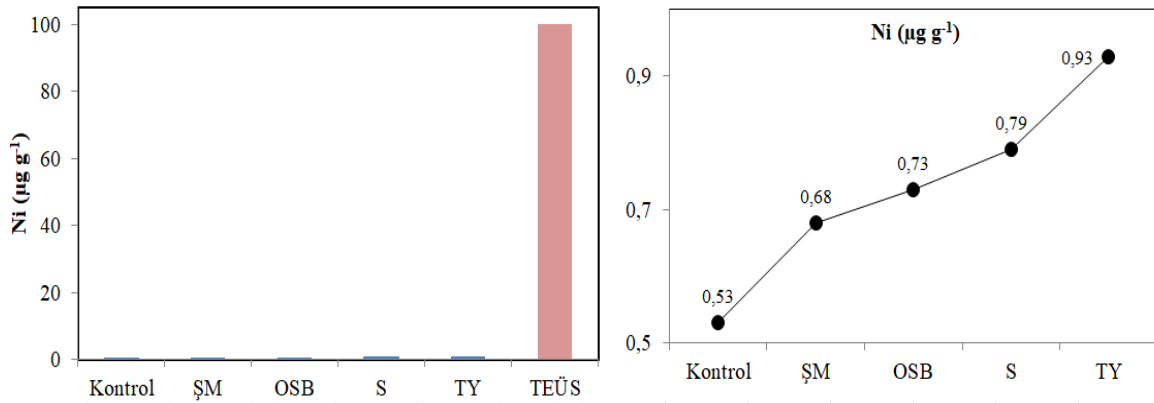
Yakıtların yanması, madencilik faaliyetleri ile kentsel atıkların külleştirilmesi atmosferde Ni birikimini artıran kaynaklardır. Ayrıca bilindiği gibi çevreye fazla oranda Ni yayılımı, Ni katkılı dizel yakıtlar ve motor yağlarının egzozla atmosfere atılmasının

sonucudur. Ross (1994), bitkilerdeki Ni konsantrasyonunun kritik sınır aralığını 10-100 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bildirmiştir. Buna göre Gümüşhane ilinde şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında tespit edilen Ni miktarlarının toksik sınırların altında olduğu görülmektedir (Şekil 3.7).

Tablo 3.13. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Ni Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	0,37±0,03	8	0,64±0,05	15	0,44±0,04	22	1,94±0,16	29	1,49±0,12
2	0,21±0,02	9	0,56±0,04	16	0,42±0,03	23	0,56±0,04	30	0,38±0,03
3	0,83±0,07	10	0,77±0,06	17	1,52±0,12	24	0,44±0,04	31	0,94±0,08
4	0,43±0,03	11	0,69±0,06	18	0,93±0,07	25	0,27±0,02	32	0,38±0,03
5	0,78±0,06	12	1,01±0,08	19	1,67±0,13	26	0,33±0,03	33	0,90±0,07
6	0,70±0,06	13	0,58±0,05	20	0,92±0,07	27	0,89±0,07	34	1,14±0,09
7	0,39±0,03	14	0,54±0,04	21	0,59±0,05	28	0,70±0,06	35	0,31±0,02
Ort.	0,53±0,04	Ort.	0,68±0,05	Ort.	0,93±0,07	Ort.	0,73±0,06	Ort.	0,79±0,06

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.7. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Ni seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Ni kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir Merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.14. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Ni Azalma Oranları (%)

	LN*	NY ($\mu\text{g g}^{-1}$)**	YY ($\mu\text{g g}^{-1}$ ***	Azalma (%)
Kontrol	4	0,43 \pm 0,03	0,34 \pm 0,03	20,9
	6	0,70 \pm 0,06	0,63 \pm 0,05	10,0
Şehir Merkezi	10	0,77 \pm 0,06	0,77 \pm 0,06	0,0
	12	1,01 \pm 0,08	0,61 \pm 0,05	39,6
Transit Yol	15	0,44 \pm 0,04	0,39 \pm 0,03	11,4
	17	1,52 \pm 0,12	0,52 \pm 0,04	65,8
Org. San. Böl.	22	1,94 \pm 0,16	0,58 \pm 0,05	70,1
	27	0,89 \pm 0,07	0,82 \pm 0,07	7,9
Sanayi	31	0,94 \pm 0,08	0,85 \pm 0,07	9,6
	33	0,90 \pm 0,07	0,57 \pm 0,05	36,7

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.8. Krom (Cr)

Cr miktarı şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında sırasıyla 0,15-1,04 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,40-1,31 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,27-1,46 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 0,27-2,86 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında tespit edilmiş olup, ortalama Cr miktarı ise sırasıyla 0,62, 0,73, 0,67 ve 1,09 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Tablo 3.15). Kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında Cr seviyesi 0,23-4,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ (ortalama 0,91 $\mu\text{g g}^{-1}$) aralığında tayin edilmiştir. Farklı kirlenme ortamlarından toplanan sarıçam bitkisinin yapraklarında ortalama Cr kirlilik düzeyleri Şekil 3.8’de görülmektedir. Kontrol grubu örneklerde tespit edilen ortalama Cr seviyesinin, şehir merkezi, transit yol ve organize sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinde tespit edilen ortalama Cr seviyelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle Bahçecik Köyü’nden (3 numaralı lokasyon) alınan kontrol numunesinde diğer numunelere kıyasla daha yüksek Cr içeriğine (4,20 $\mu\text{g g}^{-1}$) rastlanmıştır. Bu durum, hem 3 numaralı lokasyondan alınan örneklerde hem de diğer kontrol grubu örneklerinde antropojenik faaliyetler sonucunda Cr kirliliği oluştuğunu işaret etmektedir. Kontrol numuneleri dışında, en düşük ve en yüksek Cr seviyesi sırasıyla Emirler mezarlığından (şehir merkezi, 8 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde (0,15 $\mu\text{g g}^{-1}$) ve Arazlar A.Ş. Taş Ocağından (sanayi, 33 numaralı lokasyon) alınan numunelerde (2,86 $\mu\text{g g}^{-1}$) tespit edilmiştir.

Yıkama sonucunda yaprak yüzeyine kontamine olmuş en düşük Cr uzaklaşma oranı %3,1 ile OSB-1 alt yol girişinden (22 numaralı lokasyon) alınan numunelerde tespit edilmişken, en yüksek uzaklaşma oranı %81,7 ile Gümüşhane Üniversitesi M.Y.O.’dan (17 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde elde edilmiştir (Tablo 3.16).

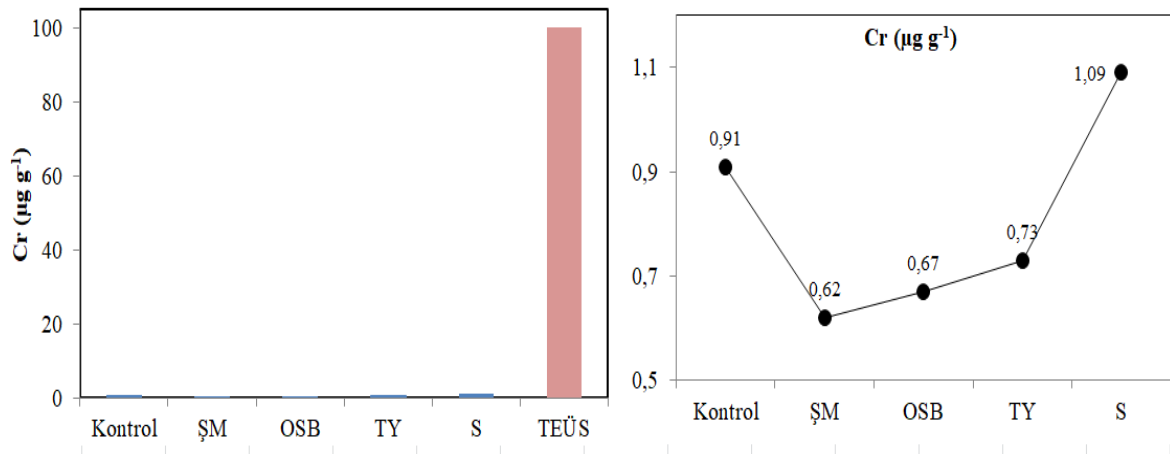
Robinia pseudoacacia bitki sürgünlerindeki Cr seviyesi, Vural (2013) tarafından 0,33-2,19 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama Cr miktarı ise 1,11 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit edilmiş olup, bu araştırmanın sonuçlarının çalışmamızdan elde edilen ortalama Cr seviyelerinden kısmen daha yüksek olduğu görülmektedir. Trafiğin yoğun yaşandığı yol kenarları ile parklardaki ağır metal miktarlarının karşılaştırılması amacıyla, Çin’de doğal olarak yetişen *Sophora japonica* L. bitkisinin yapraklarında yapılan analizlerde, Cr miktarı yol kenarı ve park yerinde sırasıyla 3,01–3,88 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 2,46–2,78 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında ve ortalama Cr miktarı ise yol kenarı ve park yerinde sırasıyla 3,45 ve 2,62 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir (Li vd., 2007). Ürdün’ün Akabe şehrinde *Phoenix dactylifera* L. bitkisinin ağır metal kirliliği için biyomonitör olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada şehir içi, otoyol kenarları, sanayi ve kırsal alanlardan toplanan yapraklarda ortalama Cr miktarı 2,89, 3,15, 3,97 ve 2,05 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak rapor edilmiştir (Al-Khlaifat ve Al-Khashman, 2007). Yine bu çalışmalarda elde edilen ortalama Cr değerleri, çalışmamızdan elde edilen verilerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Özbek vd. (1995), bitkilerde 100 $\mu\text{g g}^{-1}$ Cr bulunmasının birçok bitki için toksik etki oluşturabileceğini bildirilmiştir. Buna göre sarıçam bitki yapraklarında tespit edilen Cr miktarının toksik sınırların altında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.8).

Tablo 3.15. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Cr Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	0,24±0,02	8	0,15±0,02	15	0,65±0,07	22	0,65±0,07	29	0,43±0,04
2	0,35±0,04	9	0,70±0,07	16	0,40±0,04	23	0,36±0,04	30	0,27±0,03
3	4,20±0,42	10	0,80±0,08	17	1,31±0,13	24	0,37±0,04	31	1,29±0,13
4	0,23±0,02	11	0,67±0,07	18	0,44±0,04	25	0,27±0,03	32	0,50±0,05
5	0,58±0,06	12	1,04±0,10	19	1,21±0,12	26	0,32±0,03	33	2,86±0,29
6	0,38±0,04	13	0,59±0,06	20	0,64±0,06	27	1,46±0,15	34	1,98±0,20
7	0,42±0,04	14	0,41±0,04	21	0,48±0,05	28	1,24±0,12	35	0,33±0,03
Ort.	0,91±0,09	Ort.	0,62±0,06	Ort.	0,73±0,07	Ort.	0,67±0,07	Ort.	1,09±0,11

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.8. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Cr seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Cr kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir Merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.16.Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Cr Azalma Oranları (%)

	LN*	NY (µg g ⁻¹)**	YY (µg g ⁻¹ ***)	Azalma (%)
Kontrol	4	0,23±0,02	0,20±0,02	13,0
	6	0,38±0,04	0,13±0,01	65,8
Şehir Merkezi	10	0,80±0,08	0,77±0,08	3,8
	12	1,04±0,10	0,83±0,08	20,2
Transit Yol	15	0,65±0,07	0,61±0,06	6,2
	17	1,31±0,13	0,24±0,02	81,7
Org. San. Böl.	22	0,65±0,07	0,63±0,06	3,1
	27	1,46±0,15	0,82±0,08	43,8
Sanayi	31	1,29±0,13	0,97±0,10	24,8
	33	2,86±0,29	0,77±0,08	73,1

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.9. Alüminyum (Al)

Al miktarı şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında sırasıyla 259,1-793,5 µg g⁻¹, 256,3-1044,5 µg g⁻¹, 144,9-1317,5 µg g⁻¹ ve 165,1-2213,8 µg g⁻¹ aralıklarında tespit edilmiş olup, ortalama Al miktarı ise sırasıyla 547,7, 513,5, 536,1 ve 764,6 µg g⁻¹ olarak bulunmuştur (Tablo 3.17). Kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında Al seviyesi 74,2-323,5 µg g⁻¹ aralığında ve ortalama Al seviyesi 176,3 µg g⁻¹ olarak tayin edilmiştir. Farklı kirlenme ortamlarından toplanan sarıçam bitkisinin yapraklarında tespit edilen ortalama Al kirlilik düzeyleri dikkate alındığında kirlilik miktarının sanayi>şehir merkezi>organize sanayi bölgesi>transit yol>kontrol şeklinde değiştiği görülmektedir (Şekil 3.9). Kontrol

numuneleri dışında, en düşük Al seviyesi 144,9 $\mu\text{g g}^{-1}$ ile OSB-5 iç bölge çıkışından (organize sanayi bölgesi, 26 numaralı lokasyon) alınan örneklerde ve en yüksek Al düzeyi ise 2213,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ ile Arazlar A.Ş. Taş Ocağından (sanayi, 33 numaralı lokasyon) alınan numunelerde tespit edilmiştir.

Yıkanmış yapraklarda yaprak yüzeyine kontamine olmuş Al uzaklaşma oranları Tablo 3.18’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi yaprak yüzeylerinde yıkama sonucu Al uzaklaşma oranı %2,4-%75,3 aralığında olup, en düşük ve en yüksek uzaklaşma yüzdesi sırasıyla OSB-1 alt yol girişinden (22 numaralı lokasyon) alınan numunede ve Arazlar A.Ş. Taş Ocağından (33 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunesinde gözlemlenmiştir.

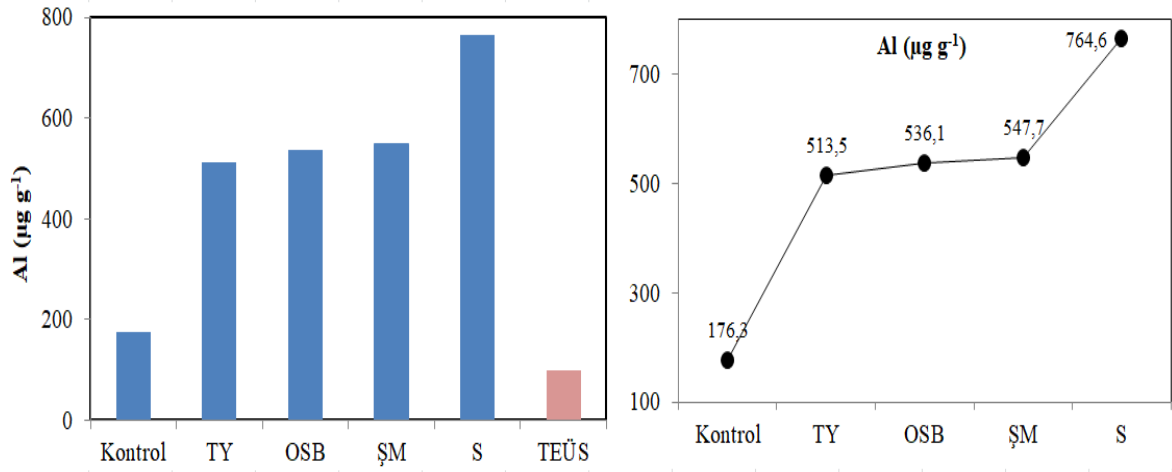
Yer kabuğunun yaklaşık %8’ini Al oluşturmaktadır (Flaten, 2001). Kirlenmemiş toprakta büyüyen bitkilerin Al içeriği toprak ve bitki yapısına bağlı olarak 10-100 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında değişim göstermektedir (Vural, 2013). Buna göre çalışmamızda elde edilen Al değerlerinin tamamı normal değerlerin dışında tespit edilmiştir (Şekil 3.9). Kontrol grubu örneklerde tespit edilen ortalama Al seviyesi şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinde tespit edilen ortalama Al seviyelerine göre daha düşük olmasına rağmen, Bahçecik Köyü’nden (3 numaralı lokasyon) alınan numunelerin dışında, yine bu örneklerin tamamında tespit edilen Al seviyesinin tolere edilebilir sınırdan daha yüksek olduğu görülmüştür. Oluşum mekanizması bakımından temelde mekanik parçalanmaya ve rüzgar erozyonuna dayanan kaçak tozun kimyasal içeriği bulunduğu ortamın özelliğine göre farklılık göstermektedir. Kaçak toz sınıfına giren kaba partikül fraksiyonu olduğu yerdeki yer kabuğunun karakterini gösterirler ve daha çok silikon, alüminyum, demir ve kalsiyum oksitleri ile zengin olduğu ifade edilmektedir (Beşir, 2015).

Vural (2013), *Robinia pseudoacacia* bitki sürgünlerindeki Al seviyesini 27,8-199,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama Al miktarını ise 68 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada elde edilen ortalama Al seviyesinin, bizim çalışmamızın aksine normal değerler aralığında olduğu görülmektedir. Ağır metal kirliliğinin takibi için sığır kuyruğu (*Verbascum*) ve ekinaps (*Ekinaps*) gibi bitki türlerinin yapraklarının biyomonitör olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada ise Al seviyesi sırasıyla 216,56-3863,94 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 697,18-2733,76 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında rapor edilmiş olup, bu çalışma sonucunda elde edilen Al değerleri de, çalışmamızda elde edilen sonuçlara benzer şekilde normal değerlerin dışında tespit edilmiştir (Aslanhan, 2012).

Tablo 3.17. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Al Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN *	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	142,7±7,1	8	259,1±13,0	15	577,6±28,9	22	468,5±23,4	29	474,2±23,7
2	143,1±7,2	9	538,0±26,9	16	486,0±24,3	23	218,5±10,9	30	165,1±8,3
3	74,2±3,7	10	664,1±33,2	17	1044,5±52,2	24	409,8±20,5	31	635,5±31,8
4	268,2±13,4	11	750,3±37,5	18	328,3±16,4	25	217,8±10,9	32	562,3±28,1
5	180,8±9,0	12	793,5±39,7	19	579±28,9	26	144,9±7,2	33	2213,8±110,7
6	323,5±16,2	13	334,9±16,7	20	322,8±16,1	27	975,5±48,8	34	1034,8±51,7
7	101,6±5,1	14	494,1±24,7	21	256,3±12,8	28	1317,5±65,9	35	266,8±13,3
Ort.	176,3±8,8	Ort.	547,7±27,4	Ort.	513,5±25,7	Ort.	536,1±26,8	Ort.	764,6±38,2

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.9. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Al seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Al kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.18. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Al Azalma Oranları (%)

	LN*	NY ($\mu\text{g g}^{-1}$)**	YY($\mu\text{g g}^{-1}$ ***	Azalma (%)
Kontrol	4	268,2 \pm 13,4	229,6 \pm 11,5	14,4
	6	323,5 \pm 16,2	186,6 \pm 9,3	42,3
Şehir Merkezi	10	664,1 \pm 33,2	625,7 \pm 31,3	5,8
	12	793,5 \pm 39,7	606,9 \pm 30,3	23,5
Transit Yol	15	577,6 \pm 28,9	396,6 \pm 19,8	31,3
	17	1044,5 \pm 52,2	264,3 \pm 13,2	74,7
Org. San. Böl.	22	468,5 \pm 23,4	457,5 \pm 22,9	2,4
	27	975,5 \pm 48,8	613,4 \pm 30,7	37,1
Sanayi	31	635,5 \pm 31,8	449,3 \pm 22,5	29,3
	33	2213,8 \pm 110,7	545,9 \pm 27,3	75,3

*Lokasyon numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.10. Kobalt (Co)

Belirtilen lokasyonlardan alınan sarıçam örneklerinde minimum ve maksimum Co içeriği şehir merkezinde; 0,05-0,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ (ortalama 0,13 $\mu\text{g g}^{-1}$), transit yolda; 0,05-0,17 $\mu\text{g g}^{-1}$ (ortalama 0,12 $\mu\text{g g}^{-1}$), organize sanayi bölgesinde; 0,04-0,22 $\mu\text{g g}^{-1}$ (ortalama 0,12 $\mu\text{g g}^{-1}$) ve sanayi bölgesinde; 0,03-0,44 $\mu\text{g g}^{-1}$ (ortalama 0,17 $\mu\text{g g}^{-1}$) aralıklarında tespit edilmiştir (Tablo 3.19). Kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında Co seviyesi 0,02-0,31 $\mu\text{g g}^{-1}$ (ortalama 0,10 $\mu\text{g g}^{-1}$) aralığında tayin edilmiştir. Farklı kirlenme ortamlarından toplanan sarıçam bitkisinin yapraklarında ortalama Co kirlilik düzeyleri Şekil 3.10'da görülmektedir. Şekil 3.10'dan da görüldüğü üzere ortalama Co kirlilik miktarı sırasıyla sanayi>şehir merkezi>organize sanayi bölgesi=transit yol>kontrol şeklinde değişim göstermektedir. Kontrol grubu örneklerde tespit edilen ortalama Co seviyesi, şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinde tespit edilen ortalama Co seviyelerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kontrol numuneleri dışında analizi yapılan numunelerin tamamı dikkate alındığında, en düşük Co miktarının Koza Altın A.Ş.'den (sanayi, 30 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde (0,03 $\mu\text{g g}^{-1}$), en yüksek Co miktarının ise Aşkale Çimento A.Ş.'den (sanayi, 34 numaralı lokasyon) alınan numunelerinde (0,44 $\mu\text{g g}^{-1}$) saptandığı görülmektedir.

Yıkama sonucunda yaprak yüzeyine kontamine olmuş Co uzaklaşma oranları %6,7-%62,8 aralığındadır (Tablo 3.20). En düşük uzaklaşma yüzdesi Karaer Mah. Valilik Bina arkasından (şehir merkezi, 10 numaralı lokasyon) alınan numunelerinde tespit edilmişken,

en yüksek uzaklaşma miktarı Arazlar A.Ş. Taş Ocağından (sanayi, 33 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde elde edilmiştir.

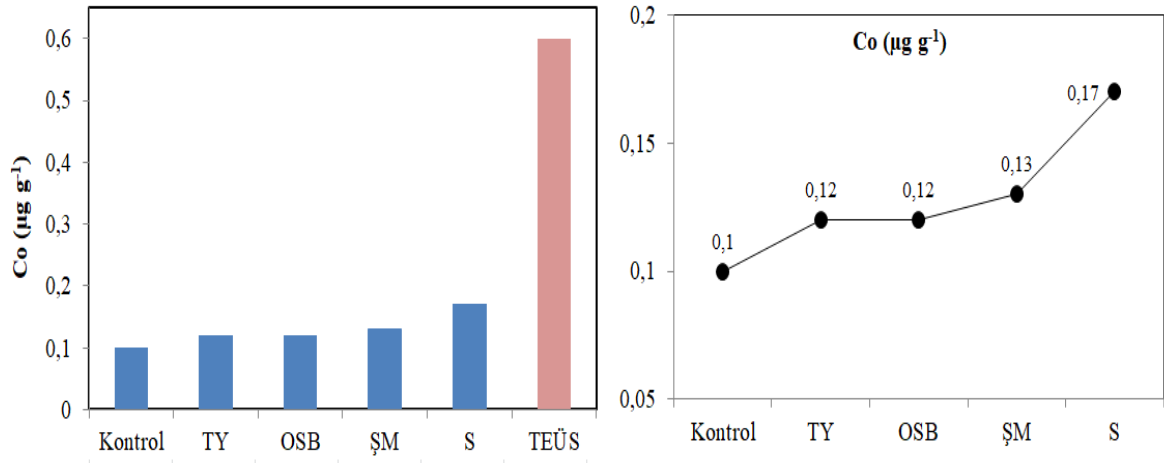
Li vd. (2007), Çin’de yetişen *Sophora japonica* L. bitkisinin yapraklarında yapılan analizlerde, Co miktarını yol kenarı ve park yerinde sırasıyla 0,34-0,43 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 0,17-0,19 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama Co miktarını ise yol kenarı ve park yerinde sırasıyla 0,38 ve 0,18 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiştir. Aslanhan (2012) biyomonitor olarak kullanılabilirliğini araştırdığı sedir, kavak, iğde, söğüt, sığır kuyruğu ve ekinaps bitkilerinin yapraklarında Co miktarını sırasıyla 0,05-0,52 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,49-2,60 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,05-0,29 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,37- 1,29 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,16-2,13 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 0,05-0,26 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında rapor etmiştir. Literatürde yer alan bu çalışmalardan elde edilen Co değerlerinin, çalışmamızda tespit edilen Co seviyeleriyle pek çok durumda paralellik gösterdiği görülmüştür.

Allen (1989) bitkisel organizmalarda Co değerlerinin 0,1-0,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında olması gerektiğini bildirmiştir. Buna göre çalışmamızda, analizi yapılan bitki yapraklarının hiç birinde tolere edilebilir üst sınırın aşılmadığı görülmektedir.

Tablo 3.19. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin Co Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	0,05±0,00	8	0,05±0,00	15	0,16±0,01	22	0,14±0,01	29	0,07±0,01
2	0,04±0,00	9	0,18±0,01	16	0,10±0,01	23	0,05±0,00	30	0,03±0,00
3	0,31±0,02	10	0,15±0,01	17	0,17±0,01	24	0,12±0,01	31	0,21±0,02
4	0,07±0,01	11	0,13±0,01	18	0,05±0,00	25	0,04±0,00	32	0,09±0,01
5	0,13±0,01	12	0,20±0,02	19	0,10±0,01	26	0,05±0,00	33	0,27±0,02
6	0,07±0,01	13	0,06±0,00	20	0,13±0,01	27	0,20±0,02	34	0,44±0,04
7	0,02±0,00	14	0,11±0,01	21	0,11±0,01	28	0,22±0,02	35	0,06±0,00
Ort.	0,10±0,01	Ort.	0,13±0,01	Ort.	0,12±0,01	Ort.	0,12±0,01	Ort.	0,17±0,01

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.10. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama Co seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama Co kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.20.Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde Co Azalma Oranları (%)

	LN*	NY ($\mu\text{g g}^{-1}$)**	YY ($\mu\text{g g}^{-1}$)***	Azalma (%)
Kontrol	4	0,07±0,01	0,06±0,00	14,3
	6	0,07±0,01	0,06±0,00	16,0
Şehir Merkezi	10	0,15±0,01	0,14±0,01	6,7
	12	0,20±0,02	0,12±0,01	37,5
Transit Yol	15	0,16±0,01	0,13±0,01	19,3
	17	0,17±0,01	0,07±0,01	60,0
Org. San. Böl.	22	0,14±0,01	0,11±0,01	24,2
	27	0,20±0,02	0,15±0,01	25,5
Sanayi	31	0,21±0,02	0,17±0,01	18,7
	33	0,27±0,02	0,10±0,01	62,8

*Lokasyon numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

3.11. Arsenik (As)

As miktarı şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında sırasıyla 0,20-0,76 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,11-1,40 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,09-2,45 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 0,14-0,47 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralıklarında tespit edilmiş olup, ortalama As miktarı ise sırasıyla 0,53, 0,59, 0,78 ve 0,28 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Tablo 3.21). Kontrol bölgelerinden alınan sarıçam bitkisinin yapraklarında As seviyesi 0,03-0,23 $\mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama As seviyesi ise 0,11 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak tayin edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ortalama As kirlilik miktarının sırasıyla organize sanayi bölgesi>transit yol>şehir merkezi>sanayi>kontrol şeklinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.11). Kontrol numuneleri dışında, en düşük As miktarı OSB-5 iç bölge çıkışından (organize sanayi

bölgesi, 26 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde ($0,09 \mu\text{g g}^{-1}$), en yüksek As miktarı ise OSB-1 alt yol girişinden (organize sanayi bölgesi, 22 numaralı lokasyon) alınan numunelerde ($2,45 \mu\text{g g}^{-1}$) tespit edilmiştir. Kontrol grubu örneklerde tespit edilen ortalama As seviyesi, şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinde tespit edilen ortalama As seviyelerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Yıkama sonucunda yaprak yüzeyine kontamine olmuş As uzaklaşma oranları %3,2-%67,4 aralığındadır (Tablo 3.22). En düşük uzaklaşma yüzdesi terminal transit yoldan (15 numaralı lokasyon) alınan numunelerinde tespit edilmişken, en yüksek uzaklaşma miktarı OSB-1 alt yol girişinden (22 numaralı lokasyon) alınan yaprak numunelerinde elde edilmiştir.

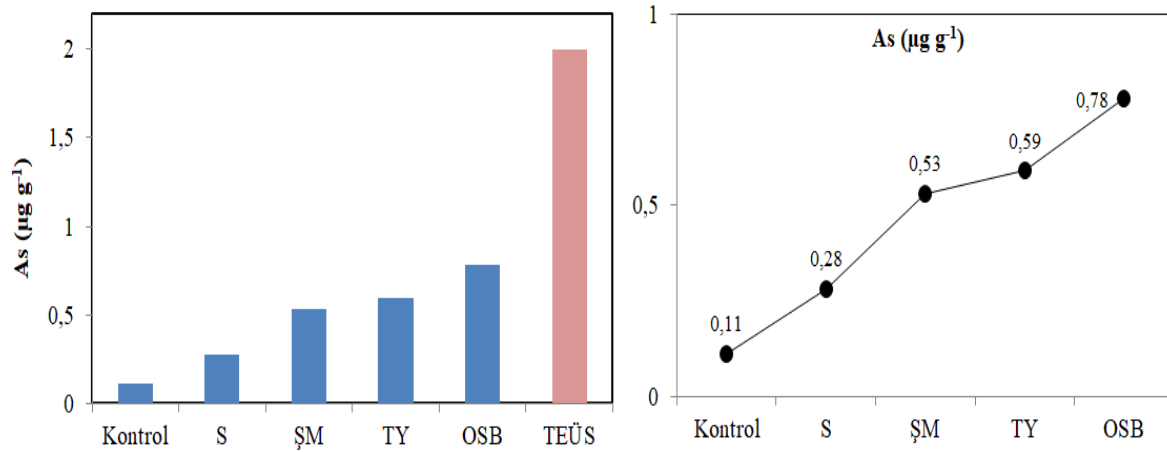
Vural (2013), Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ve *Robinia pseudoacacia* bitkisindeki ağır metallerin konsantrasyonlarını araştırdığı çalışmada, bitki sürgünlerindeki As seviyesini $1,99\text{-}2,08 \mu\text{g g}^{-1}$ aralığında ve ortalama As miktarını ise $2,04 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiş olup, bu araştırmadan elde edilen ortalama As miktarının, çalışmamızdan elde edilen ortalama As seviyelerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Madejon vd. (2004), İspanya maden yatağı yakınlarında yetişen kontamine olmuş 25 adet *Populus alba* bitkisi yaprakları ile kontamine olmamış 10 adet ağacın yapraklarının biyomonitor olarak kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, ortalama As miktarını kontamine olmuş ve kontamine olmamış bitki yapraklarında sırasıyla $2,70$ ve $0,99 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak tespit etmiştir. Hem kontamine olmuş hem de kontamine olmamış bitki yapraklarından elde edilen As değerlerinin çalışmamızdan elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Genel olarak, bitkilerde As için tolerans limit $2,0 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak kabul edilmektedir (Gough vd., 1979). Çalışmamızda elde edilen ortalama As seviyeleri dikkate alındığında; şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgesinden alınan yaprak numunelerinin ortalama As seviyesi bitkilerde tolere edilebilir üst sınırı aşmamasına rağmen (Şekil 3.11), OSB-1 alt yol girişinden (22 numaralı lokasyon) alınan bitki yapraklarında As seviyelerinin bitkilerde tolere edilebilir üst sınırı aştığı görülmektedir.

Tablo 3.21. Çeşitli Lokalitelerden Alınan Bitki Örneklerinin As Seviyeleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)

LN*	Kontrol	LN	Şehir Merkezi	LN	Transit Yol	LN	Org. San. Böl.	LN	Sanayi
1	0,23±0,02	8	0,20±0,02	15	0,53±0,04	22	2,45±0,20	29	0,21±0,02
2	0,05±0,00	9	0,56±0,04	16	0,35±0,03	23	0,16±0,01	30	0,14±0,01
3	0,03±0,00	10	0,52±0,04	17	1,07±0,09	24	0,19±0,02	31	0,38±0,03
4	0,19±0,02	11	0,32±0,03	18	0,11±0,01	25	0,12±0,01	32	0,14±0,01
5	0,07±0,01	12	0,57±0,05	19	1,40±0,11	26	0,09±0,01	33	0,24±0,02
6	0,15±0,01	13	0,75±0,06	20	0,22±0,02	27	1,07±0,09	34	0,47±0,04
7	0,03±0,00	14	0,76±0,06	21	0,43±0,03	28	1,41±0,11	35	0,37±0,03
Ort.	0,11±0,01	Ort.	0,53±0,04	Ort.	0,59±0,05	Ort.	0,78±0,06	Ort.	0,28±0,02

*Lokasyon Numaralaması



Şekil 3.11. (a) Çeşitli lokalitelerden alınan bitki yapraklarındaki ortalama As seviyelerinin tolere edilebilir üst sınır ile karşılaştırılması (b) Çeşitli lokalitelerden toplanan bitki yapraklarında ortalama As kirlilik düzeyleri (ŞM: Şehir Merkezi, OSB: Organize Sanayi Bölgesi, TY: Transit Yol, S: Sanayi, TEÜS: Tolere edilebilir üst sınır)

Tablo 3.22. Yıkama Sonucu Yaprak Numunelerinde As Azalma Oranları (%)

	LN*	NY ($\mu\text{g g}^{-1}$)**	YY ($\mu\text{g g}^{-1}$ ***)	Azalma (%)
Kontrol	4	0,19±0,02	0,11±0,01	42,1
	6	0,15±0,01	0,11±0,01	25,4
Şehir Merkezi	10	0,52±0,04	0,45±0,04	13,5
	12	0,57±0,05	0,45±0,04	21,3
Transit Yol	15	0,53±0,04	0,51±0,04	3,2
	17	1,07±0,09	1,00±0,08	6,5
Org. San. Böl.	22	2,45±0,20	0,80±0,06	67,4
	27	1,07±0,09	0,83±0,07	22,9
Sanayi	31	0,38±0,03	0,28±0,02	26,8
	33	0,24±0,02	0,21±0,02	12,5

*Lokasyon Numarası **Yıkanmamış Yaprak ***Yıkanmış Yaprak

Hg; şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden alınan sarıçam bitkisi yapraklarının hiç birinde tespit edilememiştir. Benzer şekilde Vural (2013), Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu boyunca toprak ve *Robinia pseudoacacia* bitkisindeki ağır metallerin konsantrasyonlarını araştırdığı çalışmada, bitki sürgünlerinde Hg seviyesinin tayin sınırının altında olduğunu rapor etmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Gümüşhane ilinde farklı derecelerde ağır metal kirliliğine maruz kalmış şehir merkezi, transit yol, organize sanayi bölgesi ve sanayi bölgelerinden toplanan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) bitkisinin yapraklarının ağır metal kirliliğinde biyomonitör olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve özellikle büyük ölçüde antropojenik etmenlerle ortaya çıkan Pb, Cd, Ni, Al, As, Cu, Fe, Cr, Hg, Zn, Co ve Mn gibi ağır metallerinin kirlilik düzeyleri ve kaynakları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca ağır metal kirliliğinin en az olabileceği lokasyonlardan kontrol grubu örnekleri alınarak, kirletilmiş bölgelerden alınan numuneler ile ağır metal içerikleri açısından kıyaslamalar yapılmıştır.

Çalışmamızda en yüksek ortalama Pb, Cr, Al, Mn ve Co seviyeleri sırasıyla 7,44 $\mu\text{g g}^{-1}$, 1,09 $\mu\text{g g}^{-1}$, 764,6 $\mu\text{g g}^{-1}$, 144,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 0,17 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak sanayi bölgesinden alınan numunelerde, en yüksek ortalama Cd, Cu, Ni ve Zn miktarları sırasıyla 0,25 $\mu\text{g g}^{-1}$, 4,69 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,93 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 53,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak transit yol üzerinden alınan numunelerde, en yüksek ortalama Fe miktarı 379,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak şehir merkezinden alınan numunelerde ve en yüksek ortalama As miktarı ise 0,78 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak organize sanayi bölgesinden alınan numunelerde gözlemlenmiştir.

Analiz sonuçları bütünüyle değerlendirildiğinde; en yüksek Pb (45,96 $\mu\text{g g}^{-1}$) ve Cu (10,76 $\mu\text{g g}^{-1}$) miktarları 35 numaralı lokasyon olan Gümüştaş Maden Zenginleştirme tesislerinden alınan numunelerde, en yüksek Cd miktarı (0,81 $\mu\text{g g}^{-1}$), 14 numaralı lokasyon olan Gümüşhane Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü arkasından alınan numunelerde, en yüksek Ni (1,94 $\mu\text{g g}^{-1}$), Mn (339,8 $\mu\text{g g}^{-1}$), Zn (52,6 $\mu\text{g g}^{-1}$) ve As (2,45 $\mu\text{g g}^{-1}$) miktarları 22 numaralı lokasyon olan OSB-1 alt yol girişinden alınan numunelerde, en yüksek Cr (2,86 $\mu\text{g g}^{-1}$) ve Al (2213,8 $\mu\text{g g}^{-1}$) miktarları 33 numaralı lokasyon olan Arazlar A.Ş. Taş Ocağından alınan numunelerde ve en yüksek Fe (746,6 $\mu\text{g g}^{-1}$) miktarı ise 28 numaralı lokasyon olan terminal arkası sanayiden alınan numunelerde gözlemlenmiştir.

Çalışmamızda her bir ağır metal için elde edilen veriler, bitkilerde tolere edilebilir üst sınır (TEÜS) ile karşılaştırılmış ve analizi yapılan numunelerin tamamında Pb, Cd, Cu, Ni, Cr ve Co seviyelerinin TEÜS'ten daha düşük olduğu görülmüştür. Al seviyesi, kontrol numunesi olarak Bahçecik Köyü'nden (3 numaralı lokasyon) alınan numunenin dışında tüm örneklerde TEÜS'ten daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Mn seviyesinin; Olukdere Köyü'nden (5 numaralı lokasyon) alınan örneklerde, Fe seviyesinin; Karaer Mah.

Valilik Bina arkasından (10 numaralı lokasyon), Karaer Mah. Emniyet Müdürlüğü bayırından (12 numaralı lokasyon), Gümüşhane Üniversitesi M.Y.O.'dan (17 numaralı lokasyon), Bağlarbaşı sanayi içinden (27 numaralı lokasyon), terminal arkası sanayi bölgesinden (28 numaralı lokasyon) ve Aşkale Çimento A.Ş.'den (34 numaralı lokasyon) alınan bitki yapraklarında, Zn seviyesinin; Gümüşhane Üniversitesi M.Y.O.'dan (17 numaralı lokasyon), OSB-1 alt yol girişi (22 numaralı lokasyon), Gümüştaş Maden Zenginleştirme Tesisinden (35 numaralı lokasyon) alınan bitki yapraklarında ve As seviyesinin ise sadece OSB-1 alt yol girişinden (22 numaralı lokasyon) alınan bitki yapraklarında TEÜS'ten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kirliliğin az olabileceği kontrol bölgelerinden alınan numunelerin analizinde tespit edilen ortalama Pb, Cu, Ni, Al, Mn, Fe, Co ve As seviyelerinin, kirlenmiş bölgelerden alınan numunelerin analizinden elde edilen değerlerden daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu sonuç söz konusu ağır metal kirliliğinin özellikle madencilik ve endüstriyel faaliyetler ile trafik gibi antropojenik faktörlerden kaynaklandığını göstermektedir. Ortalama Cd seviyesi şehir merkezinden alınan numunelerde, ortalama Cr seviyesi şehir merkezi, transit yol ve organize sanayi bölgesinden alınan numunelerde ve ortalama Zn seviyesi ise şehir merkezinden alınan numunelerde, kontrol numunelerinin ortalama değerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Yapraklardaki ağır metal kontaminasyonlarının toprak yolu veya hava yolu ile bulaşma oranlarını belirlemek için sarıçam yapraklarının bir kısmının yıkanmasıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmış ve her bir ağır metal için yıkama sonrası yapraktan uzaklaşma yüzdesi hesaplanmıştır. Yıkanmış yaprak numunelerinden elde edilen sonuçların, yıkanmamış yaprak örneklerine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuç ta bitki yapraklarına ağır metal kirliliğinin büyük oranda hava yolu ile bulaştığını göstermektedir.

Yaprak numunelerine hava yolu ile bulaşan ve numune alım esnasında gözle görünür toz miktarı ile numunelerde okunan ağır metal seviyeleri arasında bir paralellik gözlenmiştir. Özellikle 33 numaralı lokasyondan (Arazlar A.Ş. Taş Ocağı) alınan numunelerdeki yüksek Al seviyelerinin; yaprak numunelerindeki toz oranının fazlalığı, taş ocağından kaynaklanan faaliyetler ve dekapaj ile açığa çıkarılan taş tozunun hava yoluyla yayılarak yaprağa adsorbe olması nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. Elde edilen Al değerlerinin tolere edilebilir sınır değerden fazla olması da kayaç yapı muhteviyatında bulunan Al elementinden kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir. Benzer şekilde, 34

numaralı lokasyondan (Aşkale Çimento A.Ş.) alınan yaprak numunelerinin 33 numaralı lokasyondan (Arazlar A.Ş. Taş Ocağı) alınan numunelere göre görsel olarak daha az toz barındırdığı ve tespit edilen Al değerlerinin bu paralellikte daha düşük olduğu görülmüştür.

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçların bir kısmı, benzer çalışmalarda elde edilmiş sonuçlarla paralellik gösterirken, bazı sonuçlar gerek biyomonitör olarak seçilen bitkinin farklı olması, gerekse çalışma alanının farklı özellikleri nedeniyle uyum gözlenmemiştir.

Sanayi bölgelerinin çevrelerine, madencilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelere, park, bahçe ve caddelere dikilecek olan bu bitkiler, atmosferdeki ağır metal kirliliğini ciddi oranda önlemekle birlikte, bu bitkilerin yaprak ve diğer bitki kısımlarının dökülmesi ve rüzgarla savrulması biriktirilen ağır metallerin tekrar ekosisteme dahil olmasına neden olmaktadır. Bu bitki kalıntıları süpürülerek organizmaların yaşamlarını etkilemeyecek şekilde ortamdan uzaklaştırılmasına yönelik önlemler alınmalıdır. İnsanların bitki, hayvan ve atmosfer gibi çevrelerden tüketici olması sebebiyle ağır metal kirliliğine maruz kalma durumu dikkate alınarak daha kaynakta gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir.

Gümüşhane ilinde madencilik faaliyetlerinin yoğun bir şekilde sürdürülmesi, iklimsel bazda yağışlı gün sayısının ve nem oranının az olması, kısmi yeşil alanların ve çorak nitelikli arazilerin varlığı, araziden kaynaklı doğal toz oluşumunun yanında genel olarak bu arazilerde kurulmuş sanayi tesislerinin faaliyetleri nedeniyle toz oluşumunun önlenmesine yönelik tedbirlerin teşebbüslere göre farklılıklar göstermesi, şehrin dağlık olması nedeniyle hava sirkülasyonunun yeterli olmaması, asfalt yolların yetersizliği sebebiyle araçlardan kaynaklı toz emisyonu ile egzoz, ev ve işyeri bacalarından çıkan dumanın kolayca dağılmaması gibi nedenlerle belirli lokasyonlarda çeşitli kirlilikler daha fazla yoğunlaşmaktadır. Alınan tedbirlere rağmen Gümüşhane ilinde ağır metal kirliliği insan ve çevre sağlığı için hayati bir tehlike oluşturmaya da birçok bölgede risk sınırında olduğunu söyleyebiliriz. Motorlu taşıt kökenli ağır metal kontaminasyonuna önlem alabilmek için taşıtların bakımı düzenli bir şekilde yapılmalı ve toplu taşıma için teşvik programları geliştirilmelidir. Kent planlarında trafik sıkışmasının önlenmesi ve yeni trafiğe kapalı alanların kurulması gibi insan ve çevre sağlığını koruyacak planların yapılması gerekmektedir. Eski araçların trafikte kullanılmaması gerekmektedir. Yine ağır metal kirliliğini azaltmak için ağır metal içeren kimyasal maddelerin kullanımının yasaklanması veya sınırlandırılması, kanalizasyon sistemlerinin geliştirilmesi ve tarımsal kimyasalların kullanılmaması gibi önlemler de alınabilir. Kurşun bazlı boyalı giysiler, eskimiş boyalı malzemeler, saç boyaları ve çocukların kullandığı oyuncakların üretimi kontrol altına

alınmalıdır. Yurt dışından ithal edilen ve üretim koşulları iyi denetlenmeyen ürünlerin kullanımında da hassas davranılmalıdır. Madencilik ve sanayi tesislerinden kaynaklanan faaliyetler takip edilerek mevzuat limitleri dikkate alınarak çevresel tedbirler alınmalı veya var olan sistemler iyileştirilmelidir.

Benzer türden çalışmaların belirli periyotlarla tekrarlanarak kirlilik tür ve boyutlarının takip edilmesi ve bunun yanında başka referans çalışmaların yapılması da büyük önem arz etmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Ahmed, M.J. and Uddin, M.N., 2007. A simple spectrophotometric method for the determination of cobalt in industrial, environmental, biological and soil samples using bis(salicylaldehyde) orthophenylenediamine, Chemosphere, 67, 2020–2027.
- Ahmed, M.F., Alam, L., Ta, G.C., Mohamed, C.A.R. and Mokhtar, M., 2016. A review on the environmental pollution of Langat river, Malaysia, Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 13(4), 25-31.
- Akgüç, N., 2007, Muğla İli'nde Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti için *Pyracantha Coccinea* Roem. (Rosaceae)'nın Biyomonitor Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aksoy, A. and Ozturk, M., 1996. *Phoenix dactylifera* L. as a biomonitor of heavy metal pollution in Turkey, Journal of Trace and Microprobe Techniques, 14, 605-614.
- Aksoy, A. and Ozturk, M.A., 1997. *Nerium oleander* L. as a biomonitor of lead and other heavy metal pollution in Mediterranean environments, Science of the Total Environment, 205, 145-150.
- Aksoy, A., Sahin, U. and Duman, F., 2000. *Robinia pseudoacacia* L. as a Possible Biomonitor of Heavy Metal Pollution in Kayseri, Turkish Journal of Botany, 24, 279-284.
- Aksoy, A., Osma, E. and Leblebici, Z., 2012. Spreading pellitory (*Parietaria judaica* L.): A possible biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan Journal of Botany, 44, 123-127.
- Al-Alawi, M.M., Batarseh, M.I., Carreras, H., Alawi, M., Jiries, A. and Charlesworth, S.M., 2007. Aleppo Pine Bark as a Biomonitor of Atmospheric Pollution in the Arid Environment of Jordan, Clean-Soil, Air, Water, 35, 438-443.
- Al-Khlaifat, L.A. and Al-Khashman, O.A., 2007. Atmospheric Heavy Metal Pollution in Aqaba City, Jordan, Using *Phoenix dactylifera* L. Leaves, Atmospheric Environment, 41, 8891-8897.
- Allen, S.E., 1989, Chemical Analyses of Ecological Material, Blackwell Scientific Publications, London, 81-159.
- Aslanhan, E., 2012, Çevresel Kirliliklerin Takibinde Kullanılacak Yeni Biyomonitör Bitkiler, Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir.

- Attademo, L., Bernardini, F., Garinella, R. and Compton, M.T., 2017. Environmental pollution and risk of psychotic disorders: A review of the science to date, Schizophrenia Research, 181, 55-59.
- Baldantoni, D. and Alfani, A., 2016. Usefulness of different vascular plant species for passive biomonitoring of Mediterranean rivers, Environmental Science and Pollution Research, 23(14), 13907-13917.
- Baycu, G., Tolunay, D., Özden, H. and Günebakan, S., 2006. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul, Environmental Pollution, 143, 545–554.
- Baycu, G. ve Önal, M., 1993. An Investigation of The Levels of Cadmium and Lead in The Soils and in The Leaves of Selected Specimens of *Ailanthus altissima* Found Growing Beside A Freeway in İstanbul, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Dergisi, 56, 21-34.
- Beşir, A.Ç., 2015, Yerüstü Madencilğinde Kullanılan Partikül Madde Emisyon Faktörlerinin Türkiye ve Uluslararası Uygulamalarla Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Boğa, A., 2007. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi, Adana.
- Bozdoğan, E., 2016. Heavy Metal Concentration in Leaves of *Melia Azedarach* as a Biomonitor of Traffic-Related Air Pollution, Oxidation Communications, 39, 756-764.
- Burrows, D., 1983, Chromium: Metabolism & Toxicity, Chapman and Hall/CRC, 184p.
- Cansaran, A., Yildirim, C. and Karavin, N., 2016. Availability of *Maclura pomifera* (Rafin.) Schneider as a biomonitor for the heavy metal pollution, Bangladesh Journal of Botany, 45(3), 723-726.
- Caridi, F., D'Agostino, M., Messina, M., Marcianò, G., Grioli, L., Belvedere, A., Marguccio, S. and Belmusto, G., 2017. Lichens as environmental risk detectors, European Physical Journal Plus, 132-189.
- Chakrabarty, N., 2015, Arsenic Toxicity: Prevention and Treatment, CRC Press, WTA Boca Raton, Florida, 524p.
- Costa, L. and Aschner, M., 2014, Manganese in Health and Disease (Issues in Toxicology), Royal Society of Chemistry, United Kingdom, 653p.
- Çavuşoğlu, K., 2002. İğde (*Elaeagnus angustifolia* L.) Yapraklarında Kurşun (Pb) Yoğunluğunun Araştırılması, BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6-3, 191-196.

- Çelik, A., Kartal, A.A., Akdoğan, A. and Kaksa, Y. 2005. Determining the Heavy Metal Pollution in Denizli (Turkey) by Using *Robinio pseudoacacia L.*, Environment International, 31 (1), 105-112.
- Duru, N., Türkmen, Z., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. ve Yapar, K., 2011. *Verbascum Sinuatum L. (Scrophulariaceae)* (Sığırkuyruğu) Türü Kullanılarak Karadeniz Sahil Şeridinde Taşıtların Sebep Olduğu Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 15 (2), 89-96.
- Eid, E.M. and Shaltout, K.H., 2016. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by nine native plant species grown at a sewage sludge dump site, International Journal of Phytoremediation, 18:11, 1075-1085.
- Ekincioglu, Ü., 2008, Tuzla Gölü (Palas-Kayseri)'nde *Salicornia Freitagii* Yaprak ve Yurdakulol Kullanılarak Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Elif, A. ve Akçay, M., 2000. Sivas Kenti'nde Ağır Metal Kirliliğinin Yerel ve Zamansal Değişimi, Tr Journal Engineering Environment Science, 24, 15-24.
- Ergün, N., Yolcu, H., Karanlık, S. ve Dikkaya, E., 2010. Amanoslar'da (Hatay) Yetişen Bazı Bitki Türlerinde Ağır Metal Birikimi ve Mineral İçerik Üzerine Bir Çalışma, Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, 3 (2), 121-127.
- Espada-Bellido, E., Bi, Z. and Berg, C., 2013. Determination of chromium in estuarine waters by catalytic cathodic stripping voltammetry using a vibrating silver amalgam microwire electrode, Talanta, 105, 287-291.
- Ewa, C., 2013, Genetic diversity of Scots pine *Pinus sylvestris L.*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poland, 132p.
- Fashola, M.O., Ngole-Jeme, V.M. and Babalola, O.O., 2016. Heavy metal pollution from gold mines: Environmental effects and bacterial strategies for resistance, International Journal of Environmental Research and Public Health, 13(11), 1047.
- Flaten, T.P., 2001. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water, Brain Research Bulletin, 55(2), 187-196.
- Gęca, I. and Korolczuk, M., 2017. Anodic stripping voltammetry following double deposition and stripping steps: Application of a new approach in the course of lead ion determination, Talanta, 171, 321-326.
- Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Reich, A. and Groneberg, D.A., 2006. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health, Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 1(1), 22.
- Gough L.P., Shacklette, H.T. and Case, A.A., 1979. Element concentrations toxic to plant, animals and man, United States Geological Survey Bulletin, 1466, 1-80.

- Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G. ve Timur, S., 2004. Metallerin Çevresel Etkileri 3, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Metalurji Dergisi, 15s.
- Hassler, E., 1983, Exposure to cadmium and nickel in an alkaline battery factory: As evaluated from measurements in air and biological material, Dept. of Environmental Hygiene, Karolinska Institute, Solnavägen, Sweden, 227p.
- Imbrea, I., Radulov, I., Pop, G., Neacsu, A. and Horablaga, A., 2016. Determination of some micronutrients and heavy metals content in medicinal plants from spontaneous flora of south-western Romania, Revista de Chimie, 67(7), 1389-1393.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B. and Beeregowda, K.N., 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals, Interdisciplinary Toxicology, 7(2), 60-72.
- Jan, A.T., Azam, M., Siddiqui, K., Choi, I. and Haq, Q.M.R., 2015. Heavy metals and human health: Mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants, International Journal of Molecular Sciences, 16(12), 29592-29630.
- Kabata-Pendias A. and Pendias, H., 1994, Trace Element in Soil and Plants, CRC Press, Florida.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., 2003. Metallerin Çevresel Etkileri 1, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Metalurji Dergisi, 12s.
- Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö. ve Timur, S., 2004. Metallerin Çevresel Etkileri 2, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Metalurji Dergisi, 12s.
- Kleckerova, A. ve Docekalova, H., 2014. Dandelion Plants as a Biomonitor of Urban Area Contamination by Heavy Metals, International Journal of Environmental Research, 8, 157-164.
- Lehmann, C., Sieg, H., Lampen, A. and Braeuning, A., 2016. Disturbance of firefly luciferase-based bioassays by different aluminum species, Analytical Biochemistry, 504, 27-29.
- Li, F., Kang, L., Gao, X., Hua, W., Yang, F. and Hei, W., 2007. Traffic-Related Heavy Metal Accumulation in Soils and Plants in Northwest China, Soil and Sediment Contamination, 16, 473-484.
- Madejon, P., Maranon, T., Murillo, J.M. and Robinson, B., 2004. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests, Environmental Pollution, 132, 145-155.
- Mahour, K. and Mahour, A., 2012, Heavy metals toxicity: Metals toxicity, Lap Lambert Academic Publishing, Germany, 220p.

- Makishima, A., Yamakawa, A., Yamashita, K. and Nakamura, E., 2010. Precise determination of Cr, Mn, Fe, Co and Ni concentration by an isotope dilution–internal standardization method employing high resolution MC–ICP–MS, Chemical Geology, 274, 82-86.
- Malik, R.N. and Zeb, N., 2009. Assessment of environmental contamination using feathers of *Bubulcus ibis* L., as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan, Ecotoxicology, 18, 522-536.
- Mansour, R.S., 2014. The pollution of tree leaves with heavy metal in Syria, International Journal of ChemTech Research, 6(4), 2283-2290.
- Markert, B., 1993, Plants as Biomonitors: Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment, Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, 645p.
- Massaro, E.J., 2002, Handbook of Copper Pharmacology and Toxicology, Humana Press, New York, 608p.
- Mertz, W., 2012, Trace Elements in Human and Animal Nutrition, 5th Edition, Academic Press, Cambridge, Massachusetts, 499p.
- Okunola, O.J., Uzairu, A. ve Ndukwe, G., 2007. Levels of Trace Metals in Soil And Vegetation Along Major and Minor Roads in Metropolitan City of Kaduna, Nigeria, African Journal of Biotechnology, 6 (14), 1703- 1709.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H., 1995. Toprak Bilimi, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Adana, 73s.
- Öztürk, A., 2008, *Celtis Australis* L. (Ulmaceae)’in Ağır Metal Kirliliği İçin, Biyomonitör Olarak Kullanılması, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Papanikolau, N.C., Hatzidaki, E.G., Belivanis, S., Tzanakakis, G.N. and Tsatsakis, A.M., 2005. Lead toxicity update. A brief review, Medical Science Monitor, 11, 329–336.
- Pathania, D., 2016, Heavy Metals: Sources, Toxicity and Remediation Techniques, Nova Science Pub Inc., Hauppauge, New York, 310p.
- Pellegrini, E., Lorenzini, G., Loppi, S. and Nali, C., 2014. Evaluation of the suitability of *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor of airborne elements in an urban area of Italy, Mediterranean basin, Atmospheric Pollution Research, 5(2), 226-235.
- Peng, B., Chen, G., Li, K., Zhang, J. and Zhao, S., 2017. Dispersive liquid-liquid microextraction coupled with digital image colorimetric analysis for detection of total iron in water and food samples, Food Chemistry, 230, 667-672.
- Rashed, M.N., 2015. Biomonitoring and bioindicators for environmental pollution with heavy metals, Advances in Environmental Research, 43, 25-56.

- Ribas, T.C.F., Tóth, I.V. and Rangel, A.O.S.S., 2017. A solid phase extraction flow injection spectrophotometric method for the zinc determination in plants, Microchemical Journal, 130, 366-370.
- Ross, S.M., 1994, Sources and Forms of Potentially Toxic Metals in Soil-Plant Systems, John Wiley, 3-25.
- Sakan, S.M., Dević, G.J., Relić, D.J., Anđelković, I.B., Sakan, N.M. and Dorđević, D.S., 2015. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution in Freshwater Sediment, Serbia, Clean-Soil, Air, Water, 43(6), 838-845.
- Sarı, T., 2009, Edirne ve Çevresinde Otoban Kenarındaki Topraklarda Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Scherz, H. and Kirchhoff, S., 2006. Trace elements in foods: zinc contents of raw foods – a comparison of data originating from different geographical regions of the World, J. Food Comp. Anal. Crit. Rev., 19, 420–433.
- Severoglu, Z., Ozyigit, I.I., Dogan, I., Kurmanbekova, G., Demir, G., Yalcin, I.E. and Kari, G.K., 2015. The usability of *Juniperus virginiana* L. as a biomonitor of heavy metal pollution in Bishkek City, Kyrgyzstan, Biotechnology & Biotechnological Equipment, 29, 1104-1112.
- Sharma, P., Kumar, S., Garg, A. and Ghosh, C., 2015. Analyzing the effect of atmospheric trace elements on selected plant species, Environmental Earth Sciences, 74(12), 7793-7800.
- Shukla, V., Upreti, D.K. and Bajpai, R., 2014, Lichens to Biomonitor the Environment, Springer, Germany, 185p.
- Singhal, R.L. and Thomas, J.A., 1979, Lead Toxicity, Urban & Schwarzenberg, Germany, 524p.
- Steve, J.H., 2007, Inductively Coupled Plasma Spectrometry and its Applications, Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, 448p.
- Stoeppler, M. and Piscator M., 1988, Cadmium (Environmental Toxin Series, Vol 2), Springer-Verlag, United Kingdom, 235p.
- Suvarapu, L.N. and Baek, S.-O., 2016. Determination of heavy metals in the ambient atmosphere: A review, Toxicology and Industrial Health, 33(1), 79-96.
- Tobiasz, A. and Walas, S., 2014. Solid-phase-extraction procedures for atomic spectrometry determination of copper, TrAC - Trends in Analytical Chemistry, 62, 106-122.
- Tomasevic, M., Rajsic, S., Dordevic, D., Tasic, K.M.J. and Novakovic, V., 2004. Heavy Metals Accumulation in Tree Leaves from Urban Areas, Environmental Chemistry Letters, 2, 152-154.

- Tzvetkova, N. and Petkova, K., 2015. Bioaccumulation of heavy metals by the leaves of *Robinia pseudoacacia* as a bioindicator tree in industrial zones, Journal of Environmental Biology, 36(1), 59-63.
- Ugulu, I., 2015. Determination of heavy metal accumulation in plant samples by spectrometric techniques in Turkey, Applied Spectroscopy Reviews, 50(2), 113-151.
- URL-1, <http://www.nkfu.com/>. 06 Kasım 2012.
- URL-2, <http://www.gumushane.gov.tr/>. 1 Mayıs 2017.
- URL-3, <http://www.csb.gov.tr/iller/gumushane/index.php>. 1 Mayıs 2017.
- URL-4, [http://suyonetimi.ormansu.gov.tr/Libraries/su/Atomik Spektroskopi Agilent.sflb.ashx](http://suyonetimi.ormansu.gov.tr/Libraries/su/Atomik_Spektroskopi_Agilent.sflb.ashx). 11 Kasım 2015.
- URL-5, <http://www.cografya.gen.tr/tr/gumushane/iklim.html>. 18 Eylül 2017.
- URL-6, http://icanadolu.ogm.gov.tr/Yayinlar/El%20Kitapları/Elkitabı_7%20Sarıçam.pdf. 1993.
- Vaikosen, E.N. and Alade, G.O., 2017. Determination of heavy metals in medicinal plants from the wild and cultivated garden in Wilberforce Island, Niger Delta region, Nigeria, Journal of Pharmacy and Pharmacognosy Research, 5(2), 129-143.
- Vural, A., 2013. Assessment of Heavy Metal Accumulation in the Roadside Soil and Plants of *Robinia pseudoacacia*, in Gumushane, Northeastern Turkey, Ekoloji, 22, 89, 1-10.
- Wen, X., Wu, P., Chen, L. and Hou, X., 2009. Determination of cadmium in rice and water by tungsten coil electrothermal vaporization–atomic fluorescence spectrometry and tungsten coil electrothermal atomic absorption spectrometry after cloud point extraction, Analytica Chimica Acta, 650, 33–38.
- Yaşar, Ü., 2009, *Cercis Siliquastrum L. Subsp. Siliquastrum (Fabaceae)*’ un Ağır Metal Kirliliğinde Biyomonitör Olarak Kullanımı, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yilmaz, R., Sakcali, S., Yarci, C., Aksoy, A. and Ozturk, M., 2006. Use of *Aesculus hippocastanum* L. as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan Journal of Botany, 38, 1519-1527.
- Yokel, A.R. and Golub, M.S. 1997, Research Issues In Aluminium Toxicity, CRC Press, WTA Boca Raton, Florida, 256p.
- Yücel, E., Doğan, F. ve Öztürk, M., 1995. Porsuk Çayında Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri ve Halk Sağlığı İlişkisi, Ege Üniversitesi Çevre Merkezi, Ekoloji Çevre Dergisi, 17, 29-32.

- Zhao, B., Zhang, J., Ma, T., Qiu, H. and Ma, S., 2017. Determination of heavy metal elements in different vegetable edible oils in China, Asian Journal of Chemistry, 29(5), 937-939.
- Zhou, Q., Xing, A. and Zhao, K., 2014. Simultaneous determination of nickel, cobalt and mercury ions in water samples by solid phase extraction using multiwalled carbon nanotubes as adsorbent after chelating with sodium diethyldithiocarbamate prior to high performance liquid chromatography, Journal of Chromatography A, 1360, 76-81.

ÖZGEÇMİŞ

Murat AYDIN, 14.02.1983 yılında Trabzon İli, Ortahisar ilçesinde doğdu. Lise eğitimini 1997-2000 yılları arasında Trabzon Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2002-2006 yılları arası Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2006-2007 döneminde askerlik hizmetini tamamladıktan sonra, 2007-2015 yılları arasında madencilik, geri dönüşüm ve otomotiv sektörlerinde yerli ve uluslararası firmalarda çalıştı. Ardından 2015 yılında, Gümüşhane Belediye Başkanlığı'na Kamu personeli olarak atandı. Kurum görevlendirmesi ile Gümüşhane Yerel Yönetimler Birliği'nde, Birlik Müdürü görevini halen icra etmektedir. 2015 yılı itibariyle başladığı Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ormancılık ve Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'ndaki Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir. Yabancı dili İngilizce olan Murat AYDIN, evli ve 2 çocuk babasıdır.