

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RİZE İLİNDEN TOPLANAN BAZI KARAYOSUNLARININ AĞIR
METAL TUTMA KAPASİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ

MERVE BAŞ

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ NİLAY AKÇAY
TEZ JÜRİLERİ
PROF. DR. MEHMET ŞAHİN
DOÇ. DR. NEVZAT BATAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

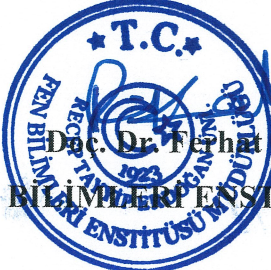
T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RİZE İLİNDEN TOPLANAN BAZI KARAYOSUNLARININ AĞIR METAL
TUTMA KAPASİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY danışmanlığında, Merve BAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/05/2019 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY
Üye	: Doç. Dr. Nevzat BATAN

İmzası
M. Şahin
N. Akçay
N. Batan


Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Rize İlinden Toplanan Bazı Karayosunlarının Ağır Metal Tutma Kapasitesinin Ölçülmesi için yapılan bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca karşılaştığım zorlukların aşılmasında bana rehber olan, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ayrıca değerli bilgilerinden yararlandığım saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY’a en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek Lisans çalışmamda karayosunlarının toplanmasında, tür tayinlerinin yapılmasında yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan KTÜ Maçka Meslek Yüksek Okulu’nda görev yapan saygıdeğer Doç. Dr. Nevzat BATAN’a en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan saygıdeğer Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN’e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca benden maddi, manevi desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen annem Nebahat ERDEM’e, babam Alaattin ERDEM’e, ablam Tuğba BAŞ’a, ve erkek kardeşim Mertcan ERDEM’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Merve BAŞ

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Rize İlinden Toplanan Bazı Karayosunlarının Ağır Metal Tutma Kapasitesinin Ölçülmesi” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim.
21/05/2019


Merve BAŞ

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

RİZE İLİNDEN TOPLANAN BAZI KARAYOSUNLARININ AĞIR METAL TUTMA KAPASİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Merve BAŞ

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY

Bu çalışmada Rize ilinin Çamlıhemşin ilçesinin Zilkale köyünden toplanan karayosunlarına (*Abietinella abietina*, *Hypnum cupressiforme*, *Plagiomniun undulatum*, *Rhytidium rugosum* ve *Thuidium tamariscinum*) % 0,5 konsantrasyonunda Al, Ni, Cd, Pb, Cr, Fe, Zn ve Cu çözeltileri ayrı ayrı on gün boyunca uygulandı, bir kısmına ise uygulanmadı. Çözelti uygulanan karayosunları ile uygulanmayanlar karşılaştırılarak bu karayosunlarının ağır metalleri tutma kapasiteleri EDXRF (Enerji Ayırmalı X- Işını Floresans Spektrometresi) cihazı kullanılarak tespit edildi. Ölçümler sonucunda “*Abietinella abietina*, *Hypnum cupressiforme*, *Plagiomniun undulatum*, *Ryhtidium rugosum* ve *Thuidium tamariscinum*” karayosunlarının ağır metalleri tutma kapasiteleri sırasıyla; Pb>Cr>Ni>Cu>Zn>Cd>Al>Fe, Pb>Ni>Cu>Cr>Zn>Cd>Al>Fe, Pb>Ni>Cr> Zn>Cu>Cd>Al>Fe, Pb>Cr>Ni>Cu>Zn>Al>Cd>Fe, Ni>Cr>Pb>Cu>Zn>Cd>Al>Fe olarak bulundu.

2019, 43 sayfa

Anahtar Kelimeler: Karayosunu, Ağır Metal, EDXRF, Konsantrasyon, Tutma

ABSTRACT

MEASUREMENT OF HEAVY METAL ADSORPTION CAPACITY OF SOME MOSS SAMPLES COLLECTED FROM RIZE PROVINCE

Merve BAŞ

Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Master Thesis
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nilay AKÇAY

In this study, Al, Ni, Cd, Pb, Cr, Fe, Zn and Cu solutions with % 0,5 concentration were separately implemented during ten days to the moss samples (*Abietinella abietina*, *Hypnum cupressiforme*, *Plagiomniun undulatum*, *Rhytidium rugosum* ve *Thuidium tamariscinum*) which had been picked up in Zilkale village of Çamlıhemsin district of Rize Province, but it wasn't implemented for the other part. The capacity of the moss samples to absorb the heavy metal was determined by using EDXRF device (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrophotometry) after comparing the implemented moss samples with the unimplemented ones. As a result of the evaluations, the capacities of mosses "*Abietinella abietina*, *Hypnum cupressiforme*, *Plagiomniun undulatum*, *Ryhtidium rugosum*, *Thuidium tamariscinum*" to absorb the heavy metals were found out in order of; Pb>Cr>Ni>Cu>Zn>Cd>Al>Fe, Pb>Ni>Cu>Cr>Zn>Cd>Al>Fe, Pb>Ni>Cr>Zn>Cu>Cd>Al>Fe, Pb>Cr>Ni>Cu>Zn>Al>Cd>Fe, Ni>Cr>Pb>Cu>Zn>Cd>Al>Fe.

2019, 43 pages

Keywords: Moss, Heavy Metal, EDXRF, Concentration, Absorbtion

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. Ağır Metaller ve Genel Özellikleri	6
1.2.1. Alüminyum ve Etkileri	8
1.2.2. Kadmiyum ve Etkileri	8
1.2.3. Krom ve Etkileri	9
1.2.4. Bakır ve Etkileri.....	9
1.2.5. Demir ve Etkileri	10
1.2.6. Nikel ve Etkileri	10
1.2.7. Kurşun ve Etkileri.....	11
1.2.8. Çinko ve Etkileri	11
1.3. Ağır Metal Kirliliğinde Karayosunlarının Biyomonitör Olarak Kullanımı	12
1.4. Karayosunları	12
1.5. Karayosunlarının Kullanım Alanları	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	15
2.1. Çalışmada Kullanılan Karayosunları	15
2.1.1. <i>Abietinella abietina</i> (Hedw.) M.Fleisch.	16
2.1.2. <i>Rhytidium rugosum</i> (Hedw.) Kindb.....	16
2.1.3. <i>Plogiomnium undulatum</i> (Hedw.) T.J. Kop.	17
2.1.4. <i>Thuidium tamariscinum</i> (Hedw.) Schimp.	18
2.1.5. <i>Hypnum cupressiforme</i> (Hedw.).....	19
2.2. Numunelerin Hazırlanışı	20
2.3. Enerji Ayrımlı X- Işınları Floresans Spektrometresi (EDXRF).....	21

2.4.	Yüzde Hesabı.....	23
3.	BULGULAR	24
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	27
4.1.	Ağır Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi	27
4.1.1.	Alüminyum (Al) Konsantrasyonu	27
4.1.2.	Kadmiyum (Cd) Konsantrasyonu	28
4.1.3.	Krom (Cr) Konsantrasyonu	28
4.1.4.	Bakır (Cu) Konsantrasyonu	29
4.1.5.	Demir (Fe) Konsantrasyonu	30
4.1.6.	Nikel (Ni) Konsantrasyonu.....	30
4.1.7.	Kurşun (Pb) Konsantrasyonu.....	31
4.1.8.	Çinko (Zn) Konsantrasyonu	32
5.	ÖNERİLER	38
	KAYNAKLAR	39
	ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	<i>Abietinella abietina</i> (Hedw.) M.Fleisch	16
Şekil 2.	<i>Rhytidium rugosum</i> (Hedw.) Kindb.	17
Şekil 3.	<i>Plogiomnium undulatum</i> (Hedw.) T.J. Kop.	18
Şekil 4.	<i>Thuidium tamariscinum</i> (Hedw.) Schimp.....	19
Şekil 5.	<i>Hypnum cupressiforme</i> (Hedw.)	20
Şekil 6.	EDXRF Cihazı.....	22
Şekil 7.	%0,5'lik Al çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri.....	27
Şekil 8.	%0,5'lik Cd çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri.....	28
Şekil 9.	%0,5'lik Cr çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri.....	29
Şekil 10.	%0,5'lik Cu çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri.....	29
Şekil 11.	%0,5'lik Fe çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri.....	30
Şekil 12.	%0,5'lik Ni çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri.....	31
Şekil 13.	%0,5'lik Pb çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri.....	31
Şekil 14.	%0,5'lik Zn çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri.....	32
Şekil 15.	% 0,5 lik ağır metal çözeltilisi uygulanmadan önce elde edilen ağır metal konsantrasyon değerleri	33
Şekil 16.	% 0,5 lik ağır metal çözeltilisi uygulandıktan sonra elde edilen ağır metal konsantrasyon değerleri	33

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1.	Temel endüstrilerden atılan metal türleri.....	7
Tablo 2.	Metallerin toksisitelerine göre sınıflandırılması.....	7
Tablo 3.	Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflandırılması.....	8
Tablo 4.	IAEA-336 liken standart örneğine ait veriler	23
Tablo 5.	% 0,5 lik Al çözeltisi uygulamaları	24
Tablo 6.	% 0,5 lik Cd çözeltisi uygulamaları.....	24
Tablo 7.	% 0,5 lik Cr çözeltisi uygulamaları	25
Tablo 8.	% 0,5 lik Cu çözeltisi uygulamaları.....	25
Tablo 9.	% 0,5 lik Fe çözeltisi uygulamaları	25
Tablo 10.	% 0,5 lik Ni çözeltisi uygulamaları	25
Tablo 11.	% 0,5 lik Pb çözeltisi uygulamaları	26
Tablo 12.	% 0,5 lik Zn çözeltisi uygulamaları	26
Tablo 13.	% 0,5 lik Al, Cd,Cr,Cu,Fe,Ni,Pb,Zn çözeltisi uygulamaları	26
Tablo 14.	Karayosunu örneklerinde ağır metal düzeylerinin belirlendiği çalışmalar	34

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Al	Alüminyum
Cd	Kadmiyum
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
Zn	Çinko
µg	Mikrogram
g	Gram
ml	Mililitre
kPa	Kilopaskal
EDXRF	Enerji Ayrımlı X- Işınları Floresans spektrometresi
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Ulusal Atom Enerjisi Kurumu)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya nüfusundaki artış, motorlu taşıtların kullanımı, yaşam standartlarının yükselmesi ve teknolojinin gelişmesiyle günümüzde çevre kirliliği artmıştır. Eski dönemlerden beri çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen çevre kirliliği, günümüzde sanayinin gelişmesi ve kirleticiler çeşitlerinin artması nedeniyle daha da tehlikeli hale gelmiştir.

Atmosferde toz, duman, gaz, koku ve saf olmayan su buharı şeklinde bulunabilecek kirleticilerin, insanlar ve canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyerek maddi zararlar meydana getirecek miktarlara yükselmesi, “Hava Kirliliği” olarak nitelendirilmektedir. İnsanların çeşitli faaliyetleri sonucu meydana gelen üretim ve tüketim aktiviteleri sırasında ortaya çıkan atıklarla hava tabakası kirlenerek, yeryüzündeki canlı hayatı olumsuz yönde etkilenmektedir. Havayı kirleten maddelerin sınır değerleri (havada zararlı olmayacak derecedeki en yüksek değerleri), her ülkenin ilgili kuruluşları tarafından yönetmeliklerle belirlenmektedir (URL-1).

Son yıllarda ise toksik metallere kaynaklanan çevre ve hava kirliliği artmış, ciddi ekolojik problemlere neden olmuştur (Akgüç, 2007). Ağır metaller hava kirliliğine sebep olan etkenlerden biridir. Ağır metaller bilinçsizce çevreye atılarak suya, toprağa ve havaya karışmaktadır. Ağır metallerin bitki, hayvan ve insan vücudunda birikimi sonucunda sağlık problemleri ortaya çıkmaktadır. Ağır metaller insan vücuduna üç şekilde girmektedir. Bunlar; su, hava ve besin yoluyla olmaktadır (Keser, 2005). Bu yüzden biyolojik dengenin korunması için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Günümüzde çevre kirliliği ve özellikle de ağır metal kirliliği hakkında çalışmalar yapılmaktadır. Araştırmalar atmosferik birikimin, atmosferin, toprağın ve suyun kimyasal yapısı üzerine olan etkilerinin ortaya çıkmasına yardımcı olmaktadır, fakat biyotik etkileri özellikle de toprağın çevresi hakkında ki bilgilerimiz hala çok eksiktir. Vegetasyondaki çoğu değişim hala atmosferik birikimine mal edilmesine rağmen, doz etkisi ilişkisi hakkındaki bilgiler de oldukça azdır (Wolterbeek, 2002).

Son yıllardaki endüstriyel gelişme ve hızlı şehirleşmeden dolayı atmosferik kirlilik çoğu ülkede karasal çevrenin ciddi bir şekilde kirlenmesine neden olmuştur, böylece şehir çevresindeki hava kaynaklı metallerin monitörlenmesi dünyanın çoğu kısmındaki kontrol programları ve çevre planlamalarının önemli bir parçası olmuştur. Biyomonitörleme, Biosfer'in belirli özellikleri üzerine kantitatif bilgi elde etmek için biyolojik materyaller ve organizmaları kullanan bir tekniktir (Wolterbeek, 2002).

Biyosferdeki bazı durumlara karşı duyarlılık göstererek veya cevap oluşturarak o durumlar hakkında ipucu veren organizmalara "bioindikatör" ya da "biomonitor" canlılar denir. "Bioindükatör", çevresel kirliliğe yaşam fonksiyonlarını değiştirerek veya toksinleri vücudunda biriktirerek cevap veren ve çevresel bilgi sağlayan tüm canlıları ifade eder. "Biomonitor" ise, ekolojik değişkenliğin derecesini ölçmeye yarayan organizmalar olarak ifade edilir (Aslanhan, 2012).

Karayosunları ve likenler, atmosferik kirliliğin biyomonitörlenmesinde bol miktarda kullanılmaktadır. Yüksek bitkilerin aksine, karayosunları ve likenlerin kök sistemleri ve kütikula tabakası yoktur. Bu yüzden de mineral emilimini bütün yüzeyleriyle yapmaktadırlar. Karayosunları 30 yıldan daha fazla zamandan beri atmosferik ağır metal birikiminin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Aslanhan, 2012).

Karayosunları ağır metallerin büyük bir kısmını dokularında biriktirirler. Karayosunları indikatör organizmalar olarak birkaç avantaja sahiptirler: 1. Karayosunları çok geniş bir coğrafik dağılıma sahiptir ve çeşitli doğal habitatlarda bol miktarda gelişirler hatta endüstri ve şehir merkezlerinde bile bulunurlar fakat temiz bölgeye nazaran daha azdırlar. 2. Kütikula ve epidermise sahip olmadıklarından dolayı hücre duvarları kolaylıkla metal iyonlarını soğurur. 3. Karayosunlarının substrat'dan minerallerin alımı için organları yoktur, çökeltme sonucunda mineralleri biriktirirler. 4. Organlı yapılar arasında minerallerin taşınması vasküler dokuların olmamasından dolayı zayıftır. 5. Karayosunlarında metal birikimi ve iyon değişimi pasif yolla olmaktadır. 6. Karayosunları atmosferik birikim miktarlarının bir fonksiyonu olarak çoğu metallerin birikim fonksiyonunu gösterir (Koz, 2018).

Bazı karayosunları belirli ağır metallere tepki gösterirler. Bu ağır metallerin arttığı yerlerde bu karayosunlarının olmadığı anlaşılmaktadır. Bu da kirlilik işaretidir. Genellikle şehir merkezleri ve sanayi tesislerine yakın yerlerde karayosunlarının yaşam döngüleri etkilendiği için bu alanlarda bryofloristik çeşitlilik de az olmaktadır. Bu duruma kıyasla bazı karayosunları sanayinin neden olduğu çevre kirliliğine dayanacak seviyededir. Ilıman bölgelerde, örneğin *Ceratodon purpureus* ve *Bryum argenteum* karayosunları şehir merkezlerinde çokça bulunur (Abay ve Kamer, 2010).

Bazı karayosunları toprağın mineral durumunun belirlenmesinde ve metal değişkenlerini ortaya çıkarmada kullanılır. *Mielichhoferia mielichhoferi* ve *Scopelophila spp.* karayosunları bakır bakımından zengin olan topraklarda iyi gelişme gösterir. *Sphagnum* ve *Polytrichum* karayosunu türleri ile *Jugermannia vulcanicola* ciğerotu demir mineralini bünyesinde barındırır. Japonya’da demir kaynakları az olduğu için karayosunlarını demir bakımından zengin olan yerlerde kültüre alarak demir elde edilmesini sağlamışlardır (Abay ve Kamer, 2010).

Karayosunları pH indikatörü olarak da kullanılmaktadır. *Sphagnum*, *Polytrichum* ve *Leucobryum* asitli topraklarda iyi indikatör canlılardır. Bu bitkilerin asitli topraklarda yaşamalarını sağlayan hidroid ve leptoid olarak adlandırılan içsel doku elemanları vardır (Abay ve Kamer, 2010).

Bu çalışmada Rize ilinin Çamlıhemşin ilçesinin Zilkale köyünden toplanan *Abietinella abietina*, *Hypnum cupressiforme*, *Plagiomniun undulatum*, *Rhytidium rugosum* ve *Thuidium tamariscinum* karayosunlarına % 0,5 konsantrasyonunda Al, Ni, Cd, Pb, Cr, Fe, Zn ve Cu çözeltileri ayrı ayrı on gün boyunca uygulandı, bir kısmına ise uygulanmadı. Çözelti uygulanan karayosunları ile uygulanmayanlar karşılaştırılarak bu karayosunlarının ağır metalleri tutma kapasiteleri EDXRF (Enerji Ayırmalı X- Işını Floresans Spektrometresi) cihazı kullanılarak tespit edildi.

Bazı Avrupa ülkelerinde karayosunlarındaki ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerleri incelendiğinde;

- Macaristan’da Kadminyum için $0,9 \mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için $2,8 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $11,8 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $2070 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için $5 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $19,5 \mu\text{g.g}^{-1}$, Çinko için $52 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Otvos vd., 2003).
- Finlandiya’da Kadminyum için $0,12 \mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için $1,25 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $3,96 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $259 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için $1,83 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $3,37 \mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için $28,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Poikolainen vd., 2004).
- Norveç’te Kadminyum için $0,18 \mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için $2,6 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $7 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $660 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için $3,6 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $8,6 \mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için $45 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Torunn ve Steinnes, 1997).
- Almanya’da Alüminyum için $305 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kadminyum için $0,21 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $7,12 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $341 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için $1,13 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $4,6 \mu\text{g.g}^{-1}$ ve çinko için $41 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Rühling, 1994).
- Polonya’da Kadminyum için $0,44 \mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için $1,5 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $7,6 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $362 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için $1,4 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $13,6 \mu\text{g.g}^{-1}$, ve Çinko için $43 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Herpin vd., 1996).
- Çek Cumhuriyeti’nde Kadminyum için $0,31 \mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için $1,38 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $7,2 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $399 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için $1,9 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $11 \mu\text{g.g}^{-1}$, ve Çinko için $41,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Buse vd., 2003).
- Slovakya’da Kadminyum için $0,26 \mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için $2,83 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $17,1 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $1100 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikrel için $2,3 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $8,3 \mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için $47,7 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Buse vd., 2003).
- Litvanya’da Kadminyum için $0,19 \mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için $1,31 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $5,8 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $576 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için $1,8 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $11,4 \mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için $39,2 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Buse vd., 2003).
- Rusya’da Kadminyum için $0,29 \mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için $1,41 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için $5,3 \mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için $487 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için $2 \mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için $4,4 \mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için $38,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Buse vd., 2003).

- İsveç'te Kadminyum için 0,19 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için 0,57 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için 4,5 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için 182 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için 1,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için 6 $\mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için 39,9 $\mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Buse vd., 2003).
- Romanya'da Alüminyum için 3290 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kadminyum için 0,44 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için 6,2 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için 10,6 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için 2020 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için 4,2 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için 14 $\mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için 36 $\mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Cucu-Man vd., 2004).

Aynı zamanda Türkiye'de Karabük ilinde Demir Çelik İşletmeleri (Kardemir)'in çevrede oluşturduğu ağır metal birikimi biyomonitör olan karayosunlarından yararlanılarak araştırılmıştır. Kardemir etrafında belirlenmiş 19 istasyona ıslak ve kuru kirliliği ölçmek amacıyla karayosunu çantaları yerleştirilmiştir. Çantalar içerisindeki *Hypnum cupressiforme* karayosunlarına yaş yakma metodu uygulanıp, çalışma boyunca ağır metal birikim değerleri ICP MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) ile ölçülmüştür. Analiz sonuçlarında *Hypnum cupressiforme*'nin kuru halindeki ortalama ağır metal tutma değerleri; Alüminyum için 274,4 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kadminyum için 0,15 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için 0,86 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için 2,19 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için 1223 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için 2,46 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için 12,97 $\mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için 1876 $\mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarında *Hypnum cupressiforme*'nin ıslak halindeki ortalama ağır metal tutma değerleri; Alüminyum için 341,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kadminyum için 0,14 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Krom için 1,11 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır için 2,29 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Demir için 1234 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel için 2,25 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun için 27,9 $\mu\text{g.g}^{-1}$ ve Çinko için 11,02 $\mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Uğuz, 2007).

Yine ülkemizde yapılan bir çalışmada Sarp-Samsun sahil karayolu boyunca 5 il, 31 ilçe merkezi ve merkezler arasından toplanan 74 karayosunu ve 28 liken numunesine ait element konsantrasyonları EDXRF ve AAS kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada *Hypnum cupressiforme* karayosununun EDXRF' de ortalama Demir konsantrasyonu 40,66 mg.g^{-1} , *Thuidium tamariscinum* karayosununun EDXRF' de ortalama Demir konsantrasyonu 42,04 mg.g^{-1} ölçülmüştür. *Hypnum cupressiforme* karayosununun AAS' de ölçülen ortalama Krom konsantrasyonu 36,47 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel konsantrasyonu 13,03 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır konsantrasyonu 216,9 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Çinko konsantrasyonu 190 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kurşun konsantrasyonu 39,53 $\mu\text{g.g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. *Thuidium tamariscinum*

karayosununun AAS' de ölçülen ortalama Krom konsantrasyonu $29,9 \mu\text{g.g}^{-1}$, Nikel konsantrasyonu $9,4 \mu\text{g.g}^{-1}$, Bakır konsantrasyonu $639 \mu\text{g.g}^{-1}$, Çinko konsantrasyonu $302 \mu\text{g.g}^{-1}$ ve Kurşun konsantrasyonu $39,53 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür (Koz, 2007).

1.2. Ağır Metaller ve Genel Özellikleri

Canlı vücudunda düşük seviyede bile tehlike oluşturabilen elementlere ağır metal denir. Kurşun (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), demir (Fe), bakır (Cu), nikel (Ni), çinko (Zn) ve alüminyum (Al) vb. ağır metaller grubuna girmektedir. Bu elementler yapıları gereği dünya üzerinde genellikle karbonat, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde bağlı olarak bulunurlar (Yaşar, 2009).

Ağır metaller ekolojik sistemde doğal çevrimlerden ziyade insanlardan kaynaklanan kirlilikten dolayı çevreye yayılabilmektedir. Kullanıma bağlı kirlenme ve kazalar sonucu ağır metallerin çevreye yayılımı önemli miktarlara ulaşabilmektedir. Endüstriyel faaliyetler ağır metallerin çevreye yayılmasında önemli bir etkidir. Bu faaliyetler; çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Aynı zamanda ağır metaller endüstriyel atık sularının içme sularına karışmasıyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla bitki, hayvan ve insanlar üzerinde etkin olurlar. Temel endüstrilerden atılan metal türleri Tablo 1 de gösterilmiştir (Yaşar, 2009).

Tablo 1. Temel endüstrilerden atılan metal türleri.

Endüstri	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-alkali Üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-Çelik Sanayi	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji Üretimi (Termik)	+	+	+	+	+	+	+	+

Ağır metaller toksik özellik içermektedirler. Toprağa özellikle metaller yüksek konsantrasyonlarda bakır (Cu), çinko (Zn), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) toksik madde içeren

lağım sulu çamur bırakırlar. Oradan besin zinciri ile insan ve hayvanlara taşınabilirler. Bu da sağlık açısından önemli bir tehdit unsuru oluşturabilmektedir (URL-2).

Metaller organizmalar üzerindeki etkilerine bağlı olarak 3'e ayrılır. Kritik olmayan, toksik ve çok toksik olarak Tablo 2 deki gibi sınıflandırılabilir.

Tablo 2. Metallerin toksisitelerine göre sınıflandırılması

Kritik Olmayan	Toksik	Çok Toksik
Na, C, K, P, Li, Mg, Fe, Rb, Ca, S, Sr, H, Cl, Al, O, Br, Si	Ti, Ga, Hf, La, Zr, Os, W, Rh, Nb, Ir, Ta, Ru, Re, Ba	Be, As, Co, Se, Hg, Ni, Te, Tl, Cu, Pd, Pb, Zn, Ag, Sb, Sn, Cd, Bi

Ekolojik açıdan ağır metaller arasında önemli olan 19 element dikkat çekmektedir. Tablo 3 te görülen ağır metaller hayvan ve bitkiler için mikro besin maddesi olabildikleri gibi aynı zamanda toksik maddelerdir. Toksiklik kavramı metalden metale değişebileceği gibi organizmadan organizmaya da farklılık göstermektedir (Koz, 2007).

Tablo 3. Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflandırılması

Element	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Bitki ve Hayvan İçin Gereklilik	Kirletici Olup Olmadığı
Ag	10,5	-	
Cd	8,7	-	K
Cr	7,2	G	K
Co	8,9	G	K
Cu	8,9	G	K
Fe	7,9	G	K
Hg	13,6	-	K
Mn	7,4	G	-
Pb	11,3	-	K
Mo	10,2	G	K
Ni	8,9	G	K
Pt	21,5	-	-
Tl	11,9	-	K
Sn	7,3	-	K
U	19,1	G	K
V	6,1	G	K
W	19,3	G	K
Zn	7,1	G	K
Zr	6,5	-	-

1.2.1. Alüminyum ve Etkileri

Atom numarası 13, atom ağırlığı $26,98 \text{ g.mol}^{-1}$ olan gümüş parlaklığında beyaz hafif bir elementtir. Periyodik sistemin 3A grubunda bulunan metalik bir elementtir (URL-3).

Çeşitli mutfak aletleri, dekorasyon malzemeleri gibi eşyaların temel yapım maddesidir. Bazı metallerle alaşım oluştururlar. Bu alaşımlar saf halinden daha sağlam olduğu için uçak ve füze yapımında kullanılır. Teleskop aynaları kaplamalarında, dekoratif kağıtların yapımında ve elektrik iletim hatlarında da bu elementten yararlanılır (URL-4).

pH değeri 5,5 in üstünde olan mineralli toprakların çözeltilerinde Al derişimi, 1 mg.litre^{-1} değerinden azdır. pH düzeyinin düşük olduğu toprakta Al hızla artar. Bu da bitkilerin zehirlenmesine yol açar. Buna nazaran topraktaki Al konsatrasyonu ne kadar az ise bitki için o kadar yararlıdır. Bu durum bitkinin büyümesini sağlar (URL-5).

1.2.2. Kadmiyum (Cd) ve Etkileri

Atom numarası 48, atom ağırlığı $112,41 \text{ g/mol}$, yoğunluğu $8,7 \text{ g/cm}^3$ olan bir geçiş elementidir. Kadmiyum tabiatta tuzlar şeklinde bulunur. Bu tuzlar; CdS , CdCl_2 ve CdSO_2 olarak ifade edilir. Cd ve bileşikleri zehirli maddelerdir. Aynı zamanda kadmiyum çinko elementinin yan ürünüdür (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Kadmiyum gümüş rengine işlenebilir bir metaldir. Havada kadmiyum oksite dönüşür. Nükleer santrallerde (nötron absorblayıcı) plastik yapımında ve uçak sanayisinde kullanılır (Akgüç, 2007).

Kadmiyum biyolojik fonksiyonlar açısından gerekli bir element değildir. Bu yüzden kadmiyum varlığında insan, hayvan ve bitkiler için zararlı hale gelir. Bitkideki kadmiyumun %90'ı bitki tarafından topraktan alınırken, %10'u atmosferden alınmaktadır. Bitkilerin atmosferden aldığı kadmiyum kaynağı sanayi bölgelerinde bulunan fabrika bacalarından çıkan dumanlar, bitkilerde kullanılan gübreler, kömür

yakılması ve trafiğin işlek olduğu yollarda araçların egzozlarından çıkan gazlardan kaynaklanır (Yalçın, 2004).

1.2.3. Krom (Cr) ve Etkileri

Krom, atom numarası 24, atom ağırlığı 51,996 g/mol olan bir geçiş elementidir. Yoğunluğu 7,19 g/cm³'tür. Gümüş gibi parlak, mavimsi beyaz, kolay kırılan sert bir maden olan krom, havaya karşı çok dayanıklıdır. Bu özelliğinden dolayı, paslanma olasılığı yüksek olan madenlerin çoğu ince bir krom tabakası ile kaplanır (kromlama) (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Dünyada en fazla bulunan yedinci elementtir. Paslanmaz çelik üretiminde, metalürji endüstrisinde, boya, cam ve seramik malzemelerinde, deri işlemlerinde kullanılmaktadır.

Krom, fosil yakıtların, ağaç ve kağıt ürünlerin yanması sonucu altı değerlikli iyon halinde açığa çıkmaktadır. Organik yapılarda, toprakta ve suda üç değerliğe geri redüklenir. Krom doğada belli bir dönüşüme sahiptir. Toprakta suya, sudan ekosisteme oradan havaya tekrar toprağa döner. Ancak yılda yaklaşık olarak 6700 ton krom bu dönüşümden ayrılarak denize akar ve okyanus tabanında çöker (Yaşar, 2009).

Kromun bitki içerisinde hareketi kısıtlıdır. Ancak çok yüksek düzeylerde uygulanan Cr, bitkilerde toksik etki oluşturur. Krom zehirlenmesinde bitki kökleri küçük, yapraklar dar ve kahverengi kırmızı bir renktedir. Yapraklarda küçük yanık lekeler oluşur (Yalçın, 2014).

1.2.4. Bakır (Cu) ve Etkileri

Atom numarası 29, atom ağırlığı 63,57 g/mol, özgül ağırlığı 8,96 g/cm³, erime noktası 1083 °C ve kaynama noktası 2300 °C olan geçiş elementidir. Yoğunluğu 8,96 g/cm³ tür. Bakır elektrik ve boya sanayinde, tesisat borularının üretiminde kullanılmaktadır. Bakır tuzları veteriner hekimlikte antelmintik olarak, tarımda fungusit

olarak geniş kullanım alanına sahiptir. Bakır, solunan havayla, içilen suyla, yenilen yiyeceklerle ya da bakır içeren bileşiklerin deriye teması yoluyla organizmaya alınabilir.

Bitkilerde bakır fazlalığında köklerde problemlere yol açar. Aynı zamanda yan kök oluşumunda azalma, koyu renkli benekler oluşması ve kök yapısında kalınlaşmalar oluşturur. Ayrıca bitki kökünde biriktiği için gövdeye iletimi azaltır (Aslanhan, 2012).

1.2.5. Demir (Fe) ve Etkileri

Demir, atom numarası 26, atom ağırlığı 55,85 g/mol, yoğunluğu 7,8 g/cm³ olan bir elementtir. Litosfer'in % 5'ini demir elementi oluşturmaktadır (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Çelik ve boya sanayinde, inşaat sektöründe, karbon ve diğer metallerle alaşım halinde kullanılır. Hemoglobinin yapısında bulunur.

Havada demir partiküller halinde bulunur. Bu partiküller endüstriyel kaynaklıdır (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Demir elementi bitkilerde klorofilin oluşumu için gereklidir. Demir eksikliğinde klorofil iyi oluşamaz. Aynı zamanda demir eksikliğinde bitkilerin yaprakları açık sarı renk olur. Yaprak damarları koyu renkli kaldığı halde damarlar arası açık renk alır (Yalçın, 2014).

1.2.6. Nikel (Ni) ve Etkileri

Nikel, atom ağırlığı 58,69 g/mol ve atom numarası 28 olan bir geçiş elementidir. Yoğunluğu 8,9 g/cm³ tür (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Nikel; kömür, petrol, çelik, alaşım üretimi, galvaniz ve elektronik endüstrisinde, uçak ve gemi endüstrisinde, motorlu araçlar ve parçalarında kullanılmaktadır (Otvos vd., 2003).

Düşük miktarda nikel bitkiler için yararlıdır. Ancak zararları da vardır. Nikel bitki kökleri tarafından emilir. Fazla miktarda emildiğinde büyümede zarara yol açar. Aynı zamanda bitkilerde çimlenme aşamasından başlayarak bitkinin büyüme ve gelişmesinde toksik etki yapar (Aslanhan, 2012).

1.2.7. Kurşun (Pb) ve Etkileri

Kurşun, atom numarası 82, atom ağırlığı 207,2 g/mol, yoğunluğu 11,34 g/cm³ olan bir metaldir (Saygıdeğer, 1995).

Kurşun insan faaliyetleri sonucu çevresel kirliliğe neden olan kanserojen bir ağır metaldir. Kurşun, sanayi kuruluşlarının bacalarından ve motorlu araçların egzozlarından çıkan duman ile havayı; lehim, boya, akü, elektrik ve petrol sanayi atıkları sebebi ile toprağı kirletir (Saygıdeğer, 1995).

Kurşun bitkiler için gerekli bir ağır metal değildir. Kurşunun topraktaki bulunma değeri 15-40 ppm dir. Ancak bu değer 150 ppm'e kadar çıkarsa insan ve bitki sağlığı açısından zararlı olabilmektedir (De Jonghe vd., 1982).

Kurşun ağır metali bitkinin kökleri tarafından alınır. Bu yüzden kurşun elementi bitkinin kök gelişimini etkiler ve besin alınımını azaltır (Sharma vd., 2005).

1.2.8. Çinko (Zn) ve Etkileri

Çinko, atom ağırlığı 65.39 g/mol, atom numarası 30 olan bir geçiş elementidir. Kırılgan bir metaldir. Yoğunluğu 7,14 g/cm³ tür. Diğer metallerle kolaylıkla alaşım yapabilir (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Canlı organizmalar için gerekli bir element olan çinko, biyolojik sistemlerde yalnız +2 değerlikli olarak bulunmaktadır.

Çinko otomotiv, elektrik ve donanım endüstrilerinde kullanılan döküm kalıplarının yapımında, boya, yazıcı mürekkepleri, sabun, tekstil ürünleri, kauçuk yan

ürünleri, plastik ve kozmetik ürünlerde kullanılmaktadır. Ayrıca çinko sülfid floresan özelliğe sahiptir ve parlak kadranların, floresan lambaların, X-ışını ve televizyon ekranlarının yapımında kullanılır. Hayvanların beslenmesinde de önemli bir yer tutmaktadır. Bitkilerde çinko fazlalığı bitkide hücre bölünmesine zarar vererek çekirdeğin hasar görmesine neden olur. Aynı zamanda köklerin boyunun artmasına ve klorofil miktarının azalmasına neden olur (Bobak, 1985).

1.3. Ağır Metal Kirliliğinde Bitkilerin Biyomonitör Olarak Kullanımı

Çevre ve hava kirliliğinde bilim insanları kirliliği ölçmek için birçok analiz aracı kullanmışlardır. Ancak analitik cihazlarla yapılan analizler o bölgenin anlık kirliliği hakkında bilgi vermektedir. Bu nedenle bilim insanları biyomonitör özellik taşıyan canlılardan yararlanmışlardır. Bu canlılar bakteriler, maya ve alg türleri, mantarlar, likenler, ağaç kabukları, yaprakları ve dallarıdır. Bu canlılar metal kirliliğinin birikmesinin ve dağılımının belirlenmesinde kullanılmaktadırlar (Abay ve Kamer, 2010).

Her bitki her ağır metale aynı derecede tepki göstermez. Bu yüzden kullanılan bitkinin kirliliğe cevap vermesi gerekir. Bitkinin bünyesinde tuttuğu ağır metal konsantrasyonu çevredeki kirliliğin bir ölçüsü olarak kabul edilir. Ağır metal kirliliği; çimlenmeyi, gövde ve kök büyümesini, yaprak oluşumunu, çiçeklenmeyi, bitki büyüme hızını, fotosentezi, terlemeyi ve mineral beslenmeyi olumsuz etkilemektedir (Yalçın, 2014).

1.4. Karayosunları

Bitkiler üç grupta incelenir. Damarsız tohumlu, damarlı tohumlu ve damarlı tohumlu bitkilerdir. Damarsız tohumlu bitkiler grubunun en yaygın örneklerinden biri karayosunlarıdır. Karayosunlarının iletim demetleri yoktur. Gerçek kök, gövde ve yaprak gibi yapıları bulunmaz. Kök görevi yapan Rhizoidleri vardır. Rhizoidler, bitkinin toprağa tutunmasını sağlayan kökümsü yapılardır.

Tohum oluşturmazlar. Sporla çoğalırlar. Döllenme için su gereklidir. Çoğalmalarında haploid ve diploid evreler birbirlerini izler. Bu şekilde üreme şekline metagenez denir.

Karayosunları; nemli kayalıklar, orman tabanı, ağaç kabuklarının üstleri, duvarlar, bataklıklar, sulak alanlar vb. yerlerde yaşarlar (URL-6).

1.5. Karayosunlarının Kullanım Alanları

Karayosunları orman ekosisteminde önemli yer tutar. Karayosunları kendi kuru ağırlığının 12 katı kadar su tutarak ormanların ihtiyacı olan suyun yok olmasını engeller. Toprağın havalanmasını sağlayarak toprak kalitesini yükseltir. Erozyonu önler. Ayrıca mineral depo ettiği için birçok böcek türüne barınak ve yumurtlama alanı oluştururlar (Yaşar, 2009).

Karayosunları ilaç yapımında hammadde olarak kullanılarak eczacılıkta önemli yer tutar. Ayrıca dezenfekte özelliğinden dolayı yaraların sarılmasında sargı bezi olarak kullanılmıştır. Birinci Dünya Savaş'ında pamuk yetmediği için karayosunlarından yararlanılmıştır (Altuner, 2008).

Ayrıca, karayosunları kırsal ve endüstriyel alanlarda bulunuyor olmaları, iyon değişim mekanizmaları yanında bitkinin pürüzlü yüzey yapısı ile birlikte partiküllerin tutulması ve alıkonulmasını sağlamaları, yılın herhangi bir periyodunda bulunabilmeleri, fizyolojik ihtiyaçlarından daha fazla seviyelerde metal biriktirebilmeleri gibi özelliklerinden dolayı ideal biyolojik monitörlerdir. Bu yüzden briyofitler özellikle de karayosunları gelişmiş ülkelerde uzun yıllardan beri hava ve su kirliliği haritalarının çıkarılmasında kullanılmaktadır. Son yıllarda ülkemizde de biyomonitör karayosunları kullanılarak atmosferik ağır metal kirliliği çalışmaları yapılmaktadır (Batan, 2008).

Karayosunları aynı zamanda turba adı verilen yakıtın üretilmesinde yararlanılarak enerji kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Turba; çürüyen bitkilerin toprak içinde kömürleşmesidir.

Japonlar, karayosunlarını kullanarak “saikai” ve “bankei” adını verdikleri manzara sepetleri yapmaktadır. Parkların ve bahçelerin çimlendirilmesinde çim yerine karayosunu kullanmaktadırlar. Ayrıca akvaryum süslemelerinde ve balıklar için oksijen üretiminde karayosunlarından yararlanılmaktadır (Altuner, 2008).



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Rize ilinden toplanan bazı karayosunlarının ağır metal tutma kapasitesinin ölçülmesinin amaçlandığı bu çalışmada; Rize ilinin Çamlıhemşin ilçesinin Zilkale mevkiinden *Abietinella abietina*, *Hypnum cupressiforme*, *Plagiomniun undulatum*, *Rhytidium rugosum* ve *Thuidium tamariscinum* olmak üzere 5 çeşit karayosunu toplandı. Numunelerin tür tayini KTÜ Maçka Meslek Yüksek Okulu Öğretim Üyeleri tarafından yapıldı. Toplanan *Abietinella abietina*, *Hypnum cupressiforme*, *Plagiomniun undulatum*, *Rhytidium rugosum* ve *Thuidium tamariscinum* karayosunlarının bir kısmına %0,5 konsantrasyonunda ayrı ayrı Al, Ni, Cd, Pb, Cr, Fe, Zn ve Cu çözeltileri uygulandı. Çözelti uygulanan ve uygulanmayan karayosunları tablet haline getirilerek EDXRF cihazında ağır metal konsantrasyonları için ölçüldü ve ağır metal tutma kapasiteleri belirlendi. Bu aşamalar aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

2.1. Çalışmada Kullanılan Karayosunları

2.1.1. *Abietinella abietina* (Hedw.) M.Fleisch.

- Alem : *Plantae*
Şube : *Bryophyta*
Sınıf : *Bryopsida*
Takım : *Hypnales*
Aile : *Thuidiaceae*
Cins : *Abietinella*
Tür : *Abietinella Abietina* (URL-7)

Sürgünler, iki yüzeyinde dört sıra halinde olan dallarıyla bir dereceli tüysü, yeşil veya sarı uçlu koyu kahverengidir. Gövde yaprakları uzun, uca doğru incelen ve geniş tabanlı, uzunlamasına çıkıntılı ve ovaldir. Gövde yaprakları 1 ile 4 mm uzunluğundadır. Dal yaprakları gövde yapraklarından daha küçük, çukur, genişçe oval ve sivri yapraklıdır. Yapraklarının keskin ya da körelmiş uçları vardır ve orta damarlar yaprak uzunluğunun 3 te 3'üne kadar ulaşır.



Şekil 1. *Abietina abietina* (Hedw.) M.Fleisch.

Abietina abietinella maden kenarlarında, kalkerli topraklarda kalkerin üzerini örten işlenmemiş çayırlandaki sığ topraklarda yetişir. Dağlardaki kaya tabakalarında ve zengin kırlarda da nadiren bulunur.

2.1.2. *Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb.

- Alem : *Plantae*
Şube : *Bryophyta*
Sınıf : *Bryopsida*
Takım : *Hypnales*
Aile : *Rhytidiaceae*
Cins : *Rhytidium*
Tür : *Rhytidium rugosum* (URL-8)

Büyük yapraklı karayosunlarından olan *Rhytidium rugosum* sarı-yeşil ve altuni kahverengi öbek ve parçalar şeklinde yetişir. Bu yosunun kabarık sürgünleri 5 cm ile 10 cm arasında uzar ve tepede kıvrılır. Parlak yumurta şeklindeki içbükey yapraklar aynı yönde kıvrılarak birbirlerini bir noktada iyice kaplarlar. Gövdedeki yapraklar 3mm ile 4mm uzunluktadır; yandallardaki yapraklar da gövde yaprağından daha küçük ve dardır. Orta damarlar yaprağın ortasında çatallanarak sonlanır.



Şekil 2. *Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb.

Kısa, iyi kurumuş, kalkerli çimenlerde ve özellikle de dağların kireçli uçurumlarının güneybatı yamaçlarında büyür. Aynı zamanda kireçtaşı ocaklarında ve nadiren de olsa kalkerli tepelerde görülür.

2.1.3. *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T.J. Kop.

Alem : *Plantae*
Şube : *Bryophyta*
Sınıf : *Bryopsida*
Takım : *Bryales*
Aile : *Mniaceae*
Cins : *Plagiomnium*
Tür : *Plagiomnium undulatum* (URL-9)

Bütün *Plagiomnium* türlerinde kırmızı veya kahverengi pigment bulunmayan yeşilimsi sapları vardır. Yapraklar uzun, dar hücreli ve genellikle dişlidir.

Olgunlaştığında 2,5 mm uzunluğunda dalgalı, dil şekilli kolay ayırt edilebilen çarpıcı bir yosundur. Sapları 15 cm kadar uzayabilir ve küçük bir ağaç gibi dallanabilir.

Yaprağın sapları gövdenin üzerine doğru küçülür. Bununla birlikte çok az dalgalı ve daha kısa yaprakları olan bodur karayosunları türlerinden daha zor ayırt edilir.



Şekil 3. *Plogiomnium undulatum* (Hedw.) T.J. Kop.

Plogiomnium, kayalık sahillerde çayırarda, ormanlık alanlarda veya topraklarda yaygındır.

2.1.4. *Thuidium tamariscinum* (Hedw.) Schimp.

- Alem : *Plantae*
- Şube : *Bryophyta*
- Sınıf : *Bryopsida*
- Takım : *Hypnales*
- Aile : *Thuidiaceae*
- Cins : *Thuidium*
- Tür : *Thuidium tamariscinum* (URL-10)

Thuidium tamariscinum'un parlak sarımsı yeşil ya da koyu yeşil sürgünleri, yosunların en belirgin olanları arasındadır. Genellikle üçlü dallı 5 ile 25cm uzunluğunda ve gevşekçe birbirine dallanmış formdadır. Yeşil veya kızıl kahve gövdeler küçücük keçe şeklinde, çok geniş üçgen, keskin uçlu yaklaşık 1,25 mm uzunluğunda yapraklarla

kaplıdır. Yaprak ortadamarı geniş ve hemen hemen yaprağın uçlarına kadar ulaşır. Yan dal yaprakları daha dar ve kısadır.



Şekil 4. *Thuidium Tamariscinum* (Hedw.) Schimp.

Nemli yerlerde çimlerin arasında, çamurlu kıyılarda ve ağaçlık alanlardaki topraklarda yetişir.

2.1.5. *Hypnum cupressiforme* (Hedw.)

Alem : *Plantae*

Şube : *Bryophyta*

Sınıf : *Bryopsida*

Takım : *Hypnales*

Aile : *Hypnaceae*

Cins : *Hypnum*

Tür : *Hypnum cupressiforme* (URL-11)

Bu yaygın ve bol yosun düzensiz bir şekilde kendi türüne özgü olarak 2 cm uzunluğunda ve güçlü kıvrımlı yapraklar şeklinde sürgün verir ve bu sürgünler de 1 ile 2 mm incelerek daha iyi bir şekle bürünür. Kılcallar yoktur ya da çok kısa ve çifttir. Sürgünler ısıyla yeşil renklidirler, yaşlı kısımları ise kahverengidir.



Şekil 5. *Hypnum cupressiforme* (Hedw.)

Hypnum cupressiforme hafif eğimli, odunsu ve asitli bölgelerde çok yaygındır. Asitli tabakalarda *Hypnum andoi* ile sık sık yer değiştirebilir.

2.2. Numunelerin Hazırlanışı

Rize ilinin Çamlıhemşin ilçesinin Zilkale mevkiinden toplanan 1. *Abietinella abietina* (Hedw.) M.Fleisch. 2. *Hypnum cupressiforme* (Hedw.) 3. *Plogiomnium Undulatum* (Hedw.) T.J. Kop. 4. *Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb. ve 5. *Thuidium Tamariscinum* (Hedw.) Schimp örnekleri plastik poşetlere konularak laboratuvara getirildi. Yosunların tür tayinleri KTÜ Maçka Meslek Yüksek Okulu Öğretim Üyeleri tarafından yapıldı. Ağır metal tutma kapasitelerinin belirlenmesi için karayosunu örnekleri yabancı maddelerden (ot, toprak gibi) temizlendi. Her bir yosundan 10'ar gram alılarak 40 adet numune ayrı ayrı 10x15 cm lik plastik silindirik kutulara konuldu ve üzerlerine bilgileri yazıldı.

Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn elementlerine ait % 0,5 lik çözeltiler RTEÜ Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Organik Kimya laboratuvarında hazırlandı. Her bir elementin çözeltisinden tüm yosunlara 24 saatte bir 10 gün boyunca 10 ml hacminde çözelti uygulandı bir kısmına ise uygulanmadı.

10 gün sonra element çözeltisi uygulanmış yosunlar plastik kutulardan çıkartılarak etüvde 60 °C de 24 saat boyunca kurutuldu. Kurutulan yosunlar bitki öğütücüsünde öğütüldü ve 400 mesh lik süzgeçten geçirilerek homojen hale getirildi. Her bir numuneden yaklaşık 1'er gram alınarak waxHNMN₂ ile karıştırıldı. Numuneler press makinesinde 30000 kPa basınç altında tablet haline getirildi. Çözelti uygulanan ve uygulanmayan numunelerin ağır metal tayinleri EDXRF cihazında yapıldı. Çözelti uygulanmayan numuneler (*) ve çözelti uygulanan numuneler (**) ile gösterildi.

2.3. Enerji Ayrımlı X- Işınları Floresans Spektrometresi (EDXRF)

X- ışını floresans tekniği, yayınlanan karakteristik X-ışınının dalga boyu veya enerjisinin ölçülmesiyle element hakkında bilgi verir. Bu metot, önce yayınlanmış karakteristik çizginin enerjisinin veya dalga boyunun ölçülmesiyle verilen bir elementin nitel (kaltitatif) tayinin yapılmasını sağlar ve sonra bu çizginin şiddetinin ölçülmesiyle elementel konsatrasyon tayin edilebilir (kantitatif analiz).

X- ışını spektrometrik metodunun ilk kullanımı Henry Moseley'in 1912' deki klasik çalışmalarında görülmüştür. 1922' de Hadding, minerallerin analizi için bir teknik tanımlamıştır. Floresans metot pratikte ilk olarak Glocker ve Schreiber tarafından 1928' de kullanılmıştır (Koz, 2007).

X- ışını floresans tekniği maden cevherlerinin analizinde, çevre kirliliği, petrol, sanayi, tıp vb. gibi alanlarda yaygınca kullanılmaktadır. Bu metot karakteristik X-ışınlarının şiddetinin ölçülmesi prensibine dayanır. Karakteristik X-ışınları, madde içerisindeki bir elementin herhangi bir atomunun klasik manada iç yörünge elektronlarının koparılması sonucunda oluşur. Bu koparılma sonucunda iç tabakaların herhangi birisinde meydana gelen elektron boşluğunun, diğer üst tabakalardaki elektronlardan biri tarafından doldurulması esnasında karakteristik X-ışını yayınlanır. Herhangi bir numuneden, herhangi bir uyarma yoluyla elde edilen bu ışınların enerjilerinin ölçülmesiyle, numune içerisindeki elementlerin kimlik tespiti yapılır. Bu ışınların şiddetlerinin ölçülmesiyle de, numune içerisindeki konsantrasyonları belirlenebilir (Koz, 2007).

Bu çalışmada karayosunlarının ağır metal tutma kapasitelerini belirlemek için Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan Epsilon 5 EDXRF Enerji Ayrımlı X- ışıını floresans spektrometresi (EDXRF) kullanıldı.

Bu sistem, genel olarak foton-madde etkileşmesi sonucu meydana gelen karakteristik X-ışınları ve saçılma fotonlarının nicel nitel değerlendirilmesinde kullanılır. ED-XRF (Enerji Ayrımlı XRF) sistemi; analizi edilen örnekten elde edilen X-ışınlarının enerjisini hesaplayarak elementleri tayin ederken gelen ışıınların da sayılarak element miktarlarının belirlenmesini sağlar.

Hızlı ve duyarlı olması, az örnek gerektirmesi, kullanım kolaylığı ve malzemeye zarar vermeme özellikleri göz önüne alındığında teknolojik ve bilimsel araştırmalarda önemlidir. Katı (mineral, metal, polimer), sıvı (su, yağ, petrol ürünleri), ince film ve preslenmiş toz gibi her formdaki numunede ağır metal konsantrasyonlarını (Na-U element aralığında) % ve ppm cinsinden yarı kantitatif olarak analiz edilmesini sağlar. Bu yöntem kesin niceliksel sonuç vermemekle birlikte örneğin yapısını anlamak ve ileri aşama analizler için yol göstericiliği açısından çok faydalıdır. Uygun standart malzemeler kullanılarak tam niceliksel analiz ppm mertebesinden % seviyesine kadar gerçekleştirilebilir.



şekil 6. EDXRF Cihazı

EDXRF cihazındaki ağır metal analizi sonuçlarının IAEA-336 Liken standartı ile karşılaştırılması sonucu elde edilen veriler Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. IAEA-336 liken standart örneğine ait veriler (mg.g⁻¹)

Element	Ölçülen Değer	Standart Örneğin Değerleri
Cr	-	-
Fe	428	380-480
Ni	1,08	-
Cu	7,97	3,1-4,1
Zn	34,5	27-33,8
Pb	4,73	4,3-5,5
Al	617	570-790

2.4. Yüzde Hesabı

Bu çalışmada karayosunlarındaki ağır metal tutma miktarlarını hesaplamak için denklem 1 kullanıldı.

$$TM = \frac{SD - İD}{İD} \times \% \quad (1)$$

Burada;

TM : Tutma Miktarını

İD : İlk Değeri (ağır metal)

SD : Son Değeri (ağır metal)

ifade etmektedir.

İlk ölçümlerde karayosunlarındaki ağır metal değerinin tespit edilemediği durumda tutma miktarı %100 olarak kabul edildi.

3. BULGULAR

Rize ilinden toplanan bazı karayosunlarının ağır metal tutma kapasitesinin ölçülmesinin amaçlandığı bu çalışmada *Abietinella abietina*, *Rhytidium rugosum*, *Plagiomnium undulatum*, *Thuidium tamariscinum*, *Hypnum cupressiforme* karayosunlarına sırasıyla %0,5 lik Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn çözeltisi uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) yosunlardaki ağır metal konsantrasyon değerleri ve tutma miktarları Tablo 5-12 de gösterilmektedir.

Tablo 5. % 0,5 lik Al çözeltisi uygulamaları

Yosun adı	Al* (mgg ⁻¹)	Al**(mgg ⁻¹)	Tutma miktarları %
<i>Abietina abietina</i>	6,84	16,9	1,4.10 ²
<i>Rhytidium rugosum</i>	3,44	23,1	5,7.10 ²
<i>Plagionmium undatulum</i>	4,15	22,0	4,3.10 ²
<i>Thuidium tamariscinum</i>	6,70	26,9	3,0.10 ²
<i>Hypnum cupressiforme</i>	3,03	28,1	8,2.10 ²

(*) % 0,5 lik Al çözeltisi uygulanmadan önce ve

(**) % 0,5 lik Al çözeltisi uygulandıktan sonra yosunlardaki konsantrasyon değerleri

Tablo 6. % 0,5 lik Cd çözeltisi uygulanmaları

Yosun adı	Cd* (mgg ⁻¹)	Cd**(mgg ⁻¹)	Tutma miktarları %
<i>Abietina abietina</i>	te	5,9	5,9.10 ²
<i>Rhytidium rugosum</i>	te	5,5	5,5.10 ²
<i>Plagionmium undatulum</i>	te	15,2	1,5.10 ³
<i>Thuidium tamariscinum</i>	te	11,0	1,1.10 ³
<i>Hypnum cupressiforme</i>	te	11,1	1,1.10 ³

(*) % 0,5 lik Cd çözeltisi uygulanmadan önce ve

(**) % 0,5 lik Cd çözeltisi uygulandıktan sonra yosunlardaki konsantrasyon değerleri

te: tespit edilemedi

Tablo 7. % 0,5 lik Cr çözeltisi uygulamaları

Yosun adı	Cr* (mgg ⁻¹)	Cr**(mgg ⁻¹)	Tutma miktarları %
<i>Abietina abietina</i>	0,005	36,1	7,2.10 ⁵
<i>Rhytidium rugosum</i>	0,004	45,2	1,1.10 ⁶
<i>Plagionmium undatum</i>	0,005	36,9	7,3.10 ⁵
<i>Thuidium tamariscinum</i>	0,004	42,7	1,0.10 ⁶
<i>Hypnum cupressiforme</i>	0,011	46,7	4,2.10 ⁵

(*) % 0,5 lik Cr çözeltisi uygulanmadan önce ve

(**) % 0,5 lik Cr çözeltisi uygulandıktan sonra yosunlardaki konsantrasyon değerleri

Tablo 8. % 0,5 lik Cu çözeltisi uygulamaları

Yosun adı	Cu* (mgg ⁻¹)	Cu**(mgg ⁻¹)	Tutma miktarları %
<i>Abietina abietina</i>	0,008	22,7	2,8.10 ⁵
<i>Rhytidium rugosum</i>	0,007	36,6	5,2.10 ⁵
<i>Plagionmium undatum</i>	0,039	20,3	5,1.10 ⁴
<i>Thuidium tamariscinum</i>	0,008	45,3	5,6.10 ⁵
<i>Hypnum cupressiforme</i>	0,010	46,3	4,6.10 ⁵

(*) % 0,5 lik Cu çözeltisi uygulanmadan önce ve

(**) % 0,5 lik Cu çözeltisi uygulandıktan sonra yosunlardaki konsantrasyon değerleri

Tablo 9. % 0,5 lik Fe çözeltisi uygulamaları

Yosun adı	Fe* (mgg ⁻¹)	Fe**(mgg ⁻¹)	Tutma miktarları %
<i>Abietina abietina</i>	3,04	5,2	71,05
<i>Rhytidium rugosum</i>	1,70	6,8	300
<i>Plagionmium undatum</i>	2,80	8,5	203,57
<i>Thuidium tamariscinum</i>	2,69	9,8	264,31
<i>Hypnum cupressiforme</i>	2,39	9,1	280,75

(*) % 0,5 lik Fe çözeltisi uygulanmadan önce ve

(**) % 0,5 lik Fe çözeltisi uygulandıktan sonra yosunlardaki konsantrasyon değerleri

Tablo 10. % 0,5 lik Ni çözeltisi uygulamaları

Yosun adı	Ni* (mgg ⁻¹)	Ni**(mgg ⁻¹)	Tutma miktarları %
<i>Abietina abietina</i>	0,004	26,3	6,5.10 ⁵
<i>Rhytidium rugosum</i>	0,003	32,9	1,0.10 ⁶
<i>Plagionmium undatum</i>	0,003	26,3	8,7.10 ⁵
<i>Thuidium tamariscinum</i>	0,003	41,7	1,3.10 ⁶
<i>Hypnum cupressiforme</i>	0,005	43,2	8,6.10 ⁵

(*) % 0,5 lik Ni çözeltisi uygulanmadan önce ve

(**) % 0,5 lik Ni çözeltisi uygulandıktan sonra yosunlardaki konsantrasyon değerleri

Tablo 11. % 0,5 lik Pb çözültisi uygulamaları

Yosun adı	Pb* (mgg ⁻¹)	Pb**(mgg ⁻¹)	Tutma miktarları %
<i>Abietina abietina</i>	0,003	35,9	1,2.10 ⁶
<i>Rhytidium rugosum</i>	0,003	33,8	1,2.10 ⁶
<i>Plagionmium undatum</i>	0,004	42,1	1,0.10 ⁶
<i>Thuidium tamariscinum</i>	0,006	49,7	8,2.10 ⁵
<i>Hypnum cupressiforme</i>	0,003	53,9	1,7.10 ⁶

(*) % 0,5 lik Pb çözültisi uygulanmadan önce ve

(**) % 0,5 lik Pb çözültisi uygulandıktan sonra yosunlardaki konsantrasyon değerleri

Tablo 12. % 0,5 lik Zn çözültisi uygulamaları

Yosun adı	Zn* (mgg ⁻¹)	Zn**(mgg ⁻¹)	Tutma miktarları %
<i>Abietina abietina</i>	0,018	11,4	6,3.10 ⁴
<i>Rhytidium rugosum</i>	0,022	25,3	1,1.10 ⁵
<i>Plagionmium undatum</i>	0,014	23,7	1,6.10 ⁵
<i>Thuidium tamariscinum</i>	0,267	30,5	1,1.10 ⁴
<i>Hypnum cupressiforme</i>	0,024	42,8	1,7.10 ⁵

(*) % 0,5 lik Zn çözültisi uygulanmadan önce ve

(**) % 0,5 lik Zn çözültisi uygulandıktan sonra yosunlardaki konsantrasyon değerleri

Tablo 13. % 0,5 lik Al, Cd,Cr,Cu,Fe,Ni,Pb,Zn çözültisi uygulamaları

Yosun türü	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
<i>Abietina abietina</i> *	6,84	0	0,005	0,083	3,04	0,004	0,003	0,0018
<i>Abietina abietina</i> **	16,9	5,9	36,1	22,7	5,2	26,3	35,9	11,4
Tutma Miktarı (%)	1,4.10 ²	5,9.10 ²	7,2.10 ⁵	2,8.10 ⁵	71,05	6,5.10 ⁵	1,2.10 ⁶	6,3.10 ⁴
<i>Rhytidium rugosum</i> *	3,44	0	0,004	0,007	1,84	0,003	0,003	0,022
<i>Rhytidium rugosum</i> **	23,1	5,5	45,2	36,6	6,8	32,9	33,8	25,3
Tutma Miktarı (%)	5,7.10 ²	5,5.10 ²	1,1.10 ⁶	5,2.10 ⁵	300	1,0.10 ⁶	1,2.10 ⁶	1,1.10 ⁵
<i>Plagionmium undatum</i> *	4,15	0	0,005	0,039	2,80	0,003	0,004	0,014
<i>Plagionmium undatum</i> **	22,0	15,2	36,9	20,3	8,5	26,3	42,1	23,7
Tutma Miktarı (%)	4,3.10 ²	1,5.10 ³	7,3.10 ⁵	5,1.10 ⁴	203,57	8,7.10 ⁵	1,0.10 ⁶	1,6.10 ⁵
<i>Thuidium tamariscinum</i> *	6,70	0	0,004	0,008	2,69	0,003	0,006	0,267
<i>Thuidium tamariscinum</i> **	26,9	11,0	42,7	45,3	9,8	41,7	49,7	30,5
Tutma Miktarı (%)	3,0.10 ²	1,1.10 ³	1,0.10 ⁶	5,6.10 ⁵	264,31	1,3.10 ⁶	8,2.10 ⁵	1,1.10 ⁴
<i>Hypnum cupressiforme</i> *	3,03	0	0,011	0,010	2,39	0,005	0,003	0,024
<i>Hypnum cupressiforme</i> **	28,1	11,1	46,7	46,3	9,1	43,2	53,9	42,8
Tutma Miktarı (%)	8,2.10 ²	1,1.10 ³	4,2.10 ⁵	4,6.10 ⁵	280,75	8,6.10 ⁵	1,7.10 ⁶	1,7.10 ⁵

(*) % 0,5 lik çözültiler uygulanmadan önceki metal konsantrasyon değerleri

(**) % 0,5 lik çözültiler uygulandıktan sonraki metal konsantrasyon değerleri

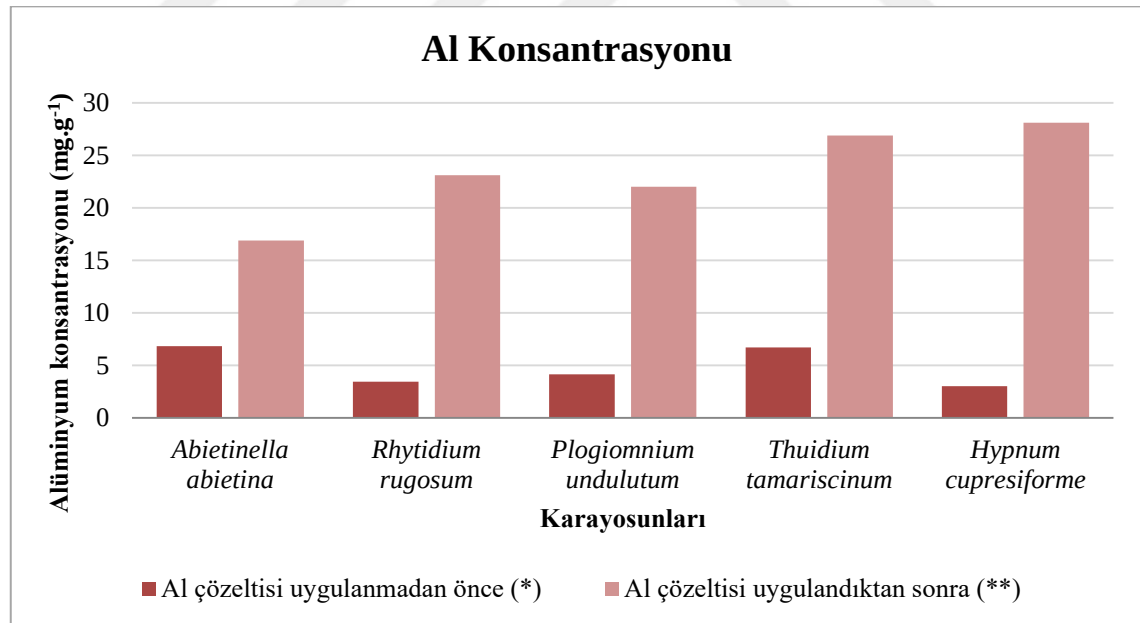
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

4.1 Ağır Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada %0,5'lik Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) ağır metal konsantrasyon değerleri Şekil 7-14'de verilmiştir.

4.1.1 Alüminyum (Al) Konsantrasyonu

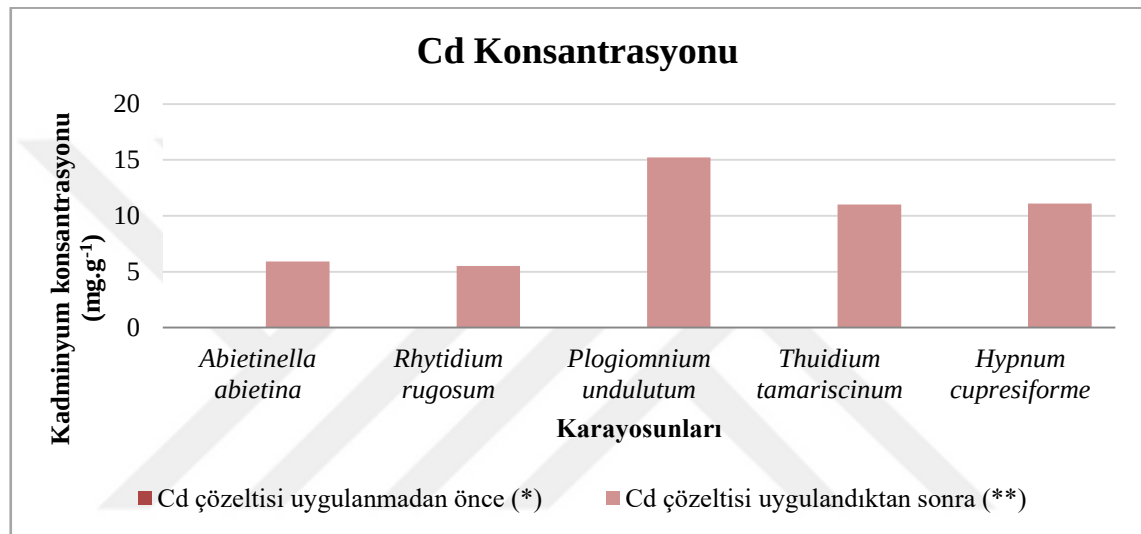
Şekil 7 ve Tablo 5 incelendiğinde %0,5'lik Al çözeltilisi uygulanmadan önce karayosunlarındaki Al konsantrasyonunun $3,03 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $6,84 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu, çözelti uygulandıktan sonra ise $16,9 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $28,1 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu tespit edildi. Denklem 1 deki formül kullanılarak en çok alüminyum ağır metalini $8,2 \cdot 10^2$ değeri ile *Hypnum cupresiforme* karayosunun tuttuğu bulundu.



Şekil 7. %0,5'lik Al çözeltilisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan (**) sonra ağır metal konsantrasyon değerleri

4.1.2. Kadmiyum (Cd) Konsantrasyonu

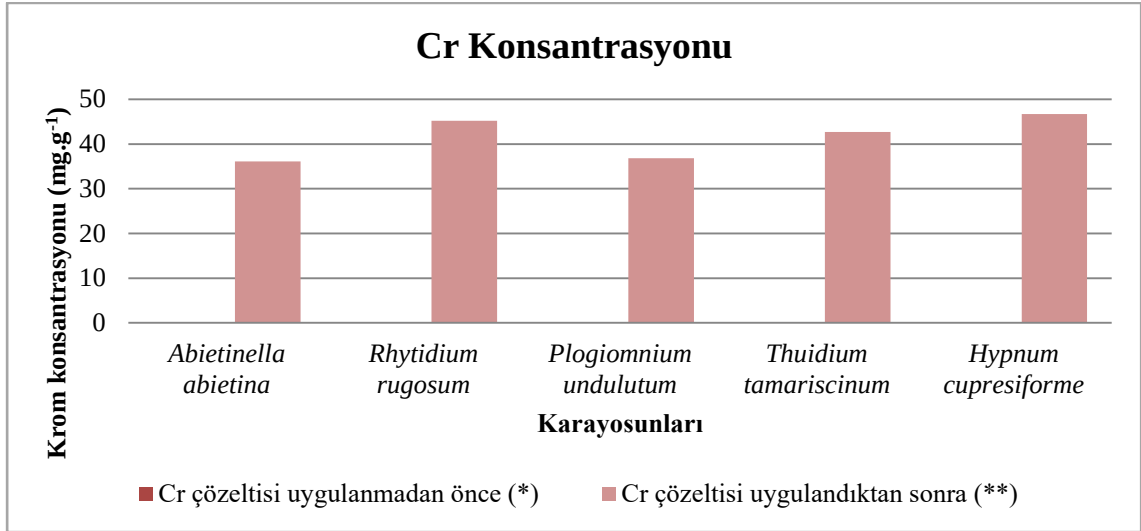
Şekil 8 ve Tablo 6 incelendiğinde çözelti uygulanmadan önce karayosunu örneklerinde Cd konsantrasyonuna rastlanmamıştır. Çözelti uygulandıktan sonra örneklerdeki Cd konsantrasyonunun $5,9 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $15,2 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu tespit edildi. Denklem 1 deki formül kullanılarak en çok kadmiyum ağır metalini $\%1,3.10^3$ değeri ile *Plagionmium undatum* karayosununun tuttuğu bulundu.



Şekil 8. %0,5'lik Cd çözeltisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) ağır metal konsantrasyon değerleri

4.1.3. Krom (Cr) Konsantrasyonu

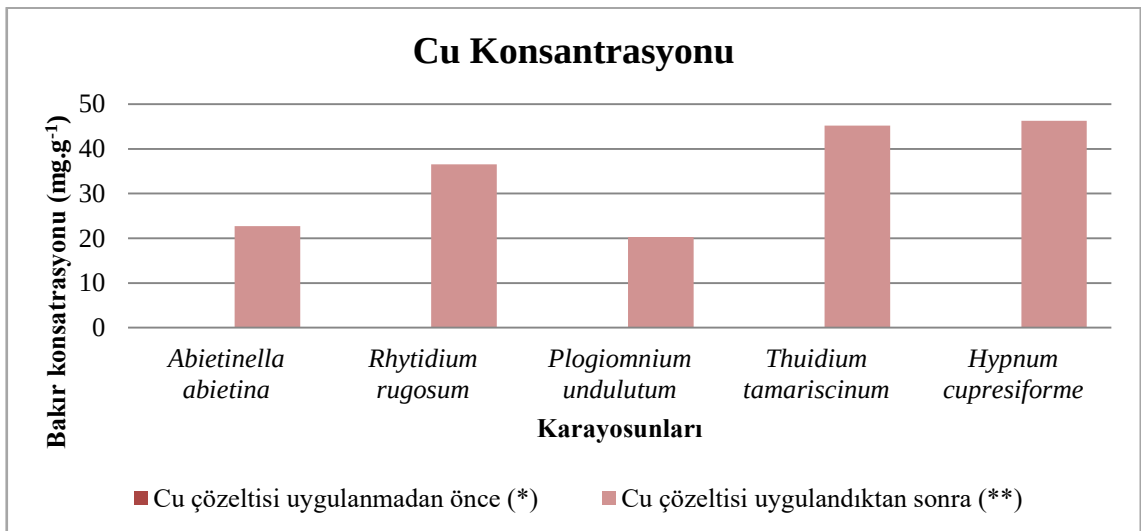
Şekil 9 ve Tablo 7 incelendiğinde çözelti uygulanmadan önce karayosunlarındaki Cr konsantrasyonunun $0,004 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $0,011 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu, çözelti uygulandıktan sonra $36,1 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $46,7 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu tespit edildi. Denklem 1 deki formül kullanılarak en çok krom ağır metalini $\%1,1.10^6$ değeri ile *Rhytidium rugosum* karayosununun tuttuğu bulundu.



Şekil 9. %0,5'lik Cr çözeltisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) ağır metal konsantrasyon değerleri

4.1.4. Bakır (Cu) Konsantrasyonu

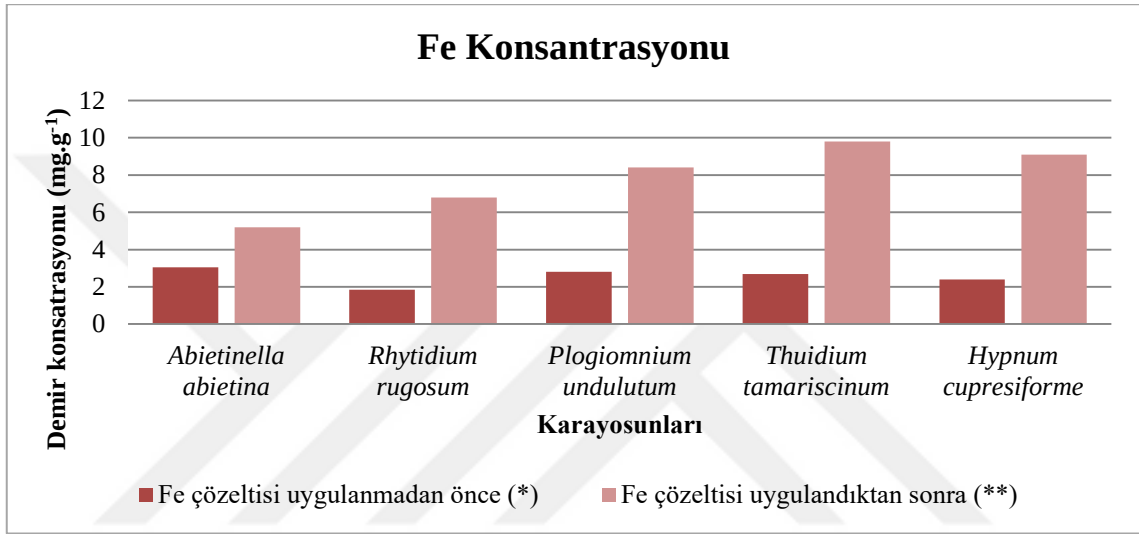
Şekil 10 ve Tablo 8 incelendiğinde çözelti uygulanmadan önce karayosunlarındaki Cu konsantrasyonunun $0,007 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $0,039 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu, çözelti uygulandıktan sonra $20,3 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $46,3 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu tespit edildi. Denklem 1 deki formül kullanılarak en çok bakır ağır metalini $5,6 \cdot 10^5$ değeri ile *Thuidium tamariscinum* karayosununun tuttuğu bulundu.



Şekil 10. %0,5'lik Cu çözeltisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) ağır metal konsantrasyon değerleri

4.1.5. Demir (Fe) Konsantrasyonu

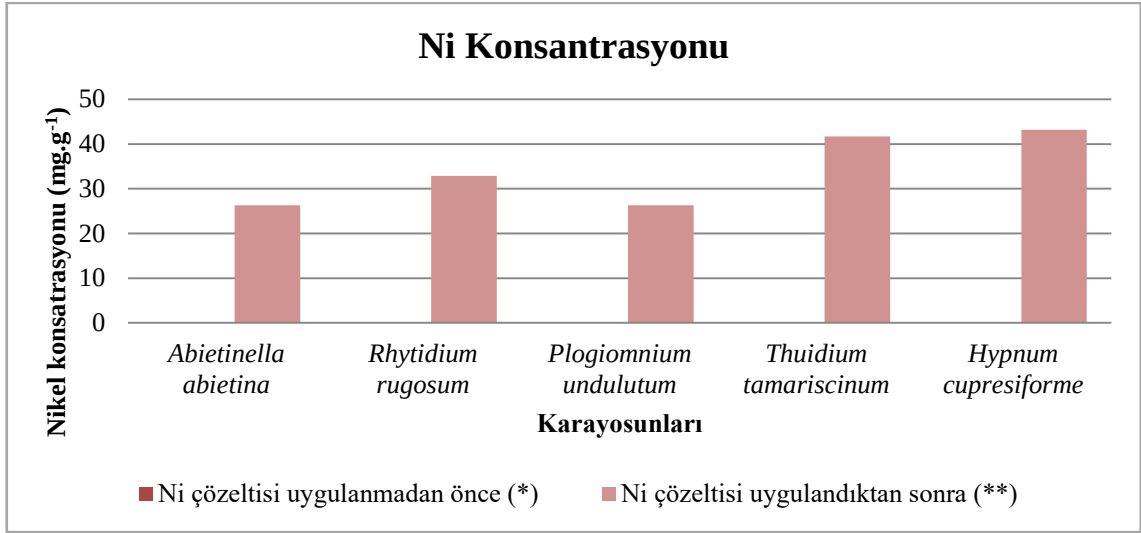
Şekil 11 ve Tablo 9 incelendiğinde çözelti uygulanmadan önce karayosunlarındaki Fe konsantrasyonunun $1,70 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $3,04 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu, çözelti uygulandıktan sonra $5,2 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $9,8 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu tespit edildi. Denklem 1 deki formül kullanılarak en çok demir ağır metalini $\%3.10^2$ değeri ile *Rhytidium rugosum* karayosununun tuttuğu bulundu.



Şekil 11. %0,5'lik Fe çözeltisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) ağır metal konsantrasyon değerleri

4.1.6. Nikel (Ni) Konsantrasyonu

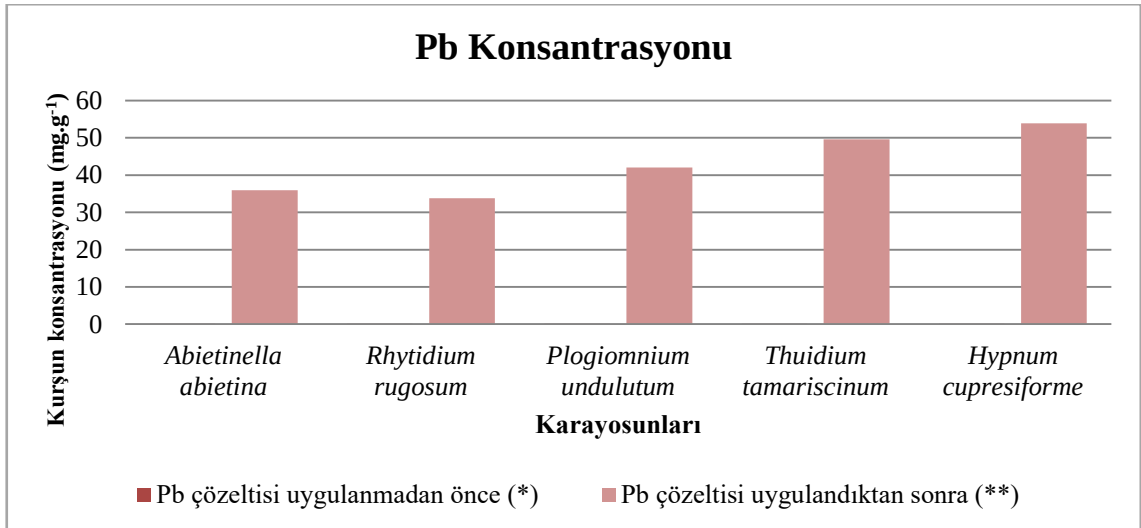
Şekil 12 ve Tablo 10 incelendiğinde çözelti uygulanmadan önce karayosunlarındaki Ni konsantrasyonunun $0,003 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $0,005 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu, çözelti uygulandıktan sonra $26,3 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $43,2 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu tespit edildi. Denklem 1 deki formül kullanılarak en çok nikel ağır metalini $\%1,3.10^6$ değeri ile *Thuidium tamariscinum* karayosununun tuttuğu bulundu.



Şekil 12. %0,5'lik Ni çözeltisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) ağır metal konsantrasyon değerleri

4.1.7. Kurşun (Pb) Konsantrasyonu

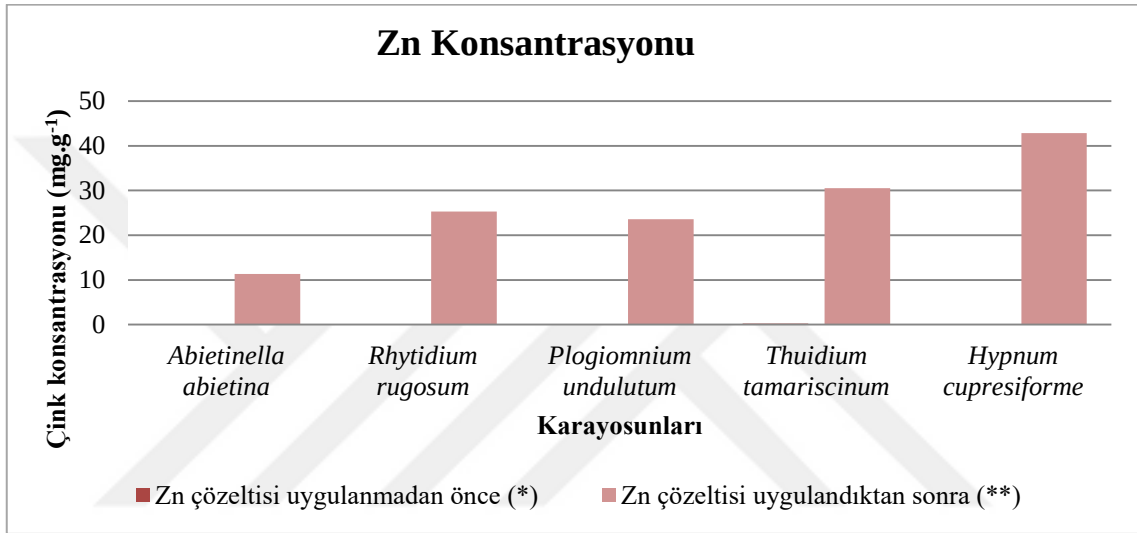
Şekil 13 ve Tablo 11 incelendiğinde çözelti uygulanmadan önce karayosunlarındaki Pb konsantrasyonunun $0,003 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $0,006 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu, çözelti uygulandıktan sonra $33,8 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $53,9 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu tespit edildi. Denklem 1 deki formül kullanılarak en çok kurşun ağır metalini $\%1,7.10^6$ değeri ile *Hypnum cupressiforme* karayosununun tuttuğu bulundu.



Şekil 13. %0,5'lik Pb çözeltisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) ağır metal konsantrasyon değerleri

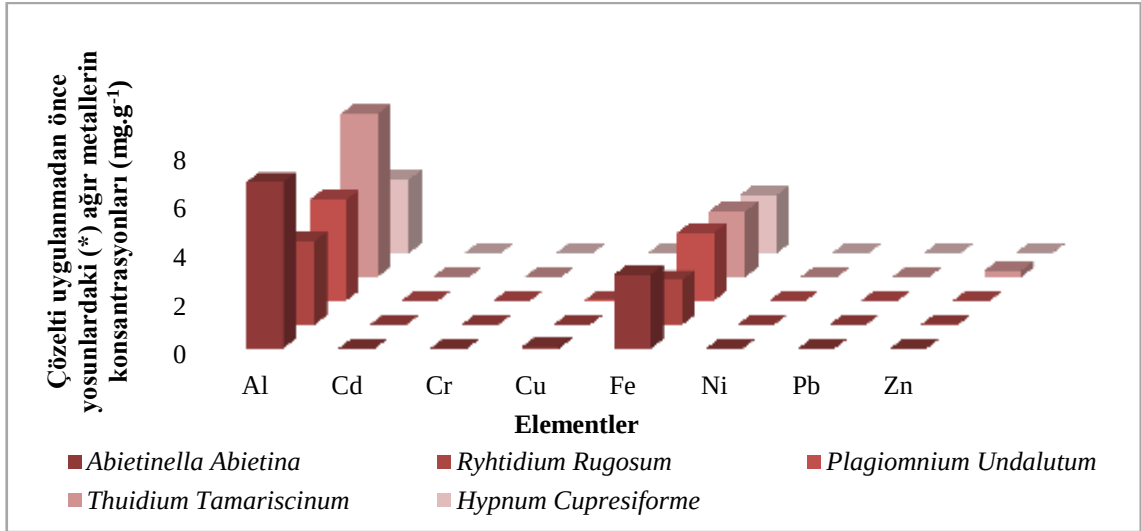
4.1.8. Çinko (Zn) Konsantrasyonu

Şekil 14 ve Tablo 12 incelendiğinde çözelti uygulanmadan önce karayosunlarındaki Zn konsantrasyonunun $0,014 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $0,267 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu, çözelti uygulandıktan sonra $11,4 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $42,8 \text{ mg.g}^{-1}$ aralığında bulunduğu tespit edildi. Denklem 1 deki formül kullanılarak en çok çinko ağır metalini $\%1,7.10^5$ değeri ile *Hypnum cupressiforme* karayosununun tuttuğu bulundu.

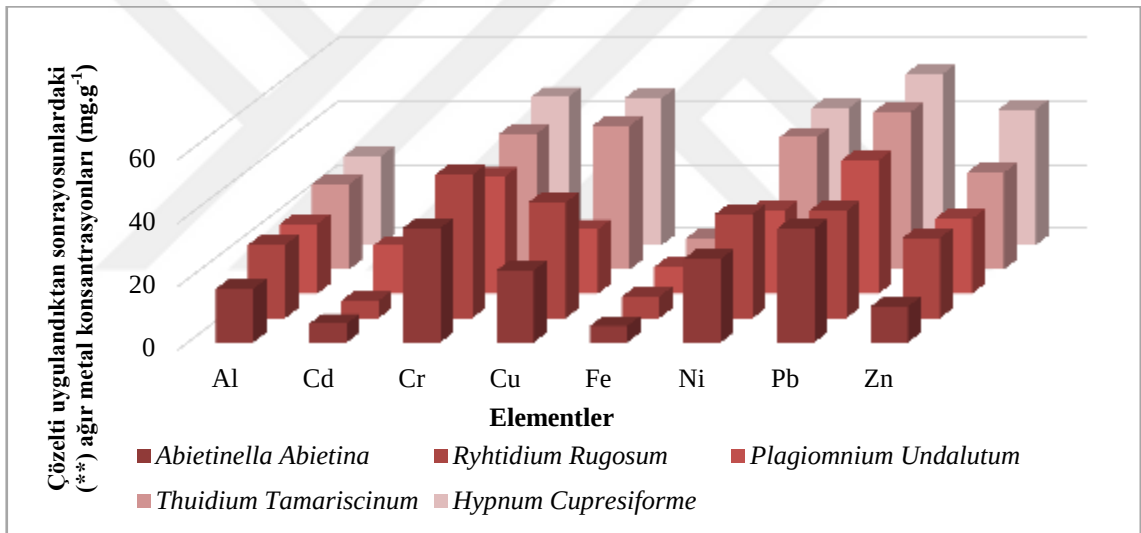


Şekil 14. %0,5'lik Zn çözeltisinin karayosunlarına uygulanmadan önce (*) ve uygulandıktan sonra (**) ağır metal konsantrasyon değerleri

Bu çalışmada *Abietinella abietina*, *Rhytidium rugosum*, *Plagiomnium undulatum*, *Thuidium tamariscinum*, *Hypnum cupressiforme* karayosunlarına %0,5 lik Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni ve Pb çözeltisi uygulanmadan önce elde edilen konsantrasyon değerleri Şekil 15'te, % 0,5 lik ağır metal çözeltisi uygulandıktan sonra elde edilen ağır metal konsantrasyon değerleri Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 15. % 0,5 lik ağır metal çözeltisi uygulanmadan önce elde edilen ağır metal konsantrasyon değerleri



Şekil 16. % 0,5 lik ağır metal çözeltisi uygulandıktan sonra elde edilen ağır metal konsantrasyon değerleri

Tablo 14'te, bu çalışmadaki karayosunlarına %0,5'lik Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni ve Pb çözelti uygulanmadan önce elde edilen ortalama ağır metal konsantrasyon değerleri ile karayosunu örneklerinde ağır metal düzeylerinin belirlendiği bazı çalışmalarda elde edilen veriler kıyaslanmıştır.

Tablo 14. Karayosunu örneklerinde ağır metal düzeylerinin belirlendiği bazı çalışmalar

	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Macaristan (Otvos vd., 2003)	-	0,9	2,8	11,8	2070	5	19,5	52
Finlandiya (Poikolainen vd., 2004)	-	0,12	1,25	3,96	259	1,83	3,37	28,8
Norveç (Torunn ve Steinnes, 1997)	-	0,19	2,6	7	660	3,6	8,6	45
Almanya (Rühling, 1994)	305	0,21	-	7,12	341	1,13	4,6	41
Polonya (Herpin vd., 1996)	-	0,44	1,5	7,6	362	1,4	13,6	43
Çek Cumhuriyeti (Buse vd., 2003)	-	0,31	1,38	7,2	399	1,9	11	43
Slovakya (Buse vd., 2003)	-	0,26	2,83	17,1	1100	2,3	8,3	47,7
Litvanya (Buse vd., 2003)	-	0,19	1,31	5,8	576	1,8	11,4	39,2
Rusya (Buse vd., 2003)	-	0,29	1,41	5,3	487	2	4,4	38,5
İsveç (Buse vd., 2003)	-	0,19	0,57	4,5	182	1,1	6	39,9
Romanya (Cucu-Man vd., 2004)	3290	0,44	6,2	10,6	2020	4,2	14	36
Bu Çalışma, 2018	4832	te	5,8	14,4	2524	3,6	3,8	69

Tablo 14 incelendiğinde bu çalışmada karayosunlarında elde edilen ortalama Alüminyum değeri $4832 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer Almanya ve Romanya da yapılan çalışmalarda bulunan değerden yüksektir.

Bu çalışmada %0,5'lik kadminyum çözeltisi uygulanmadan önce kadminyum ortalama değeri tespit edilememiştir. Ancak diğer ülkelerde yapılan çalışmalara bakıldığında az da olsa kadminyum ağır metale rastlanmıştır.

Bu çalışmada %0,5'lik krom çözeltisi uygulanmadan önce karayosunlarındaki ortalama krom değeri $5,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer Romanya da yapılan çalışmalarda bulunan değerden düşük, Tablo 14'deki diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda elde edilen krom değerinden yüksektir.

Bu çalışmada %0,5'lik bakır çözeltisi uygulanmadan önce karayosunlarındaki ortalama bakır değeri $14,4 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer Slovakya'da yapılan çalışmalarda bulunan değerden düşük Tablo 14'deki diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda elde edilen bakır değerinden yüksektir.

Bu çalışmada %0,5'lik demir çözeltisi uygulanmadan önce karayosunlarındaki ortalama demir $2524 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer Tablo 14'deki diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda elde edilen demir değerinden yüksektir.

Bu çalışmada %0,5'lik nikel çözeltisi uygulanmadan önce karayosunlarındaki ortalama nikel $3,6 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer Romanya ve Macaristan'da yapılan çalışmalardan düşük, Tablo 14'deki diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda elde edilen nikel değerinden yüksektir.

Bu çalışmada %0,5'lik kurşun çözeltisi uygulanmadan önce karayosunlarındaki ortalama kurşun değeri $3,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer Finlandiya'da yapılan çalışmalardan yüksek, Tablo 14'deki diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda elde edilen kurşun değerinden düşüktür.

Bu çalışmada %0,5'lik çinko çözeltisi uygulanmadan önce karayosunlarındaki ortalama çinko değeri $69 \mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer Tablo 14'deki ülkelerde yapılan çalışmalarda elde edilen çinko değerinden yüksektir.

WHO'nun bitkilerde kabul ettiği alüminyum sınır değeri $490 \mu\text{g.g}^{-1}$ dir (Aslanhan, 2012). Bu çalışmada ortalama alüminyum değeri $4832 \mu\text{g.g}^{-1}$ bulunmuştur. Bu değer bitkiler için belirlenen alüminyum konsantrasyonunun üzerindedir.

FAO/ WHO'nun bitkilerde kabul ettiği kadminyum sınır değeri $0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ dir (Özkan, 2017). Bu çalışmada ortalama kadminyum değeri tespit edilememiştir.

FAO/ WHO'nun bitkilerde kabul ettiği krom sınır değeri $0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ dir (Özkan, 2017). Bu çalışmada ortalama krom değeri $5,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ bulunmuştur. Bu değer bitkiler için belirlenen krom konsantrasyonunun üzerindedir.

FAO/ WHO'nun bitkilerde kabul ettiği bakır değeri $5 \mu\text{g.g}^{-1}$ dir (Özkan, 2017). Bu çalışmada ortalama bakır değeri $14,4 \mu\text{g.g}^{-1}$ bulunmuştur. Bu değer bitkiler için önerilen bakır değerinin üzerindedir.

FAO/ WHO'nun bitkilerde kabul ettiği demir değeri 30 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dir (Özkan, 2017). Bu alışma da ortalama demir değeri 2524 $\mu\text{g.g}^{-1}$ bulunmuştur. Bu değer bitkiler için belirlenen demir değerinin üzerindedir.

FAO/ WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Nikel değeri 5 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dir (Özkan, 2017). Bu alışma da ortalama nikel değeri 3,6 $\mu\text{g.g}^{-1}$ bulunmuştur. Bu değer bitkiler için belirlenen nikel değerinin altındadır.

FAO/ WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Kurşun değeri 2 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dir (Özkan, 2017). Bu alışma da ortalama kurşun değeri 3,8 $\mu\text{g.g}^{-1}$ bulunmuştur. Bu değer bitkiler için önerilen kurşun değerinin üzerindedir.

FAO/ WHO'nun bitkilerde kabul ettiği çinko değeri 50 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dir (Özkan, 2017). Bu alışma da bulunan ortalama çinko değeri 69 $\mu\text{g.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer bitkiler için önerilen çinko değerinin üzerindedir.

Sonuç olarak; yapılan bu çalışmada kullanılan karayosunlarının ağır metal tuttukları gözlenmiştir. Ölçümler sonucunda; *Abietinella abietina* en fazla kurşun, en az demir ağır metalinin tutmuştur. Sırasıyla; Pb ($1,2 \cdot 10^6 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cr ($7,2 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)> Ni ($6,5 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cu ($2,8 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Zn ($6,3 \cdot 10^4 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cd ($5,9 \cdot 10^2 \text{ mg.g}^{-1}$)>Al ($1,4 \cdot 10^2 \text{ mg.g}^{-1}$)>Fe ($71,05 \text{ mg.g}^{-1}$) bulunmuştur. *Ryhtidium rugosum* en fazla kurşun, en az demir ağır metalini tutmuştur. Sırasıyla Pb ($1,2 \cdot 10^6 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cr ($1,1 \cdot 10^6 \text{ mg.g}^{-1}$)>Ni ($1,0 \cdot 10^6 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cu ($5,2 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Zn ($1,1 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Al ($5,7 \cdot 10^2 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cd ($5,5 \cdot 10^2 \text{ mg.g}^{-1}$)> Fe (300 mg.g^{-1}) bulunmuştur. *Plagiomniun undulatum* en fazla kurşun, en az demir ağır metalini tutmuştur. Sırasıyla; Pb ($1,0 \cdot 10^6 \text{ mg.g}^{-1}$)>Ni ($8,7 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)> Cr ($7,3 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)> Zn ($1,6 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cu ($5,1 \cdot 10^4 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cd ($1,5 \cdot 10^3 \text{ mg.g}^{-1}$)>Al ($4,3 \cdot 10^2 \text{ mg.g}^{-1}$)>Fe ($203,57 \text{ mg.g}^{-1}$) bulunmuştur. *Thuidium tamariscinum* en fazla nikel, en az demir ağır metalini tutmuştur. Sırasıyla; Ni ($1,3 \cdot 10^6 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cr($1,0 \cdot 10^6 \text{ mg.g}^{-1}$)>Pb ($8,2 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cu ($5,6 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Zn ($1,1 \cdot 10^4 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cd ($1,1 \cdot 10^3 \text{ mg.g}^{-1}$)>Al ($3,0 \cdot 10^2 \text{ mg.g}^{-1}$)>Fe ($264,31 \text{ mg.g}^{-1}$) bulunmuştur. *Hypnum cupressiforme* en fazla kurşun, en az demir ağır metalini tutmuştur. Sırasıyla; Pb ($1,7 \cdot 10^6 \text{ mg.g}^{-1}$)>Ni ($8,6 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cu ($4,6 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Cr ($4,2 \cdot 10^5 \text{ mg.g}^{-1}$)>Zn

$(1,7.10^5 \text{ mg.g}^{-1}) > \text{Cd} \ (1,1.10^3 \text{ mg.g}^{-1}) > \text{Al} \ (8,2.10^2 \text{ mg.g}^{-1}) > \text{Fe} \ (280,75 \text{ mg.g}^{-1})$ bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmada *Abietinella abietina*, *Ryhtidium rugosum*, *Plagiomniun undulatum*, ve *Hypnum cupressiforme* karayosunları en fazla kurşun ağır metalini tuttukları gözlenmiştir. Kurşun ağır metalinin neden olduğu kirliliklerde *Abietinella abietina*, *Ryhtidium rugosum*, *Plagiomniun undulatum*, ve *Hypnum cupressiforme* karayosunları kullanılarak kirlilik en aza indilebilir. *Thuidium tamariscinum* karayosunu en fazla nikel ağır metalini tuttuğu gözlenmiştir. Nikel ağır metalinin neden olduğu kirliliklerde *Thuidium tamariscinum* karayosunu kullanılabilir. Bu nedenle karayosunları türlerine göre kirliliğin olduğu bölgelerde yetişir ise kirliliğin büyük oranda azalacağı düşünülmektedir.

5. ÖNERİLER

Karayosunları biyomonitör çalışmalarda elverişli bitkilerdir. Bu yüzden kirliliğin olduğu bölgelerde kullanılmaları ağır metal düzeylerinin belirlenmesinde ve azaltılmasında yardımcı olabilir.

Bu çalışmada *Abietinella abietina*, *Rhytidium rugosum*, *Plagiomnium undalutum*, *Thuidium tamariscinum*, *Hypnum cupressiforme* karayosunları kullanılmıştır. Farklı tür karayosunları da kullanılarak ağır metal tutma kapasiteleri ölçülebilir. Aynı zamanda bu çalışmada *Abietinella abietina*, *Rhytidium rugosum*, *Plagiomnium undalutum*, *Thuidium tamariscinum*, *Hypnum cupressiforme* karayosunlarına ağır metaller on gün boyunca uygulandı. Ağır metal uygulama gün sayısı arttırılarak ölçümlerde nasıl bir değer değişikliği olacağı gözlemlenebilir. Bu çalışmada %0,5'lik Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni ve Pb ağır metal çözeltileri uygulandı. Bu ağır metal çözeltileri farklı derişimlerde hazırlanıp uygulanarak aradaki tutma miktarları hesaplanıp karşılaştırılabilir. Ayrıca farklı metaller de kullanılarak benzer çalışmalar tekrarlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abay, G. ve Kamer, D., 2010.** Biyoçeşitliliğimizin Az Bilinen Bileşenleri “Bryofitler”. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Çankırı, 20-22 Mayıs, 1115- 1125.
- Akgüç, N., 2007.** Muğla İlinde Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti İçin *Pyracantha coccinea* Roem. (*Rosaceae*) 'nın Biyomonitor Olarak Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 94 s., 4.
- Altuner, E.M., 2008.** Bazı Karayosunu Türlerinin Antimikrobiyal Aktivitesinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, Ankara, 300 s., 5.
- Aslanhan, E., 2012.** Çevresel Kirliliklerin Takibinde Kullanılacak Yeni Biyomonitör Bitkiler. Yüksek Lisans Tezi. Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, Kırşehir, 94 s., 15.
- Batan, N., 2008.** Artvin İli Karayosunu Florası. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 194 s., 10.
- Bekiaroglou, P. and Karataglis, S., 2002.** The effect of lead and zinc on *Mentha spicata*. Journal of Agronomy Crop Science, 188, 201-205. DOI: 10.1046/j.1439-037X.2002.00559x.
- Brown, D.H. and Bates, J.W., 1990.** Bryophyte and nutrient cycling. Botanical Journal of the Linnean Society, 104, 129-147. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1990.tb02215.x
- Bobak, M., 1985.** Ultrastructure changes of the nucleus and its components in meristematic root cells of the horse-bean after zinc intoxication. Plant Physiology, 15, 31–36.
- Buse, A., Norris, D., Harmens, D., Büker, P., Ashenden, T. and Mills, G., 2003.** Heavy Metal Concentrations in European Mosses: 2000/2001 Survey. Journal of Atmospheric Chemistry, 49, 425- 436. DOI: 10.1007/s10874-004-1257-0
- Cucu-Man, S., Mocanu, R., Culcov, O., Steinnes, E. and Frontasyeva, M., 2004.** Atmospheric Deposition of Metals in Romania Studied by Biomonitoring Using the Epiphytic Moss *Hypnum cupressiforme*. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 84, 845-854. DOI: 10.1080/0306731042000268152
- Couto, J.A., Fernández, J.A., Aboal, J.R. and Carballeira, A., 2004.** Active biomonitoring of element uptake with terrestrial mosses a comparison of bulk and dry deposition. The Science of the Total Environment, 324, 211-222.
- De Jonghe, W.R.A. and Adams, F.C., 1982.** Biogeochemical cycling of organic lead compounds, Ecotoxicology, 595, 561-593.

- Herpin, U., Berlekamp, J., Markert, B., Wolterbeek, B., Grodzinska, K., Siewers, U., Lieth, H. and Weckert, V., 1996.** The distribution of heavy metals in a transect of the three states the Netherlands, Germany and Poland, determined with the aid of moss monitoring, *The Science of the Total Environment*, 187, 185- 198. DOI: 10.1016/0048-9697(96)05141-8
- Kabata-Pendias, A. and Dudka, S., 1991.** Trace Metal Contents of *Taraxacum officinale* (dandelion) As a Convenient Environmental Indicator. *Environmental Geochemistry and Health* Springer Netherlands, 13, 108-113. DOI: 10.1155/2016/9842987
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A.B., 2007.** Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1 st edition, ISBN: 978-3-540-32713-4, 550 s., 87- 449.
- Keser, G., 2005.** *Nasturtium officinale* R. Br.'de Kurşunun Strese Bağlı Enzimlerin Aktivitelerine, Gelişmeye, Mineral ve Klorofil İçeriğine Etkileri. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 95 s., 2.
- Koz, B., 2007.** Sarp-Samsun Sahil Karayolu Çevresindeki Karayosunu ve Likenlerde Element Analizi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 117 s., 81.
- Koz, B., 2018.** Ağır Metal Analizlerinde Kullanılan Bazı Karayosunu Türlerinin Demir Absorblama Yetenekleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8, 216- 226. DOI: 10.31466/kfbd.471096.
- Markert, B.A., Breure, A.M. and Zechmeister, H.G., 2003.** Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. *Bioindicators and biomonitors*, 1, 3-39.
- Otvos, E., Pazmandi, T. and Tuba, Z., 2003.** First national survey of atmospheric heavy metal deposition in Hungary by the analysis of mosses. *The Science of the Total Environment*, 309, 151–160.
- Özkan, A., 2017.** Antakya-Cilvegözü Karayolu Etrafındaki Tarım Arazilerinde ve Bitkilerdeki Ağır Metal Kirliliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32, 9-18.
- Poikolainen, J., Kubin, E., Piispanen, J. and Karhu, J., 2004.** Atmospheric heavy metal deposition in Finland during 1985–2000 using mosses as bioindicators. *Science of the Total Environment*, 318, 171-185. DOI: 10.1016/S0048-9697(03)00396-6.
- Rühling, A. and Tyler, G., 1968.** An ecological approach to the lead problem. *Botaniska Notiser*, 122, 248-342. DOI: 10.12691/env-4-2-1
- Rühling, A., 1994.** Atmospheric heavy metal deposition in Europe. *Selected Papers from the 3rd International Symposium, Poland, 12-16 September*, 1- 53.

- Saygıdeğer, S., 1995.** *Lycopersicum esculentum* bitkisinin çimlenmesi ve gelişimi üzerine kurşunun etkileri. II. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara, 11-13 Eylül, 588-597.
- Sharma, P. and Dubey, R.S., 2005.** Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 35-52.
- Torunn, B. and Steinnes, E., 1997.** Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey. *Science of the Total Environment*, 208, 197- 206. DOI: 10.1016/S0048-9697(97)00253-2.
- Uğuz, U., 2007.** Karabük Demir Çelik İşletmeleri (Kardemir)'in Çevrede Oluşturduğu Ağır Metal Birikiminin Biyomonitör Olan Karayosunları (Mosses) Üzerinden Araştırılması. *Bilim Uzmanlığı Tezi*. Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye, 71 s., 41.
- URL-1, 2018.** <http://cevreonline.com/hava-kirliligi/> (12 Ekim 2018).
- URL-2, 2018.** https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (13 Ekim 2018).
- URL-3, 2018.** <http://www.diyadinnet.com/YararliBilgiler-1318> (14 Ekim 2018).
- URL-4, 2018.** <http://www.dersimiz.com/bilgibankasi/ALUMINYUM-ELEMENTI-VE KULLANIM-ALANLARI-HAKKINDA-BILGI-371.html> (25 Ekim 2018).
- URL-5, 2018.** <http://www.harmantime.com.tr/haber/cay-aluminyum-akumulator-bitkidir> (25 Ekim 2018).
- URL-6, 2018.** <http://biyologlar.com/karayosunlari> (30 Ekim 2018).
- URL-7, 2017.** https://species.wikimedia.org/wiki/Abietinella_abietina (11 Kasım 2017).
- URL-8, 2017.** <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=rhru70> (11 Kasım 2017)
- URL-9, 2017.** https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/4946/tab/taxo?lg=en (11 Kasım 2017).
- URL-10, 2017.** https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/5426/tab/taxo (11 Kasım 2017).
- URL-11, 2017.** https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/6033/tab/taxo (11 Kasım 2017).
- Vural, N., 2005.** Toksikoloji. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi yayınları, yayın no: 73, ISBN: 975-482-289-1, 659 s., 210.
- Wolterbeek, H.T., 2002.** Biomonitoring of trace element air pollution: Principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution*. 120, 11- 21. DOI: 10.1016/S0269-7491(02)00124-0.

- Yalçın, V., 2014.** Bazı Ağır Metallerin (Pb, Cd, Ni) Sucul Bitkiler (*Salvinia natans* (L.) All., *Lemna minor* L.) Üzerinde Yaptığı Stres ve Biyolojik Yanıtlar. Yüksek Lisans Tezi. Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, Türkiye, 95 s., 11.
- Yaşar, Ü., 2009.** *Cercis Siliquastrum* L. Subsp. *Siliquastrum* (Fabaceae)' un Ağır Metal Kirliliğinde Biyomonitör Olarak Kullanımı. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 135 s., 38.



ÖZGEÇMİŞ

Merve BAŞ, 13/10/1989 tarihinde Trabzon’da doğdu. İlköğretimini 2003 yılında Trabzon ilinin Ortahisar ilçesinde bulunan İskender Paşa İlköğretim Okulunda ve Ortaöğretimini 2006 yılında Trabzon ilinin Ortahisar ilçesinde bulunan Trabzon Lisesi’nde tamamladı. 2007 yılında başladığı Lisans eğitimini 2011 yılında Rize Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü ikincilikle tamamladı. 2012 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Fizik Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi’nde Fizik Öğretmenliği Pedagojik Formasyon Eğitimi tamamladı. Orta derecede ingilizce bilmektedir.