

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DİSİPLİNLERARASI ÇEVRE SAĞLIĞI ANABİLİM DALI



**SİNOP'TA DOĞAL YAYILIŞ GÖSTEREN REZENE (*Foeniculum
vulgare* MILL.) BİTKİSİNİN ÇEVRE KİRLİLİĞİ İLE
MÜCADELEDE FİTOREMEDİASYON POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

ENES FURKAN YAVAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖMER ELKIRAN

SİNOP - 2024

TEZ KABUL

ENES FURKAN YAVAŞ tarafından hazırlanan **SİNOP'TA DOĞAL YAYILIŞ GÖSTEREN REZENE (*Foeniculum vulgare* MILL.) BİTKİSİNİN ÇEVRE KİRLİLİĞİ İLE MÜCADELEDE FİTOREMEDİASYON POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ** başlıklı bu çalışma 31.01.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Doç. Dr. Aysel VEYİSOĞLU
Sinop Üniversitesi / Sağlık Hizmetleri MYO

İmza

**Üye
(Danışman)**

Dr. Öğr. Üyesi Ömer ELKIRAN
Sinop Üniversitesi / Sağlık Hizmetleri MYO

İmza

Üye

Doç. Dr. Azize DEMİRPOLAT
Bingöl Üniversitesi / Gıda, Tarım ve Hayvancılık MYO

İmza

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Fadime DİRİK

.....

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

ENES FURKAN YAVAŞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNOP'TA DOĞAL YAYILIŞ GÖSTEREN REZENE (*Foeniculum vulgare* MILL.) BİTKİSİNİN ÇEVRE KİRLİLİĞİ İLE MÜCADELEDE FİTOREMEDİASYON POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

ENES FURKAN YAVAŞ

SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DISİPLİNLERARASI ÇEVRE SAĞLIĞI ANABİLİM DALI
DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖMER ELKIRAN

Bu çalışmada Sinop ilinde doğal yayılış gösteren Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) bitkisinin fitoremediasyon potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Rezene bitkisinin fitoremediasyon potansiyellerini değerlendirmek amacıyla bitkilerin kök, gövde, yaprak ve kök bölgesi topraklarında metal analizleri (Zn, Mn, Cu ve Fe) gerçekleştirilmiştir. ICP-MS cihazı kullanılarak ağır metal konsantrasyonları elde edilmiş ve biyoakümülyasyon faktörü (BAF), zenginleştirme faktörü (ZF) ve translokasyon faktörü (TF) değerleri hesaplanmış ve bitkiler fitostabilizasyon ve fitoekstraksiyon kabiliyetleri yönünden değerlendirilmiştir. Jeo birikim indeksi kullanılarak ise alınan toprak örneklerinin kirlilik düzeyleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; Mn ve Cu ağır metallerinin BAF, TF ve ZF değerleri sınır değer olan 1'den yüksek bulunmuş ve rezene bitkisinin bu iki ağır metal için fitoekstraksiyon yönteminde kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Cu ve Mn elementlerinin analiz sonuçlarına göre bitkini topraktan birikim ve taşınma yapması bu elementler için rezene bitkisinin hiperakümülatör potansiyelinin olduğunu göstermektedir. Fe ağır metalinin ise alınan örneklerde en çok birikim yapan element olduğu görülürken topraktan alınan miktarın büyük çoğunluğunun köklerde tutulduğu görülmüştür. BAF değerinin çok yüksek oranlarda olduğunu da göz önüne alırsak Fe elementi için “fitoekstraktör” ve “fitostabilizatör” olduğunu söyleyebiliriz. Analiz sonuçlarına göre kullandığımız parametreler ile hesaplamalarda, rezene bitkisinin Zn elementi açısından “fitoekstrakte potansiyeli” (akümülatör veya hiperakümülatör) olabileceği tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Fitoremediasyon; Hiperakümülatör; ICP-MS; Sinop.

Ocak 2024, 57 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DETERMINATION OF THE PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF FENNEL (*Foeniculum vulgare* MILL.) PLANT, NATURALLY DISTRIBUTED IN SINOP, IN FIGHTING AGAINST ENVIRONMENTAL POLLUTION

ENES FURKAN YAVAŞ

**SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARTMENT OF INTERDISCIPLINARY ENVIRONMENTAL HEALTH
SUPERVISOR:ASSIST. PROF. ÖMER ELKIRAN**

In this study, the phytoremediation potential of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), which naturally occurs in Sinop province, has been investigated. To assess the phytoremediation potentials of fennel, metal analyses (Zn, Mn, Cu, and Fe) were conducted in the roots, stems, leaves, and root zone soils of the plants. Heavy metal concentrations were obtained using an ICP-MS device, and bioaccumulation factor (BAF), enrichment factor (EF), and translocation factor (TF) values were calculated. The plants were evaluated for their phytostabilization and phytoextraction capabilities based on these factors. The pollution levels of the soil samples were determined using the Geoaccumulation Index. The results of the study revealed that the BAF, TF, and EF values for Mn and Cu heavy metals were higher than the threshold value of 1, suggesting that fennel could be utilized in the phytoextraction method for these two heavy metals. According to the analysis results of Cu and Mn elements, the accumulation and translocation of these elements from the soil indicate the hyperaccumulator potential of fennel for these metals. While Fe was identified as the element with the highest accumulation in the samples, the majority of the extracted amount from the soil was found to be retained in the roots. Considering the significantly high BAF value, it can be concluded that fennel acts as a "phytoextractor" and "phytostabilizer" for Fe. Furthermore, based on the parameters used in the calculations and the analysis results, the study suggests that fennel has the "phytoextractor potential" (accumulator or hyperaccumulator) for the Zn element.

KEYWORDS: Phytoremediation; Hyperaccumulator; ICP-MS; Sinop.

Ocak 2024, 57 Sayfa

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, tüm destekleriyle yanımda olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Sayın Ömer ELKIRAN hocama ve yine bu süreçte destekçim olan ailem ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürü borç bilirim.

ENES FURKAN YAVAŞ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ KABUL	ii
ETİK BEYANI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ	1
1.1.Türkiye Florası.....	1
1.2.Apiaceae Familyasının Genel Özellikleri	1
1.3.Rezene (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.) Genel Özellikleri	2
1.4.Fitoremediasyon.....	4
1.4.1. Hiperakümülatör Bitki	6
1.4.2. Fitoremediasyon Tipleri.....	7
1.4.2.1 Fitoekstraksiyon (Bitkisel Özümleme)	7
1.4.2.2. Rizofiltrasyon (Köklerde Süzme)	8
1.4.2.3. Fitostabilizasyon (Köklerde Sabitleme).....	8
1.4.2.4. Fitovolatilizasyon (Bitkisel Buharlaştırma).....	8
1.4.2.5. Rizodegradasyon (Köklerde Bozunum).....	8
1.4.2.6. Fitodegradasyon.....	9
1.4.3 Fitoremediasyon avantajları ve dezavantajları	9
1.4.4. Fitoremediasyon yönteminin çevre kirliliği ile mücadelede ki önemi	10
1.5 Ağır Metaller.....	11
1.5.1 Bakır (Cu)	11
1.5.2 Demir (Fe).....	12
1.5.3 Mangan (Mn)	12
1.5.4 Çinko (Zn).....	12
1.6 Literatür Taraması.....	13

2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
2.1. Çalışma Bölgesinin (Sinop) Genel Coğrafik Özellikleri	16
2.2.Çalışma Materyallerinin Toplanması.....	19
2.3. ICP-MS Ölçümleri	19
2.4 Toprak Analizleri.....	21
2.5 Rezene Bitkisinin Fitoekstraksiyon Potansiyelinin ve Çalışma Alanı Toprak Örneklerinin Jeo Birikim (Igeo) İndeksinin Belirlenmesi	21
3.1. ICP-MS Ölçüm Sonuçları.....	24
3.2 Toprak Analiz Sonuçları.....	30
3.3 Jeo Birikim İndeksi (Igeo)	33
3.4 Biyoakümülyasyon Faktörü (BAF)	34
3.5 Translokasyon Faktörü (TF)	36
3.6 Zenginleştirme Faktörü (ZF)	37
3.7 Verilerin Değerlendirilmesi	37
4.ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	45

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1 USDA standartlarına göre rezene tohumlarının besin standartları	4
Tablo 1.2 Fitoremediasyon yöntemleri.....	7
Tablo 2.1 Sinop ilinin toprak yapısı dağılımı.....	17
Tablo 3.1 1 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak , b:gövde , c: kök	24
Tablo 3.2 2 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak, b:gövde, c: kök	24
Tablo 3.3 3 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak , b:gövde , c: kök	25
Tablo 3.4 4 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak , b:gövde , c: kök	25
Tablo 3.5 5 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak , b:gövde , c: kök.....	26
Tablo 3.6 6 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak , b:gövde , c: kök	26
Tablo 3.7 Sinop ilinde rezene bitkisi ile 6 farklı bölgede yaptığımız ICP-MS analiz sonuçları	27
Tablo 3.8 Farklı örnek alanlarında yetiştirilen huş bitkisinin yeşil aksam ve kök ağır metal (Cu, Zn, ve Pb) konsantrasyonları (n=7)	28
Tablo 3.9 Azolla caroliniana'nın (su eğrelti otu) yaptığı ağır metal birkimi.....	29
Tablo 3.10 1 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.....	30
Tablo 3.11 2 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.....	30
Tablo 3.12 3 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.....	30
Tablo 3.13 4 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.....	31
Tablo 3.14 5 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.....	31
Tablo 3.15 6 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.....	31
Tablo 3.16 Sinop ili merkezinde 10 farklı alandan alınan örneklerin toprak analizleri sonucunda Fe, Cu, Zn elementlerinin minimum, maximum ve ortalama değerleri.....	33
Tablo 3.17 Sinop ili merkezinde alınan rezene toprağının ağır metal konsantrasyonları.....	33

Tablo 3.18 Sinop ilinde alınan altı farklı bölgede ki rezene toprağının jeo birikim indekslerine göre kirlilik düzeyleri ve ağır metal dağılımı.....	34
--	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Rezene (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.) bitkisinin üst aksam ve tohum görüntüsü.....	3
Şekil 1.2 Fitoremediasyon Yöntemlerinin şematik gösterimi	5
Şekil 1.3 Hiperakümülatör bitki örnek gösterimi.....	7
Şekil 2.1 Sinop ilinin lokasyon haritası	16
Şekil 2.2 Sinop çevresinin toprak haritası	18
Şekil 2.3 Sinop bölgesinden alınan altı farklı rezene bitkisi ve toprağının harita gösterimi.....	19
Şekil 2.4 Sinop ilinde 6 farklı rezene (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.) bitkisinden alınan yaprak, gövde ve kök organları toz haline getirilmiş görüntüsü.....	20
Şekil 2.5 Sinop il merkezinde farklı lokasyonlardan bitkilerle beraber alınıp poşetlenen toprak örneklerinin görüntüsü.....	21
Şekil 3.1 Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin altı farklı örnekteki biyoakümülyasyon faktörü (BAF) değerleri.....	35
Şekil 3.2 Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin altı farklı örnekteki Translokasyon faktörü (TF) değerleri.....	36
Şekil 3.3 Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin altı farklı örnekteki zenginleştirme faktörü (ZF) değerleri.....	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Fe	: Demir
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
%	: Yüzde

Kısaltmalar

Ppb	: Parts per billion
Ppm	: Parts per million

1.GİRİŞ

1.1. Türkiye Florası

Türkiye, bitki çeşitliliği açısından önemli bir ülkedir. Farklı bitki türlerinin yetişmesi için ülkenin iklimi ve coğrafi konumu uygundur. Türkiye florası yaklaşık 12.000'den fazla bitki türü içerir ve bunların birçoğu endemiktir. Türkiye, Avrupa-Sibirya, Akdeniz ve İran-Turan üç farklı flora bölgesinin birleştiği yerdir. Türkiye, bu üç flora bölgesinin sınırları içinde kaldığından, endemik bitki taksonlarının gelişmesine yardımcı olur. Türkiye, öksin provensiyile Avrupa Sibirya bölgesini temsil eder. Bu saha kuzey anadoluyu ve kafkasların batı kısmını kapsar. "Doğu Akdeniz Provensi" olarak bilinen Akdeniz flora bölgesi, Türkiye'de İtalya'nın doğu yarısından Lübnan'a kadar uzanan ve batı Anadolu kıyılarından Trakya 'nın güneyinde Gelibolu yarımadasına kadar uzanan güney anadolu kıyılarını kapsar. İran Turan flora bölgesi, iç Anadolu ve doğu Anadolu platolarını kapsar. Sibirya flora bölgesi kuzeyden, Akdeniz flora bölgesi güneyden ve batıdan sınırlıdır (Şenkul ve Kaya, 2017).

1.2. Apiaceae Familyasının Genel Özellikleri

Apiaceae familyası kapalı tohumlu bitkiler arasındaki en geniş ve çeşitli yerlerde yayılım gösteren familyalardan biridir. Apiaceae familyası dünyada ekonomik öneme sahip önemli bitki familyalarındandır. Bu bitki familyası yıllardır ilaç, besin kaynağı, baharat ve hayvan yemi gibi birçok çeşitli alanda kullanılmıştır. Şizokarp meyveleri familyanın en tipik özelliklerinden biridir. Şizokarp, Yunanca "Schizei: bölünmek" ve "Karpas: meyve" kelimelerinin birleşmesinden oluşur ve kuru, kapalı, yarık bir meyve anlamına gelir. Apiaceae familyasının üyelerinin, aromatik bir kısmı zehirli ve otsu yapıda bitkilerdir fakat bazı türlerinde gövde odunsu yapıdadır. Gövde üzerlerinde büyüme bölgelerinin arasında kalan alan içi boş bir yapıdadır. Yaprakları parçalı şekilde olup, çiçekleri genellikle küçüktür ve dıştan içe doğru açarlar. Apiaceae familyasında ki türlerinde stamenler, pistilden önce olgunlaşır. Bu familyada stilusların tabanı şişkin şekildedir, familyanın özelliklerinden biri olan ve nektar salgılama yeteneği bulunan bu kısma stilopodyum denir. Meyve kısmı 1 tohumlu merikarplara ayrılan kuru şizokarptır (Topseçer, 2021). Apiaceae familyası, Türkiye Florası'nda tür sayısı bakımından sekizinci büyük familyadır (Avcı, 1993).

1.3. Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) Genel Özellikleri

Rezene (*Foeniculum vulgare*), *Foeniculum* cinsi içindeki en eski ve geçerli isim olan *Foeniculum* *Foeniculutn* Karsten tarafından adlandırılmıştır. Cambridge'de kabul edilen uluslararası kurallara göre, *Foeniculum vulgare* adı ilk olarak 1768'de “Gardeners Dictionary” sekizinci baskısında geçerli bir şekilde yayınlayan Philip Miller'a verilmelidir. Bu tarihten itibaren bu bitki *Foeniculum vulgare* Değirmeni olarak adlandırılmıştır (Badgujar, 2014). Rezene yani *Foeniculum vulgare* bitkisi, dünya çapında önemli bir tıbbi ve kokusal bitkidir. Rezene, *Umbelliferae* familyasının bir üyesidir ve doğal olarak Akdeniz iklim kuşağının bitkisi olmasına rağmen, birçok yerde yetişmiş ve kültürlerine dahil olmuştur (Çoban vd., 2019).

Hemen hemen her ülkede yetiştirilen ve *Umbelliferae* (*apiaceae*) familyasına ait olan bu bitki çok eski çağlardan beridir kullanılan hem lezzetli hem de şifalı bir bitkidir. 100'den fazla isimle anılmasına karşın evrensel olarak rezene olarak bilinir. Uzun yıllardır ilaç olarak kullanılmış geleneksel ve oldukça popüler bir bitkidir. Yapılan bazı çalışmalar; *F. vulgare*'nin bakteriyel, fungal, viral, mikobakteriyum ve protozoal kaynaklı çok sayıda bulaşıcı hastalığı etkin bir biçimde kontrol ettiğini kanıtlamıştır.

Rezene (*Foeniculum vulgare*) Türkiye'nin doğusu hariç diğer bölgelerinde doğal olarak yetişen bir baharat ve ilaç bitkisidir (Çoban ve vd., 2019). Türkiye'nin ihracatını yaptığı bitkilerin arasında yer almaktadır. (Dirican ve Telci, 2016). Ülkemizde çeşitli bölgelerde “meyane, rezane, razıyane” gibi adlarla da bilinen rezene (*Foeniculum vulgare*), tıbbi ve güzel kokulu bitki olarak eski zamanlardan günümüze kadar ulaşmıştır. Kullanım alanları arasında çoğunlukla çeşitli ekmekler, salatalar, peynirler ve likörler yer alır. Rezene bitkisinin kök ve tohum kısımları sebze veya çesni olarak tüketiminin dışında şekerleme endüstrisinde ve alkolsüz içeceklerde de kullanılmaktadır. Esas kullanılan kısmı kurutulmuş tohumları olan rezene bitkisinden ilaç ve baharat sanayisinde kullanımının yanında bitkisel çay olarak da yararlanılmaktadır. Rezene meyveleri karminatif, diuretik, laksatif, antiseptik, sedatif ve stimulant özelliklere sahiptir. Rezene meyvelerinden yapılan çaylar, emziren annelerin laktasyon süresin uzatır. Ayrıca rezene yaprağı tüketiminin süt arttırıcı etkisi olduğundan kadınlar tarafından da oldukça fazla tercih edilir (Coban ve vd. 2019). Yetişkinler de ve özellikle bebeklerde gaz sancılarını gidermekte önemli bir bitkidir (Şanlı , Karadoğan, ve Baydar, 2008).

Rezene, tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* var. *dulce*) ve acı rezene (*Foeniculum vulgare* var. *Vulgare*) olmak üzere iki farklı kültür varyetesi vardır. İki veya daha fazla yıllık, otsu bir yapıda olan acı rezene 1-1.5 metre boylarına ulaşabilen silindirik gövdeli, küçük sarı çiçekleri ve ipliğe benzeyen çok parçalı yaprakları olan bir bitkidir. Tohumları yeşile yakın kahverengi, yeşil veya kahverengi olabilmektedir (Şekil 1.1). Tatlı rezene ile acı rezene birbirine benzerdir. Tatlı rezene tek veya maksimum 2 yıllık olmakla birlikte acı rezeneye göre daha kısa boylanır. Sapları yuvarlak yapıda olanlar 1.5m'ye kadar uzamaktadır. Kök sistemleri kazık ve etli bir yapıdadır. Yaprakları koyu yeşil renginden mavimsi yeşile çeşitlilik gösteren gövdesinden uzar ve çok parçaya sahip ipliksi bir yapıdadır. Yaprakları, bitkinin gövdesinin alt kısımlarında saplı olmakta üst kısımlarında ise gövdenin üzerinde bulunmaktadır. Rezenenin çiçekleri ise sarı ve birbiri ile birleşik yapıdadır (Şekil 1.1). Rezenenin ekonomik açıdan değerlendirilen ihracatı yapılan kısmı tohumlarıdır. Tohumları 0.75 mm uzunluğunda olup eni ise 0.3 mm olmakta ve soluk yeşil veya soluk sarımsı kahverengi renklerdedir. Rezenenin tohumları enine böldüğümüzde arka yüzeyinde dört ve salgı kanalının bulunduğu birleşme noktasında iki uçucu yağ kanalı gözle görülebilir. Rezene bitkisinin tohumları uçucu ve sabit yağlar içerir. Bu bitkinin uçucu yağı %2-4 aralığında bulunup trans-anetol, limonen, d-fenkon, estregol, terpinen, pinen gibi 30'dan fazla bileşen barındırır. Tohumun kalitesini belirleyen ise trans-anetol ve d-fenkon miktarıdır. Tohumun %20-25'i ise sabit yağlardan oluşmaktadır (Baydar, 2016).



Şekil 1.1 Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) bitkisinin üst aksam ve tohum görünümü.
(Batı Akdeniz Ajansı, 2020)

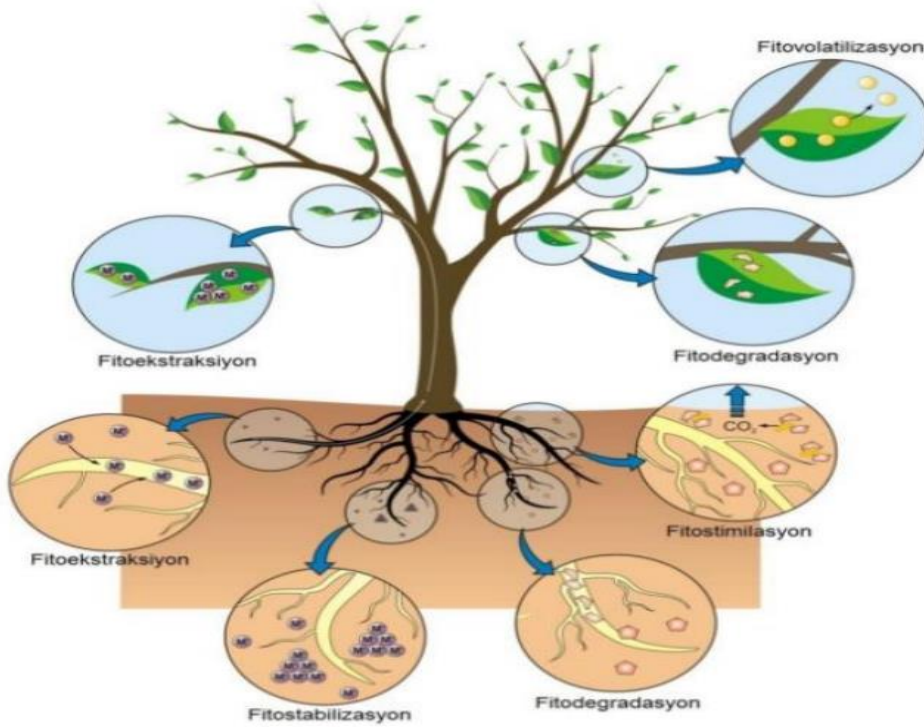
Toprak seçiciliği bulunmayan rezene bitkisi çoğunlukla kireç oranı bakımından zengin, humuslu, kumlu toprağın pH aralığı 4.8-8.3 arasında bulunan toprak çeşitlerinde ekilir ve yetiştirilir. Rezene bitkisinin ekim işlemi en fazla tohum ile yapılır. Diğer bir üretim materyali ise ‘pençe’ denilen vejetatif sürüngevidir. Bin adet tohumu 3.8-8.7 gram aralığındadır. Her dekara 1.5 kg tohum konulacak şekilde bir metre aralıklar ile ekim derinliği 2-3 cm olacak şekilde ekilir. Sonbahar ve ilkbahar başları ise ekim zamanıdır. Rezene bitkisinin yetişmesinde sulama çok önemlidir ve Umbelliferae familyasında bulunan diğer bitkilere göre sulama ihtiyacı daha fazladır. Çiçeklenme başlangıcında ve tohumun bağlanma sürecinde yağmurlama ve damla yöntemleri ile 1 ile 3 arası sulama yapılabilir bu sulama verimi olumlu yönde etkiler. Dekar başına 4 kg N ile 6 kg P₂O₅ barındıracak biçimde gübrelenir. Azot miktarı fazla olursa ve sulama durumuna göre aşırı boylanabilir ve olgunlaşması gecikir. Sulama ile rezenenin yanında yabancı otlarda da artış olur bunlarla el ile çapalama veya mekanize olarak ayrıştırılabilir. Farklı ülkelerde çeşitli standartları olan rezene tohumunun, USDA (National Nutrient Database for Standard Reference)’nın standartlarına göre 100 gram rezene tohumun da bulunan besin içerikleri de tanımlanmıştır (Tablo 1.1) (Batı Akdeniz Ajansı, 2020).

Tablo 1.1 USDA standartlarına göre rezene tohumlarının besin standartları (USDA, 2011).

Besin	100g’daki değeri	Besin	100g’daki değeri
Su (g)	8.81	Vitamin B-6 (mg)	0.470
Enerji (kcal)	345	Vitamin B-12 (mg)	0.00
Protein (g)	15.80	Vitamin A, (mcg RAE)	7
Toplam yağ (g)	14.87	Vitamin A, (IU)	165
Karbonhidrat (g)	52.29	Vitamin C, toplam askorbik asit (mg)	21.0
Lif, toplam (g)	39.8	Yağ asitleri, toplam doymuş (g)	0.480
Kalsiyum, Ca(mg)	1.196	Yağ asitleri, toplam tekli doymamış (g)	9.910
Vitamin D (IU)	0	Yağ asitleri, toplam çoklu doymamış	1.690

1.4.Fitoremediasyon

Organik ve inorganik maddeler kirlilik yarattığı bölgeden temizlemek için bitki kullanılabilir. Bu bitkiler çevresel kirleticilerden etkilenmeden kökünü ve yeşil kısımlarını gerektiği düzeyde oluşturabilmelidir (Vanlı, 2007). “Phyto” yani latince bitki ve “Remediation” iyileştirme kelimelerinin birlikte kullanılması ile Fitoremediasyon kavramı ortaya çıkmıştır (Tiryaki ve Potur, 2017). Fitoremediasyon yönteminde çevrede kirliliğe sebep olan ağır metalleri içine çeken içerisinde üst seviyelerde biriktirip birçok aşamadan sonra etkisiz duruma getirebilen hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Bitkilerle yapılan bu yöneme ‘yeşil ıslah’ da denir ve düşük ve orta risk bölgesinde kirlenen alanların ıslah edilmesinde özellikle tercih edilmiştir. Genetiği buna göre ayarlanmış bitkiler ile daha etkili ve memnun kalınan bir ıslah yöntemi olarak gösterilir. Bu ıslah yöntemi diğer yöntemleri tamamlayıcı olarak da değerlendirilebilir. Metal kirleticiler ile kirlenen bölgelerde bitkiler ile absorbe edilen ağır metaller iki çeşit ayrıştır toprakta birikerek yayılması durur sabit hale gelir ya da o sahada ki topraktan uzaklaştırılır (Aybar vd., 2015).



Şekil 1.2 Fitoremediasyon yöntemlerinin şematik gösterimi (Favas vd., 2014).

1.4.1. Hiperakümülatör Bitki

Hiperakümülatör bitki türleri bu terim kapsamının dışında kalan bitkilere kıyasla çok yüksek seviyelerde kirletici içeren alanlarda yetişen ve o alandaki kirlilikleri köklerini kullanarak alıp, kök veya diğer vejetatif organların da depolayabilen bitkilere denir (Güneş ve Bozkurt, 2021). Hiperakümülatör bitkiler fitoremediasyon yönteminde kullanılan bitki türleridir (Esringü ve Sezen, 2021). Ağır metal konsantrasyonu fazla olan bu topraklarda yaşamaya alışık olmayan benzer bitki türleri için toksik etkiye sahiptir (Özbek, 2015).

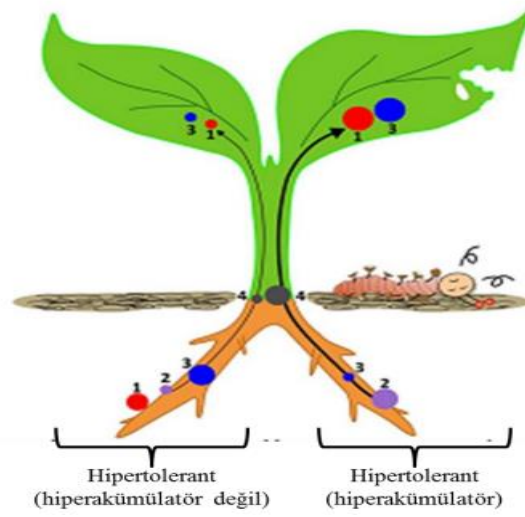
Hiperakümülatör bitkiler de bazı elementler (Cu, Mn, Se, Zn vb.) çokça depolanmaktadır. O bölgede diğer bulunan bitki çeşitlerinde kıyasla kuru halinde 100 kat daha fazla biriktirme özelliğine sahiptir (Güneş ve Bozkurt, 2021).

Türkiye florası 12000'e yakın takson ve 3000 üzeri endemik tür bulundurur. Hiperakümülatör bitki açısından incelendiğinde 38 adet hiperakümülatör bitki barındırmaktadır. Yeşil ıslah olarakta bilinen fitoremediasyon yönteminde hiperakümülatör bitki çok önemli bir yere sahiptir (Esringü ve Sezen, 2021).

Hiperakümülatör özelliği barındıran bitkiler hipertolerans özelliğide barındırmalıdır. Bunun nedeni hipertolerans özelliğinin ağır metallere minimum hiperakümülatör özelliğe sahip hiperakümülatör bitkilere korunma sağlar.

Dışlayıcı-hiper akümülatör olmayan (soldaki) ve hiper akümülatör (sağdaki) bir bitkide ağır metal hiper toleransı ile ilgili mekanizmalar ve metal dağıtımıdır. (Şekil 1.3) Renkli şekilde bulunan ağır metalleri temsil eden spotlar; boyutlarına göre, spot büyüklüğü arttıkça konsantrasyonunu belirtmektedir. Şekilde de gözüktüğü gibi hiperakümülatör olan bitkinin yapraklarından beslenen herbivorlar için zehir etkisi gösterebilmektedir (Şekil 1.3) (Doğru vd., 2021).

- (1) Ağır metalin hücre çeperlerine ve/veya hücre eksüdatlarına bağlanması.
- (2) Ağır metallerin, bitkinin kökleri tarafından alınması.
- (3) Sitosolde şelasyonu ve/veya vakuollerde birikimi.
- (4) Topraktan alınan ağır metalin, kökten gövdeye translokasyonu (Doğru vd., 2021).



Şekil 1.3 Hiperakümülatör bitki örnek gösterimi (Doğru vd., 2021).

1.4.2. Fitoremediasyon Tipleri

Hiperakümülatör bitkilerin kahramanı olduğu fitoremediasyon yöntemi kapsamında bitkilere ve kirletici çeşitlerinde bağlı olarak bazı yöntemler bulunmaktadır (Yıldıztekin vd., 2019).

Tablo 1.2 Fitoremediasyon yöntemleri

Metal Kirleticilerde Yöntemler	Kullanılan	Organik Kirleticilerde Yöntemler	Kullanılan
Fitoekstraksiyon		Fitodegradasyon	
Rizofiltrasyon		Rizodegradasyon	
Fitostabilizasyon		Fitovolatilizasyon	

1.4.2.1 Fitoekstraksiyon (Bitkisel Özümleme)

Fitoekstraksiyon öncelikli olarak organik olmayan kirleticilerin bitkinin kökleri aracılığı ile alınması ve bir bölümünün sap ve yapraklara aktarılması ve orada biriktirilmesi yöntemidir (Vanlı, 2007). Bu yöntem de yüksek kirleticili seviyesine dayanıklı bitkiler kullanılmalıdır. Ağır metal grubunun içerisinde bulunan çinko, bakır ve nikel gibi metaller bulunduran bileşikler fitoekstrakte yapılabilmektedir. Bu yöntemde ağır metallerin topraktan vejetatif organlara dağıtımı söz konusu olduğundan hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır (İpek, 2019).

1.4.2.2. Rizofiltrasyon (Köklerde Süzme)

Gelişmiş kök sistemine ihtiyaç duyulmakta ve kök süzme görevi yapmalıdır. Bu yöntemde toprağı düzeltmeyi değil daha çok kirlenmiş sulardaki ağır metalleri o bölgeden uzaklaştırması uygulanır. Kirleticiler kök yüzeyleri ya da kökte emilerek diğer vejetatif organlara taşınır (Yıldıztekin vd., 2019).

1.4.2.3. Fitostabilizasyon (Köklerde Sabitleme)

Kirleticilerin fiziksel ve kimyasal olarak immobilize eder, köklerde birikip bitkinin kök kısmında çökmesine fitostabilizasyon denir. Ağır metallerin toprakta kalmasından dolayı kesin çözüm yöntemi değildir (İpek, 2019). Bu yöntem daha çok kirleticileri immobilize etmek için kullanılmaktadır (Vangronsveld vd., 2009). Bu yöntemde bitkiler de geniş kök sistemi bulunmalı, metal oranının yüksek olduğunda bu metalleri bitkinin gövdesine de minimum seviyede transloke etmeli ve biyokütle ortaya çıkarabilmelidir (Hamutoğlu vd., 2012).

1.4.2.4. Fitovolatilizasyon (Bitkisel Buharlaştırma)

Topraktan alınan metalları ayrıştırıp bitki de ki metabolik faaliyetlerle atmosfere daha az zararlı hale getirelerek salınır. Bu yöntemin öncelikli kazançlarından biri civalı bileşikler gibi bileşiklerin zehirliliklerinin azaltılabilmesidir. Ancak bu yöntemin dezavantajı bu çok zararlı metallerin de atmosfere bırakılabilmesidir. Fitovolatilizasyon da kök derinliği büyük önem taşımaktadır. Fitovolatilizasyonun uygulama alanları içerisinde başta yer altı suları olmak üzere, sediment ve çamur alanlarında kullanılmaktadır (Hamutoğlu vd., 2012).

1.4.2.5. Rizodegradasyon (Köklerde Bozunum)

Rizodegradasyonun bir diğer adı da fitostimilasyon olmakla beraber organik kirleticilerin mikroorganizma faaliyetleri ile rizosferde ayrıştırılmasıdır (Yıldıztekin vd., 2019). Bu yöntemin en avantajlı olan çıkarlarından biriside kirleticilerin bu yöntemle doğal ortamlarında yok edilebilmesidir. Bitki veya atmosfere kirleticilerin bir kısmının taşınması ise olumsuz yönlerindendir (Aybar vd., 2015).

1.4.2.6. Fitodegradasyon

Bitki içerisinde metabolik faaliyetlerle kirleticiler parçalanarak, zehir oranları azaltılıp çevreye zararsız şekilde dönmesidir. Bu yöntem doğal olup mikrobiyal aktivitelere bağlı olmadığından avantajlı bir yöntemdir (İpek, 2019).

1.4.3 Fitoremediasyon avantajları ve dezavantajları

Fitoremediasyon yönteminin avantajlı olduğu konular vardır. Bunun yanı sıra bu yöntemin dezavantajları da mevcuttur. Fitoremediasyon yönteminde toprakların arıtım tesislerine taşınması söz konusu olmadığından kirli toprakların yerinde arıtılması dolayısıyla ucuz bir yöntemdir. Çalışma alanına yayılmada yeni bitki gruplarına ve atık dökümü için yeni bir alana ihtiyaç duyulmaz. Bir başka avantaj olarak ise fitoremediasyon alanları yeşil alan olarak kullanılabilir. Bu yöntemde kullanılan arıtım aracı bitki olduğu için kirleticiyi yerinde yok etmek daha kolaydır (Tiryaki ve Potur, 2017). Farklı tür kirleticilere mücadeleye odaklanılabilir böylece bölgenin ıslahı sağlanabilir. Halk tarafından kabul gören bir yöntem olması da önemli bir avantajdır (Aybar vd., 2015).

Fitoremediasyon yönteminin dezavantajlarının ana nedeni bilgi eksikliğidir. Bu yöntemde kullanılacak bitkinin yetiştirme koşullarına toleransı ve çalışma alanı geniş tutulursa kullanılacak tarım malzemesi, işçi ihtiyacı, yaşlanmış bitkinin hasatın da bitki tarafından toplanan metallerin tekrar salınım riski göz önünde bulundurulmalıdır (Ay, 2019). Fitoremediasyon yöntemi diğer remediasyon yöntemlerine kıyasla daha uzun süre gerektirir ve kirleticilerin ıslahı o bölgede tam sağlanamayabilir bu dezavantajının yanı sıra bitki de kirletici kalıntı yapabilir. Yayılmacı bitkilerin yoğun biçimde kullanılması canlı çeşitliliğini olumsuz etkileyebilir. Ortamda ki kirliliği toplayan bitkilerin vejetatif kısımlarının insanlar ve diğer canlılar tarafından tüketilmesi ağır sağlık sorunlarına ve bölgede ki popülasyonun bozulması gibi sonuçlar doğurabilir (Akıncı vd., 2016). Dezavantajlarından en tehlikelisi ise kirleticilerin atmosfere karışma olasılığıdır fakat kirleticiye uygun bitki ile ıslah sağlanmaya çalışılırsa bu dezavantaj engellenebilir (Tiryaki ve Potur, 2017). Kirleticileri yapraklarında biriktiren bitkilerin mevsim koşullarıyla yapraklarının tekrar toprağa dökülmesi kirleticilerin toprağa karışmasına neden olabilir. Yağmurla bitkiden çözünebilir bazı kirleticiler tekrar toprakla buluşabilir bu da bölgenin ıslah süresini uzatabilir (Aybar vd., 2015).

1.4.4. Fitoremediasyon yönteminin çevre kirliliği ile mücadelede ki önemi

Çevre teriminin tanımlamasını şöyle yapabiliriz çevre kanununda çevreyi; “Canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamı” ifade eder. Çevre kirliliğinin ana sorunlarından birisi insanların çevreyle etkileşiminin bir sonucudur. Doğanın kendi kendini temizlemesinin üstünde bir durum oluşur bu da çevre kirliliğine neden olur (Fındık, 2007).

Dünya genelinde önemli sorunlardan biri olan çevre kirliliği, canlıların sağlığını önemli derecede etkilemektedir. Teknolojik çalışmaların sanayi devrimi ile hız kazanması çevreye verilen zararı arttırmıştır. Çevre kirliliğinde ki artışın ekonomik büyüme ile özdeşleştirilmiştir ve bu durum sorgulandığında ülkelerin teknolojik faaliyetlerinde temiz teknolojilere yönelmiştir. Bu konu hakkında atılan en büyük adımlardan birisi 1972 tarihinde Stockholm’de 113 ülkenin katılımıyla düzenlenen “Birleşmiş Milletler Çevre Konferansıdır”. Yapılan bu konferans ülkelerin gündemine çevre sağlığının girmesini sağlamıştır. Hava, su, toprak ve cansız varlıklar çevre kanunu ile doğal kaynaklar olarak belirlenmiştir (Aybar ve Sağlam, 2022)

Endüstriyel atık sularda toksik metal derişimleri, çevre için önemli sorunları da beraberinde getirmektedir. Toksik metallerle kirlenmiş alanların iyileştirilmesinde kullanılan geleneksel yöntemler pahalıdır. Böyle endüstriyel atıklardan zararlı metallerin çıkarılması için biyolojik moleküllerin kullanılması, mevcut fiziksel ve kimyasal süreçlerin yerine alternatif ve oldukça etkili bir yaklaşımdır.

Remediasyon yöntemlerinden biri olan fitoremediasyon çevre kirliliği ile mücadelede kullanılır ve bu yöntemin uygulanabildiği alanlar da mücadele ettiği bazı kirleticiler; metaller, metaloidler, radyonükleidler, organik bileşikler, klorinat çözücüler, herbisitler, fenoller, bazı inorganikler; Se, Hg, As gibi elementler yer almaktadır (Hamutoğlu vd., 2012).

Bu yöntem sığ kirliliğe ulaşabilir ve köklerinde metal toplama özelliğine sahip bitkiler yer altı suyu ıslahında kullanılabilir. Ağır metallerin depolanmasında ve giderilmesinde etkili olmakla beraber bu yöntemin insan sağlığı açısından besinler aracılığı ile zararları olup olmadığının daha fazla çalışma yapılarak ispatlanması gereklidir (İmamoğlu ve Erdoğan, 2017).

Fitoremediasyon yöntemi; çevre kirliliği ile mücadele de maliyet olarak ucuz olması, toprakları ve yer altı sularında ki ağır metalleri ve kirleticileri arıtılabilmesi ve depolayabilmesi, halk tarafından benimsenen çevreci bir yaklaşımı olması ile birlikte doğaya uygundur. Daha fazla yapılacak çalışmalarla çevre kirliliği ile mücadelede önemini ve yerini geliştirecektir.

1.5 Ağır Metaller

Ağır metaller, canlılarda ve bitkilerde, yapısal olarak metabolizma üzerinde çeşitli görevlerde yer alır. Bitkilerde ağır metaller bu aktiviteyi gerçekleştirmek için belirli limitlerde bulunur. Bu nedenle, bitkilerde bu değerlerin eksikliğinde yapısal ve fizyolojik bozukluklara neden olabilmektedir. Ağır metallerin bitkide, yüksek dozda, düşük dozda veya hiç bulunmaması halinde canlıların sağlığını tehlikeye atabilir. Bu neden sonucunda gelişen reaksiyona ise toksisite denir (Özyürek ve Leblebici, 2016).

Yüksek yoğunluklarda yani, 5 g/cm³ üzeri değere sahip olan metallere ağır metal denilmektedir. Ağır metallerin hepsinin biyolojik şekilde parçalanmadığı bilinen bir gerçektir. Birikimin olduğu alanda, hareketsiz şekilde durdukları ve bu alanın doğal yollarla temizlenemediği durumlar olabilmektedir. Hareketli olanlar ise çeşitli yöntemlerle bitkinin kök sistemi tarafından alınmaktadır. Bu çalışmada bitki ve toprak üzerinde analizleri yapılan, bakır (Cu), çinko (Zn) ve mangan (Mn) ağır metalleri, çeşitli enzimlerde kofaktör görevini üstlenmekte ve bitkide düşük miktarları bitkinin gelişimi açısından gerekli olmakla birlikte yüksek düzeylerde toksik etki göstermektedir (Sevgi ve Leblebici, 2022). Yine bu çalışmada yer alan demir (Fe) elementi ise bitkide fotosentez görevini üstlendiği için mutlak bulunması gereklidir. Bitkide demir (Fe) eksikliği halinde sararmalar gözükmemesinin nedeni ana unsuru budur (Zengin ve., Munzuroğlu, 2005).

1.5.1 Bakır (Cu)

Bakır yeryüzünde madenlerden çıkan cevherlerde ve başka elementlerin içinde fazlaca bulunur ve çoğu enzimin birleşimini oluşturur. Hayvanlar ve bitkiler için önemli bir element olan Cu; insanlarda eksikliğinde anemi, renk pigmentlerinin azalması ve ateroskleroz yani damar esnekliğinin azalması gibi sonuçlara sebep olur. Bakır elementinin fazlalığı ise erken dönemde gastrointestinal rahatsızlıklar, bulantı ve kusma gibi belirtiler görülürken uzun dönemde böbrek hastalıklarına neden olabilir. Topraktan iyon formunda alınan, bitki ve besinlerde bulunan bakır elementinin tarımsal ürünlerde

düşük düzeyde olması insanlarda ve sudaki organizmalar da toksik etki yaratır. Yüksek konsantrasyonu ise bitki için zehirleyici olmaktadır. Kirlenmemiş topraklarda bakır içeriği 2-40 ppm düzeyleri arasında bulunurken, kirlenmiş topraklarda 1.000 ppm'e kadar ulaşmaktadır. Bitkilerde ise 10 ppm konsantrasyonların da bakır bulunmaktadır (Avcil, 2018; Yerli vd., 2020; Kara ve Kara, 2018).

1.5.2 Demir (Fe)

Demir, periyodik tablonun 26.sırasında yer alır ve oldukça yaygın bir element olmakla birlikte birçok mineral de bulunur. Bitkilerde fotosentezin temelini oluşturan ve klorofil pigmentinin yapımında önemli rollü bulunan demir elementinin toksisitesi çok yaygın değildir. Toksik etkisi oluşumu kökler aracılığıyla kök salgısının pH düzeyinin düşmesi ile demir alınımında ki artık sebebiyle oluşmaktadır. Doğada en fazla yer alan metallerden olan demirin gübreleme de toprak değerleri ölçülmeden bilinçsizce kullanımı ile etkisiz bir gübreleme gerçekleşmiş olup ekosisteme zarar vermektedir. Bitkiler de demir alımı Fe+3, Fe+2 iyonları ve Fe şeklinde alınmaktadır. Bitkilerin demir konsantrasyonları bitkinin türüne, yaşına, sürgünlerine ve yetiştiği topraktaki etkin demir miktarına göre kuru ağırlıklarında ki ölçümlerde düşük düzeylerden, 500-600 ppm'e kadar olabilmektedir (Avcil, 2018; Yerli vd., 2020).

1.5.3 Manganez (Mn)

Manganez bitkinin temel taşlarından olduğundan bitkiler düşük konsantrasyonda manganez elementine ihtiyaç duyar. Manganez elementinin toprakta değişebilir formda olması, bitkinin manganez elementi elde etmesinde kolaylık sağlar. Bitkilerde manganez miktarının yüksek düzeylerde bulunması toksik etki gösterir ve bitkinin demir alınımını engeller. Manganez toksisitesi, demir toksisitesiyle benzer etkiler gösterir. Başlıca manganez toksisitesinin belirtileri yapraklar üzerinde oluşan yanıklar, lekeler, şekil bozuklukları şeklindedir. Manganez elementi bitkilerde, 20-550 ppm arasında seyreder. Manganez düzeyi 20 ppm'den düşük olursa bitkide eksiklikler gözükürken, 550 ppm'den fazla olması durumunda toksisite gözükür (Avcil, 2018; Yerli vd., 2020).

1.5.4 Çinko (Zn)

Çinko metali birçok alanda kullanılmaktadır bunlar başlıca; metal-alaşım, plastik sanayi, metal sanayi, boya, kozmetik gibi alanlar oluşturmaktadır. Çinkonun toprakla buluşması,

asit yağmurları, kanalizasyon suları, atık sular aracılığıyla olmaktadır. Yüksek miktarlarda bulunan çinko bitkilere toksik etki yapar. Bitki besin elementi olan Zn, bitkiler tarafından topraktan iyon formunda bitki bünyesine alınmaktadır. Bitki de biriken ve taşınma dahil olan çinko karbonhidrat, protein, fosfat oluşumuyla birlikte enzim hareketlerinde de görev alır. Bitkiler için topraktan taşınım şeklinde alınan Zn elementi konsantrasyonu ortalaması 10-300 mg/kg dır. Zn miktarları bitkide 3,6-5,5 mg/kg aralıklarında bulunabilirken, standart şartlarda bu aralık 5-100 mg/kg olmaktadır. Bitkide Zn elementinin toksisite etkisi göstermesi çoğunlukla 400 mg/kg değeri üzerinde gözlemlenmeye başlar (Avcil, 2018; Yerli vd., 2020; Kara Ve Kara, 2018).

1.6 Literatür Taraması

Hına vd., (2011), Karaçi'nin yerel pazarlarından toplanan yedi çeşit tıbbi aromatik bitkide ağır metaller kullanılarak çalışmalar yapmış bu çalışmalar sonucunda Cd değerini yerel pazarların güney kısmından tedarik ettikleri *Onosma bracteatum* (4.91 µg/g) ile *Foenicullum vulgare* Mill. (4.89 µg/g) bitkilerinde belirlemişlerdir. En yüksek Pb değeri doğu bölgesinden tedarik edilen *Onosma Bracteatum* (30.46 µg/g), en düşük Pb düzeyini ise batı bölgesinden tedarik edilen *Foeniculum vulgare* Mill (3.26 µg/g) olarak saptanmıştır. İnceledikleri bitkilerde kurşun miktarlarını *Glycyrrhiza glabra* 9.72-26.11 µg/g, *Onosma bracteatum* 4.83-30.46 µg/g, *Viola odorata* 9.59- 21.11 µg/g, *Foeniculum vulgare* Mill 3.26-29.05 µg/g, *Cuminum cyminum* L. 0-28.92 µg/g, *Coriandrum sativum* L. 17.85-24.32 µg/g ve *Zingibar officinalis* 13.13-22.63 µg/g olarak tespit etmişlerdir. En yüksek Cr içeriğini *Viola odorata* (186.75 µg/g) ile *Foeniculum vulgare* Mill. (1.61 µg/g) bitkilerinde tespit etmişlerdir. *Cuminum cyminum* L., *Coriandrum sativum* L. ve *Zingibar officinalis* bitkilerinin ise Cr içermediğini belirtmişlerdir.

Mohanty Ve Patra (2012), *Brachiararia mutica* bitkisini baz alarak yaptıkları çalışmada krom ile kirlenmiş topraklarda bu bitkinin remediasyon potansiyelini incelemişlerdir. Hesaplamalara göre 100 günlük bitkilerde maksimum biyokonsantrasyon faktörü değeri 0,33 olmasıyla birlikte maksimum transfer faktörü 6,16 maksimum total akümülayon değeri 8,2 mg/kg gün olarak 125 günlük bitkilerde belirlenmiştir. Araştırmacılar krom akümülayonunun bitkinin büyüme dönemi, biyokütlesine ve ortamdaki krom miktarına bağlı olduğunu köklerde gövdeye kıyasla 1000 kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Sidhu vd., (2017), tarafından yapılan çalışmada *Coronopus didymus* türünün kadmiyum ağır metali kullanıldığında göstereceği tolerans yeteneği ve remediasyon açısından

araştırma yapmışlardır. Araştırma sonucunda 0, 100, 200, 400 mg/kg düzeylerinde Cd bulunduran ortamlara bitkiler konulmuştur. Bu işlem sonrasında bitkilerin kök ve gövde boyları, yükselen metal konsantrasyonun da 200 mg/kg konsantrasyonuna kadar artışı gözlemlenirken 400 mg/kg Cd konsantrasyonunda net şekilde azalmıştır. Bitkinin ağır metal toleransını belirleyebilmek için biyokonsantrasyon ve transfer faktörünü kullanmışlardır. Doz arttıkça 0, 100, 200, 400 biyokonsantrasyon değerleri sırasıyla 0.91, 3.12, 2.5, 2.16 olmakla birlikte; transfer faktörü 0.78, 0.81, 0.95, 1 olarak bulunmuştur.

Alyüz vd., fitoremediasyon yöntemiyle arıtılabilen organik bileşikler ve arıtmada kullanılan bitki türlerini belirlediler. Ek olarak, fitoremediasyon sürecinde yer alan temel mekanizmaları incelemişler ve hem olumlu hem de olumsuz yönlerini belirlemişlerdir. Çalışma, *Hordeum vulgare*, *Catharanthus roseus*, *Solanum nigrum* ve *Populus sp.* gibi bitki türlerinin organik bileşenlerin arıtmasında kullanıldığını göstermiştir.

Adamis vd. (2014), *Alyssum lesbiacum* türünün toprak kullanılmadan su içerisinde mineral besin çözümleri kullanılarak yani hidroponik yöntem ile Ni toleransı ve taşınmasını araştırmışlardır. Bitkinin dört farklı bölgeden toplanan tohumlarını kullanarak Ni ağır metali içeren ortamlar (0-250 $\mu\text{mol/L}$) oluşturmuşlardır. Ni ağır metali toleransını değerlendirmek için bitki kök ve gövde boyları ölçmüşler bu sonuçlara dayanarak araştırmacılar Ni ağır metali toleransı ve akümülayonu ile iletimi arasında bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Ni birikimi 10000-14000 mg/kg aralığında, kökte ise 6000- 1000 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Ni konsantrasyonu arttıkça Ni birikiminin de arttığı saptanmıştır.

Elktorowicz ve Keropian (2015), *Brassica juncea* bitkisinin fitoremediasyon ve fitostabilizasyon potansiyelinin araştırılmasını kapsayan çalışmada krom, lityum ve vanadyum ağır metalleri incelenmiştir. Bu çalışmaya yönelik oluşturulan 17mg/g vanadayum ve 0,1 mg/g krom içeren farklı oranlarda hazırlanan ortamlar da bitkiler yetiştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda bitkinin yaprak, gövde ve köklerinde metal miktarları sırasıyla Vanadyum için 34.168, 10.11, 18.8, 5.090, Li için 0.98, 0.31, 0.084, 0.005 ve Cr için 0.51, 0.15, 0.29, 0.065 olarak ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek akümülayon değerleri %25 ve %50 lityum maden atığı içeren yetiştirme alanlarında olduğu tespit edilmiştir. *Brassica juncea*, bitkisinin bu oluşturulan ortamda hiperakümülatör, fitoekstraktör ve fitostabilizatör olduğu ortaya çıkmıştır.

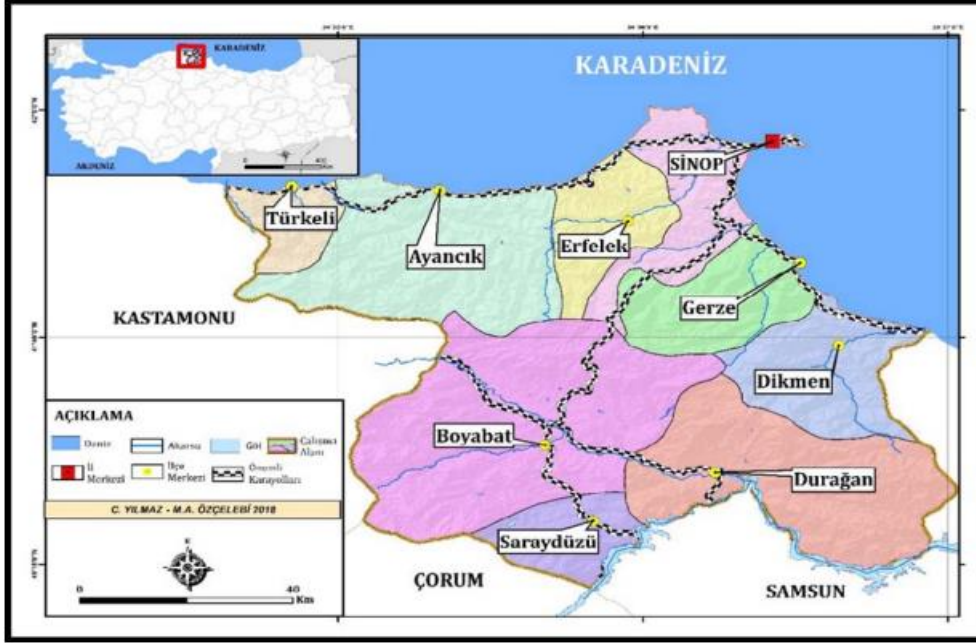
Ustaoglu vd., (2015),’nın yaptıkları çalışmada, *Lenna minör* fitoremediasyon açısından değerlendirilmiştir. İleri düzeyde toksik etki gösterebilen Cu’nun *L.minör* tarafından sucul ortamlardan temizlenme potansiyeli araştırılmış. Bu çalışmalar sonucunda değişen ortam koşullarına bağlı olarak *L.minör*’ün Cu konsantrasyonu kapasitesinin de değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. *L.minör*’ün fitoremediasyon açısından çok başarılı olduğu ortamdan Cu’nun uzaklaştırılmasında üstün başarı sergilemiştir.

Palanivel vd., 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada terk edilmiş bir bakır madeni alanından alınan topraklarla *Ricunus communis* bitkisinin fitoremediasyon potansiyeli değerlendirilmiştir. Bakır için yüksek tolerans indeksi bulunmuş ve hint yağı bitkisinin gövde kısmında daha fazla Cu biriktiği tespit edilmiştir.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Bölgesinin (Sinop) Genel Coğrafik Özellikleri



Şekil 2.1 Sinop ilinin lokasyon haritası (Kıran, 2018).

Çalışma alanımız olan Sinop, Anadolu'nun kuzeyinde Karadeniz Bölgesinin Batı Karadeniz Bölümünde $41^{\circ}12'18$ ve $42^{\circ}50'18$ kuzey enlemleri ile $34^{\circ}13'36$ ve $35^{\circ}24'47$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Kıran, 2018).

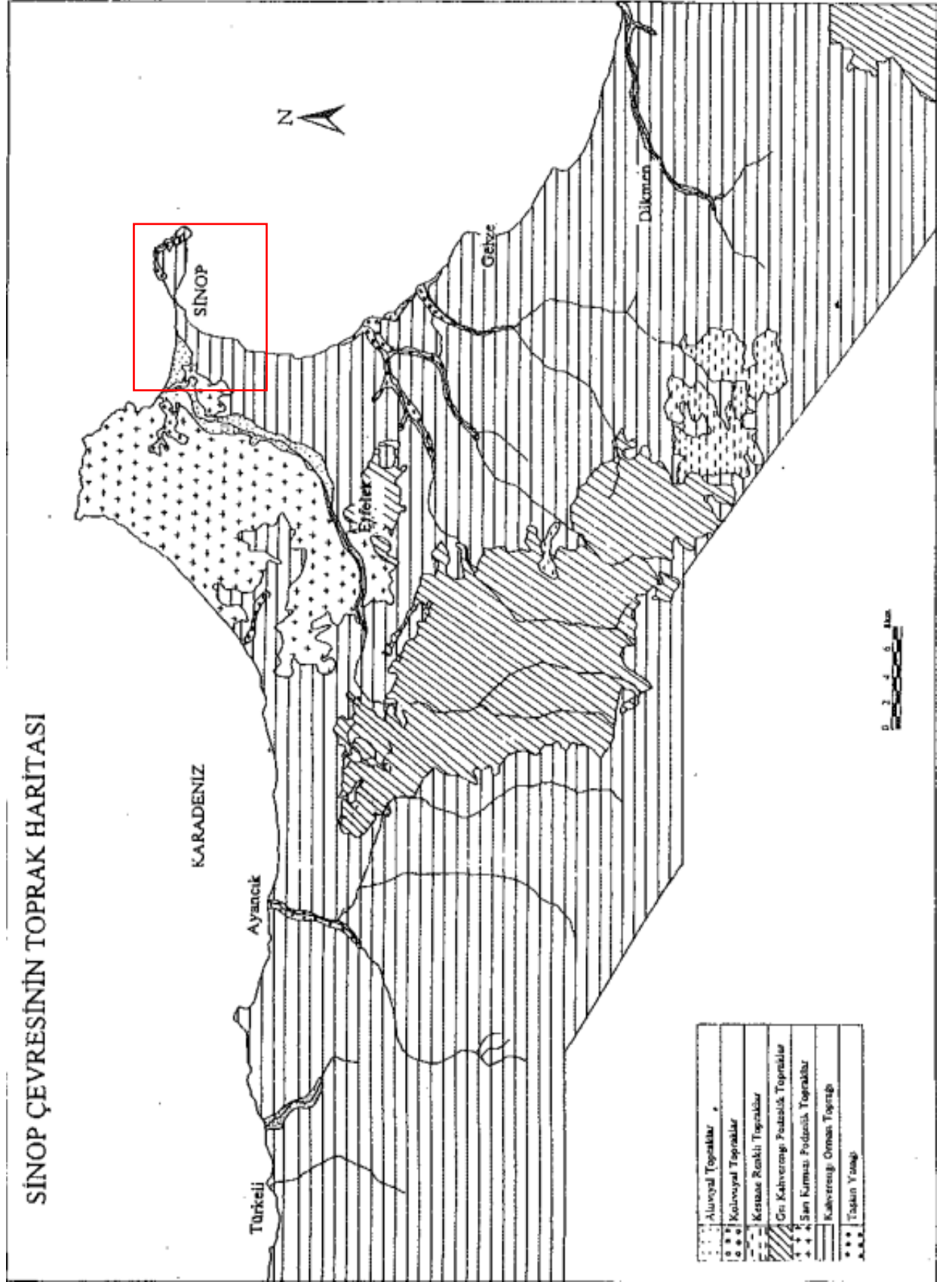
İlin batısında Kastamonu, güneyinde Çorum, doğusunda Samsun illeri yer almaktadır. Sinop'ta her zaman yağış olduğu için orman ve bitki örtüsü boldur. Başlıca ağaçlar çam, köknar, meşe, gürgen, kayın, dişbudak, karaağaç ve kavaktır. Çangal Ormanları, Ayancık, Türkeli ve Boyabat bölgelerini kaplar. Dıranaz, Göktepe, Soğuksu ve Elekdağ Ormanları da önemli doğal güzellikler ve ekonomik değere sahiptir. İlin kıyılarında Akdeniz bitkileri de var. Bu bitki örtüsü, 1.800 metre yüksekliğe kadar uzanan bölgede meşe, defne, karaağaç, çınar, fındık, kızılıçık, kayın, gürgen, karaçam ve sarıçamdan oluşur. Sinop İli güneye doğru ilerledikçe iklim daha da kurumaya başlar. Sonuç olarak, bu bölgede bozkır bitkileri kuzeydeki gür bitki örtüsünün yerini alır (Asider “Sinop İlinin Coğrafi Yapısı” <http://www.asider.de/sinop/cografi-yapisi/> 5/2010).

Toprağın oluşmasını ve yapı özelliklerini belirleyen temel unsurlar iklim, ana madde, zaman, bitki örtüsü gibi toprak oluşumu etkenleri belirler. Sinop bölgesi her zaman yağış

alması ve bu yağışın bütün yıla dağılmış şekilde olması ile birlikte sıcaklık farklarının fazla olmaması fiziksel ayrışma oranla kimyasal ayrışmanın daha fazla olduğu sonucunu ortaya çıkarır. İklim koşulları baz alınarak Sinop bölgesinde ormanların yaygın olmasından kaynaklı toprak bünyesinde bir miktar azot birikimi sağlanır (Gürbüz, 2000). Sinop çevresinde ki toprakları zonal ve azonal şeklinde iki gruba ayırabiliriz. Pedojenez etkenlerin etkisiyle oluşan topraklara zonal topraklar denir. Azonal topraklar ise, yüksek ve eğimli araziler aşındırılarak taşınan unsurların yüksekliği daha az olan alçak ve çukur bölgelerde birikimi ile ortaya çıkar (Gürbüz, 2000). Sinop bölgesinde bulunan toprak grupları; zonal grubundan kahverengi orman toprakları, kırmızı sarı podzolik topraklar, gri kahverengi podzolik topraklar ve kestanerengi topraklar bulunur. Azonal grubunda ise, aluviyal ve koluviyal topraklardır. Sinop bölgesinde alan olarak en çok yer kaplayan toprak çeşidi kahverengi orman toprağı olmakla birlikte doğu ve batı kesimlerinde yer alır. (Tablo 2.1) (Gürbüz, 2000). Bizim çalışma alanımız olan merkez bölgesi ise Sinop ilinin büyük kısmını oluşturan kahverengi orman toprağı içerisinde yer almaktadır (Şekil 2.2).

Tablo 2.1 Sinop ilinin toprak yapısı dağılımı (Gürbüz, 2000).

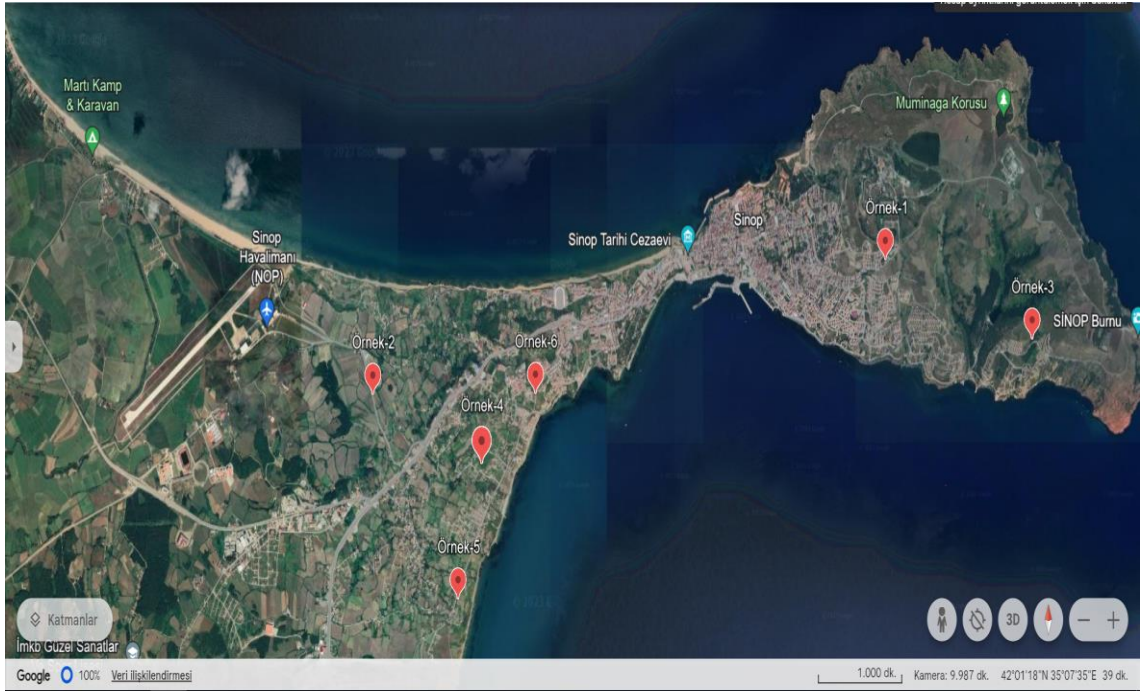
Toprak Çeşidi	Alan (hektar)	Oran %
Kahverengi Orman Toprağı	225.084	74.1
Gri Kahverengi Pozolik Topraklar	38.997	12.8
Sari Kırmızı Podzolik Topraklar	27.098	8.9
Kestanerengi Topraklar	2.819	1
Aluviyal Topraklar	6.603	2.2
Koluviyal Topraklar	1.200	0.4
Hidromorfik Topraklar	374	0.1
Toplam	303.600	100



Şekil 2.2 Sinop çevresinin toprak haritası (Gürbüz, 2000).

2.2. Çalışma Materyallerinin Toplanması

Çalışma konusu olan bitki ve toprak örnekleri Sinop il merkezinden 6 farklı lokasyondan (Şekil 2.3) denize mesafeleri, güneş açısı, yükseklik gibi faktörler dikkate alınarak yol kenarlarından 2023 yılı bahar aylarında toplanmıştır. Bitkilerin tür tespitleri Flora of Turkey (Davis, 1984) kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.3 Sinop bölgesinden alınan altı farklı rezene bitkisi ve toprağının harita gösterimi

2.3. ICP-MS Ölçümleri

Bitki toprak üstü organlarının (kök, gövde ve yaprak) element ölçümleri Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Analizler için kurutulan örnekler toz haline getirildikten sonra (Şekil 2.4) ICP-MS cihazıyla ölçümler yapılmıştır.

Ölçüm sırasında dikkate alınan standartlar: EPA 200.2 (Spektroskopi tekniğiyle toplam geri kazanılabilir element analizi için örnek hazırlama) ve EPA 6020 (Çevresel numunelerde Endüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile çoklu element tayini). Öğütücüden geçirilerek homojen hale getirilmiş 0.2g-0.5g aralığındaki kurutulmuş bitki numuneleri suprapur nitrik asit (HNO_3) ve Hidrojen peroksit H_2O_2 (7:1) karışımında mikrodalga (Milestone SK10) çözündürme prosedürlerine (HPR-FO-47, HPR-FO-59, HPR-FO-61) uygun şekilde çözündürüldü. Çözündürme esnasında 15 dakika içerisinde oda sıcaklığından 200°C sıcaklığa çıkma,

ardından 15 dakika 200°C sabit sıcaklıkta kalma işlemi, ardından bir saat içinde oda sıcaklığına inme işlemi uygulandı. Çözelti, 50 mL'lik bir polipropilen falkon tüplerine aktarıldı ve 50 ml çizgisine kadar ultra saf su ile dolduruldu. Elementlerin konsantrasyonları, Endüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi (ICP-MS, Agilent 7700X) ile ölçüldü. Kalibrasyon eğrileri için Agilent firmasından temin edilen standartlar (27 element karışımı: 8500-6940 2A ve 8500-6940 Hg) kullanılarak yapıldı. Kalite kontrolü üçlü ölçüm ve sertifikalı referans malzemeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertifikalı referans materyali (CRM) olarak BCR-279 deniz marulu numunesi kullanılmıştır ve tüm elementler %90 doğrulukla ölçülmüştür. Bu çalışmada 1ppm dahili standart (ISTD Agilent 5188-6525) numunelerle birlikte sürekli olarak analiz edilmiştir.



Şekil 2.4 Sinop ilinde 6 farklı rezene (*Foeniculum vulgare*) bitkisinden alınan yaprak, gövde ve kök organları toz haline getirilmiş görüntüsü.

2.4 Toprak Analizleri

Sinop il merkezinden 6 farklı noktadan alınan toprak örnekleri, toprak numunesi alma standartlarına göre alınarak paketlenmiş (Şekil 2.5) ve analiz için Amasya Merkezi Araştırma laboratuvarına gönderilmiştir. Toprak örneklerinin ağır metal içerikleri (Mn, Fe, Cu, Zn) Agilent 7800 ICP-MS marka endüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerindeki ağır metaller, 1:2 (W:V) 'lık DTPA çözeltisi ile ekstrakte edilmiş ve ICP-OES cihazı kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 2.5 Sinop il merkezinde farklı lokasyonlardan bitkilerle beraber alınıp poşetlenen toprak örneklerinin görüntüsü.

2.5 Rezene Bitkisinin Fitoekstraksiyon Potansiyelinin ve Çalışma Alanı Toprak Örneklerinin Jeo Birikim (Igeo) İndeksinin Belirlenmesi

Sinop ilinde altı farklı alandan toplanan rezene bitkisinin fitoekstraksiyon kapasitesinin belirlenebilmesi için kullanılan iki indikatör: Biyoakümülyasyon faktörü (BAF) ve translokasyon (TF) faktörüdür.

Biyoakümülyasyon faktörünün düzeyinin yüksek olması bitkinin fitoekstraksiyon uyumluluğu ile bağdaşmaktadır (Aybar, 2022). BAF değerinin 2 ve üzeri bir sonuçta çıkması yüksek düzey olarak kabul edilir (Mellem vd., 2012).

Zayed ve vd. (1998) BAF değerini dört kategoriye ayırmışlardır buna göre <0,01 değerinde olan bitkiler akümülatör özelliğe sahip olmayan bitkiler, 0.01-0.1 arası değerlerde olanlar düşük akümülatör özellikte olan bitkiler. 0.1-1 değerleri arasında olanlar orta derece akümülatör bitkiler ve 1-10 yüksek derecede akümülatör özelliğine sahip ya da hiperakümülatör bitkilerdir. Bu oran kullanılarak, topraktaki elementlerin bitki tarafından yaptığı birikim miktarı gösterilebilmekte ve topraktan bitkiye geçen element değerleri tahmin edilebilmektedir. Bitkilerin köklerinden üst aksamlarına metal geçiş kapasitesini değerlendirilmesi olan TF değeri hiper akümülatör bitkilerde TF>1 olması esas olarak kabul edilmiştir (Kılıç vd., 2018). Bitkilerin hiperakümülatör potansiyelinin hesaplanmasında gövde ve yapraklarda bulunan ağır metal konsantrasyonlarının bitkinin alındığı topraktaki ağır metal konsantrasyonuna oranı ile Zengileştirme faktörü (ZF) hesaplanmıştır (Elshamy vd., 2019; Yanqun vd., 2005).

BAF ve ZF değerleri ile TF değerleri 1 sınır değerinden fazla sürgünlerinde ki metal konsantrasyonu toprak konsantrasyonundan yüksek olan bitkiler “fitoekstraktör” olarak; ZF ve TF değerleri sınır değerinin altında, BAF değeri 1 sınır değerinden yüksek olan (kök metal konsantrasyonu toprak konsantrasyonundan yüksek olan) bitkiler “fitostabilizatör” olarak adlandırılmıştır (Conesa vd., 2006; Yoon vd., 2006; Çeliktas, 2020). TF değeri sınır değerin üzerinde, BAF ve ZF değerleri analiz sonucunda göz ardı edilemeyecek düzeyde ve sürgünlerde ki metal konsantrasyonları köklerden yüksek olan bitkilere “fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür” diye yorumlanabilmektedir. ZF ve TF değerleri 1 sınır değerinden düşük, kök metal konsantrasyonları bitkinin sürgünlerinde ki metal konsantrasyonlarından çokça yüksek ve BAF değerleri yüksek düzeylerde seyreden bitkiler ise “fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür” olarak tanımlanabilmektedir (Çeliktas, 2020).

Jeo birikim indeksi (Igeo) toprak örneklerinde ağır metallerin kirlilik miktarını belirlemek için kullanılmıştır (Gökbayrak, 2018). Referans metal örneklerinde Rudnick vd., (2003) tarafından önerilen değerler kullanılmıştır.

$$I_{geo} = \log_2 (C_i / 1.5 * B_i)$$

Burada, C_i toprak örneğinde i. ağır metalin ölçülen konsantrasyonu, B_i : i elementinin üst kabuktaki referans değeridir. Jeobirikim İndeksi verileri Muller (1969) tarafından 0-6 arasında 7 sınıfa ayrılmıştır. $I_{geo} < 0$; kirlenmemiş, $0 < I_{geo} < 1$; kirlenmemiş-orta derece kirlenmiş, $1 < I_{geo} < 2$; Orta derece kirlenmiş, $2 < I_{geo} < 3$; Orta-çok kirlenmiş, $3 < I_{geo} < 4$;

Çok kirlenmiş, $4 < I_{geo} < 5$; Çok-aşırı kirlenmiş, $I_{geo} > 5$; Aşırı kirlenmiş olarak sınıflandırılmıştır (Kılıç vd., 2019; Müller, 1969).

$$\text{Biyoakümülyasyon faktörü (BAF)} = \frac{\text{Bitki metal konsantrasyonu (mg/kg)}}{\text{Toprak metal konsantrasyonu (mg/kg)}}$$
$$\text{Translokasyon faktörü (TLF)} = \frac{\text{Yeşil aksam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}{\text{Kök metal konsantrasyonu (mg/kg)}}$$
$$\text{Zenginleştirme faktörü (ZF)} = \frac{\text{Gövde ve yaprak toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}{\text{Toprakta toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}$$

Sinop ilinin altı farklı alanından topladığımız rezene bitkisi ve toprak örneklerinin ICP-MS cihazı ile analiz sonuçlarını kullanarak ve rezene bitkisinin biyoakümülyasyon ve translokasyon değerlerinin sonuçlarıyla (Şekil 3.1,3.2), fitoekstraksiyon potansiyeli ölçülmüştür.

Zenginleştirme, translokasyon faktörleriyle ise ağır metallerin bitkinin organlarına iletim miktarları gözlemlenmiştir (Şekil 3.2,3.3). Jeo birikim indeksi ile örnek alınan toprakların kirlilik düzeyleri tespit edilmiştir (Tablo 3.18).

3.TARTIŞMA VE SONUÇLAR

3.1. ICP-MS Ölçüm Sonuçları

ICP-MS çalışmaları sonucunda bitkinin farklı organları için (yaprak, gövde, kök) yapılan analiz sonuçlarına göre 1 numaralı lokasyondan alınan numunenin yaprak, gövde ve köklerinde en yüksek oranda Fe olduğu görülmüştür. Fe elementinin miktarları yaprak’da 171973.7 ppb, gövde’de 37695.7ppb olmakla birlikte en fazla kökte bulunup miktarı 1261607.9 ppb dir. Bununla birlikte Fe, Cu ve Zn’nin en yüksek oranlarda kökte bulunduğu Mn elementinde ise yaprakta en fazla olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 1 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak, b:gövde, c: kök

ÖRNEKLER	55 Mn [ppb]	56 Fe [ppb]	63 Cu[ppb]	66 Zn[ppb]
1a	58602.0	171973.7	5199.9	23128.1
1b	17866.9	37695.7	4724.0	18072.5
1c	45094.7	1261607.9	10372.9	36900.5

2 numaralı örneğin ICP-MS cihazı ile alınan analiz sonuçlarını incelediğimizde Mn, Fe, Cu ve Zn ağır metallerin konsantrasyonlarının en fazla kök bölgesinde bulunduğu ve kökteki birikim miktarları sırasıyla Fe (1761633.6), Mn (50817.8), Zn (30693.2) ve Cu (8024.4) olduğu gözlemlenmiştir. Bu ağır metallerin kökten diğer vejetatif organlara ağır metal taşınımında en az gövde’de ağır metal konsantrasyonu olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 2 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a: yaprak, b:gövde, c: kök

ÖRNEKLER	55 Mn [ppb]	56 Fe [ppb]	63 Cu [ppb]	66 Zn [ppb]
2a	49766.4	303193.0	7669.8	18997.8
2b	10889.6	33497.8	3199.5	12299.4
2c	50817.8	1761633.6	8024.4	30693.2

ICP-MS cihazından alınan 3 numaralı örneğin analiz sonuçlarına baktığımızda Mn (95529.6), Fe (3257831.4), Cu (14579.0) elementlerinin en yoğun konsantrasyon da kök

bölgesinde bulunduğu gözlemlenirken, Zn elementinin en fazla yaprak bölgesinde biriktiği gözlemlenmiştir. 3 numaralı bitkinin topraktan en fazla aldığı ağır metal ise Fe (3257831.4) elementidir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 3 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak, b:gövde, c: kök

ÖRNEKLER	55 Mn [ppb]	56 Fe [ppb]	63 Cu [ppb]	66 Zn [ppb]
3a	91092.2	465365.5	10854.8	21560.4
3b	20685.4	71393.9	6025.2	15840.6
3c	95529.6	3257831.4	14579.0	15630.3

4 numaralı bitki örneğinin ICP-MS sonuçlarına baktığımız da ise Fe (1449300.1), Cu (11273.3), Zn (49490.8) miktarlarıyla en fazla kök bölgesinde biriktiği gözlemlenmiştir. Mn (45258.2) miktarıyla en fazla yaprak bölgesinde biriktiği tespit edilmiştir. 4 numaralı bitki, Mn, Fe, Cu, Zn elementlerini en az gövdesinde biriktirmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 4 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak, b:gövde, c: kök

ÖRNEKLER	55 Mn [ppb]	56 Fe [ppb]	63 Cu [ppb]	66 Zn [ppb]
4a	45258.2	398677.0	10647.4	29531.2
4b	16701.7	127595.5	8143.0	24717.2
4c	42913.6	1449300.1	11273.3	49490.8

ICP-MS cihazı ile analiz edilen 5 numaralı örneğin yaprak, gövde, kök bölgeleri kıyaslandığında Mn (45556.7), Fe (175758.2), Cu (5785.2) ve Zn(76694.1) miktarlarda ki ağır metallerin en fazla yaprak bölgesinde birikim oluşturduğu gözlemlenmiştir. 4 numaralı bitki en az birikimi ise Fe, Cu, Zn ağır metallerini gövdesinde yaparken, Mn (8328.6) elementinde kök bölgesinde yapmıştır (Tablo 3.5).

Tablo 3.5 5 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak, b:gövde, c: kök

ÖRNEKLER	55 M [ppb]	56 Fe [ppb]	63 Cu [ppb]	66 Zn [ppb]
5a	45556.7	175758.2	5785.2	76694.1
5b	11041.0	41018.4	3850.1	24202.8
5c	8328.6	173023.3	5377.1	25782.9

6 numaralı bitki örneği için yapılan ICP-MS analizinde bitkinin yaprak, gövde, kök kısımlarında bulundurduğu ağır metallerden Mn (9049.6) ve Zn (6682.1) elementleri en az kökte birikim yaparken, Mn (57587.7), Fe (251790.2), Cu (7441.1) ve Zn(36009.6) elementlerinin birikimi en fazla yaprakta olmuştur. En fazla bitkiye alınan ağır metal ise Fe elementi olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6 6 numaralı rezene örneğinin yaprak, gövde ve kök kısımlarında biriktirdiği Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin miktarları. a:yaprak, b:gövde, c: kök

ÖRNEKLER	55 Mn [ppb]	56 Fe [ppb]	63 Cu [ppb]	66 Zn [ppb]
6a	57587.7	251790.2	7441.1	36009.6
6b	17200.2	29410.1	5227.9	13339.7
6c	9049.6	180450.2	5584.6	6682.1

Sinop ilinde rezene bitkisi ile 6 farklı bölgede yaptığımız ICP-MS analiz sonuçlarının ortalama ve toplam değerleri (Tablo 3.7) incelendiğinde Fe elementinin en çok biriken element olurken, Cu elementinin en az biriktiği tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz değerlere göre rezene bitkisinde ki ağır metal birikimi $Fe > Mn > Zn > Cu$ şeklinde sıralanabilir. Fe, Mn ve Cu elementleri en çok 3 numaralı örnekte biriktiği görülürken, Zn elementi en çok 5 numaralı örnekte birikmiştir. Birikim miktarlarında rezene bitkisinin ve kök toprağının alındığı alanın, yola yakınlığı, nüfusun yoğunluğu ve birçok faktör etken olduğundan farklılıklar olması olağandır.

Tablo 3.7 Sinop ilinde rezene bitkisi ile 6 farklı bölgede yaptığımız ICP-MS analiz sonuçları. a: yaprak, b: gövde, c: kök

REZENE BİTKİSİ ÖRNEĞİ	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)
1	Ort: 40521 Top:121563	Ort:490425 Top: 1471277	Ort: 6765 Top:20296	Ort:26033 Top:78101
2	Ort: 37157 Top:111473	Ort: 699441 Top:2098324	Ort: 6297 Top:18893	Ort: 20663 Top:61990
3	Ort: 69102 Top: 207307	Ort: 1264864 Top: 3794591	Ort:10486 Top: 31459	Ort:17677 Top: 53031
4	Ort: 34957 Top: 104873	Ort: 658524 Top:1975573	Ort: 10021 Top:30063	Ort: 34579 Top:103739
5	Ort:21642 Top: 64926	Ort:129933 Top: 389799	Ort:5004 Top: 15012	Ort:42226 Top:126679
6	Ort: 27945 Top: 83837	Ort: 153883 Top: 461650	Ort: 6084 Top: 18253	Ort:18677 Top: 56031
Rezene bitkisi (1-6) ağır metal ortalaması(a,b,c)	38554	566178	7443	26642
Rezene bitkisi (1-6) ağır metal toplamı (a,b,c)	693982	10191215	133979	479572

Kirmani, (2011), Karaçinin yerel halk pazarlarından toplanan çeşitli tıbbi aromatik bitkilerle ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek için çalışmalar yapmışlardır. Bu bitkiler içerisinde rezene (*Foeniculum vulgare*) bitkisinin ağır metal konsantrasyonları Fe 136.5 mg/kg, Mn 41.20 mg/kg, Cu 37.13 mg/kg, Zn 53.69 mg/kg sonuçlarını elde etmişlerdir. Bizim çalışmamızda ise rezene bitkisi 6 farklı bölgeden alınmış olup ağır metallerinin ortalamasına (Tablo 3.7) göre Fe 566.2 mg/kg, Mn 38.55 mg/kg, Cu 7.44mg/kg ve Zn 26.64 mg/kg değerleri görülmüştür. İki bölgede ki rezene bitkisinde de Fe elementi en yüksek miktarda tespit edilmiştir. Mn elementinde yakın değerler söz konusu iken Cu ve Zn değerlerinde farklılıklar gözlemlenmiştir.

Baybar, 2022, Artvin de yer alan Murgul Bakır İşletmesinin pasa döküm sahanında belirlenen 4 farklı çalışma alanında yürütülen çalışmadaki bitkilerden birisi olan Huş

bitkisinin yeşil Aksam ve kök de biriktirdiği ağır metal analizleri (Tablo 3.8) incelendiğinde bu 4 farklı alandaki huş bitkisinde de Zn ve Pb elementinin birikiminin yeşil aksam da köklere göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür. Huş bitkisi Cu elementini ise köklerde daha fazla biriktirmiştir. Bu çalışmada yer alan 6 farklı alandan alınan Rezene bitkisinin ICP-MS cihazıyla ölçülen analiz sonuçlarını incelediğimiz de Cu ve Zn elementi için 1 numaralı alanda köklerinde fazla birikim yaparken 3, 4, 5, 6 numaralı alanlarda yeşil aksamda yüksek konsantrasyonlarda birikim yapmıştır. 2 numaralı alanda ise Cu elementi kökte daha fazla birikim yaparken Zn elementinin yeşil aksamda daha yüksek miktarlarda birikim yaptığı görülmüştür (Tablo 3.1,3.6). Bu farklılıkların ortaya çıkmasında 6 farklı alandan alınan toprak örneklerinde ki ağır metal miktarları etkindir.

Tablo 3.8 Farklı örnek alanlarında yetiştirilen huş bitkisinin yeşil aksam ve kök ağır metal (Cu, Zn, ve Pb) konsantrasyonları (n=7) (Baybar, 2022).

Bitki	Alan	Yeşil Aksam			Kök		
		Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Huş	ÖA1	267±77	918±123	508±83	537±100	250±36	90±21,8
	ÖA2	302±29	1007±133	613±61	419±67	393±71	242±83
	ÖA3	354±112	815±111	320±51	1031±117	404±77	259±31
	ÖA4	252±101	924±55	884±107	314±65	355±44	85±35

Pandey (2012), yapılan çalışmada (Tablo 3.9) metalle zenginleştirilen termik santrallerin kömür yakma kalıntısı olan kül havuzunda doğal olarak büyüyen *Azolla caroliniana*'nın (su eğrelti otu) fazla miktarda bulunması bu bitkinin, toksitolerant özellikte olduğunu gösterir. Yapılan çalışmalarda ağır metale maruz bırakılan *Azolla caroliniana* fitoremediasyon yöntemi için etkin bir bitki olduğu söylenebilir. Rezene bitkisi üzerinde yaptığımız bu çalışmada ise altı farklı alandan alınan bitki örneklerinin ICP-MS cihazı analiz sonuçlarının ortalaması Mn elementi için 38.5 mg/kg, Fe elementi 566.2 mg/kg Cu elementi 7.44 mg/kg ve Zn elementi için 26.6 mg/kg dir. Elimizde ki değerlerden rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) bitkisinin toprak analizlerinde ki ağır metal ortalamaları (Tablo 3.17) ile *Azolla caroliniana* bitkisinin çalışma alanında ki ağır metal miktarı (Tablo 3.9) kıyasladığımızda Fe elementi hariç farklılıklar görülmüştür. Rezene bitkisi

(*Foeniculum vulgare* Mill.) ile *Azolla caroliniana* bitkisinin belirli kirlilik düzeylerinde aynı koşullarda ki performansları değerlendirilerek daha net bir kanıya varılabilir. Mevcut çalışmalara göre *Azolla caroliniana* bitkisinin rezeneye (*Foeniculum vulgare* Mill.) kıyasla daha çok ağır metal birikimi yaptığını söyleyebiliriz.

Tablo 3.9 *Azolla caroliniana*'nın (su eğrelti otu) yaptığı ağır metal birikimi (Pandev, 2012).

Bitki	Element	Çalışma alanı ağır metal miktarları (ppm)	Bitkide'ki ağır metal birikimi (mg/kg)
<i>Azolla caroliniana</i>	Fe	343.7 ppm (anlık ölçüm)	753 mg/kg
	Mn	76.5 ppm	144 mg/kg
	Zn	45.1 ppm	210 mg/kg
	Cd	27.0 ppm	86 mg/kg
	Ni	21.8 ppm	161 mg/kg
	Cu	19.3 ppm	106 mg/kg
	Pb	16.2 ppm	92 mg/kg
	Cr	12.5 ppm	137 mg/kg

Haque vd. (2008), Amerika Birleşik Devletleri'nin Arizona eyaletinde bulunan maden atıklarında bulunan *Baccharis sarothroides* türünün fitoremediasyon potansiyeli belirlenmeye çalışılmış. Çalışmada, bitkide toprakta ve maden atıklarında metal analizleri yapmışlardır. Maden atıklarında yapılan ağır metal analizleri sonucunda bakır 526.4 mg/kg, kurşun 207.4 mg/kg, molibden 89.1 mg/kg, krom 84.5 mg/kg, çinko 51.7 mg/kg, arsenik 49.6 mg/kg, nikel 39.7 mg/kg ve kobalt 35.6 mg/kg sonuçları elde edilmiştir. Verilen sıraya göre aynı metallerin kökteki konsantrasyonlarını 818.3, 151.9, 73.9, 57.1, 40.1, 44.6, 96.8 ve 26.7 mg/kg bulurken gövdeki konsantrasyonlarını 1214.1, 107.3, 105.8, 105.5, 55.2, 36.9, 30.9 ve 10.9 mg/kg olarak saptamışlardır. Araştırmacılar zenginleştirme faktörü ($ZF = \text{gövde metal konsantrasyonu} / \text{toprak metal konsantrasyonu}$) ve akümülyasyon faktörü (metale maruz kalmış bitkide toplam metal konsantrasyonu/normal alanlarda bulunan bitkilerde metal konsantrasyonu) hesaplamalarıyla değerlendirmeler yapmış ve Cu ($ZF=1-2$), Pb ($ZF=0-0.5$), Cr ($ZF=1-1.5$), Zn ($ZF=0.5-1$), As ($ZF=0.5-1$) elementleri için *Baccharis sarothroides* türünün hiperakümülatör olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bizim yaptığımız çalışmada yer alan ağır metallerden Zn ve Cu elementleri için zenginleştirme faktörünü ($ZF = \text{gövde metal}$

konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) kıyasladığımızda Zn elementi için benzer değerler elde edilirken Cu elementinin rezene bitkisinde daha yüksek ZF değerlerinde çıktığı görülmüştür (Şekil 3.3). Bu sonuç toprağın kirlilik düzeyine, iklim ve diğer belirleyici faktörlere göre farklılıklar gösterilmektedir.

3.2 Toprak Analiz Sonuçları

Sinop ilinin altı farklı alanından alınan toprak analizlerini incelediğimizde Zn elementinin altı toprak analizinde de en yüksek konsantrasyonda bulunduğu onu takip eden Fe elementinin de yine altı bölgede ikinci olarak en yüksek düzeylerde gözlemlenmiştir. Analiz sonuçların da yer alan diğer iki elementten biri olan Cu elementi 5 numaralı çalışma alanında diğer ağır metal olan Mn elementinden yüksek Zn ve Fe ağır metallerinden düşük miktardadır. Çalışma da yer alan Mn elementi ise 5 numaralı alan hariç diğer çalışma alanlarında üçüncü en yüksek konsantrasyonda ki ağır metaldir. Altı çalışma alanında ki ağır metallerin miktarlarının ortalamasının kıyaslaması: $Zn > Fe > Mn > Cu$ şeklindedir (Tablo 3.17).

Tablo 3.10 1 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarlar

ÖRNEK	ELEMENT	MİKTAR
1	Cu	1.294 mg/kg
	Fe	4.759 mg/kg
	Mn	1.552 mg/kg
	Zn	65.94 mg/kg

Tablo 3.11 2 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.

ÖRNEK	ELEMENT	MİKTAR
2	Cu	1.267 mg/kg
	Fe	7.775 mg/kg
	Mn	3.962 mg/kg
	Zn	83.81 mg/kg

Tablo 3.12 3 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.

ÖRNEK	ELEMENT	MİKTAR
3	Cu	1.447 mg/kg
	Fe	3.760 mg/kg
	Mn	2.077 mg/kg
	Zn	65.41 mg/kg

Tablo 3.13 4 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.

ÖRNEK	ELEMENT	MİKTAR
4	Cu	0.562 mg/kg
	Fe	7.771 mg/kg
	Mn	0.613 mg/kg
	Zn	107.2 mg/kg

Tablo 3.14 5 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.

ÖRNEK	ELEMENT	MİKTAR
5	Cu	1.926 mg/kg
	Fe	11.19 mg/kg
	Mn	1.018 mg/kg
	Zn	71.17 mg/kg

Tablo 3.15 6 Numaralı rezene bitkisinin toprak örneğinde ki ağır metal miktarları.

ÖRNEK	ELEMENT	MİKTAR
6	Cu	0.469 mg/kg
	Fe	8.184 mg/kg
	Mn	0.579 mg/kg
	Zn	115.9 mg/kg

Toprak ve bitki örnekleri kıyaslandığında 1 numaralı toprak örneğinde Zn miktarı en yüksek oranda iken, 1 numaralı bitkide Zn elementi en fazla köklerde tutulduğu görülmüştür. Toprak örneğinde Fe yoğunluk olarak 2.sırada iken, 1 numaralı bitkide Fe elementi köklerde en yoğun olduğu görülmüştür (Tablo 3.10).

2 numaralı bitki örneğin analiz sonuçlarına bakıldığında 1 numaralı örnekle benzer sıralamada olduğu görülmektedir. Toprakta ki en fazla oranda çıkan Zn elementi bitkide en fazla köklerde yoğunluk göstermiştir. Toprakta ikinci sırada en yoğun olarak bulunan Fe elementi bitkide en fazla köklerde biriktiği tespit edilmiştir (Tablo 3.11).

3 numaralı bitki örneğinde toprakta en yüksek konsantrasyon da bulunan Zn nin bitkide en fazla yapraklarda biriktiği görülmüştür. Bitkide en yüksek konsantrasyonda bulunan Fe elementinin de köklerde en fazla biriktiği tespit edilmiştir (Tablo 3.12).

4 numaralı bitki örneğinde de Zn ve Fe ağır metallerinin köklerde en yoğun bulunduğunu ve Zn ağır metali toprakta en yoğun iken bitkide sadece köklerde ki miktarlar baz alındığında ikinci en yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Fe elementi toprakta ki analiz sonuçlarında ikinci sırada yer alırken bitkide hem toplamda hem kökte en yoğun ağır metaldir (Tablo 3.13).

5 numaralı örneğin toprak analizlerinde en yoğun olan Zn ağır metali bitkide en yoğun ikinci ağır metal olup en fazla yapraklarda birikim yapmıştır. Toprakta ikinci sırada en yoğun olan Fe elementi, bitki de en yüksek miktarda yapraklarda birikim yapmıştır (Tablo 3.14).

6 numaralı örnekte ise 5 numaralı örnekte olduğu gibi Zn elementi toprakta en yüksek miktarda olup, en yoğun konsantrasyonda yaprakta görülmüştür. Fe elementi de toprak analizlerinde ikinci sırada olup bitkide en fazla birikimi yapraklarda yapmıştır (Tablo 3.14,3.15).

5 numaralı toprak analizi hariç tüm örneklerde Cu elementi toprakta en düşük miktarda olduğu görülmüştür ve bitkide ki ağır metal miktarlarında tüm örneklerde (1-6) en düşük miktarda ki ağır metaldir. Mn elementi ise 5 numaralı toprak analizinde en düşük miktarda olmasına rağmen bitkide yine 5 numaralı örnekte üçüncü en yüksek ağır metal olduğu gözlemlenmiştir. Mn elementi toprak analizlerinde 5 numaralı örnek hariç en yüksek miktarlarda üçüncü element olurken bitkide ki Mn miktarlarına bakıldığında yine 5 numaralı örnek hariç en yüksek birikim gösteren ikinci ağır metal olduğu görülmüştür (Tablo 3.14).

5 numaralı örnek haricinde diğer örneklerde bitkide ki toplam ağır metallerin sıralaması (Tablo 3.7) $Fe > Mn > Zn > Cu$ şeklinde iken toprakta ki ağır metallerin sıralaması $Zn > Fe > Mn > Cu$ şeklindedir (Tablo 3.14).

5 numaralı örnekte, bitkide ki element miktarı sıralaması (Tablo 3.5) $Fe > Zn > Mn > Cu$ şeklinde iken bu sıralama toprakta $Zn > Fe > Mn > Cu$ şeklindedir (Tablo 3.14).

Gökbayrak, 2018 yılında yaptığı çalışmada Sinop ilinin merkezinde 10 farklı alandan alınan toprak örneklerinden ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir (Tablo 3.16). Ortalama olarak en yoğun konsantrasyonda olan ağır metal sıralaması $Zn > Cu > Fe$ şeklindedir. Jeo birikim indeksleri ise merkez de Zn, Cu ve Fe için 0'ın altında kirlenmemiş olarak çıkmıştır. Rezene bitkisinin toprak örneklerini aldığımız bu çalışmanın analiz sonuçlarını (Tablo 3.17) kıyasladığımızda $Zn > Fe > Mn > Cu$ sıralamasına göre yoğunlukta olduğu görülmektedir. Sinop ili merkezinde yapılan bu çalışmalarda Zn ağır metalinin yoğunlukta bulunduğunu diğer çalıştığımız ağır metallerin konuma göre farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Burada doğal yayılım gösteren rezene bitkisinin Fe ağır metalini yoğunlukta biriktiği tespit edilmiştir bunun yanı sıra Gökbayrak, 2018 yılında yaptığı toprak çalışmasında bölgede bulunan hiperakümülatör

bitkiler olabileceğinden bugün ki değerlerle farklılıklar olabilmektedir. “Ayrıca toprak örneklerinin alındığı lokasyonlar da ağır metal içeriklerinin değişmesinde etkilidir.”

Tablo 3.16 Sinop ili merkezinde 10 farklı alandan alınan örneklerin toprak analizleri sonucunda Fe, Cu, Zn elementlerinin minimum, maximum ve ortalama değerleri (Gökbayrak, 2018).

	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Minimum	16,870	12,641	16,095
Maksimum	66,983	96,404	149,870
Ortalama	38,517	46,625	62,908

Tablo 3.17 Sinop ili merkezinde alınan rezene toprağının ağır metal konsantrasyonları

Örnekler	Cu	Fe	Mn	Zn
1	1.294 mg/kg	4.759 mg/kg	1.552 mg/kg	65.94 mg/kg
2	1.267 mg/kg	7.775 mg/kg	3.962 mg/kg	83.81 mg/kg
3	1.447 mg/kg	3.760 mg/kg	2.077 mg/kg	65.41 mg/kg
4	0.562 mg/kg	7.771 mg/kg	0.613 mg/kg	107.2 mg/kg
5	1.926 mg/kg	11.19 mg/kg	1.018 mg/kg	71.17 mg/kg
6	0.469 mg/kg	8.184 mg/kg	0.579 mg/kg	115.9 mg/kg
Minimum	0.469 mg/kg	3.760 mg/kg	0.579 mg/kg	65.41 mg/kg
Maksimum	1.926 mg/kg	11.19 mg/kg	3.962 mg/kg	115.9 mg/kg
Ortalama	1.16 mg/kg	7.24 mg/kg	1.64mg/kg	84.91 mg/kg

3.3 Jeo Birikim İndeksi (Igeo)

Sinop ilinden altı farklı lokasyondan denize mesafeleri, güneş açısı, yükseklik gibi faktörler dikkate alınarak yol kenarlarından 2023 yılı bahar aylarında alınan toprak örneklerinin jeo birikim indeksi hesaplanıp kirlilik düzeyleri belirlenmiştir. (Tablo 3.18) Sonuçlara göre Mn ve Cu elementinin jeo birikim indeksleri 0'ın altında çıkmış ve kirlenmemiş kategorisinde yer almıştır. Fe elementinin 1 ve 3 ncü lokasyonlarda 0'ın altında 2,4,5 ve 6 numaralı lokasyonlarda kirlenmemiş-orta kirlenmiş kategorisinde yer aldığı görülmüştür. Zn elementi ise 1-5 lokasyonlarında kirlenmemiş-orta derece kirlenmiş kategorisinde yer alırken 6 numaralı alanda orta derece kirlenmiş olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.18). Gökbayrak, 2018 de Sinop ilinin çeşitli bölgelerinde çalışma yapmış bu çalışmalardan bizimde çalışma alanımız olan merkez de 2018 yılında Zn, Cu ve Fe elementleri için jeo birikim indeksi kirlenmemiş olarak çıkarken 5 yıl sonra

yaptığımız bu çalışmada ise lokasyonlara göre farklılıklar olmakla birlikte Zn ve Fe elementleri için jeo birikim indeksinde artış görülmüştür.

Tablo 3.18 Sinop ilinde alınan altı farklı bölgede ki rezene toprağının jeo birikim indekslerine göre kirlilik düzeyleri ve ağır metal dağılımı

Örnek	Igeo<0	0<Igeo<1	1<Igeo<2
	Kirlenmemiş	Kirlenmemiş-orta kirlenmiş	Orta derecede kirlenmiş
1	Mn, Cu, Fe	Zn	x
2	Mn, Cu	Zn, Fe	x
3	Mn, Cu, Fe	Zn	x
4	Mn, Cu	Zn, Fe	x
5	Mn, Cu	Zn, Fe	x
6	Mn, Cu	Fe	Zn

Referans metal örneklerinde Rudnick vd., (2003) tarafından önerilen değerler kullanılmıştır.

3.4 Biyoakümülayon Faktörü (BAF)

Sinop ilinde altı farklı bölgeden aldığımız örneklerle yaptığımız analiz sonuçlarıyla rezene bitkisinin biyoakümülayon faktörü (BAF) (Şekil 3.1) hesaplanmıştır. Mellem ve vd., 2012 çalışmasına göre BAF 2 ve üzeri olan bitkiler hiperakümülatör olarak kabul edilmiştir. Mn, Fe, Cu, Zn ağır metalleri ile yaptığımız çalışmada sırasıyla BAF değerleri Fe> Mn > Cu > Zn şeklindedir. Çalışma alanı ve kirlilik düzeyleri farklılıkları bitkinin alındığı bölgenin su kaynaklarına, otoyollara, şehir merkezine mesafeleri göz önüne alındığında sonuçlarda ki farklılıklar olağandır. BAF değeri Fe, Cu, Mn ağır metalleri için 2'den yüksek çıkmıştır bu ağır metaller rezene bitkisinin fitoekstraksiyon potansiyelinin olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Zn elementinin BAF değeri 2'den düşüktür. Zn elementinin 2,3,6 numaralı çalışma alanlarında BAF değeri 0.1-1 arasında çıkmış ve 1, 4, 5 numaralı çalışma alanında ise 1-1,8 arasındadır. Altı farklı çalışma alanı BAF sonuçlarının ortalamaları ise 0,9 mg/kg olduğu görülmüştür.

Zayed ve vd. (1998) de dört farklı kategoride BAF verileri dikkate alındığında; 2, 3, 6 numaralı çalışma alanlarının Zn için orta derece hiperakümülatör; 1, 4, 5 numaralı çalışma alanlarının ise yüksek derece hiper akümülatör özellikte olduğunu, çalışma alanlarının BAF ortalaması olan 0,9 mg/kg değeri için ise Zn elementinin orta derece hiperakümülatör olduğunu söyleyebiliriz.

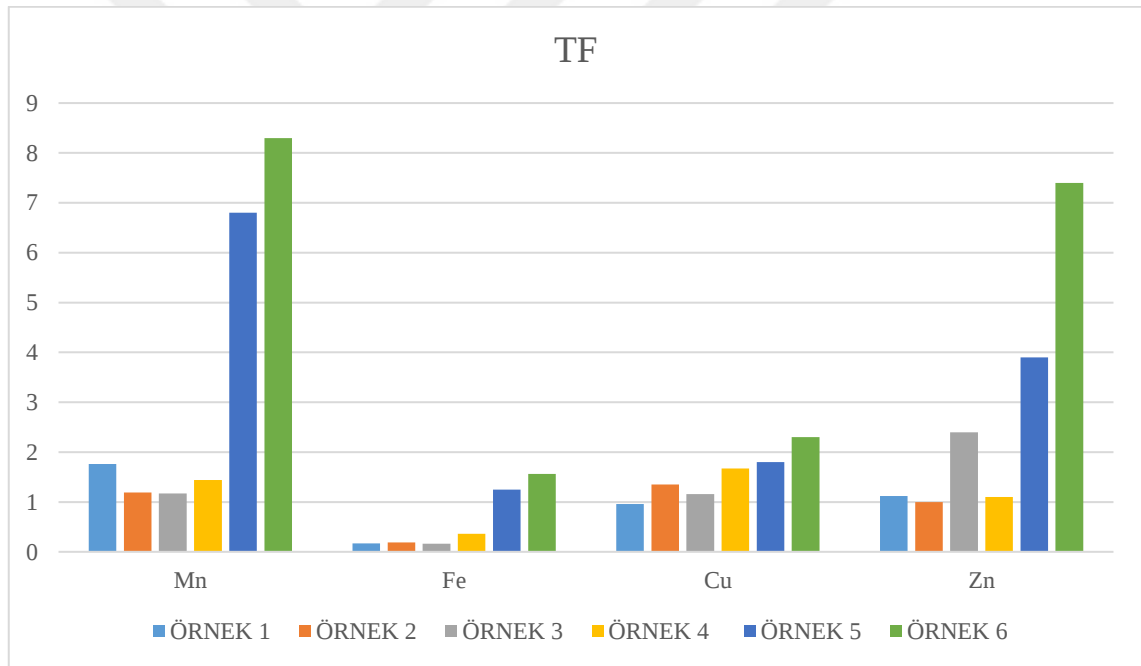
Özbek, tarafından yapılan çalışmaya göre ise, bir bitkinin Zn bakımından hiperakümülatör olabilmesi için Zn miktarı 10.000 ppm den yüksek olmalıdır (Özbek K., 2015). Yine aynı çalışmada belirtilen verilere göre, bitkide Zn açısından “fitoekstrakte” (akümülatör veya hiperakümülatör) olup olmadığını ve birikimini daha net olarak gözlemleyebilmek için örneklem alanı kirliliklerinin Zn oranı bakımından daha yüksek seviyelerde olması gerekmektedir. Bu verilere göre bizim çalışma sonuçlarımızın daha kesin olabilmesi için örnekleme alanlarında Zn konsantrasyonunun artırılması gerekmektedir. Mevcut konsantrasyonlar bitkimizin bu element bakımından akümülatör olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 3.1 Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin altı farklı örnekteki biyoakümülatasyon faktörü (BAF) değerleri

3.5 Translokasyon Faktörü (TF)

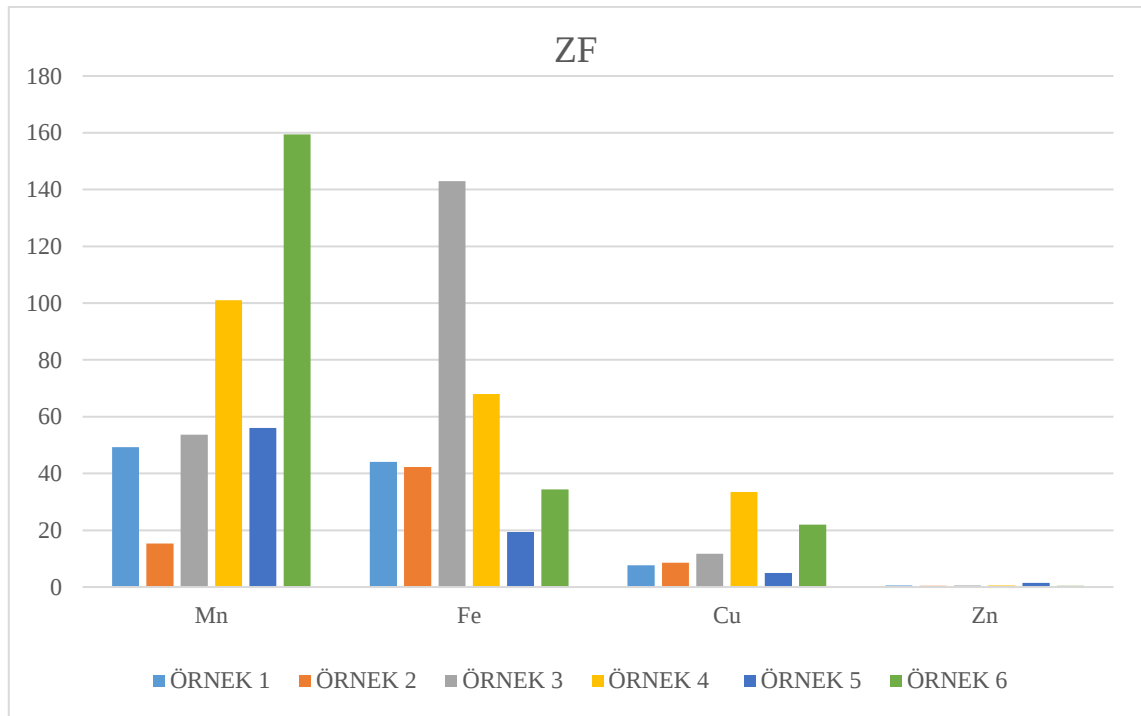
Rezene bitkisinin köklerinden üst organlarına ağır metal taşınımını incelemek için hesapladığımız translokasyon faktörü (TF) (Şekil 3.2) sonuçlarını incelediğimizde hiperakümülatör bitkiler için esas alınan $TF > 1$ koşuluna göre Mn elementi 1,2-8,3 mg/kg arasında, Fe elementi 0,2-1,6 mg/kg arasında, Cu elementi 1-2,3 mg/kg arasında ve Zn elementi ise 1,1-7,4 mg/kg arasında olduğu sonuçları görülmüştür. Mn, Cu, Zn ağır metalleri için $TF > 1$ sonucunda olup rezene bitkisinde bu ağır metallerin köklerden üst aksamına taşınımının iyi olduğu söylenebilir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre Mn, Cu ve Zn için rezene bitkisinin hiperakümülatör özellikte olduğu kanısına varabiliriz. Fe elementi için ise lokasyonlara göre taşınımında farklılıklar olduğu gözlemlense de bu çalışmada rezene bitkisinin en çok birikim yaptığı element olmakla birlikte hiperakümülatör olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.2 Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin altı farklı örnekteki Translokasyon faktörü değerleri

3.6 Zenginleştirme Faktörü (ZF)

Rezene (*Foeniculum vulgare*) bitkisinin yaprak ve gövde kısmında bulunan Mn, Fe, Cu ve Zn ağır metalleri altı farklı örnek için ayrı ayrı toplanıp, toprakta ki ağır metal konsantrasyonu değerlerine bölünerek zenginleştirme faktörü (ZF) hesaplanmıştır (Şekil 3.3). $ZF > 1$ oranından büyük olan hiperakümülatör potansiyeline sahip ağır metaller Mn, Fe ve Cu olarak tespit edilirken Zn elementinin sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür.



Şekil 3.3 Mn, Fe, Cu, Zn ağır metallerinin altı farklı örnekteki zenginleştirme faktörü değerleri.

3.7 Verilerin Değerlendirilmesi

ICP-MS cihazıyla analiz edilip elde edilen Mn, Fe, Cu ve Zn ağır metallerinin sonuçları ile rezene bitkisinin fitoremediasyon ve hiperakümülatör potansiyelini belirleyebilmek için biyoakümülatör faktörü (BAF), translokasyon faktörü (TF) ve zenginleştirme faktörü (ZF) hesaplanmıştır.

Rezene bitkisinin ICP-MS analiz sonuçlarını incelediğimizde ise Mn ve Cu ağır metallerinin BAF, TF ve ZF değerlerinin sınır değer olan 1'den yüksek bulunması (Şekil

3.1,3.3) rezene bitkisinin bu iki ağır metal için fitoekstraksiyon yönteminde kullanılabileceği değerlendirilmiştir (Çelikleş, 2020; Aybar, 2022).

Cu elementinin hiperakümülatör bir bitkide normal bitkiye göre 1000 ppm den fazla miktarda bulunması gerekmektedir (Özbek., 2015). Sonuçlarımız Özbek (2015)'in çalışmasıyla uyum göstermezken, BAF, TF, ve ZF değerlerimiz Çelikleş (2020) ve Aybar (2022)'in veri değerlendirmeleriyle uyumlu olup, Cu elementinin topraktan akümüle edilebildiği görülmüştür ve Cu elementi için rezene bitkisinin hiperakümülatör potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir.

20-550 ppm Mn çoğu bitkide yeterli düzeyde olmaktadır (Avcil N., 2018). Fakat bizim çalışmamızda rezene bitkisinde ki Mn düzeyleri bu seviyelerde değildir. Mn için çalışma sonuçlarımızdan elde ettiğimiz veriler Çelikleş (2020)'in veri değerlendirmelerine göre bitkinin bu element açısından “fitoekstrake” (akümülatör veya hiperakümülatör) yani topraktan sürgünlere aktarımının olduğunu söyleyebiliriz.

Örnekleme yaptığımız alanda ki toprak analiz sonuçlarına göre Mn ve Cu elementinin topraktaki kirlilik düzeylerinin jeo birikim indekslerince de kirlenmemiş olduğu göz önüne alındığında bu elementlerce kirlilik düzeylerinin daha yüksek olduğu ortamlarda fitoremediasyon potansiyellerinin değerlendirilmesi daha sağlıklı sonuçlar verecektir.

Fe ağır metalinin (Tablo 3.7) ise alınan örneklerde en çok birikim yapan element olduğu görülürken topraktan alınan miktarın büyük çoğunluğunun köklerde tutulduğu görülmüştür (Tablo 3.1,3.6) BAF ve ZF değerleri 1 sınır değerinden yüksek olan Fe elementinin TF değeri 1 değerine yakın çıkmıştır (Şekil 3.1,3.3). BAF değerinin çok yüksek oranlarda olduğunu da göz önüne alırsak Fe elementi için “fitoekstraktör” ve “fitostabilizatör” olduğunu söyleyebiliriz.

Zn elementi için toprakta ki jeo birikim indeksine göre (Tablo 3.18) doğal yayılım gösteren rezene bitkisinin Zn ağır metali için bitkinin köklerden üst sürgüne aktarımı olan translokasyon faktörü 1'den büyük çıkarken (Şekil 3.2), topraktan sürgünlere aktarımının incelendiği zenginleştirme faktörü (ZF) 1 sınır değerinden düşük (Şekil 3.3) ve biyoakümülyasyon faktörü (BAF) ise bitkinin topraktan akümüle edebilme yeteneğinin 0 ile 2 arasında olduğu görülmüştür (Şekil 3.1). Çelikleş, 2020 çalışmasında ki verilerle bizim çalışma sonuçlarımızın değerlendirilmesine göre; toprakta ki Zn miktarlarına baktığımızda (Tablo 3.17) rezene bitkisinin Zn elementinin bitkiye alınan kısmını yetersiz düzeyde de olsa translokasyon faktörünün sınır değerlerin üstünde olması üst organlara

taşıyabilme potansiyelinin olduğunu, aynı şekilde çalışma sonuçlarına göre Zn açısından bitkinin “fitoekstrakte potansiyeli”(akümülatör veya hiperakümülatör) olabileceği tespit edilmiştir (Çeliktaş, 2020).



4.ÖNERİLER

Yaptığımız çalışma kapsamında Sinop ili merkezinde doğal yayılış gösteren rezene (*Foeniculum vulgare*) bitkisinin fitoremediasyon potansiyeli tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada analiz edilen ağır metaller olan Fe, Cu, Mn ve Zn elementlerinin bitki ve toprak örnekleri analiz değerleri kullanılarak elde edilen sonuçlardan; rezene bitkisinin, iyileştirme yöntemlerinden olan fitoremediasyon yönteminde kullanılabilmesi açısından bu bitkide daha fazla çalışmalar yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

Yaptığımız araştırma kapsamında rezene bitkisinin yayılım gösterdiği alanda kökleri vasıtasıyla toprakta ki ağır metalleri alabildiği ve yeşil aksamına, biyoakümülayon faktörü, translokasyon faktörü ve Zenginleştirme faktörü ölçütlerine göre Mn, Cu elementlerini büyük ölçüde aktarabildiği, bunlardan dolayı da fitoekstraksiyon yönteminde kullanılabileceği görülmüştür. Fe elementi için ise hiperakümülatör bir bitki olmakla birlikte bu elementin topraktan uzaklaştırılmasında etkin olabileceği tespit edilmiştir. Zn ağır metali için ise hiperakümülatör potansiyelinin olduğu fakat daha net sonuçlar için Zn bakımından kirlilik oranı yüksek topraklarda yeni çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Genel olarak çalışma sonuçlarımız bitkilerin diğer canlılar için hayati faaliyetlerinin yanında çevre kirliliği ile mücadelede kullanılabileceğini ispatlamaktadır. Bu alanda bitkilerin bu özelliklerinin farkındalığının artması adına yeni bitkilerle ve yeni elementlerle farklı lokasyonlarda çalışılması bu alanı zenginleştirecektir. Yaptığımız çalışmanın sonuçlarının da bilim dünyasına katkılar sunacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adamidis, G. C., Aloupi, M., Kazakou, E., Ve Dimitrakopoulos, P. G. (2014). Intra-specific variation in Ni tolerance, accumulation and translocation patterns in the Ni-hyperaccumulator *Alyssum lesbiacum*. *Chemosphere*, 95, 496-502.
- Akıncı, Y. C., Yüksek, T., Ve Demirel, Ö. (2016). Ağır Metaller ile Kirlenmiş Toprağın İyileştirilmesinde Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash) ve Solucanların Kullanılması. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 1(1), 1-11.
- Alyüz, B., Çetin, Ş., Ve Ayberk, S. (2008). Organik kirleticilerin arıtımında fitoremediasyon yönteminin uygulanabilirliği. *Çevre sorunları sempozyumu*. Mayıs, Kocaeli.
- Asider, 5/2010 <http://www.asider.de/sinop/cografi-yapisi/>
- Avcil, N. Bitlis katı atık tesisi çevresindeki bazı hiperakümülatör bitkilerin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Avcı, M. (1993). Türkiye'nin flora bölgeleri ve " Anadolu Diagonali" ne coğrafi bir yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, (28), 225-248.
- Aybar, M., Ve Sağlam, B. (2022). Ağır metal iyonlarıyla kirlenmiş maden yatağı ve yakın çevresindeki toprakların fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesinin araştırılması.
- Aybar, M., Bilgin, A., Ve Sağlam, B. (2015). Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2), 59-65.
- Badgujar, S. B., Patel, V. V., Ve Bandivdekar, A. H. (2014). *Foeniculum vulgare* Mill: a review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. *BioMed research international*,
- Başgel, S., Ve Erdemoğlu, S. B. (2006). Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey. *Science of the total environment*, 359(1-3), 82-89.
- Batı Akdeniz Ajansı, Rezene Tarımı ve Endüstrisi. 2020
- Baydar, H. (2016). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler bilimi ve Teknolojisi (Genişletilmiş 5. Baskı) SDÜ Zir. Fak. Yay, (51 s 196).
- Conesa, H. M., Faz, Á., Ve Arnaldos, R. (2006). Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Unión mining district (SE Spain). *Science of the total environment*, 366(1), 1-11.
- Çeliktas, V. (2020). Adana ili Aladağ ilçesindeki krom maden yataklarında bulunan bitkilerin fitoremediasyon özelliklerinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı.
- Çoban, F., Hakan, Ö. z. e. r., Şahin, Ü., Selda, Ö. r. s., Ve Yıldız, G. (2019). Farklı sulama seviyelerinin rezene (*Foeniculum vulgare* Mill) bitkisinde verim ve verim unsurları ile su kullanımına etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(2), 229-235.
- Dağhan, H. (2016). *Tagetes patula* L. bitkisinin fitoremediasyon amaçlı kullanım potansiyelinin su kültürü koşullarında araştırılması. *Toprak Su Dergisi*, 5(2), 25-31.
- Davis D. 1984. *Flora of Turkey and the east Aegean islands*. Edinburg University Press, Edinburg, Scotland, 568 s.
- Dirican, A., Ve Telci, İ. (2016). Tokat florasında doğal yayılış gösteren rezene popülasyonlarının morfolojik ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53(3), 293-299.

- Doğru, A., Altundağ, H., Ve Dündar, Ş. (2021). Bitkilerde Ağır Metal Hiperakümülayonu ve Fitoremediasyon. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(2), 32-55.
- Elektorowicz, M., Ve Keropian, Z. (2015). Lithium, vanadium and chromium uptake ability of Brassica juncea from lithium mine tailings. *International journal of phytoremediation*, 17(6), 521-528.
- Favas, P. J., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R., Ve Paul, M. S. (2014). Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flora. *Environmental risk assessment of soil contamination*, 3, 485-516.
- Fındık, M. S. (2007). Türkiye'De çevre kirliliğine Yol açan unsurların önlenmesi çerçevesinde yeşil Vergi (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Elbasiouny, H., Ve Elbehiry, F. (2019). Mobility and Potential Ecological Risk Assessment of Copper and Zinc in Alluvial and Marine Soils in The North Nile Delta, Egypt. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 3(2019), 255-268
- Esringü, A., Ve Sezen, İ. (2021). Türkiye Florasında Peyzaj Özelliği Gösteren Hiperakümülatör Bitkilerin Maden Alanlarının Onarımında Kullanımı. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(1), 327-334.
- Gökbayrak, E. (2018). Sinop ili toprak örneklerinde ağır metal kirliliğinin belirlenmesi (Master's thesis, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Fizik Anabilim Dalı/Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı).
- Güneş, F., Ve Bozkurt, S. (2021). Bazı Hiperakümülatör Bitkiler Ve Özellikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 14(1), 67-90.
- Gürbüz, O. (2000). "Sinop çevresinde ekonomik faaliyetlerin coğrafi esasları 1. Coğrafya Dergisi."
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A. B., Cansaran-Duman, D., Ve Sümer, A. (2012). Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon, Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları. *Türk hijyen ve deneysel biyoloji dergisi*, 69(4), 235-253.
- Haque, N., Peralta-Videa, J. R., Jones, G. L., Gill, T. E., Ve Gardea-Torresdey, J. L. (2008). Screening the phytoremediation potential of desert broom (*Baccharis sarothroides* Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA. *Environmental Pollution*, 153(2), 362-368.
- Hina B., Rizwani G. H., Shareef, H., and Ahmed, M., 2012. Atomic absorption spectroscopic analysis of some Pakistani herbal medicinal products used in respiratory tract infections. *Pak. J. Pharm. Sci.*, Vol.25, No.1, January 2012, 247-253 247.
- İpek, A. (2019). Bazı tarım bitkileri kullanılarak kurşun kirliliğinin şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi (Master's thesis, Amasya Üniversitesi).
- Özbek, K. (2015). Hiperakümülayon ve Türkiye florasındaki hiperakümülatör türler Kürşad Özbek. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3(1), 37-43.
- Özyürek, F., Ve Leblebici, Z. (2016). Nevşehir'de farklı su kaynaklarıyla sulanan sebzelerde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) birikimi (Master's thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi).
- Kamar, V. (2016). ICP-OES ile ökse otunda ağır metal tayini (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kara, E. E., Ve Kara, E. (2018). Toprakta Ağır Metal Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri ve Çözüm Önerileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 56-62.
- Karami, A., Ve Shamsuddin, Z. H. (2010). Phytoremediation of heavy metals with several efficiency enhancer methods. *African Journal of Biotechnology*, 9(25), 3689-3698.

- Kılıç, D. D., Sürmen, B., Kutbay, H. G. Ve Tuna, E. E. (2019). Doğal Olarak Yayılış Gösteren *Lepidium draba* L. Türünün Fitoremediasyon Yönteminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 491-499.
- Kıran, Ö. (2018). Sosyal Bilimciler Gözüyle Sinop. Berikan Yayınevi. Ankara.
- Kirmani, M. Z. (2011). Determination of some toxic and essential trace metals in some medicinal and edible plants of Karachi city. *Journal of Basic Ve Applied Sciences*, 7(2).
- Mellem, J. J., Baijnath, H., Ve Odhav, B. (2012). Bioaccumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni with the ability for hyperaccumulation by *Amaranthus dubius*. *African Journal of Agricultural Research*, 7(4), 591-596
- Mill, R. R., Ve Tan, K. (1984). Flora of Turkey and the East Aegean islands. Edinburgh University Press
- Mohanty, M., Ve Patra, H. K. (2012). Phytoremediation potential of paragrass—an in situ approach for chromium contaminated soil. *International journal of phytoremediation*, 14(8), 796-805.
- Ustaoglu, D., Terzioğlu, K., Hasan, T. Ü. R. E., Yılmaz, E., Ve Tunca, E. (2016). “sucul ortamlardaki bakırın (cu), su mercimeği (lemna minor linneaus 1753) ile fitoremediasyonu.” Ordu Üniversitesi. *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 10-22.
- Tiryaki, O., Ve Potur, T. (2017). Toprakta Pestisitlerin Arındırılmasında Önemli Bir Araç: Fitoremediasyon. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. *Fen Bilimleri Dergisi*, 33(1), 59-68.
- Topseçer, F. (2021). Türkiye’de yayılış gösteren *Carum* L.(Apiaceae) cinsine ait türlerin its, trnL-F, trnL intron ve rbcL sekans dizilerine dayalı filogenetik analizi (Master's thesis, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- İrfan, A. Y. Ağır Metal Şelasyonunda Fitoremediasyon Tekniği ve Uygulamada Etkili Makrofitler. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 2(3), 77-82.
- İmamoğlu, İ., Erdoğan, S., (2017). Kirlenmiş Saha Temizleme/İyileştirme Teknolojileri Kılavuzu, 38-39.
- Palanivel, T. M., Pracejus, B., Ve Victor, R. (2020). Phytoremediation potential of castor (*Ricinus communis* L.) in the soils of the abandoned copper mine in Northern Oman: implications for arid regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 17359-17369.
- Pandey, V. C. (2012). Phytoremediation of heavy metals from fly ash pond by *Azolla caroliniana*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 82, 8-12.
- Rudnick, R. L., Gao, S., Holland, H. D., Ve Turekian, K. K. (2003). Composition of the continental crust. *The crust*, 3, 1-64.
- Sevgi, K., Ve Leblebici, S. (2022). Bitkilerde Ağır Metal Stresine Verilen Fizyolojik ve Moleküler Yanıtlar. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 7(4), 528-536.
- Shafi, N., Pandit, A. K., Kamili, A. N., Ve Mushtaq, B. (2015). Heavy metal accumulation by *azollapinnata* of dal lake ecosystem, India. *Development*, 1(1), 8-12.

- Sürmen, B., Kılıç, D. D., Kutbay, H. G., Ve Tuna, E. E. (2019). Doğal olarak yayılış gösteren *Lepidium draba* L. türünün fitoremediasyon yönteminde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 491-499.
- Sidhu, G. p. s., Singh, H. P., Batish, D. r., Ve Kohli, R. k. (2017). Tolerance and hyperaccumulation of cadmium by a wild, unpalatable herb *Coronopus didymus* (L.) Sm.(Brassicaceae). *Ecotoxicology and environmental safety*, 135, 209-215.
- Şenkul, Ç., Ve Seda, K. a. y. a. (2017). Türkiye endemik bitkilerinin coğrafi dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (69), 109-120.
- Şanlı, A., Karadoğan, T., Ve Baydar, H. (2008). Doğal olarak yetişen tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*)'nin farklı büyüme ve gelişme dönemlerinde uçucu yağ miktarı ile bileşenlerinin belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 17-22.
- USDA, 2011. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 24.
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., ... Ve Mench, M. (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 765-794.
- Yıldıztekin, M., Ulusoy, H., Ve Tuna, A. L. (2019). Ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde fitoremediasyon yöntemi: tıbbi ve aromatik bitkilerin uygunluğu. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü*.
- Yaldız, G., Ve Şekeroğlu, N. (2013). Tıbbi ve aromatik bitkilerin bazı ağır metallere tepkisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1), 80-84.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Sahin, U., Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Türk Doğa Ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114. <https://doi.org/10.46810/tdfd.718449>.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ve Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the total environment*, 368(2-3), 456-464.
- Vanlı, Ö. (2007). Pb, Cd, B Elementlerinin topraklardan şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Zengin, K. F., Ve Munzuroğlu, Ö. (2005). Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. Strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin (Ni²⁺, Co²⁺, Cr³⁺, Zn²⁺) etkileri. *FÜ. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 164-172.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Enes Furkan YAVAŞ

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Fatih Anadolu Lisesi, 2014

Lisans : Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü,
2019

Yüksek Lisans : Sinop Üniversitesi Disiplinlerarası Çevre Sağlığı

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Yunus Emre Devlet Hastanesi /Eskişehir/Tepebaşı, 2020