

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



TOPRAK VE BİTKİLERDEKİ BAZI BESİN ELEMENTLERİNİN
MADENCİLİK FAALİYETLERİNE BAĞLI OLARAK
DEĞİŞİMİ: BAKIR MADENCİLİĞİ ÖRNEĞİ

HÜSEYİN ALİ ERGÜL

DOKTORA TEZİ

DOÇ. DR. İNCİ SEVİNÇ KRAVKAZ KUŞÇU

TEMMUZ - 2025

KASTAMONU

TEZ ONAYI

HÜSEYİN ALİ ERGÜL tarafından hazırlanan “**Toprak ve Bitkilerdeki Bazı Besin Elementlerinin Madencilik Faaliyetlerine Bağlı Olarak Değişimi: Bakır Madenciliği Örneği**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **08.07.2025** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞÇU Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Hakan ŞEVİK Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Nurcan YİĞİT Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Ahmet DUYAR Karabük Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. İsmail KOÇ Düzce Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Selahattin KAYMAKCI

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Hüseyin Ali ERGÜL

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TOPRAK VE BİTKİLERDEKİ BAZI BESİN ELEMENTLERİNİN MADENCİLİK FAALİYETLERİNE BAĞLI OLARAK DEĞİŞİMİ: BAKIR MADENCİLİĞİ ÖRNEĞİ

HÜSEYİN ALİ ERGÜL

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:DOÇ. DR. İNCİ SEVİNÇ KRAVKAZ KUŞÇU

Son yüzyılda sanayi alanında ihtiyaç duyulan hammaddenin temin edilmesi için gerekli olan madencilik faaliyetleri sürekli artmaktadır. Yapılan bu faaliyetler doğrudan veya dolaylı olarak toprak, su ve havayı önemli ölçüde etkileyen faaliyetlerdir. Bu faaliyetler sonucunda hem çeşitli elementler doğaya salınmakta hem de toprağın yapısı önemli ölçüde değişebilmektedir. Madencilik faaliyetlerinin özellikle topraktaki etkilerinin belirlenmesi, hem madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, hem de bu sahaların madencilik faaliyetleri sonrasında restorasyonu konusunda yapılacak çalışmalar açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada uzun yıllardır bakır madenciliği yapılan bir sahada pasa sahası, bitkilendirme (revejetasyon) yapılmış ve en az 20 yaşında yetişkin ağaçların bulunduğu rehabilitasyon sahası ve maden sahası içerisinde bulunan ancak herhangi bir işlem yapılmamış ormanlık alanda farklı toprak derinliklerinden toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örnekleri rehabilitasyon sahası ve ormanlık alanda *Pinus nigra* Arnold., *Pinus sylvestris* L. ve *Robinia pseudoacacia* L. türlerinin yetiştiği topraklardan alınmış ayrıca aynı bölgelerdeki ağaçlardan yaprak, kabuk, odun ve kök örnekleri toplanmıştır. Çalışma kapsamında hem topraklarda tür ve toprak derinliği, hem de bitkilerde tür ve organlardaki element konsantrasyonlarının değişimi değerlendirilmiştir. Böylece element konsantrasyonlarının toprak ve bitkilerdeki düzeyi değerlendirilmiş ayrıca, bitkilerde her bir organ için biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ve translokasyon faktörü (TF) hesaplanarak fitoremediasyon çalışmaları için en uygun tür ve organların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma sonucunda genel olarak hem topraklarda hem de bitki organlarındaki element konsantrasyonlarının önemli düzeyde değiştiği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Cu konsantrasyonunun alt topraklarda pasa sahalarında sadece *Pinus sylvestris* türünde belirlenebilir limitler dahilinde birikim yaptığı belirlenmiştir. Hem pasa hem de *Pinus sylvestris* dışında rehabilite edilen pasa sahalarında Cu konsantrasyonunun belirlenebilir limitlerin altında kalması, madencilik faaliyetleri esnasında topraktan Cu'nun büyük ölçüde alındığını göstermektedir. Tür olarak birçok elementte en yüksek konsantrasyonlar genel olarak *Pinus nigra*'da elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında bitki organlarının TF değerleri hesaplanmıştır. Ağır metaller için TF değeri 1'den büyük olan ağaçlar güçlü akümülatörler olarak kabul edilmektedir. Çalışma sonucunda TF değeri Cu dışında B ve Ge elementlerinde organların çoğu için hesaplanamamıştır. Buna karşın bu elementler de dahil olmak üzere çalışmaya konu elementlerin Pb dışında tamamında en az 1 türün organında TF değerinin 1'in üzerinde olduğu hesaplanmıştır. Bu sonuç, çalışmaya konu türlerin birçok element için fitoremediasyon çalışmalarında kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Çalışma sonucunda topraklarda Cr ve Cd gibi insan sağlığı açısından son derece zararlı bazı element konsantrasyonlarının belirlenebilir limitlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Bunun dışında Cu konsantrasyonu da pasa sahasındaki topraklarda büyük oranda belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Ancak bu elementlerin bitkilerdeki konsantrasyonları oldukça yüksek düzeydedir. Bu sonuç madencilik sahalarında ağır metal kirliliğinin tek kaynağının toprak olmadığını göstermektedir. Bu sahalarda madencilik prosesi esnasındaki ağır metal kirlilik kaynaklarının ayrıca değerlendirilmesi önerilmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER:Toprak Özellikleri, Element, Bakır Madenciliği

Temmuz 2025, 124 Sayfa

ABSTRACT

PH.D THESIS

CHANGES IN SOME NUTRIENT ELEMENTS IN SOIL AND PLANTS DUE TO MINING ACTIVITIES: THE CASE OF COPPER MINING

HÜSEYİN ALİ ERGÜL

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF FOREST ENGINEERING

SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. İNCİ SEVİNÇ KRAVKAZ KUŞÇU

In the last century, mining activities, which are necessary to provide the raw materials needed in the industry, have been increasing continuously. These activities directly or indirectly affect soil, water, and air significantly. As a result of these activities, various elements are released into nature, and the structure of the soil can change considerably. Determining the effects of mining activities, especially on soil, is vital for evaluating the environmental impacts of mining activities and for the studies to be carried out on restoring these sites after mining activities.

In this study, soil samples were taken from different soil depths in a copper mining site where copper mining has been carried out for many years, in a waste site, in a rehabilitation site with revegetation and adult trees at least 20 years old, and in a forested area within the mining site but without any treatment. Soil samples were taken from soils where *Pinus nigra* Arnold., *Pinus sylvestris* L., and *Robinia pseudoacacia* L. species grow in the rehabilitation site and forest area, and leaf, bark, wood, and root samples were collected from trees in the same areas. Within the scope of the study, the variation of element concentrations in soils by species and soil depth and in plants by species and organs were evaluated. Thus, the element concentrations in soils and plants were evaluated, and the bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) were calculated for each plant organ to determine the most suitable species and organs for phytoremediation studies.

As a result of the study, it was determined that element concentrations in both soils and plant organs varied significantly. As a result of the study, it was determined that Cu concentration accumulated within the determinable limits only in *Pinus sylvestris* species in the leach fields in the subsoils. Cu concentrations were below the determinable limits in both the tailings and rehabilitated tailings sites, other than *Pinus sylvestris*, indicating that Cu was largely removed from the soil during mining activities. In terms of species, the highest concentrations of many elements were generally obtained in *Pinus nigra*.

TF values of plant organs were calculated within the scope of the study. Trees with TF values greater than 1 for heavy metals are considered strong accumulators. As a result, TF values could not be calculated for most of the organs for the elements B and Ge, except Cu. On the other hand, including these elements, the TF value was calculated to be above 1 in the organs

of at least 1 species in all studied elements except Pb. This result reveals that the species subject to the study can be used in phytoremediation studies for many elements.

In conclusion, it was determined that the concentrations of some elements, such as Cr and Cd, which are highly harmful to human health, were below the determinable limits. Apart from this, Cu concentration was also below the determinable limits to a great extent in the soils in the tailings area. However, the concentrations of these elements in plants are quite high. This result shows that soil is not the only source of heavy metal pollution in mining sites. It is recommended that the sources of heavy metal pollution during the mining process at these sites be evaluated separately.

KEYWORDS:Soil Properties, Element, Copper Mining

July 2025, 124 Page



TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca yanımda olan ve desteğini bir an eksik etmeyen, danışmanlığı ile yol gösterici olan çok değerli hocam sayın Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞÇU'ya sonsuz minnettarlığımı sunarım.

Değerli hocalarım Prof. Dr. Hakan ŞEVİK ve Prof. Dr. Nurcan YİĞİT'e destekleri için sonsuz teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Gaziemir Orman İşletme Müdürlüğündeki çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Torbalı Orman İşletme Şefliğinde görevli İşletme Şefi Emrah BOZ'a ve Dağteke Orman İşletme Şefliğinde görevli orman muhafaza memurları Gürsel BİLGİN, İbrahim TEKKAYA, Abdulkadir SERİM'e teşekkür ederim.

Bu süreçte daima yanımda olan sevgili eşim Fatma Hilal ERGÜL ve çocuklarım Muhammed Efe ERGÜL, Ahmet Ege ERGÜL, Deniz Alp ERGÜL'e teşekkürü borç bilirim.

HÜSEYİN ALİ ERGÜL

Kastamonu, 2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Çalışmaya Konu Elementler	4
2.2 Türkiye’de Bakır Madenciliği ve Çalışma Alanı	13
2.2.1 Restorasyon ve Rekreasyon (Arazi Onarımı ve Araziyi Düzenleme) ..	17
2.2.2 Çalışma Alanında Doğaya Yeniden Kazandırma Çalışmaları.....	18
2.2.2.1 Rehabilitasyon (Arazi ıslahı).....	21
2.2.2.2 Revejetasyon (Arazide flora oluşturma)	24
2.3 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
4. BULGULAR	37
4.1 Bitki Organlarında ve Topraklardaki Ağır Metal Konsantrasyonları	37
4.2 Elementlerin BCF ve TF Değerleri.....	70
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	100
6. ÖNERİLER.....	107
KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ.....	124

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Rusya Udachnaya elmas madeni (tam kokurdan tip)	17
Şekil 2.2 Avusturalya Whaleback demir madeni (açık kokurdan tip)	18
Şekil 2.3 ETİ Bakır A.Ş. Küre işletmesinin reklamasyon ve rekültivasyon bölgeleri	20
Şekil 2.4 Dik eğimli bölgelerde kademe yüzeyinde düzenlemeler	21
Şekil 2.5 Sahada düz ve hafif eğimli arazilerde bitkisel toprak serimi	22
Şekil 2.6 Sahada eğimli arazilerde seki teras uygulaması ve toprak serimi	23
Şekil 2.7 Sahada çok eğimli arazilerde cascade sistemi ve toprak serimi	24
Şekil 2.8 Sahada dik eğimli bölgelerde kademe üzerindeki damla sulama sistemi ...	26
Şekil 2.9 Yapılan çalışmalara bir örnek	27
Şekil 2.10 Revejetasyon sahası	28
Şekil 2.11 Revejetasyon sahası	28
Şekil 3. 1 Numunelerin alındığı pasa sahası	33
Şekil 3. 2 Numunelerin alındığı revejetasyon sahası	34
Şekil 3. 3 Numunelerin alındığı ormanlık alan	34

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1 Bitkilerde Mg konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	37
Tablo 4.2 Topraklarda Mg konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	38
Tablo 4.3 Bitkilerde Ca konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	38
Tablo 4.4 Topraklarda Ca konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	39
Tablo 4.5 Bitkilerde K konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	39
Tablo 4.6 Topraklarda K konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	40
Tablo 4.7 Bitkilerde Fe konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	40
Tablo 4.8 Topraklarda Fe konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	41
Tablo 4.9 Bitkilerde Al konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	41
Tablo 4.10 Topraklarda Al konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	42
Tablo 4.11 Bitkilerde P konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	42
Tablo 4.12 Topraklarda P konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	43
Tablo 4.13 Bitkilerde S konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	43
Tablo 4.14 Topraklarda S konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	44
Tablo 4.15 Bitkilerde Ba konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	44
Tablo 4.16 Topraklarda Ba konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	45
Tablo 4.17 Bitkilerde Bi konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	45
Tablo 4.18 Topraklarda Bi konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	46
Tablo 4.19 Bitkilerde B konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	46
Tablo 4.20 Topraklarda B konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	47
Tablo 4.21 Bitkilerde Co konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	47
Tablo 4.22 Topraklarda Co konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	48
Tablo 4.23 Bitkilerde Cu konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	48
Tablo 4.24 Topraklarda Cu konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	49
Tablo 4.25 Bitkilerde Ga konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	49
Tablo 4.26 Topraklarda Ga konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	50
Tablo 4.27 Bitkilerde In konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	50
Tablo 4.28 Topraklarda In konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	51
Tablo 4.29 Bitkilerde Pb konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	51

Tablo 4.30 Topraklarda Pb konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	52
Tablo 4.31 Bitkilerde Li konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	52
Tablo 4.32 Topraklarda Li konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	53
Tablo 4.33 Bitkilerde Mn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	53
Tablo 4.34 Topraklarda Mn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	54
Tablo 4.35 Bitkilerde Ag konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	54
Tablo 4.36 Topraklarda Ag konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	55
Tablo 4.37 Bitkilerde Na konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	55
Tablo 4.38 Topraklarda Na konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	56
Tablo 4.39 Sr'un farklı alanlarda yetişen ağaçlarda organ bazında değişimi	56
Tablo 4.40 Topraklarda Sr konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	57
Tablo 4.41 Bitkilerde Tl konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	57
Tablo 4.42 Topraklarda Tl konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	58
Tablo 4.43 Bitkilerde V konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	58
Tablo 4.44 Topraklarda V konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	59
Tablo 4.45 Bitkilerde Zn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	59
Tablo 4.46 Topraklarda Zn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	60
Tablo 4.47 Bitkilerde Au konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	60
Tablo 4.48 Topraklarda Au konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	61
Tablo 4.49 Bitkilerde Ge konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	61
Tablo 4.50 Topraklarda Ge konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	62
Tablo 4.51 Bitkilerde Mo konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	62
Tablo 4.52 Topraklarda Mo konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	63
Tablo 4.53 Bitkilerde Nb konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	63
Tablo 4.54 Topraklarda Nb konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	64
Tablo 4.55 Bitkilerde Pd konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	64
Tablo 4.56 Topraklarda Pd konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	65
Tablo 4.57 Bitkilerde Sn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	65
Tablo 4.58 Topraklarda Sn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	66
Tablo 4.59 Bitkilerde Zr konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	66
Tablo 4.60 Topraklarda Zr konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	67
Tablo 4.61 Topraklarda Be konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	67

Tablo 4.62 Topraklarda Pt konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	68
Tablo 4.63 Topraklarda Sc konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi	68
Tablo 4.64 Bitkilerde Cd konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	69
Tablo 4.65 Bitkilerde Cr konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi	69
Tablo 4.66 Mg elementinin BCF değerleri	70
Tablo 4.67 Mg elementinin TF değerleri	70
Tablo 4.68 Ca elementinin BCF değerleri	71
Tablo 4.69 Ca elementinin TF değerleri	71
Tablo 4.70 K elementinin BCF değerleri	72
Tablo 4.71 K elementinin TF değerleri	72
Tablo 4.72 Fe elementinin BCF değerleri	73
Tablo 4.73 Fe elementinin TF değerleri	73
Tablo 4.74 Al elementinin BCF değerleri	74
Tablo 4.75 Al elementinin TF değerleri	74
Tablo 4.76 P elementinin BCF değerleri	75
Tablo 4.77 P elementinin TF değerleri	75
Tablo 4.78 S elementinin BCF değerleri	76
Tablo 4.79 S elementinin TF değerleri	76
Tablo 4.80 Ba elementinin BCF değerleri	77
Tablo 4.81 Ba elementinin TF değerleri	77
Tablo 4.82 Bi elementinin BCF değerleri	78
Tablo 4.83 Bi elementinin TF değerleri	78
Tablo 4.84 B elementinin BCF değerleri	79
Tablo 4.85 B elementinin TF değerleri	79
Tablo 4.86 Co elementinin BCF değerleri	80
Tablo 4.87 Co elementinin TF değerleri	80
Tablo 4.88 Cu elementinin BCF değerleri	81
Tablo 4.89 Cu elementinin TF değerleri	81
Tablo 4.90 Ga elementinin BCF değerleri	82
Tablo 4.91 Ga elementinin TF değerleri	82
Tablo 4.92 In elementinin BCF değerleri	83
Tablo 4.93 In elementinin TF değerleri	83
Tablo 4.94 Pb elementinin BCF değerleri	84
Tablo 4.95 Pb elementinin TF değerleri	84
Tablo 4.96 Li elementinin BCF değerleri	85
Tablo 4.97 Li elementinin TF değerleri	85
Tablo 4.98 Mn elementinin BCF değerleri	86
Tablo 4.99 Mn elementinin TF değerleri	86
Tablo 4.100 Ag elementinin BCF değerleri	87
Tablo 4.101 Ag elementinin TF değerleri	87
Tablo 4.102 Na elementinin BCF değerleri	88
Tablo 4.103 Na elementinin TF değerleri	88
Tablo 4.104 Sr elementinin BCF değerleri	89
Tablo 4.105 Sr elementinin TF değerleri	89
Tablo 4.106 Tl elementinin BCF değerleri	90
Tablo 4.107 Tl elementinin TF değerleri	90
Tablo 4.108 V elementinin BCF değerleri	91

Tablo 4.109 V elementinin TF değerleri.....	91
Tablo 4.110 Zn elementinin BCF değerleri	92
Tablo 4.111 Zn elementinin TF değerleri	92
Tablo 4.112 Au elementinin BCF değerleri.....	93
Tablo 4.113 Au elementinin TF değerleri.....	93
Tablo 4.114 Ge elementinin BCF değerleri	94
Tablo 4.115 Ge elementinin TF değerleri	94
Tablo 4.116 Mo elementinin BCF değerleri	95
Tablo 4.117 Mo elementinin TF değerleri	95
Tablo 4.118 Nb elementinin BCF değerleri.....	96
Tablo 4.119 Nb elementinin TF değerleri.....	96
Tablo 4.120 Pd elementinin BCF değerleri.....	97
Tablo 4.121 Pd elementinin TF değerleri	97
Tablo 4.122 Sn elementinin BCF değerleri.....	98
Tablo 4.123 Sn elementinin TF değerleri	98
Tablo 4.124 Zr elementinin BCF değerleri	99
Tablo 4.125 Zr elementinin TF değerleri.....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	: Yüzde
~	: Yaklaşık
°	: Derece
°C	: Santigrat derece
µg g ⁻¹	: Gramdaki ... mikrogram miktarı
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
As ^{III}	: Arsenit
As ^V	: Arsenat
Au	: Altın
B	: Bor
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Bi	: Bizmut
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
g kg ⁻¹	: Kilogramdaki ... gram miktarı
Ga	: Galyum
Ge	: Germanyum
H	: Hidrojen
Hg	: Cıva
In	: İndiyum
K	: Potasyum
Li	: Lityum
m ³	: Metreküp
max	: En fazla
mcg/dL	: Desilitre başına mikrogram
mg kg ⁻¹ dw	: Kilogramdaki ... kuru ağırlıktaki miligram miktarı
mg kg ⁻¹	: Kilogramdaki ... miligram miktarı
mg L ⁻¹	: Litredeki ... miligram miktarı
Mg	: Magnezyum
mg/kg fw	: Miligram/kilogramdaki yaş ağırlık
mg/kg	: Miligram/kilogram
mg/L	: Miligram/litre
mg/m ³	: Miligram/metreküp
min	: En az
mmol _c dm ³	: Litredeki milimol miktarı
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden

N	: Azot
Na	: Sodyum
Nb	: Niyobyum
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
Pd	: Paladyum
ppm	: Milyonda bir
Pt	: Platin
Pu	: Plütoneyum
S	: Kükürt
Sb	: Antimon
Sc	: Skandiyum
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
SO₂	: Kükürt dioksit
Sr	: Stronsiyum
Th	: Toryum
Tl	: Talyum
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum

Kısaltmalar

ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry
EPA	: Environmental Protection Agency
IARC	: International Agency for Cancer Research
NOHSC	: Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonu
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
BCF	: Biyokonsantrasyon Faktörü
TF	: Translokasyon Faktörü
IEC	: İyon değiştirme kapasitesi
UV-B	: Ultraviolet B
Pn	: <i>Pinus nigra</i>
Ps	: <i>Pinus sylvestris</i>
Rp	: <i>Robinia pseudoacacia</i>
p<0,05	: p<%95

1. GİRİŞ

Son yüzyılda sanayi devrimi ve teknolojik alanda yaşanan gelişmeler ile birlikte insanların istek ve ihtiyaçları çeşitlenerek artmıştır. Bu istek ve ihtiyaçların karşılanabilmesi amacıyla yapılan üretimlerde yeraltındaki mineral kaynakların çıkartılarak sanayideki hammadde olarak kullanılmaktadır (Cesur vd., 2021; Ghoma vd., 2022). Gelişen sanayinin ihtiyaç duyduğu hammadde miktarındaki artışa bağlı olarak, dünya genelinde maden üretimi ve maden işletmeciliği hızla artmaktadır (Gao vd., 2021; Makineci vd., 2011).

Madencilik faaliyetleri doğrudan veya dolaylı olarak toprak, su ve havayı önemli ölçüde etkileyen faaliyetlerdir. Madencilik faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atık ürünleri, özellikle toprak kirliliğine sebebiyet vermektedir (Weissenstein ve Sinkala, 2011). Çünkü madencilik faaliyetleri, kontrolsüz bir şekilde salınan, ekosistemin yaygın şekilde kirlenmesine neden olan büyük miktarlarda ağır metal yüklü atıkların oluşumuna neden olmaktadır (Fashola vd., 2016). Madencilik, topraklarda alüminyum (Al), arsenik (As), bakır (Cu), çinko (Zn), krom (Cr), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) gibi ağır metal seviyelerine katkıda bulunan antropojenik faaliyetlerin başında gelmektedir (Ngole ve Ekosse, 2012). Elbette ki madencilik faaliyetlerinin bulundukları ülkelerin ekonomisine olan katkıları yadsınamaz (Ndinwa ve Ohwona 2014). Ancak madencilik faaliyetlerinin bulundukları ortam üzerindeki olumsuz etkileri de göz ardı edilemez. Bu nedenle, madencilikten elde edilecek ekonomik gelişme, doğuracağı çevre sorunlarıyla bir bütün olarak değerlendirilmelidir (Paktunç, 2001). Madencilik faaliyetlerinin çevre üzerindeki zararlı etkileri birçok araştırmacı tarafından defalarca vurgulanmaktadır (Ghazaryan vd., 2016).

Madencilik faaliyetleri esnasında yer altındaki maden yataklarındaki çeşitli elementler yer üstüne çıkartılarak doğaya salınmaktadır. Bu elementlerin hem sanayi faaliyetlerinde hammadde olarak kullanılması, hem de madencilik prosesi esnasında kullanılan çeşitli kimyasallar çok sayıda elementin toprak, su ve havaya karışmasına ve büyük oranda çevre kirliliğinin oluşmasına sebep olmaktadır (Kuzmina vd., 2023; Makineci vd., 2021). Günümüzde çevre kirliliği küresel bir sorun haline gelmiş olup,

dünya genelinde bütün canlıları ve ekosistemleri etkilediği, hatta küresel iklim değişikliğinin başlıca sorumlusu olduğu belirtilmektedir (Özel vd., 2024; Tekin vd., 2022; Varol vd., 2022). Avrupa Çevre Ajansının verilerine göre hava kirliliği, Avrupa’da tek ve en büyük çevre sorunu olarak görülmektedir (Arıcak vd., 2024; Cobanoğlu vd., 2023).

Madencilik faaliyetleri sonucunda doğaya salınan çeşitli elementler bulunmaktadır. Bu elementlerden bazıları ağır metallerdir. Çevre kirliliği bileşenleri içerisinde en zararlı olanlarının ağır metaller olduğu belirtilmektedir (Isınkaralar vd., 2024a). Çünkü ağır metaller doğada kolay kolay bozulmaz ve uzun süre kalırlar. Birçoğu canlılar için düşük konsantrasyonlarda bile zararlı, kanserojen ve hatta ölümcüldür (Ghoma vd., 2022; Istanbulu vd., 2023). Özellikle Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Hg, Ni, Pd, Pu, Sb, Se, Sr, Tl, Th, U, V ve Zn insan ve çevre sağlığı açısından son derece zararlı olduğundan ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) tarafından öncelikli kirletici listesine dahil etmiştir (Savas vd., 2021). Bu elementler ağır metaller olarak tanımlanmakta olup, ağır metallerin özellikle madencilik faaliyetleri, sanayi, taşıtlar gibi antropojenik etkilerle doğadaki konsantrasyonlarının sürekli arttığı belirtilmekte, ağır metal kirliliğinin azaltılması konusundaki çalışmalar öncelikli araştırma konuları arasında yer almaktadır (Key vd., 2023; Koç vd., 2024).

Bazı elementler ise hem ağır metal olarak tanımlanmakta hem de bitki beslenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bitki beslenmesinde 16 adet mutlak besin elementi gerekli olup bunların dokuz tanesi (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S) makro besin elementleri, 7 tanesi (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo, Cl) mikro besin elementleridir. Bu elementlerden Zn ve Cu ATSDR’nin öncelikli kirletici listesinde de yer almaktadır. Ancak bu elementler aynı zamanda bitki gelişiminde mutlaka gereklidir (Aygün vd., 2018). Madencilik faaliyetleri sonucunda bu elementlerin topraktaki miktarı ve dağılımı da değişmektedir. Madencilik sahalarında başarılı bir rehabilitasyon çalışması yapabilmek için, bu elementlerin topraktaki miktarı, dağılımı ve bu alanlarda yetişen bitki organlarında bu elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi önemlidir.

Bunların dışında bazı elementler de ağır metal olarak sınıflandırılmakla birlikte hem bitkiler için gerekli olmayan ancak ATSDR veya EPA gibi kuruluşlar tarafından da

öncelikli kirletici listesinde yer almayan elementlerdir. B, Li, Ga, Bi gibi elementler de bu elementlere örnek olarak verilebilir. Yapılan çalışmalar bu elementlerin de yüksek konsantrasyonlarda canlılar için zararlı olduğunu ortaya koymaktadır (Isinkaralar vd., 2024a; Kulaç vd., 2024; Şevik ve Elajail, 2022).

Sonuç olarak ağır metallerin doğadaki döngülerinin anlaşılması, bitkilerdeki birikim düzeylerinin değişimlerinin belirlenmesi ve farklı bitkilerin bünyesindeki hareketlerinin tespit edilmesi pek çok açıdan büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmaların özellikle madencilik sahaları, sanayi bölgeleri ve kentsel alanlar gibi ağır metal konsantrasyonlarının yüksek düzeyde olduğu alanlarda yapılması daha da önemlidir. Bu çalışmada da insan ve çevre sağlığı açısından önem taşıyan bazı ağır metallerin madencilik faaliyeti yürütülen alanlarda toprak ve bitki organlarındaki konsantrasyonlarının değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Uzun yıllardır bakır madenciliği yapılan ve madencilik çalışmaları tamamlanan alanlarda rehabilitasyon çalışmaları yürütülen alanlarda gerçekleştirilen çalışmada ormanlık alan ile pasa sahalarında farklı türlerin yetiştiği alanlarda, ağır metal konsantrasyonlarının toprak derinliği ve bitki organlarındaki değişimi belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Çalışmaya Konu Elementler

Çalışma kapsamında toplam 40 adet element analizi yapılmıştır. Ancak yapılan analizlerde numunelerin büyük bölümünde belirlenebilir limitlerin altında kalan bazı elementler çalışmada kullanılmamıştır. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen elementlerden 23 element ATSDR'nin, 13 element ise EPA'nın öncelikli kirletici listesindedir. Bu metallerin tehlikeli seviyeleri ve toksisitelerinin yanı sıra insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri şu şekilde özetlenmektedir (URL-1, 2025);

Antimonun (Sb) tehlikeli seviyesi havada 9 mg/m³ olup göz, cilt ve akciğer tahrişi, akciğer hastalığı, kalp sorunları, ishal, şiddetli kusma ve mide ülseri, dermatit, baş dönmesi, karın ağrısı en önemli etkilerindendir (URL-1, 2025). Sb'ye maruz kalmanın insan vücudundaki hormon seviyelerini değiştirdiği ve kanser riskini de arttırabileceği belirtilmektedir (Lai vd. 2022). Sb'nin konjonktivit, üst solunum yolu iltihabı, kronik bronşit, kronik amfizem, plevral adezyonlar gibi septomlara neden olduğu belirtilmektedir (Gad, 2014). Antimon (Sb), bir metaloiddir ve periyodik tabloda Grup 15'e aittir. Malzemelerde, ilaçlarda ve alev geciktiricilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Lai vd. 2022). Birçok uygulamada, örneğin alev geciktiricilerde bir bileşen olarak, polyester üretmek için bir katalizör olarak, kurşun asitli pillerde ve kurşun alaşımlarında da kullanılan bir elementtir (Henckens, 2021). Yol tozu, kömür ve petrol, anma, atık yakma, çelik endüstrisi, fren aşınması, dizel egzoz (Lijima vd. 2008), kömürün yakılması gibi eritilmesi ve rafine edilmesi gibi etkenler tüm emisyonlar için önemli Sb kaynakları oluşturmaktadır (Belzile vd. 2011). Fosil yakıt yanması, muhtemelen atmosfere insan kaynaklı Sb emisyonlarının en büyük kaynağını oluşturmaktadır (Vallero, 2014). Kentsel alandaki en önemli tanımlanan kaynaklarının %70'ini dizel egzozunun olduğu bilinmektedir (Lijima vd. 2008b).

Arsenikte (As) tehlikeli seviye suda 0,010 mg/L olup maruziyet durumunda kanser, cilt lezyonları, kardiyovasküler hastalık, diyabet, karaciğer hasarı, lösemi, böbrek ve mesane kanserleri, periferik sinir sistemi sorunları, kusma, ishal görülebilmektedir (URL-1, 2025). As, doğada bulunan bir ağır metaldir. Genellikle arsenopyrit minerali

içinde bulunur ve madencilik faaliyetleri, endüstriyel süreçler, tarım ilaçları ve fosil yakıtların yanması gibi insan faaliyetleri sonucunda çevreye salınabilir (Farooq vd., 2016). Her yerde bulunabilen As, tüm yaşam formları için toksik bir elementtir. Çoğunlukla inorganik formlarda Arsenit (AsIII) ve Arsenat (AsV)) bulunmaktadır (Tripathi vd., 2007). Bitkiler çoğunlukla arseniği arsenat olarak almaktadırlar. Bitkilerin arseniğe maruz kalması büyüme ve fizyolojik bozukluklara neden olmaktadır (Garg ve Singla, 2011; Stoeva ve Bineva, 2003; Yaşar İsmail vd., 2025).

Berilyumun (Be) tehlikeli seviyesi havada 0,00005 mg/m³ olup sağlığa etkileri; yorgunluk, nefes darlığı, kilo kaybı, iştahsızlık, akciğer kanseri, kimyasal zatürre, ateş, gece terlemesi, karaciğer ve dalak büyümesi, böbrek taşları olarak belirtilmektedir (URL-1, 2025).

Kadmiyumun (Cd) tehlikeli seviyesi havada 5 mg/m³ olup, en önemli etkileri titreme, ateş, kas ağrısı, böbrek, akciğer ve kemik hasarı, kanser, göğüs ağrıları, kas zayıflığı, mide tahrişi, kusma ve ishal olarak sayılabilir (URL-1, 2025). Cd hem insan ve hayvanlar, hem de bitkiler için toksik etkili olan bir elementtir. Cd, fosfatlı gübreler, deterjanlar ve rafine petrol türevlerinde bulunur ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazları önemli Cd kaynağıdır. Cd'un önemli bir kirletici olmasının sebebi çok düşük dozlarda bile toksik olması ve biyolojik yarı ömrünün uzun olmasıdır (Kahvecioğlu vd., 2007). Cd'un insanlarda karsinojen etki yaptığı 1976 yılında belirlenmiş ve 1993 yılında, IARC (International Agency for Cancer Research) tarafından Tip 1 karsinojen olarak sınıflandırılmıştır (Boğa, 2007).

Kromun (Cr) tehlikeli seviyesi suda 50-150 mg/kg olup insan sağlığına; burun, boğaz ve akciğer tahrişi, akciğer kanseri, göz hasarı, dermatit, cilt ülserleri, nefes darlığı, astım, solunum kanseri, karın ağrısı, diş erozyonu ve renk değişikliği gibi etkileri bulunmaktadır (URL-1, 2025). Cr, kayalık topraklarda ve volkanik tozlarda doğal olarak bulunan bir element olup Uluslararası Kansere Araştırma Ajansı'na göre kanserojen olarak sınıflandırılmıştır (Sharma vd. 2020). Cr çeşitli antropojenik ve doğal aktivitelerden salınır (Hossini, vd. 2022). Son birkaç on yıl da hem karasal hem de sucul ekosistemlerdeki kontaminasyonu, çeşitli antropojenik faaliyetlerin bir sonucu olarak artmış olup çevre ve doğal kaynakları, özellikle su ve toprağı ciddi

şekilde etkileyen önemli bir çevresel tehdittir (Koc vd., 2024). Aşırı maruz kalma, insan ve hayvan dokularında daha yüksek seviyelerde birikime yol açarak toksik ve zararlı sağlık etkilerine yol açabilir. Birçok çalışma, kromun bitki metabolik aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen toksik bir element olduğunu göstermiştir (Prasad, vd. 2021). Kroma kronik maruz kalma ve biyoakümülyasyon, toksisiteye ve alerjik reaksiyonlar, anemi, yanıklar ve özellikle mide ve ince bağırsakta yaralar, erkek üreme sistemi ile birlikte spermdede hasar gibi çok sayıda patofizyolojik kusura (Hossini, vd. 2022), akciğer kanseri, karaciğer, böbrek ve mide hasarını ve epidermal tahrişi ve duyarlılığa sebep olmaktadır (Kimbrough, vd. 1999).

Bakırın (Cu) tehlikeli seviyesi kanda 140 mcg/dL olup sınır değeri aştığında bulantı, kusma, ishal, karaciğer ve böbrek hasarı, burun, ağız ve göz tahrişi, baş ağrısı, baş dönmesi gibi etkileri görülebilmektedir (URL-1, 2025).

Kurşunun (Pb) tehlikeli seviyesi kanda 10 µg/dL olup, başlıca sağlığa etkileri yüksek tansiyon, hafıza ve öğrenme güçlüğü, böbrek yetmezliği, hafıza kaybı, beyin hasarı, halsizlik, sinir sistemi hasarı, sinirlilik, kabızlık, depresyon, karın ağrısı, unutkanlık olarak sayılabilir (URL-1, 2025). Çevre ve insan sağlığı açısından en toksik ağır metallerden birisi kurşun (Pb)'dur. Endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerde yaygın olarak kullanılan ve bundan dolayı oldukça sık rastlanılan bir element olan Pb metal veya bileşik olarak atmosfere yayılan ve her durumda toksik özellik taşıyan bir ağır metaldir. Pb insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme en çok zarar veren ağır metallerdendir (Okcu vd., 2009).

Nikelin (Ni) tehlikeli seviyesi havada 1 mg/m³ olup, sağlık etkileri cilt tahrişi, akciğer, mide ve böbrek hasarı, kanser, bronşit, akciğer ve burun kanseri, kardiyovasküler hastalık, akciğer fibrozu, baş ağrısı, gastrointestinal belirtilerdir (URL-1, 2025).

Selenyumun (Se) tehlikeli seviyesi havada 0,02 mg/m³ olup insanlarda ateş, bulantı, karaciğer, böbrek ve kalp sorunları, cilt kanseri, saç dökülmesi, selenoz, kardiyovasküler hastalık, tiroid hastalığı, bilişsel gerileme görülebilmektedir (URL-1, 2025). (Se) zehirlenmesinin akut semptomları arasında kusma, ağrı ve mide bulantısı gibi karın semptomlarının yanı sıra sarımsak nefesi ve kalp semptomları yer

almaktadır. Şiddetli toksisite vakalarında kardiyak ve pulmoner semptomlar ortaya çıkabilir ve ölüme sebep olabilmektedir (Hadrup ve Ravn-Haren, 2020).

Gümüşün (Ag) tehlikeli seviyesi suda 5,0 ppm (mg/L) olup insanlar için cilt ve göz tahrişi, solunum ve bağırsak yollarında tahriş, karaciğer ve böbrek hasarı, bronşit gibi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (URL-1, 2025). Ag, memeli hücreleri için oldukça toksiktir. Beyin hücreleri, karaciğer hücreleri ve kök hücrelerde hasara, cilt argyria veya argyrosis gibi cilt hastalıklarına neden olur. Gümüş, balıklar, algler, bazı bitkiler, mantarlar, kabuklular ve bakteriler için de son derece zehirlidir (Panyala vd., 2008).

Talyumun (Tl) tehlikeli seviyesi havada 0,1 mg/m³ olup insanlarda el ve ayak parmaklarında uyuşma, kusma, ishal, saç dökülmesi, akciğer, kalp, karaciğer ve böbrek hasarı, dil ağrısı, egzamatöz lezyonlar, yüzde püstüler döküntüler, avuç içi ve ayak tabanlarında pullanma görülebilmektedir (URL-1, 2025). Talyum (Tl) insanlar için gerekli olmayan bir elementtir ve insan vücudu için biyolojik olarak kullanımı yoktur. En zehirli metallere biri olarak kabul edilmektedir. İnsan ve çevre sağlığı açısından en tehditkâr elementlerden olup insanlar için civa, kadmiyum, kurşun, bakır veya çinkodan daha zehirli bir elementtir (Blain, 2022; Sevik vd., 2024). Tl kirliliğinin olumsuz çevresel etkileri, halsizlik, kas ve eklem ağrıları, görme bozukluğu ve saç dökülmesi semptomları ile kronik Tl zehirlenmesi ile ortaya çıkmaktadır (Xiao vd., 2012). Tl zehirlenmesi gastrointestinal disfonksiyona, asendan felce ve mental bozukluklara yol açarken, kronik zehirlenme ile polinörit meydana gelebilir (Duri vd., 2020).

Çinkonun (Zn) tehlikeli seviyesi havada 1 mg/m³ olup sağlığa etkileri; bulantı, kusma, ishal, iştah kaybı, mide krampları, baş ağrısı, bağışıklığın azalması, hazımsızlık olarak sayılabilir (URL-1, 2025).

EPA'nın öncelikli kirletici listesinde yer alan civa (Hg) bu çalışma kapsamında değerlendirilmediğinden civa hakkında bilgi verilmemiştir.

ATSDR'nin listesinde bulunup, EPA'nın listesinde bulunmayan elementler ise Alüminyum (Al), baryum (Ba), kobalt (Co), mangan (Mn), paladyum (Pd), plütonyum

(Pu), stronsiyum (Sr), toryum (Th), uranyum (U) ve vanadyum (V)'dur. Bu elementlerden çalışmada değerlendirilen elementlerin zararları şu şekilde sıralanabilir:

Canlılar için besin elementi olarak gerekli olan elementlerden birisi olan alüminyum (Al), en yaygın elementlerden birisidir. Yumuşak ve hafif bir metal olup bazı dış macunları, yemek saklama kapları, alüminyum folyo, mide için kullanılan antasidler, sigara filtreleri, bazı tuzlar ve peynirler, terden koruyucu deodorantlar içerisinde bulunmakta, hammadde olarak kullanıldığı sanayi tesislerinden de yoğun şekilde etrafa yayılmaktadır. Vücutta Al en çok karaciğer ve beyin dokusunda birikmekte, karaciğer hasarı, iştahsızlık, kas ağrıları, psikoza sebep olabilmektedir. Ayrıca vücuda fazladan giren Al hafıza bozukluklarına yol açabilmektedir (Key vd., 2022; Koç vd., 2025; Kuzmina vd., 2023).

Baryum (Ba), endüstride birçok ürünün üretiminde anahtar rol üstlenen bir elementtir. Zn, Pb ve Ag üretiminde, kauçuk, mürekkep, fren balataları altlığı, boya, fare zehiri, ilaç, radyo vakum tüpü ve lambaları, makine yağı, optik cam, fotoğraf kâğıdı, deterjanlar, mum, plastik ve tekstil ürünleri, sondaj uygulamaları, tutkal, kâğıt kaplamaları, pil ve bataryalar, özel camların üretiminde, yağlı boya üretiminde, petrol sanayisinde, havai fişeklerde ve seramik sırlarda baryum, izotopları, bileşikleri ve alaşımlarının kullanılmaktadır. Ancak Ba en tehlikeli ağır metallerden birisidir ve Baryum bileşiklerinin tamamı zehirlidir (Cetin ve Jawed, 2024).

Besin zinciri yoluyla insanlara ulaşan Mangan (Mn)'ın toksisite belirtileri başlıca solunum sisteminde ve beyinde gözlenir. Mangan zehirlenmesinin belirtileri halusinasyonlar, bitkinlik, uykusuzluk, güçsüzlük, unutkanlık ve sinir hasarlarıdır. Mn ayrıca parkinson, akciğer ambolisi ve bronşite, erkeklerde uzun süre Mn toksisitesine maruz kalma ise iktidarsızlığa sebep olabilir (Cetin ve Cobanoglu, 2019).

Orta gerilim elektrik, patlatma ve kobalt metal madenciliğinde kullanılan kobalt (Co) cevheri insan sağlığına zararlı etkilere yol açmaktadır. Küresel coğrafi bağlamda, orta gerilim elektrik üretimi, küresel ısınmaya en büyük katkıyı yapan unsurdur (Farjana vd., 2019). Co iyonlarının potansiyel sızıntısı, katalitik aktiviteyi azaltabilir ve ikincil su kirliliğine neden olarak ekolojik güvenliği ve insan sağlığını tehdit edebilir. (Wang

vd., 2022). Aşırı Co^{2+} iyon içeriği Co zehirlenmesine neden olabilir ve insan vücudu üzerinde kusma, felç, ishal ve hipotansiyon gibi olumsuz etkilere (Ahmadpour, vd., 2009; Hu vd., 2000; Liao vd. 2018), kansere neden olmaktadır (Farjana vd., 2019).

Paladyum (Pd) benzersiz kimyasal ve fiziksel özellikleri dolayısıyla, kimya ve petrol endüstrisi, otomobil katalizörlerinin üretimi, elektronik cihazlar, dişçilik uygulamaları ve güzel mücevherler gibi birçok endüstriyel sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son 20 yılda Pd'nin endüstriyel kullanımındaki önemli artış, bu metalin hava, su ve toprakta yüksek seviyelere ulaşmasına neden olmuştur. Pd'ye maruz kalma, solunum semptomları, ürtiker, kontakt dermatit ile akut toksisite veya aşırı duyarlılığa neden olabilmektedir. Epidemiyolojik çalışmalar, metaller arasında Pd iyonlarının en sık reaksiyona giren hassaslaştırıcılardan biri olduğunu göstermiştir. Bağışıklık sistemi üzerindeki bu etki, insanlar için Pd'un oldukça riskli ve zararlı bir element olduğunu göstermektedir (Ozyurt vd., 2024a; Sevik vd., 2024).

Vanadyum (V) yerkabuğunda en çok bulunan beşinci geçiş elementidir (Imtiaz, vd. 2015). Çevreye ağırlıklı olarak endüstri, madencilik, fosil yakıt yakma, gübreleme gibi antropojenik faaliyetler yoluyla girmekte (Altaf vd., 2021) ve yüksek V konsantrasyonları mikroplar, bitkiler, hayvanlar ve insanlar için potansiyel sağlık riskleri oluşturmaktadır (Chen vd. 2021; Hao vd. 2021). V insanlarda vazokonstriksiyon, konjesyon, akciğerlerde ve adrenal kortekste fokal kanama, konjesyon, karaciğer yağlanması ve ishal, dehidrasyon, kardiyak rahatsızlıklar, gıda alımında azalma veya kilo kaybı gibi sorunlara neden olmaktadır (Altaf vd. 2021). V'ye uzun süreli maruz kalma, dalak, kemikler ve sinir sisteminde fonksiyonel lezyon riskini artmasına neden olmaktadır. (Yu ve Yang, 2019). Ayrıca solunum, sindirim organları, böbrekleri, karaciğeri, derisi ve bağışıklık sistemi üzerinde (Hao vd. 2021; Jayawarda vd., 2015) ve pulmoner lezyonlar, böbrek yetmezliği, nörolojik rahatsızlıklar (Frank vd. 1996) gibi toksik etkilere neden olmaktadır (Hao vd. 2021).

Bu elementlerin dışındaki elementler ise bazıları canlılar için besin elementi olarak gerekli olan, bazıları ise canlı bünyeleri için gerekli olmasa da canlılar için zararlı olabilen elementlerdir. Bu elementlerin bazıları hakkında kısaca bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Kükürt (S) en önemli hava kirliliği bileşenlerinden birisidir. Esasında tüm hayvan türleri için kükürt, amino asitlerin, proteinlerin, enzimlerin, vitaminlerin ve diğer biyomoleküllerin önemli bir bileşenidir. Bununla birlikte, son zamanlarda, petrolün rafine edilmesi ve metalik minerallerin kükürt bileşiklerinin serbest metallere eritilmesinin yaygınlığının artması, çevredeki kükürt dengesi üzerinde büyük bir etki oluşturmuştur. Önemli bir hava kirleticisi olan kükürt dioksit (SO₂), bronşite, bronkokonstriksiyona ve pulmoner direncin artmasına neden olarak hayvan ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir (Komarnisky vd., 2003).

Lityumun (Li) bilinen bir biyolojik kullanımı yoktur ve yaşam için gerekli bir element gibi görünmemektedir. Avustralya Kimyasal Maddeler Envanteri, tehlikeli maddelerin sınıflandırılması için Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonu (NOHSC) onaylı kriterlere göre metalik lityumu sağlık, fizyokimyasal ve/veya ekotoksikolojik tehlike olarak sınıflandırmıştır. Lityum, lityum alüminyum hidrit ve lityum metanolat Danimarka tehlikeli maddeler listesinde bulunmaktadır (Aral ve Vecchio-Sadus, 2008).

Magnezyum (Mg) toprakta değişik bileşikler halinde bulunan, çok hafif, havada parlak bir ışıkla yanabilen, beyaz bir madendir. Yeryüzü kabuğundaki en fazla denizlerde bulunmaktadır. Magnezyum kalsiyum, fosfor, sodyum, potasyum, demir, çinko, bakır, krom, iyot ve selenyum ile birlikte, hayati önem taşıyan 11 mineralden birisi, belki de en önemlisidir. Vücut kendi başına bu minerali üretemediği için magnezyumun besinler yoluyla alınması gerekir. Bitkilerde de klorofilde yer alır ve güneşten gelen enerji fotonlarını tutar (Boğa, 2007; Işık vd., 2004). Mg, yeryüzünde en çok bulunan 8. mineral element olup, bitki büyümesi ve gelişmesi için gereklidir. Tipik bir Mg eksikliği semptomu, yapraklarda damarlar arası kloroz oluşumuna neden olmakta, yüksek bitkilerde çeşitli kritik fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri etkilemekte ve eksikliği bitki büyümesini ve gelişimini engellemektedir. Mg, klorofil molekülünde merkezi atom olarak hareket eder. Birçok enzim aktivitesinde ve dokuların yapısal stabilizasyonunda yer alır. Bitkiler için temel makro besinlerden birisidir ve özellikle klorofildeki merkez atom olarak fotosentezde olmak üzere birçok biyokimyasal süreçte kilit rol oynar (Erdem vd., 2024; Wang vd., 2020).

Son yıllarda kullanımı giderek artan element bor (B) dur (Ak Tutuncu vd., 2024). Bor, mikro elementler arasında ametal olan tek elementtir. Bor bitkilerde hücre duvarlarının oluşumunu ve dokuların yeniden çoğalmasını sağlar, bazı dehidrogenaz enzimlerini aktive eder, karbonhidrat biyosentezi üzerinde rol oynar. Nükleik asit ve protein metabolizmaları üzerinde etkilidir. Bitki bünyesinde şekerlerin yer değiştirmesinde rol oynar (Bolat ve Kara, 2017). Bunlara karşın B aynı zamanda bir ağır metaldir (Erdem vd., 2023a). Toprak ve su içinde yüksek konsantrasyonda bulunuşu bitkilere toksik etki yapmaktadır. Yaşlı yapraklarda yaprak uçları sararır ve nekrozlar oluşur. Daha sonra belirtiler yaprak kenarlarına ve orta damara doğru yayılır. Yapraklar yanık bir görünüm alır ve erken dökülür (Bolat ve Kara, 2017). Bor, organik ve inorganiklerle bileşik yapabilme özelliğinden dolayı bileşenine girdiği malzemenin fiziksel, kimyasal ve teknolojik özelliklerini arttırdığı için inşaat, sağlık, seramik, cam, temizlik, metalürji, uzay ve havacılık sektörüne kadar sanayide 250'den fazla alanda kullanılmaktadır (Yüksek ve Yüksek, 2022). Bundan dolayı borun hava, su ve toprak gibi alıcı ortamlardaki konsantrasyonu sürekli artmaktadır.

Niyobyum (Nb) ve bileşikleri toksik olabilmektedir. Nb, solunduğunda esas olarak akciğerlere ve ikincil olarak kemiklere tutunur. Enzim sistemlerinin aktivatörü olarak kalsiyuma müdahale eder. Laboratuvar hayvanlarında, niyobyum nitrür ve/veya pentoksitin solunmasının, 40 mg/m³ maruziyet seviyelerinde akciğerlerde yara izine yol açtığı belirlenmiştir (Ozyurt vd., 2024b).

Silisyum (Si) başlıca inşaat malzemesi olarak kullanılan ancak son yıllarda toz taşınımı dolayısıyla önemi artan, bağışıklık sistemi yanı sıra kalp-dolaşım ve solunum sistemine de zarar veren ağır bir metaldir (Sahin vd., 2025).

Kalsiyum (Ca) hücrelerin büyüme ve gelişiminde, membran geçirgenliklerinin ayarlanmasında, dokuların stabilizasyonunda ve bitkilerin kalitesinde önemli role sahiptir. Ayrıca, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine önemli etkileri bulunmaktadır. Bundan dolayı fauna, mikroflora, bitki ve toprak için vazgeçilmez öneme sahiptir. Ca noksanlığında bitkilerde verimin yanı sıra genellikle kalite düşmektedir (Mossi, 2018).

Potasyum (K), bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gerekli bir elementtir (Pramanik vd., 2019). Hayati bir makro besin elementi olan K, osmoregülasyon, membran potansiyeli düzenlemesi, şekerlerin birlikte taşınması, strese uyum ve büyüme gibi bitkilerde önemli rollere sahiptir. Yoksunluğu ya da fazlalığı bitkilerde birçok fonksiyonun bozulmasına neden olmaktadır. (Johnson vd., 2022). Baskın bir ozmolit olarak, koruyucu hücrelerde biriken K⁺, stoma morfolojisini ve fonksiyonunun düzenlenmesinde yer alır. Bundan dolayı stoma iletimini etkilemektedir. K⁺'nın kloroplast osmoregülasyonunun ve pH stabilitesinin korunmasında hayati roller oynadığı göz önüne alındığında, eksikliği Rubisco enziminin aktivitesini ve içeriğini azaltabilir ve klorofil dejenerasyonuna yol açabilir (Xie vd., 2021).

Fosfor (P), sınırlı küresel rezervleri olan, biyolojide vazgeçilmez, ikame edilemez bir besin maddesidir (Bindraban vd., 2020; Childers, vd., 2011). Dünya çapında genel nüfus tarafından fosfor alımı, sağlığı korumak için gereken miktarın neredeyse iki katıdır. Bu artış, tüketiciler tarafından satın alınan işlenmiş gıdalara fosfat içeren gıda katkı maddelerinin katılmasına bağlanmaktadır. Aşırı fosfor alımının hücre ve organların tepkileri üzerinde potansiyel patojenik sonuçları olduğunu vurgulanmaktadır. Ayrıca, zincir uzunluğu değişen fosfat moleküllerinin polimerlerinden oluşan yeni bir biyoaktif fosfat sınıfı bulunduğu da belirtilmiştir (Bird ve Eskin, 2021).

Germanyum (Ge) bugüne kadar yapılan çalışmalara pek fazla konu olmayan elementlerden birisidir. Özellikle son 25 yılda kullanımı istikrarlı bir şekilde artan Ge: atom ağırlığı, 72,59; atom numarası, 32; yoğunluğu, 5,32 (25°C) olan, temel formda gri-beyaz, kırılgan katı bir metaloiddir ki hem metalik hem de ametalik özellikler gösterir (Nordberg vd., 2005). Ge'ye aşırı veya uzun süreli maruz kalmanın böbrekler, sinir sistemi ve akciğerler üzerinde toksikolojik etkileri ve hasarları olduğu bildirilmiştir. Akut germanyum zehirlenmesi, depresyon, hipotermi, ishal, cilt siyanozu, pulmoner ödem, asit, ödem ve karaciğer, böbrek veya diğer organların parankim hücrelerinin şişmesinde değişikliklere yol açabilir. Bazı organogermanyum bileşikleri mide bulantısı, kusma, ishal ve hatta karaciğer ve böbrek hasarına ve titremelere neden olabilir (Li vd., 2017). Ge'ye aşırı maruz kalma meydana geldiğinde genellikle nefropati, nöropati ve hepatotoksisite görülür ve ölümcül dozlarda solunum

felci meydana gelir (Keith ve Maples-Reynolds, 2022). Ge toksitesinin kilo kaybı, yorgunluk, gastrointestinal rahatsızlıklar (bulantı, kusma ve anoreksi), anemi, kas zayıflığı ve böbrek yetmezliğine sebep olduğu, kas (hem iskelet hem de kalp), sinir (hem periferik hem de merkezi), kemik iliği ve karaciğeri etkilediği rapor edilmiştir. Ayrıca, miyopati, nöropati (şiddetli aksonal dejenerasyon, duyu bozukluğu, trunkal ataksi ve serebellar ataksi), hipoplastik kemik iliği ve hepatosteatoza sebep olabildiği hatta aylarca devam eden parestezi ve kusma görüldüğü rapor edilmiştir (Tao ve Bolger, 1997).

İnsan sağlığı açısından tehditkâr elementlerden olan kalayın (Sn) potansiyel bir klastojen olduğu, inorganik kalay bileşiklerinin mutajenite, kanserojenlik veya teratojeniteye sebep olabildiği belirtilmektedir. Kalayın solunması ile nefes darlığı, öksürme ve hırıltıya sebep olduğu, sinir sisteminde baş dönmesi, denge bozukluğu, amnezi ve baş ağrısına yol açabildiği, vazodilatasyon, hipotansiyon ve kalp yetmezliğine sebep olabildiği belirtilmektedir (Cima, 2011). Kalayın alıcı ortamlarda biyo birikme eğiliminde olduğu ve toksik etkiler gösterdiği belirtilmektedir. Kalay insanlarda ishal, kusma kas zayıflığı ve felç, anemi, karaciğer ve böbreklerde yüksek oranda hasara neden olurken beyinde ise sinirsel iletimden sorumlu nörotransmitter maddelerin seviyelerini etkiler (Sharma ve Kumar, 2020).

2.2 Türkiye’de Bakır Madenciliği ve Çalışma Alanı

Madencilik faaliyetleri sırasında yürütülen işlemler genel olarak aşağıdaki başlıklar halinde değerlendirilebilirler:

a) Kazı Çalışmaları

İlk kazı esnasında sıyrılan bitkisel toprak yüzey kazısı, cevher üst örtü kazısı, galeri giriş-kuyu giriş ve koro tesis kazıları, cevher üretimi, yarma, şev düzenlemesi, ulaşım yolu açılması, enerji temin ve iletim hat güzergâhları, su hatları, bant ve cevher nakil yolları, kullanım suyu barajı tesis ve isale hattı kazıları, atık barajı tesis ve tevzi hattı kazıları, patlayıcı madde depolama tesis kazıları, kalıcı ve geçici tesis kazıları kazı çalışmaları olarak adlandırılmaktadır.

b) Dolgu Çalışmaları

Kazı çalışmaları neticesinde ortaya çıkan dekapaj malzemesinin istiflenmesi, madencilik tesislerinin ihtiyaç duyduğu tesis ve altyapı tesislerinin imalatı için gerek duyulan dolgu ihtiyacı, kot farkı düzenlemesi için yapılan dolgular, atık barajı gövde inşaat dolguları, yığın liç alanlarının düzenleme dolguları, kullanım suyu barajları için tesis edilen gövde dolguları, açık ocak üretimi sonrasında yürütülen rekreasyon ve reklamasyon amacı ile yapılan iç dolgular ve benzeri çalışmalar dolgu çalışmaları olarak adlandırılmaktadır.

c) Depolama Çalışmaları

Üretilen tüvenan cevherin yarı işlem ya da tam işlem öncesi (cevher zenginleştirme işlemleri) geçici stoklanması, ilk kazı esnasında sıyırma işlemi yapılan bitkisel toprağın depolanması, işletmenin ihtiyaç duyduğu sarf ve temin malzemelerinin depolama alanları, ekonomik ve teknolojik kabiliyetlerin günümüz koşullarında uygun olmaması neticesinde işlenemeyen ve üretimi yapılan tüvenan cevherin şartlar sağlanıncaya kadar geçici olarak depolanması çalışmalarını kapsar.

d) Altyapı Tesisleri

Kategorik olarak geçici tesis ya da kalıcı tesis kapsamında kalmak üzere her tür yol, isale hattı, ENH, demiryolu, deniz ve tatlısu liman ve suyolları, havai hatlar, boru hatlarıdır. Bu kapsamda yapılan tesisler geçici tesisler ve kalıcı tesisler olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Geçici Tesis Çalışmaları: Madencilik tesislerinin ömürleri boyunca ihtiyaç duyabileceği her tür bina ve tesisin imalat ve inşaatları olmak üzere; ENH, isale hatları, patlayıcı madde depoları, cevher zenginleştirme tesisleri, idari ve yönetim binaları, lojmanlar, sosyal tesisler, spor alanları, yatakhane, koğuş, banyo ve yıkanma üniteleri, trafo binaları, kırıcı üniteleri, kuyubaşı ve galeriler ve bunlara ait karo tesisleridir.

Kalıcı Tesis Çalışmaları: Kamu yatırımı olarak ileride değerlendirilebilecek olan kullanım suyu barajları, termik-hidroelektrik-rüzgâr-solar enerji üretim santralleri,

iletişim istasyonları, ulaşım yolları, demiryolu, limanlar, depo ve antrepolar ile geçici tesis kapsamında kalmakla beraber mülkiyet sahibinin iradesi ile madencilik faaliyetleri bitiminde mülk sahibi ya da kamu idarelerinin mülkiyetine ve kullanımına devredilmek üzere rezerve edilen lojman, sosyal tesis, yatakhane spor alanlarıdır.

Ülkemizde ve dünyada hızlı nüfus artışına paralel olarak artan gıda gereksinimi, sanayileşme ve kentleşme sonucunda insan ve canlılığın devamı için olmazsa olmaz üçlü; hava, su ve toprak hızlı bir şekilde kirlenmiş ve kirlenmeye de devam etmektedir (Isinkaralar vd., 2024b; Koç vd., 2024; şevik vd., 2024). Bu kirliliğe en büyük katkısı ise sanayi kuruluşları ve maden ocakları yapmaktadır (İstanbulu vd., 2022; şevik vd., 2025). Özellikle iklim değişikliğinin de katkısına ek olarak sanayi üretiminin de birleşmesiyle zaten az olan su kaynaklarımız hızlı bir şekilde tükenmektedir. Dolayısıyla var olan su kaynaklarının azami derecede korunması amacıyla kirliliğin azaltılması ve/veya ortadan kaldırılması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla 31.12.2004 tarih ve 25687 tarihli Resmi Gazetede yayımlanıp yürürlüğe giren “Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)” hem çalışmasına devam etmekte olan hem de yeni kurulacak olan işletmelerin atıksular açısından çevreye olan etkisini sınırlamak ve/veya yok etmek için çeşitli yükümlölükler getirmektedir.

Çalışmaya konu işletme, 1939 yılında faaliyetine başlamış ve 2004 yılında özelleştirilmiştir. Tesiste şu an için yalnızca yeraltından cevher çıkartılmakta olup, yerüstü çalışmaları özelleştirmeden önce tamamlanmış ve terk edilmiştir.

Maden işletmelerinin üretime devam etmesine rağmen ihtiyaç duyduğu bazı faaliyetlerinin ihtiyaç dışı kalması ya da işletmedeki tüm madencilik faaliyetlerinin sona ermesini takiben yukarıda sayılan işlerin yürütüldüğü alanlarda arazinin önceki kullanım amacına ve yapısına uygun hale getirmesi gerekmektedir. Bu alışmalar bazen tarım alanlarında, bazen orman alanlarında, bazen mera alanlarında olmaktadır. Bu teze konu madencilik faaliyetlerinin tamamı orman alanlarında yürütölmekte olup doğal olarak bu konudaki yasal düzenleme ve ilgili idarenin kanunları ve meri mevzuatları kapsamında sınırlamalara tabidir.

Her ne kadar orman alanlarında yürütülen madencilik faaliyetleri sonrasında kullanım dışı kalan alanların idareye geri teslimi sürecinde sadece bitkisel toprak serimi işleri şart koşulsa da, 26-27 Kasım 2019 tarihinde tesis ve etrafında yapılan incelemelerde şirketin bu zorunluluğun ötesine geçerek bitkilendirme ve ağaçlandırma çalışmalarını yürüttüğü tespit edilmiştir.

Doğal kaynakların en önemlilerinden biri olan maden yataklarının ülke kalkınmasındaki yeri ve ülke ekonomisine yaptığı katkı göz ardı edilemeyecek bir gerçektir. Dünya nüfusunun büyük bir hızla artmasından kaynaklanan ihtiyaç artışının karşılanması için gelişen teknolojinin de yardımıyla doğal kaynakların önemi dolayısıyla da madencilik faaliyetlerinin önemi artmıştır (Makineci vd., 2021). Bu yüzden madencilik faaliyetlerinden vazgeçilemeyeceği de kesin olarak görülen bir gerçektir. Yeraltı zenginliklerimizi kullanırken yerüstü zenginliklerimizi kaybetmemek madencilik ve çevre arasındaki en önemli ilişkidir. Zira toplumlar çevresel dengeyi bozan her şeyi kirletici olarak görürler. Madencilik faaliyetleri de doğal çevrede değişikliklere neden olan zorunlu çalışmalardır. Bu, son dönemlerde madenciliğin ekonomik yönüyle birlikte çevresel yönünün de değerlendirilmesini ön plana çıkarmıştır.

Madencilik faaliyetlerinden vazgeçilmesi söz konusu olmadığından işletme sırasında veya sonrasında maden özelliğini kaybetmiş sahaların tekrar doğaya kazandırılması işlemi bir sorumluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Geçmiş yıllarda madencilik faaliyeti sona eren arazilerde rehabilitasyon konusuna dikkat edilmemiştir fakat son zamanlarda madencilik faaliyetlerinin herkes tarafından dikkatlice takip edilmesi ve gelişen çevre bilincinden dolayı bu tip sahaların rehabilitasyonunu zorunlu hale getirmiştir.

Rehabilitasyon genel anlamıyla, madencilik faaliyeti yapılan sahanın madencilik faaliyetleri sonrası kullanımı için doğaya yeniden kazandırılması amacıyla yapılan bütün işlemlerdir. Şirketin Küre işletmesinde orman alanlarında madencilik faaliyetleri tamamlandığında orman idaresine teslim edilen alanlarda ve bununla birlikte kullanımda olmasına rağmen kısmi doğaya kazandırma faaliyetlerinin yürütüldüğü alanlarda sürdürülen çalışmalar genel olarak incelenmiştir.

Şirketin madencilik faaliyeti yürüttüğü alanların tamamı orman alanları kapsamındadır. Madencilik faaliyetlerinin bitimi neticesinde orman idaresine teslim edilen-edilecek orman alanlarında amaçlanan konu; öncesindeki flora-fauna dokusunun aslına uygun ya da en yakın ölçüde sağlanabilmesidir. Bu amaç doğrultusunda yürütülen işlemler üç ana başlık altında toplanmaktadır.

2.2.1 Restorasyon ve Rekreasyon (Arazi Onarımı ve Araziyi Düzenleme)

Ağırlıklı olarak açık ocak işletmeciliği faaliyetleri neticesinde ortaya çıkan fakat bununla birlikte yukarıda tanımlı yapılan madencilik kazılarının herhangi biri neticesinde orijinal arazi yüzeyinde bazı formal bozukluklar oluşmaktadır. Bu bozukluklardan en dikkat çeken sıklıkla rastlandığı üzere tam kokurdan ya da hilal (açık) kokurdan tarzında çukur ve boşluklardır. Bu çalışmaların Dünya üzerindeki örneklerinden tam kokurdan tip Şekil 2.1’de, açık kokurdan tip Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Rusya Udachnaya elmas madeni (tam kokurdan tip)



Şekil 2.2 Avusturalya Whaleback demir madeni (açık kokurdan tip)

Tam kokurdan ve yarı kokurdan tip açık maden ocakları çok büyük alanlarda olduğundan dolayı burada yapılan madencilik faaliyet ömürlerinde yapılan kazı miktarı milyar m³ seviyelerinde olabilmektedir. Dolayısı ile bu açıklıkların tamamen doldurulması ve arazinin tamamen ilk haline döndürülmesi imkânsız hale gelmektedir. Bu tip ocaklarda kısmi formal düzenleme rekreasyon alanları yaratılmaktadır.

2.2.2 Çalışma Alanında Doğaya Yeniden Kazandırma Çalışmaları

Geçmiş yıllarda madencilik faaliyeti sona eren arazilerde rehabilitasyon konusuna dikkat edilmemiştir fakat son zamanlarda madencilik faaliyetlerinin herkes tarafından dikkatlice takip edilmesi ve gelişen çevre bilincinden dolayı bu tip sahaların rehabilitasyonunu zorunlu hale getirmiştir. Rehabilitasyon genel anlamıyla, madencilik faaliyeti yapılan sahanın madencilik faaliyetleri sonrası kullanımı için doğaya yeniden kazandırılması amacıyla yapılan bütün işlemlerdir.

Şirket Küre işletmesinde orman alanlarında madencilik faaliyetlerini tamamladığı ve orman idaresine teslim ettiği alanlar ve bununla birlikte kullanımda olmasına rağmen kısmi doğaya kazandırma faaliyetleri yürütülen alanlarda sürdürülen çalışmalar genel olarak aşağıdaki başlıklar altında açıklanmaktadır.

Ruhsatın 2004 yılında şirkete devri ile 2004-2009 yılları arasında şirkette açık ocak madenciliği süreci yürütmüş ve bu süreç 2009 yılında tamamlanarak üretim tamamen

yeraltı madenciliğine dönmüştür. Bu tarihten sonra, önceki dönemlerde üretim yapılan açık ocak boşluklarının restorasyon ve rekreasyon çalışmalarına başlanmış ve bu süreci halen büyük bir gayret ve çaba içinde devam ettirilmektedir.

Şirket, 2009 yılında başladığı ve devam ettirdiği arazi onarımı ve düzenleme işlemlerini 6 ayrı bölge bağlamında yürütülmektedir. Bu bölgeler;

- ✓ Eski Kızılsu Açık Ocak Bölgesi,
- ✓ Eski Aşıköy ve Toykondur Açık Ocak Bölgeleri,
- ✓ Eski Bakıbabası Açık Ocak Bölgesi,
- ✓ Eski Pasa Dolgu ve Cevher Stok Alanı,
- ✓ +920 Yeraltı Galeri Giriş ve Atölyeler Bölgesi,
- ✓ Konsantratör ve Kuyu Bölgesini Çevreleyen Alanlardır.

Bu alanlar harita üzerinde Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

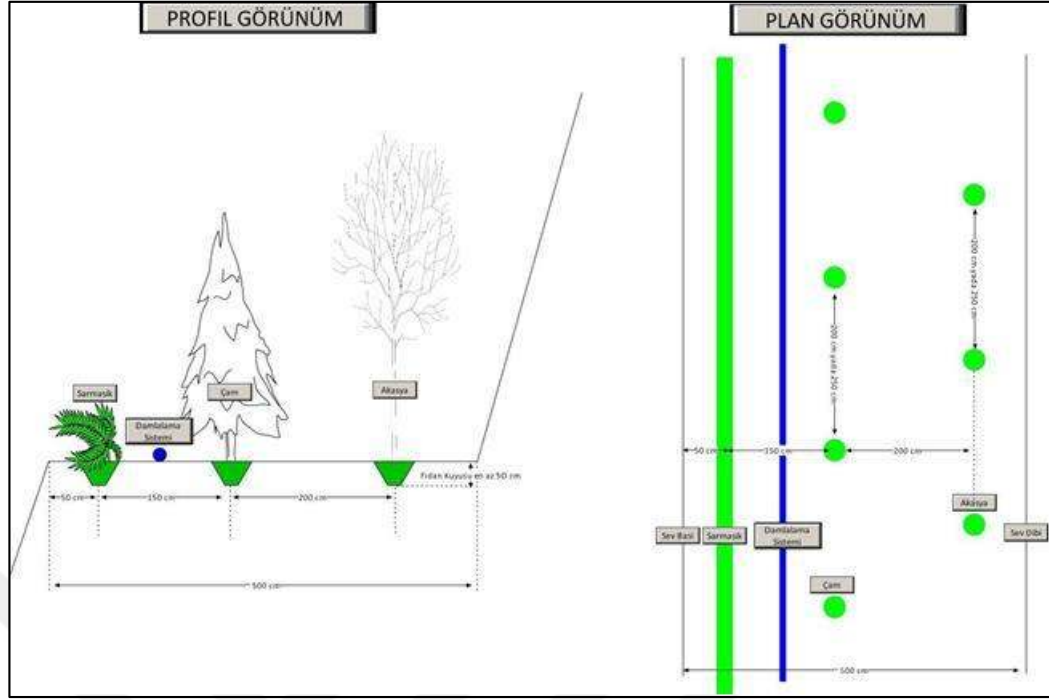
Yapılan saha çalışmasında bahsi geçen bu bölgelerde kazısı yapılmış açıklıkların aslına uygun biçimde dolgu yapılarak düzenlendiği, eğer dolgu malzemesi yetersiz ise mümkün mertebe hafif yamaç ve şevler oluşturarak genel görüntü ile uyumlu kademeli geçişleri olan ve ilerleyen dönemde vejetasyon, ağaç ve yaban ortamında yaşayan hayvanların hareket edebileceği bir yüzey yapısı oluşturulduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.3 ETİ Bakır A.Ş. Küre işletmesinin reklamasyon ve rekültivasyon bölgeleri

Bu işlem ağırlıklı olarak iş makineleri vasıtası ile sahanın yüzeysel düzenlemesi ve figürasyon işlemlerini içermektedir. Topoğrafyanın mümkün mertebe eski haline getirilmesi için düz alanlar, hafif eğimli alanlar, eğimli alanlar oluşturulmuştur. Üretim nedeni ile kazısı yapılan ve dolgu yapma imkânı olmayan tam kokurdan ya da açık kokurdan kapsamındaki üretim boşluklarının olduğu bölgelerde (dik eğimli arazilerde) özel bir teknik kullanılmaya çalışılmıştır.

Amaç, şev yüzeyinin yeşillendirilmesi için gerekli toprağın tutunma açısından yüksek olması nedeni ile eğimli yüzeyde sarmaşık uygulaması sonucunda sarııcı-örtücü bir ortam oluşturularak toprak ve vejetasyon habitatı sağlanmasıdır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Dik eğimli bölgelerde kademe yüzeyinde düzenlemeler

2.2.2.1 Rehabilitasyon (Arazi ıslahı)

Bu aşamada; düzenlemesi yapılan arazinin flora ve fauna oluşumuna imkân tanınması maksadı ile bitkisel toprak serimi ve figürasyonu işlemleri yürütülmektedir. Bitkisel toprak; düzenlemesi yapılan araziye 15-20 cm.'lik bir üst örtü oluşuncaya dek düzgünce yayılarak figüre edilmeye çalışılmaktadır. Bu işlem dört ana grupta toplanan değişik eğimlere sahip alanlarda yürütülmektedir. Bunlar;

- ✓ Düz Araziler (0° - 5°),
- ✓ Hafif Eğimli Araziler (5° - 22°),
- ✓ Eğimli Araziler (22° - 33°),
- ✓ Çok Eğimli Araziler (33° ve üzeri) şeklindedir.

İlk iki grupta yani düz ve hafif eğimli arazilerde; bitkisel toprağın serimi ve figürasyonu kamyonlar ile ortama getirilen bitkisel toprağın iş makineleri ile düzgünce yayılması ile oluşturulmaktadır. Toprağın serim esnasında yuvarlanmadan yüzeyde tutunması maksimum $\sim 22^{\circ}$ ye kadar mümkün olduğundan bu safhada serbest serim işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmalardan bir görüntü Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 Sahada düz ve hafif eğimli arazilerde bitkisel toprak serimi

Üçüncü grup arazilerde yani eğimli arazilerde ise toprak örtüsünün yuvarlanmaya başlaması fakat insan çalışmasına ve fidanlama için çalışılmaya müsait olması nedeni ile seki teras uygulaması yapılmakta ve toprak örtüsü koruge borular vasıtası ile yaklaşık üçer metre eğim dilimleri boyunca tesis edilmiş olan seki teras boşluklarına el arabaları ile tevzi edilmekte ve sonrasında gerekirse teras boyunca bitkisel toprak mini iş makinaları (mini loder ve mini ekskavatör) ile tüm hatta dağıtılmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Sahada eğimli arazilerde seki teras uygulaması ve toprak serimi

Üçüncü grup arazilerde yani çok eğimli arazilerde eğim yüzeyinde (şev) hem toprak serimi ve hem de insan çalışması mümkün olmadığı için mevcut ocak şevlerinden faydalanılmakta ve gerekirse ocak şevleri arasında eğer basamak yükseklikleri fazla ise ara şevler oluşturulmaktadır.

Şev yüzeylerinin vejetasyonu için sarıcı-örtücü bitkiler (dağ sarmaşığı-amerikan sarmaşığı vs.), kademeler ise şev diplerinden olası küçük taş parçalarının düşmesi ile hasar görse bile büyüyeabilen dirençli akasya türleri ile şeşbeş düzende bir sonraki sıraya ise ibreli türler (karaçam-sarıçam vs.) ve son sıraya yani şev başına ise alttaki şeve doğru ilerlemesi için sarıcı-örtücüler dikilmekte ve bu vejetasyonun tamamının sulanması amacı ile damla sulama sistemi tesis edilmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Sahada çok eğimli arazilerde cascade sistemi ve toprak serimi

2.2.2.2 Revejetasyon (Arazide flora oluşturma)

Bu aşamada bitkisel toprağın serimi öncesinde içerisine katılan ve yetersiz olması durumunda serme sonrasında da takviye edilen katkı maddeleri ve arkasından vejetasyon oluşturulması ve fidanlama gerekirse sulama sistemlerinin uygulanması yapılmaktadır.

Hangi arazi yapısı olursa olsun bitkisel toprak serimi öncesinde bazı katkı maddeleri kullanılarak zaten zayıf olacak olan vejetasyon katmanının mümkün mertebe bu maddeler ile güçlendirilmesi için yapılan çalışmalarda karışımın içine önceden ya da serim sonrası katkılar ilave edilmektedir. Bu katkılar;

- **Leonardit:** Organik madde kaybını önleyici, organik madde ve organizma oluşumuna katkı, pH regülasyonu, hümkik asit içeriği nedeni ile toprak düzenleyici, havalandırma ve su tutma yeteneği, nem dengeleyici, ışığın daha iyi emilimi,
- **Perlit:** Hava ve su tutma kabiliyeti, havalandırma özelliği, drenaj ve su iletim kabiliyeti, ısı dengeleyici, macunlaşma önleyici,
- **Torf:** Hava ve su tutma kabiliyeti, pH regülasyonu, macunlaşma önleyici, çürüme ve fermentasyon ortamı oluşumuna katkı, organik yapının ve organizmaların oluşumunun hızlanması için ortam sağlayıcı,
- **Kireç:** Özellikle asit maden drenajı kapsamındaki ortamlarda asitlik düzenleyici, vejetasyon için mineral takviyesi,
- **Gübreler:** Organik çiftlik gübresi, biyogaz tesis gübresi, kompoze gübre, gübre şerbeti, muhtelif suni gübreler,
- **Kum:** Humus oluşumuna katkı, su ve hava geçirgenliği, macunlaşma önleyici, şeklindedir.

Bu karışımların serilmesini takiben arazide tohumlama işlemleri ve fidan dikimi yürütülmektedir. Tohumlar piyasada bulunan 5’li 7’li gibi karışık tohumlardan oluşan mera karışımı, ısrarcı türler olan korunga ve ayrık otu, deve diken, çim tohumu, gelincik tohumu, dağ sarmaşığı, amerikan sarmaşığı vs. gibi kültürler ile sahanın dokusunu temsil eden ibrelili çam türleri (karaçam, sarıçam) ile akasya, akçağaç, dişbudak, atkestanesi, dağ muşmulası vs. gibi türlerin kullanıldığı tüplü ya da çıplak kök ağaç türlerinden oluşmaktadır. Bitki tohumlama işlemleri mart-nisan aylarında serpme yöntemi ve gerekirse çimlenmeye yardımcı olması için ince bir torf üst örtüsü ile uygulanmıştır. Ağaçlar için; çıplak kök fidanlar sadece nisan ve ekim ayında, tüplü ibrelili türler yine sadece nisan ve ekim ayında fakat zayıf olduğunda yaz ve kış dönemi hariç 6 aylık ilkbahar ve sonbahar sezonunda yenileme dikimi olarak uygulanmıştır. Yeni dikilen fidanlar gövde stabilitesini sağlayana kadar kar yükünden

dolayı zarar görmemesi için herak ve herak bağı uygulanarak kış sezonu girmeden önce güçlendirilmekte ve böylece en az fidan zayıtının oluşması sağlanmaktadır. Ayrıca tanker ile sulama imkânının olmadığı (çok eğimli) cascade bölgelerde boru hattı çekilmek sureti ile damla sulama sistemi uygulanmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Sahada dik eğimli bölgelerde kademe üzerindeki damla sulama sistemi

Madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü alanlarda yukarda açıklanan çalışmalar kapsamında yapılan uygulamalara ilişkin bir resim Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9 Yapılan çalışmalara bir örnek

Uzun yıllardır devam eden çalışmalar sonucunda rehabilitasyon ve revejetasyon sahalarında büyük oranda kapalılık oluşturacak düzeyde ağaçlandırma başarısı sağlanmıştır. Örneklemeler yapılırken çekilen bazı fotoğraflar Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.10 Revejetasyon sahası



Şekil 2.11 Revejetasyon sahası

2.3 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü alanlarda ve çevresinde hem topraklarda hem de bitkilerde ağır metaller ve besin elementleri konusunda çok fazla çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların tamamının bu bölümde verilmesi mümkün değildir. Ancak çalışmalara örnek teşkil etmesi bakımından bazı çalışmalar bu bölümde özetlenmiştir.

Son yüzyılda sanayi devrimi ve teknolojik alanda yaşanan gelişmeler ile birlikte insanların istek ve ihtiyaçları çeşitlenerek artmış, bu istek ve ihtiyaçların karşılanabilmesi amacıyla yapılan üretimler de yer altındaki mineral kaynakların çıkartılarak sanayideki hammadde olarak kullanılmaktadır (Cesur vd., 2021; Ghoma vd., 2022). Gelişen sanayinin ihtiyaç duyduğu hammadde miktarındaki artışa bağlı olarak, dünya genelinde maden üretimi ve maden işletmeciliği hızla artmaktadır (Gao vd., 2021; Kuzmina vd., 2023; Makineci vd., 2011).

Madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri önemli ölçüde etkilenmekte, toprak organik maddesi önemli ölçüde kaybolmakta ve bitki besin maddelerince oldukça fakir bir materyal oluşmaktadır. Bu durum maden işletmesi sonrasında alanın restore edilmesini de önemli derecede etkilemektedir (Frouz vd., 2015; Ma vd., 2021; Ribeiro vd., 2021).

Madencilik faaliyetleri sonrasında tahribata uğrayan alanların hızlı bir şekilde restore edilmesi gerekmektedir. Maden alanlarının iyileştirmesinde en çok kullanılan yöntem bitkilendirmedir. Ancak, fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan deforme olmuş toprak bitki gelişimini kısıtlamaktadır (Ahirwal ve Pandey, 2021; Rodríguez-Vila vd., 2016). Çünkü bitki gelişimi başlıca yağış, sıcaklık gibi iklimatik; (Ozel vd., 2021; Sevik vd., 2019a; Varol vd., 2021; Yigit vd., 2021) ve toprak derinliği, organik madde miktarı, pH, besin elementleri gibi edafik (Kravkaz Kuscu vd., 2018a,b; Kulac vd., 2025; Yucedag vd., 2019) faktörlerin etkisi altında şekillenmektedir. Dolayısıyla kimyasal yapısı ve besin elementi içeriği değişen toprak, bitkilendirme başarısını etkileyen en önemli faktörlerden birisi olmaktadır.

Bu konuda yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Dominique vd., (2022) maden atıkları sahasında Thickened tail-ings de Mn konsantrasyonunu toplam 442,1 (8,6) mg kg⁻¹, üst toprakta 459,6 (35,7) mg kg⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Odukoya vd., (2018) altın maden sahalarının içerisinde ve çevresinde Mn elementinin diğer elementlere oranla en yüksek olduğunu ve min. 129 ppm, max. 2494 ppm, ortalama ise 983,22 ppm olduğunu belirtmişlerdir. Dan-Badjo vd., (2019) çalışmalarında madencilik yapılan alan çevresindeki su kaynaklarında Mn seviyelerinin havuz sularında 0,015 ila 0,770 mg L⁻¹ ve yeraltı sularında 0,006 ila 0,147 mg L⁻¹ aralığında olduğunu belirtmişlerdir.

Amoakwah vd., (2020) madencilik yapılan sahalarda Fe konsantrasyonunu toprakta ve sedimentte 175,2 ± 10,2 mg/kg olduğunu belirtmişler. Gonzales vd., (2022) çalışmalarında tail-ings, sediments ve topraktaki değerleri 0,158 mg kg⁻¹ ve -0,307 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Prematuri vd., (2020) çalışmalarında maden toprağı Fe değerlerinin orman toprağından daha düşük olduğunu ve orman toprağında 3,21 mg/kg, altın madeni toprağında ise 0,89 mg/kg olduğunu belirlemişlerdir. Dominique vd., (2022) maden atıkları sahasında Thickened tail-ings de Fe konsantrasyonunu toplam 32,0 (2,7) g kg⁻¹, üst toprakta 28,6 (1,07) g kg⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Odukoya vd., (2018) maden sahalarının içerisinde ve çevresinde Fe elementinin min. 1,20 ppm, max. 16,88 ppm, ortalama ise 5,10 ppm olduğunu belirtmişlerdir.

Da Silveira Pereira vd., (2020) madencilik alanında yapmış oldukları çalışmada Al konsantrasyonlarını tarım alanında 8,0 ± 4,1 mmol_c dm³, orman alanında 10,34 ± 7,34 mmol_c dm³, madencilik alanında 7,60 ± 5,94 mmol_c dm³ ve kentsel alanında 7,85 ± 5,06 mmol_c dm³ olarak ölçmüşlerdir. Dan-Badjo vd., (2019) çalışmalarında madencilik yapılan alan çevresindeki su kaynaklarında Al konsantrasyonunun, havuz sularında ve yeraltı sularında sırasıyla 0,021 ila 0,373 mg L⁻¹ ve 0,003 ila 0,159 mg L⁻¹ aralığında olduğunu, havuz suyunda Al için düzenleyici standardın (0,2 mg L⁻¹) aşıldığı gözlenirken yeraltı suyundaki Al seviyelerinin normal olduğunu belirtmişlerdir. Dominique vd., (2022) maden atıkları sahasında Thickened tail-ings de Al konsantrasyonunu toplam 13,4 (0,4) g kg⁻¹, üst toprakta 12,4 (0,62) g kg⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir.

Dan-Badjo vd., (2019) çalışmalarında maden sahalarında $9,17 \text{ mg kg}^{-1}$ ve maden sahaları çevresinde $8,11 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeyinde olan Co konsantrasyonunun maden sahası dışındaki topraklarda $5,55 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeyinde olduğunu belirlemişlerdir. Odukoya vd., (2018) maden sahası içerisinde ve çevresinde Co elementinin min. 3,50 ppm, max. 32,80 ppm, ortalama ise 14,41 ppm olduğunu belirtmişlerdir. Sako vd., (2012) çalışmalarında maden alanından üst topraktan rastgele 8 örnek almış ve Co konsantrasyonunu min. 5,7 mg/kg, max. 62,3 mg/kg ortalama ise 13,0 mg/kg düzeyinde olduğunu belirtmişlerdir. Abiya vd., (2018) maden sahasında yapmış oldukları çalışmada 0-15 cm toprak derinliğinde maden sahasında 0,629 mg/kg ve kontrol alanında 0,480 mg/kg olan Cu konsantrasyonunun 15-30 cm toprak derinliğinde maden sahasında 0,629 mg/kg, kontrol alanında ise 0,602 mg/kg düzeyinde olduğunu belirlemişlerdir. Amoakwah vd., (2020) çalışmalarında Cu konsantrasyonunun toprakta ve sedimentte $250,9 \pm 28,9 \text{ mg/kg}$ olduğunu belirtmişler.

Gonzales vd., (2022) çalışmalarında tail-ings, sediments ve topraktaki değerleri $0,316 \text{ mg kg}^{-1}$ ve $-0,237 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirtmişlerdir. Da Silveira Pereira vd., (2020) maden alanında yapmış oldukları çalışmada Cu konsantrasyonlarını tarım alanında $323,80 \pm 138,76 \text{ mg kg}^{-1}$, orman alanında $129,98 \pm 60,75 \text{ mg kg}^{-1}$, maden alanında $266,67 \pm 107,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ve kentsel alanında $468,21 \pm 585,03 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğunu belirtmişlerdir. Dan-Badjo vd., (2019) çalışmalarında maden sahalarında $66,28 \text{ mg kg}^{-1}$ ve maden sahaları çevresinde $30,41 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeyinde olan Cu konsantrasyonunun maden sahası dışındaki topraklarda $13,14 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeyinde olduğunu belirlemişlerdir. Dominique vd., (2022) maden atıkları sahasında Thickened tail-ings de Cu konsantrasyonunu toplam $53,4 (2,4) \text{ mg kg}^{-1}$, üst toprakta $45,1 (0,94) \text{ mg kg}^{-1}$ olduğunu belirtmişlerdir.

Odukoya vd., (2018) maden sahalarının içerisinde ve çevresinde Cu elementinin min. 7,59 ppm, max. 87,19 ppm, ortalama ise 36,96 ppm olduğunu belirtmişlerdir. Ramirez vd., (2020) madencilik yapılan alanlarda topraklarda Cu konsantrasyonunun bitki yetişen topraklarda $4,84 \text{ mg kg}^{-1}$ DM iken etkilenen alanlarda $24,72 \text{ mg kg}^{-1}$ DM düzeyinde olduğunu belirlemişlerdir.

Mineral ve doğal kaynakların büyük çoğunluğu orman alanlarında bulunmaktadır ve madenlerin çıkartılması ve işlenmesi orman alanlarında büyük tahribata yol açarak

orman alanlarının maden alanlarına dönüştürülmesi ekosistem ve toprakta oldukça zararlı değişimlere neden olmaktadır. Madencilik faaliyetleri sonrası şiddetle tahrip olan alanların hızla restore edilmesi gerekmektedir ve bu amaçla en çok kullanılan metot bitkilendirme dir. Fakat oldukça kötü fiziksel, kimyasal ve biyolojik koşullara sahip olan maden atıkları ve tesviye edilmiş toprakları çoğunlukla bitki gelişimi ve varlığını engellemektedir. Ayrıca farklı ağaç türleri farklı ıslah edici özelliklere sahiptirler. Bu sebeple, maden alanlarının restorasyonu için kurulan ağaçlandırmalar sonrası meydana gelen iyileşmelerin ve değişen özelliklerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Komşu korunan alanlar ile karşılaştırmalar, yapılan işlemlerin alanı iyileştirme gücünü ortaya koyma açısından tercih edilen bir yoldur (Karatepe vd., 2020). Madencilik sonrası sahalarda restorasyonun başarılı bir şekilde yapılabilmesi yani bitkilendirme başarısı öncelikle bitki gelişimi açısından önem taşıyan besin elementlerinin değişiminin analiz edilerek değerlendirilmesi ile mümkündür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma, on yıllardır bakır madenciliği yapılan ve Türkiye'nin en büyük bakır madenlerinden birisinin işletildiği Kastamonu ili Küre ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında pasa sahası (henüz rehabilitasyon çalışması yapılmamış saha), bitkilendirme yapılmış ve en az 20 yaşında yetişkin ağaçların bulunduğu rehabilitasyon (revejetasyon) sahası ve maden sahası içerisinde bulunan ancak müdahale edilmemiş ormanlık alanda üst toprak (0-5 cm.) ve alt toprak (30-35 cm.) toprak derinliklerinden toprak örnekleri alınmıştır. Numunelerin alındığı bölgelerden görüntüler pasa sahasından Şekil 3.1'de, revejetasyon sahasından Şekil 3.2'de ve ormanlık alandan Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3. 1 Numunelerin alındığı pasa sahası



Şekil 3. 2 Numunelerin alındığı revejetasyon sahası



Şekil 3. 3 Numunelerin alındığı ormanlık alan

Toprak örnekleri rehabilitasyon sahası ve ormanlık alanda *Pinus nigra* Arnold., (Pn), *Pinus silvestris* L. (Ps) ve *Robinia pseudoacacia* L. (Rp) türlerinin yetiştiği bölgelerden alınmıştır. Aynı bölgelerdeki ağaçlardan ayrıca yaprak, kabuk, odun ve kök örnekleri alınmıştır.

Örnekleme sırasında, her sahadan 3 farklı alandan (orman, rehabilitasyon alanı ve pasa alanı) 3 tekrarlı olarak numune alınmıştır. Böylece 9 alandan toprak numunesi alınmıştır: Her birinde 3 ağaç türünün yetiştiği 3 orman, 3 rehabilitasyon alanı ve 3 pasa alanı (pasa alanında ağaç yoktur), böylece 21 alandan toprak numunesi alınmıştır. Toprak numuneleri 2 derinlikten alındığı için toplam 42 toprak numunesi alınmıştır. Toprak numuneleri üç tekerrürlü olarak analiz edildiğinden toplam 126 toprak numunesi analiz edilmiştir. Benzer şekilde, 3 ağaç türünün yetiştiği orman ve rehabilitasyon alanından toplam 18 ağaçtan bitki örnekleri alınmıştır. Her ağaçtan alınan dallar odun, kabuk ve yaprak örnekleri olarak ayrılmış ve kök örnekleri de alınmıştır. Kök örnekleri ağaca mümkün olan en yakın noktadan kazılmış ve toprak seviyesinin yaklaşık 30-35 cm. altındaki bölümden bir bütün olarak alınmıştır. Böylece toplam 72 bitki örneği üç tekerrürlü olarak analiz edilmiş ve toplam 216 bitki örneği analiz edilmiştir.

Laboratuvara getirilen topraklar elenerek kurutulmuş, bitkiler ise önce su ile ovularak yıkanmış, yüzeylerindeki partikül maddeler uzaklaştırılmış ve ardından saf su ile temizlenmiştir. Bundan sonra kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler oda kuru hale getirilebilmek için iki hafta kuru bir ortamda havalandırılarak bekletilmiş, daha sonra ezilmiş ve topraklar elenerek, bitkiler öğütülerek homojen hale getirilmiştir. Daha sonra 45 °C de iki hafta boyunca kurutulmuştur. Kurutulan numunelerde ICP-OES cihazı yardımıyla element analizleri yapılmış ve ppm cinsinden element konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu yöntem son yıllarda hem topraklarda (Erdem vd, 2023a,b) hem de bitkilerin çeşitli organlarında (Ghoma vd., 2023; Sevik vd., 2019b) element analizlerinin tayini için sıklıkla kullanılmaktadır. Elde edilen veriler SPSS 22,0 paket program yardımıyla değerlendirilmiş, verilere varyans analizi ve Duncan testi uygulanmıştır. Elde edilen veriler sadeleştirilip tablolaştırılarak yorumlanmıştır.

Çalışmada biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ve translokasyon faktörü (TF) de hesaplanmış ve hesaplamalarda aşağıdaki formüller kullanılmıştır (Takarina ve Pin., 2017).

$$\text{BCF} = (\text{Organdaki konsantrasyon}) / (\text{Topraktaki konsantrasyon}) \quad (3.1)$$

$$\text{TF} = (\text{Organın BCF'si}) / (\text{Kök toprağının BCF'si}) \quad (3.2)$$



4. BULGULAR

4.1 Bitki Organlarında ve Topraklardaki Ağır Metal Konsantrasyonları

Bitki organlarında ve topraklardaki Ağır Metal Konsantrasyonları her bir ağır metal için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve Mg'un bitkilerde tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Bitkilerde Mg konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	834,7 aA	502,2 cA	1817,7 bcB	2071,2 aB	14,1***	1306,4
	Ps	2157,4 bC	370,8 bA	1042,7 aAB	1229,5 aB	8,0***	1200,1
	Rp	701,2 aA	343,4 bA	1322,8 abA	4851,9 bB	8,4***	1804,8
Orman	Pn	1636,0 bB	417,7 bcA	1892,9 cB	2037,6 aB	15,0***	1496,0
	Ps	821,8 aB	429,3 bcA	1089,6 aC	1430,8 aD	21,9***	942,9
	Rp	2060,4 bC	246,2 aA	1066,3 aB	3872,3 bD	2805,0***	1811,3
F Değeri		7,1***	6,9***	4,8**	6,0***		2,1 ns
Ortalama		1368,6 B	384,9 A	1372,0 B	2582,2 C	29,6***	

Bütün Tablolarda: *, $p < 0,05$. **, $p < 0,01$. ***, $p < 0,001$. ns; $p > 0,05$. Küçük harfler dikey, büyük harfler yatay değerlerin yer aldığı Duncan testi gruplarını göstermektedir. Rehab.; Rehabilitasyon. UL; Belirlenebilir Limit Altı. Bütün birimler ppm cinsindendir.

Varyans analizi sonuçlarına göre bitkilerde Mg konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer yaprakta elde edilirken en düşük değer odunda elde edilmiştir.

En yüksek Mg konsantrasyonları pasa odunda ve orman kabukta Pn, yaprakta ise Rp türlerinde elde edilmiştir. Topraklarda Mg konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Topraklarda Mg konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	37398,2 b	31920,7 b	3,3 ns	34659,5 b
Rehab.	Pn	35240,9 b	39143,3 b	0,2 ns	37192,1 b
	Ps	14014,2 a	15176,0 a	0,1 ns	14595,1 a
	Rp	18242,7 a	14723,1 a	1,4 ns	16482,9 a
Orman	Pn	17441,5 aA	23190,5 aB	33,5***	20316,0 a
	Ps	12710,5 a	16731,0 a	0,4 ns	14720,8 a
	Rp	19417,9 a	19793,4 a	0,0 ns	19605,7 a
F Değeri		9,8***	9,5***		18,7***
Ortalama		22066,6	22954,1	0,1 ns	

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde topraklarda Mg konsantrasyonu değişiminin Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmektedir. Alt ve üst toprakta en yüksek değer Pasa ve Rehabilitasyon Pn’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre de en yüksek değerler Pasa ve Rehabilitasyon Pn’de elde edilmiştir. Bitkilerde Ca konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3 Bitkilerde Ca konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	1087,7 aA	1746,9 bA	6296,3 bcC	3739,0 abB	89,6***	3217,5 a
	Ps	6604,9 cC	697,6 aA	4935,3 abBC	2750,5 aAB	8,4***	3747,0 a
	Rp	6253,2 cB	2515,1 cA	14389,6 eC	21191,2 cD	47,6***	11087,3 b
Orman	Pn	4393,8 bcB	890,2 aA	7668,3 cD	5378,3 bC	78,7***	4582,7 a
	Ps	3352,8 abB	894,6 aA	3777,2 aB	3350,0 aB	35,7***	2843,6 a
	Rp	12120,1 dB	2617,0 cA	15622,9 eC	30049,0 dD	423,8***	15102,2 c
F Değeri		15,1***	15,2***	56,3***	326,6***		29,0***
Ortalama		5635,4 B	1560,2 A	8781,6 C	11076,3 C	22,3***	

Tablodaki değerler göz önüne alındığında bitkilerde Ca konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu dikkat çekmektedir. Kök, kabuk ve yaprakta en yüksek değerler Orman Rp’de elde edilirken odunda en yüksek değer Rehabilitasyon Rp ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama değerlere göre en yüksek değer Orman Rp’de elde edilmiştir. Topraklarda Ca konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4 Topraklarda Ca konsantrasyonunun tür ve TlGetoprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	3161,7 aB	1428,8 aA	13,9**	2295,3 ab
Rehab.	Pn	882,4 aA	1161,3 aB	7,3*	1021,9 a
	Ps	15755,9 c	5124,1 b	8,3 ns	8313,6 c
	Rp	9059,4 bB	1802,8 aA	5,5*	4705,4 b
Orman	Pn	14138,2 c	13386,7c	0,4 ns	13762,4 d
	Ps	2535,8 a	2073,2 a	0,2 ns	2188,9 ab
	Rp	15847,5 c	15168,4 c	0,1 ns	15507,9 d
F Değeri		20,0***	51,7***		42,8***
Ortalama		8656,3 B	5580,5 A	5,1*	

Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde topraklarda Ca konsantrasyonu değişiminin Pasa’da, Rehabilitasyon Pn’de ve Rehabilitasyon Rp’da toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Alt toprakta en yüksek değer Rehabilitasyon Ps, Orman Pn ve Orman Rp’de elde edilirken üst toprakta en yüksek değerler Orman Pn’de ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değer de Orman Pn ve Orman Rp’de elde edildiği görülmektedir. Ortalama değerler arasında varyans analizi sonucunda istatistiki olarak anlamlı düzeyde fark olduğu belirlenmiş olup ortalama Ca konsantrasyonu üst topraklarda 5580,5 ppm iken alt topraklarda 8656,3 ppm olarak hesaplanmıştır. Bitkilerde K konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.5’te verilmiştir.

Tablo 4.5 Bitkilerde K konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	2094,8 bB	1589,9 cdA	3272,8 bC	5846,0 cD	118,3***	3200,9 b
	Ps	3615,6 cB	1194,5 bA	3793,7 cB	4187,7 bB	15,1***	3197,8 b
	Rp	4344,8 cB	1242,5 bcA	5125,8 dB	3881,1 bB	9,5***	3648,5 b
Orman	Pn	651,0 aA	770,4 aA	2173,2 aB	2529,6 aB	43,7***	1531,1 a
	Ps	611,1 aA	1874,2 dB	5480,9 dC	6800,1 cD	169,9***	3691,6 b
	Rp	11408,3 dD	1645,1 dA	5439,2 dC	4055,3 bB	230,0***	5637,0 c
F Değeri		84,7***	9,5***	56,3***	14,8***		11,7***
Ortalama		3787,6 B	1386,1 A	4214,3 B	4550,0 B	21,4***	

Tablodaki sonuçlara bakıldığında bitkilerde K konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmektedir. Ortalama değerlere göre türlere bakıldığında en yüksek değer Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Orman Pn’de elde edilmiştir. Aynı şekilde

ortalama değerlere göre en düşük değer odunda görülmektedir. Topraklarda K konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6 Topraklarda K konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	6985,2 c	6369,7 d	0,7 ns	6677,5 d
Rehab.	Pn	2554,1 ab	3560,8 b	3,1 ns	3057,5 b
	Ps	7031,3 c	6259,5 d	0,2 ns	6645,4 d
	Rp	5645,0 c	4812,4 c	2,1 ns	5228,7 c
Orman	Pn	2482,6 abA	5085,0 cB	39,5***	3783,8 b
	Ps	1231,7 a	1706,0 a	4,1 ns	1468,9 a
	Rp	3533,0 b	2900,9 b	1,6 ns	3217,0 b
F Değeri		14,1***	19,5***		25,8***
Ortalama		4209,1	4384,9	0,1 ns	

Tablodaki değerler incelendiğinde topraklarda K konsantrasyonu değişiminin Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa ve Rehabilitasyon Ps’de elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde Fe konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Bitkilerde Fe konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	522,6 aA	90,1 dA	4339,8 bB	3422,8 cB	16,6***	2093,8 c
	Ps	821,8 aAB	43,9 bA	369,8 aA	1887,7 bB	3,0*	780,8 ab
	Rp	1524,4 aB	35,9 abA	481,2 aA	54,9 aA	9,0***	524,1 ab
Orman	Pn	5065,1 cB	66,0 cA	4305,8 bB	1793,7 bA	14,0***	2807,7 c
	Ps	856,0 aC	21,8 aA	507,9 aB	280,3 aAB	9,2***	416,5 a
	Rp	3449,9bD	36,9 abA	972,5 aC	707,3 abB	922,2***	1291,6 b
F Değeri		13,0***	16,7***	21,5***	8,6***		11,0***
Ortalama		2040,0 B	49,1 A	1829,5 B	1357,8 B	13,9***	

Varyans analizi sonuçlarına göre bitkilerde Fe konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Pn ve Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama değerlere göre organlara bakıldığında en yüksek değer kök, kabuk ve yaprakta görülürken en düşük değer odunda elde edilmiştir.

Topraklarda Fe konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 Topraklarda Fe konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	59590,1 b	52160,2 cd	5,2 ns	55875,1 cd
Rehab.	Pn	58669,3 bB	54667,2 deA	7,3*	56668,3 cd
	Ps	41796,7 a	48299,9 c	4,1 ns	45048,3 b
	Rp	58077,6 bB	51274,2 cdA	11,4**	54675,9 c
Orman	Pn	40344,9 a	43242,4 b	1,9 ns	41793,7 ab
	Ps	60326,5 b	58785,8 e	0,1 ns	59556,1 d
	Rp	41097,6 a	37359,5 a	2,2 ns	39228,5 a
F Değeri		15,5***	20,5***		27,6***
Ortalama		51414,7	49398,5	1,3 ns	

Tablodaki sonuçlar göz önüne alındığında Fe konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn ve Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Ps’de elde edilirken en düşük değer Orman Rp’de elde edilmiştir. Bitkilerde Al konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9 Bitkilerde Al konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	343,2 aA	25809,7 bB	2361,0 bA	1741,5 bA	3,5*	7563,9 c
	Ps	819,8 aB	34,9 aA	248,9 aA	110,7 aA	12,4***	303,6 a
	Rp	1085,7 aA	8987,1 abB	156,2 aA	72,5 aA	3,6*	2575,4 ab
Orman	Pn	4686,2 cA	16755,2 abB	3343,7 cA	1539,3 bA	8,1***	6581,1 bc
	Ps	545,2 aB	60,4 aA	541,6 aB	678,1 aB	17,0***	456,3 a
	Rp	3214,3 bC	26,7 aA	548,4 aB	631,6 aB	1032,1***	1105,2 a
F Değeri		13,6***	3,3*	20,1***	9,2***		3,6**
Ortalama		1782,4 A	8612,4 B	1200,0 A	795,6 A	7,6***	

Yukarıdaki değerler incelendiğinde bitkilerde Al konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Pn’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps, Orman Ps ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek

değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Al konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Topraklarda Al konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	74549,9 c	64985,9 c	1,9 ns	69767,9 d
Rehab.	Pn	52954,8 bA	64027,8 cB	6,5*	58491,3 c
	Ps	44951,2 b	46792,5 b	0,0 ns	45871,8 b
	Rp	60412,3 bcB	47756,9 bA	11,6**	54084,6 bc
Orman	Pn	57687,9 b	64373,4 c	2,1 ns	61030,7 cd
	Ps	26631,3 a	35576,6 a	0,7 ns	31103,9 a
	Rp	60161,7 bc	51194,0 b	2,4 ns	55677,8 c
F Değeri		8,9***	9,2***		14,6***
Ortalama		53907,0	53529,6	0,0 ns	

Varyans analizi sonuçlarına bakıldığında Al konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn ve Rehabilitasyon Rp'de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Alt toprakta en yüksek değer Pasa'da elde edilirken en düşük değer Orman Ps'de elde edilmiştir. Üst toprakta en yüksek değer Pasa ve Orman Pn'de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre türlere bakılırsa en yüksek değer Pasa'da elde edilmiştir. Bitkilerde P konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Bitkilerde P konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	375,2 ab A	304,3 abA	500,6 abB	709,7 aC	25,6***	472,5 a
	Ps	449,1 bB	262,0 aA	589,0 bC	624,2 aC	28,2***	481,1 a
	Rp	377,1 abA	279,2 abA	706,3 cB	622,3 aB	16,2***	496,2 ab
Orman	Pn	345,1 abB	246,8 aA	443,3 aC	580,1 aD	48,0***	403,8 a
	Ps	266,1 aA	344,1 bA	742,8 cB	1148,6 bC	31,6***	625,4 b
	Rp	1489,9 cC	345,8 bA	772,3 cB	651,8 aB	61,5***	815,0 c
F Değeri		64,1***	2,8*	11,8***	11,6***		9,2***
Ortalama		550,4 B	297,0 A	625,7 BC	722,8 B	22,7***	

Tablodaki değerlere göre bitkilerde P konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Rp'de elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer

kabuk ve yaprakta elde edilirken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda P konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12 Topraklarda P konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	537,6 ab	491,2 a	3,0 ns	514,4 a
Rehab.	Pn	560,4 bc	597,1 c	1,7 ns	578,8 b
	Ps	861,5 d	768,6 e	2,7 ns	815,0 d
	Rp	621,3 cA	689,4 dB	4,7*	655,4 c
Orman	Pn	480,5 aA	548,5 abcB	33,5***	514,5 a
	Ps	516,6 ab	585,1 bc	2,6 ns	550,8 ab
	Rp	563,2 bcB	516,6 abA	6,2*	539,9 ab
F Değeri		31,8***	15,4***		36,0***
Ortalama		591,6	599,5	0,1 ns	

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığında topraklarda P konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Rp ve Orman Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilirken en düşük değer Pasa ve Orman Pn’de elde edilmiştir. Bitkilerde S konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.13’te verilmiştir.

Tablo 4.13 Bitkilerde S konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	362,1 aA	346,4 cA	1360,2 dC	1014,7 cdB	36,7***	770,8 a
	Ps	708,3 bB	241,0 aA	648,3 aB	676,0 abB	18,9***	568,4 a
	Rp	927,3 cB	365,9 cA	1125,6 cB	1558,6 eC	23,3***	994,3 c
Orman	Pn	641,2 bB	236,7 aA	854,8 abC	562,5 aB	60,0***	573,8 a
	Ps	308,6 aA	272,8 aA	674,6 aB	844,4 bcC	44,7***	525,1 a
	Rp	1649,3 dD	379,2 cA	1026,6 bcB	1199,4 dC	188,8***	1063,6 c
F Değeri		57,7***	15,9***	13,2***	22,4***		12,4***
Ortalama		766,1 B	307,0 A	948,4 C	975,9 C	39,9***	

Varyans analizi sonuçlarına göre bitkilerde S konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Rp ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer kabuk ve yaprakta elde edilirken en düşük değer odunda elde edilmiştir.

Topraklarda S konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14 Topraklarda S konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	21832,8 bB	12569,9 dA	27,6***	17201,3 b
Rehab.	Pn	1511,4 aA	3079,9 cB	8,2*	2295,7 a
	Ps	866,1 aA	1555,8 abB	13,7**	1210,9 a
	Rp	1044,0 aA	1343,3 abB	14,0**	1193,7 a
Orman	Pn	1464,3 aA	2281,6 bcB	4,9*	1873,0 a
	Ps	606,0 aA	795,4 aB	19,6***	700,7 a
	Rp	1488,3 aA	1806,0 abB	22,1***	1647,1 a
F Değeri		153,4***	150,8***		115,1***
Ortalama		4116,1	3347,4	0,5 ns	

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde topraklarda S konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Alt ve üst toprakta en yüksek değer Pasa'da elde edilirken üst toprakta en düşük değer Orman Ps'de elde edilmiştir. Bitkilerde Ba konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15 Bitkilerde Ba konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	1,1 aA	0,6 cA	4,1 bcC	2,2 bB	18,0***	2,0 a
	Ps	2,3 bB	0,3 aA	2,2 aB	,8 aA	18,8***	1,4 a
	Rp	3,9 cBC	0,5 bcA	3,6 bB	4,5 cC	72,6***	3,1 b
Orman	Pn	4,9 dC	0,4 abA	4,8 cC	2,5 bB	28,5***	3,1 b
	Ps	8,6 eD	1,0 dA	4,6 bcC	2,3 bB	187,3***	4,1 c
	Rp	3,3 cD	0,6 cA	2,0 aB	2,8 bC	229,3***	2,2 a
F Değeri		67,3***	11,8***	9,9***	25,8***		9,5***
Ortalama		4,0 C	0,6 A	3,5 C	2,5 B	47,4***	

Yukarıdaki değerler göz önüne alındığında bitkilerde Ba konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Ps'de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer kök ve kabukta görülürken en düşük değer odunda görülmektedir. Topraklarda Ba konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16 Topraklarda Ba konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	86,4 c	87,9 e	0,0 ns	87,1 c
Rehab.	Pn	26,9 a	30,6 ab	0,3 ns	28,8 a
	Ps	85,9 c	71,2 d	3,7 ns	78,5 c
	Rp	62,9 b	58,7 cd	0,3 ns	60,8 b
Orman	Pn	26,0 aA	44,7 bcB	17,7**	35,4 a
	Ps	21,3 aA	32,9 abB	4,9*	27,1 a
	Rp	32,1 aB	21,5 aA	6,5*	26,8 a
F Değeri		23,5***	20,7***		40,2***
Ortalama		48,8	49,7	0,0 ns	

Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde topraklarda Ba konsantrasyonu değişiminin Orman Pn, Orman Ps ve Orman Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlere bakılırsa en yüksek değer Pasa ve Rehabilitasyon Ps’de elde edilirken bu değerleri Rehabilitasyon Rp takip etmektedir. Bitkilerde Bi konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17 Bitkilerde Bi konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	1,2 aA	1,5 a B	2,5 cD	1,9 bC	42,4***	1,8 abc
	Ps	1,6 bBC	1,4 aA	1,8 aC	1,6 aAB	5,2**	1,6 a
	Rp	1,6 bA	1,5 aA	2,1 bB	2,2 cB	17,4***	1,8 bc
Orman	Pn	2,0 bcB	1,4 aA	2,5 cC	1,9 bB	8,4***	1,9 cd
	Ps	1,6 bAB	1,5 aA	1,9 aC	1,6 aB	9,7***	1,6 ab
	Rp	2,2 cB	1,6 bA	2,2 bB	2,2 cB	109,6***	2,0 d
F Değeri		6,1***	6,2***	17,1***	16,6***		6,2***
Ortalama		1,7 B	1,5 A	2,2 D	1,9 C	37,0***	

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında bitkilerde Bi konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer kabukta görülürken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Bi konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18 Topraklarda Bi konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	17,4 b	15,4 c	3,0 ns	16,4 b
Rehab.	Pn	24,5 cB	15,8 cA	8,8**	20,2 c
	Ps	12,0 aA	13,6 abB	6,0*	12,8 a
	Rp	15,1 abB	13,4 abA	20,4***	14,3 a
Orman	Pn	14,2 ab	14,1 b	0,0 ns	14,1 a
	Ps	17,0 b	17,6 d	0,7 ns	17,3 b
	Rp	14,0 ab	12,7 a	4,4 ns	13,4 a
F Değeri		11,2***	18,6***		12,1***
Ortalama		16,4 B	14,7 A	5,8*	

Tablodaki değerler incelendiğinde topraklarda Bi konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn, Rehabilitasyon Ps ve Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Pn’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps, Rehabilitasyon Rp, Orman Pn ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Bitkilerde B konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.19’da verilmiştir.

Tablo 4.19 Bitkilerde B konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri
Rehab.	Pn	UL	UL	3,9 A	7,1 B	114,2***
	Ps	1,7 aA	UL	-	5,8 B	10.181,1***
	Rp	UL	UL	9,8 A	43,2 B	29,3***
Orman	Pn	UL	UL	-	-	
	Ps	UL	UL	4,8	5,0	1,8 ns
	Rp	4,4 bA	UL	6,6 AB	10,0 B	4,7*
F Değeri		7,3*		1,5 ns	27,7***	

Çalışma sonucunda B konsantrasyonu odunlarda bütün numunelerde belirlenebilir limitlerin altında kalırken köklerde sadece Rehabilitasyon Ps ve Orman Rp’de belirlenebilir limitler dahilinde kalmıştır. Ayrıca orman Pn’de bütün numunelerde ve Rehabilitasyon Ps kabuklarında da belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Bundan dolayı ortalama değerler hesaplanmamıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre bitkilerde B konsantrasyonu değişiminin tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20 Topraklarda B konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	202,1 c	176,0 e	2,4 ns	189,1d
Rehab.	Pn	157,7 b	163,8 de	0,7 ns	160,7 c
	Ps	116,5 a	137,6 bc	1,7 ns	127,1 b
	Rp	193,9 bcB	139,9 bcA	39,5***	166,9 c
Orman	Pn	101,3 aA	131,0 bB	11,6**	116,1 ab
	Ps	163,4 b	150,8 cd	0,3 ns	157,1 c
	Rp	112,7 aB	82,6 aA	4,7*	97,7 a
F Değeri		10,2***	22,6***		17,4***
Ortalama		149,7	140,3	1,4 ns	

Tablodaki sonuçlara bakıldığında topraklarda B konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Rp ve Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da elde edilirken en düşük değer Orman Rp’de elde edilmiştir. Bitkilerde Co konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.21 Bitkilerde Co konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	2,9aA	1,1cA	19,9cC	8,2bB	36,1***	8,0 b
	Ps	4,6abB	0,6bA	6,4aC	3,2aB	23,7***	3,7 a
	Rp	3,6aB	0,6bA	6,8aC	2,2aAB	19,6***	3,3 a
Orman	Pn	11,3cC	0,5abA	14,4bC	4,2aB	30,9***	7,6 b
	Ps	2,4aB	0,5abA	4,6aC	2,7aB	99,9***	2,5 a
	Rp	6,7bD	0,4aA	5,9aC	2,9aB	894,5***	4,0 a
F Değeri		14,4***	15,4***	33,4***	6,5***		8,5***
Ortalama		5,2 B	0,6A	9,7C	3,9B	45,4***	

Tablodaki değerlere göre bitkilerde Co konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değerler Rehabilitasyon Pn ve Orman Pn’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en düşük değer odunda görülürken en yüksek değer kabukta elde edilmiştir. Topraklarda Co konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.22 Topraklarda Co konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	222,6cB	184,8dA	7,1*	199,9 d
Rehab.	Pn	133,2b	124,4c	0,4ns	128,8 bc
	Ps	117,1b	155,9d	2,0ns	136,5 c
	Rp	125,6bB	88,2bA	8,3*	106,9 b
Orman	Pn	44,4aA	65,7abB	21,8***	55,0 a
	Ps	46,1a	55,8a	0,3ns	51,0 a
	Rp	58,3a	55,2a	0,7ns	56,8 a
F Değeri		27,8***	24,9***		44,3***
Ortalama		101,0	104,34	0,0ns	

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığında Co konsantrasyonu değişiminin Pasa, Rehabilitasyon Rp ve Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da görülürken en düşük değer Orman Pn, Orman Ps ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Orman topraklarında Co konsantrasyonlarının tamamının Duncan testi sonucunda ilk grupta olması dikkat çekmektedir. En yüksek Co konsantrasyonu da pasada elde edilmiştir. Bitkilerde Cu konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.23’te verilmiştir.

Tablo 4.23 Bitkilerde Cu konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	22,6abAB	3,7cA	132,2cC	58,4bB	18,0***	54,2 c
	Ps	42,0bcB	1,30aA	29,1aB	10,6aA	10,6***	20,7 ab
	Rp	51,6cdC	2,1bA	39,9aBC	25,6aB	8,5***	29,8 b
Orman	Pn	70,0dC	,8aA	90,3bD	24,8aB	53,7***	46,5 c
	Ps	11,7aB	1,0aA	21,0aC	11,8aB	46,0***	11,4 a
	Rp	40,2bcC	,9aA	43,1aD	23,9aB	1918,4***	27,0 ab
F Değeri		6,5***	16,6***	22,9***	5,8***		7,7***
Ortalama		39,7C	1,6A	59,3D	25,9B	33,3***	

Varyans analizi sonuçlarına göre bitkilerde Cu konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Pn ve Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. En yüksek değerlerin Pn de elde edilmiş olduğu görülmektedir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en düşük değer odunda görülürken en yüksek değer

kabukta elde edilmiştir. Topraklarda Cu konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.24'te verilmiştir.

Tablo 4.24 Topraklarda Cu konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	UL	UL	-	UL
Rehab.	Pn	UL	UL	-	UL
	Ps	197,72b	UL	-	197,72
	Rp	UL	UL	-	-
Orman	Pn	130,95aA	248,95bB	414,7***	189,95
	Ps	UL	215,72a	-	215,72
	Rp	232,38c	UL	-	232,38
F Değeri		344,8***	1645,5***		2,1 ns
Ortalama		187,02	232,33	2,2 ns	

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde topraklarda Cu konsantrasyonunun alt topraklarda sadece Rehabilitasyon Ps, Orman Pn ve Orman Rp ile üst topraklarda Orman Pn ve Orman Ps de belirlenebilir limitler dahilinde birikim yaptığı belirlenmiştir. Hem pasa hem de Ps dışında rehabilite edilen pasa sahalarında Cu konsantrasyonunun belirlenebilir limitlerin altında kalması, madencilik faaliyetleri esnasında topraktan Cu'nun büyük ölçüde alındığını göstermektedir.

Tablo 4.25 Bitkilerde Ga konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	19,0 aA	20,9 B	23,1 bD	22,2 cC	42,4***	21,3 a
	Ps	21,6 abB	20,4 A	20,9 aA	20,8 abA	4,2*	20,9 a
	Rp	21,4 ab	20,6	21,3 a	22,4 c	2,8 ns	21,4 a
Orman	Pn	24,8 bc	21,3	26,4 c	22,5 c	2,6 ns	23,8 b
	Ps	21,8 abB	20,9 AB	20,7 aAB	20,0 aA	3,6*	20,9 a
	Rp	27,2 cB	21,7 A	21,9 aA	21,8 bcA	48,1***	23,2 b
F Değeri		6,4***	2,2 ns	26,9***	6,3***		9,5***
Ortalama		22,6 B	21,0 A	22,4 B	21,6 AB	4,6**	

Yukarıdaki değerler göz önüne alındığında bitkilerde Ga konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Rp ve Orman Pn haricindeki tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn ve Orman Rp'de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en düşük değer odunda

görülürken en yüksek değer kök ve kabukta elde edilmiştir. Topraklarda Ga konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.26’da verilmiştir.

Tablo 4.26 Topraklarda Ga konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	90,4 c	84,9 b	0,9 ns	87,7 cd
Rehab.	Pn	78,0 abA	85,8 bB	10,7**	81,9 bc
	Ps	70,7 a	74,6 a	2,1 ns	72,7 a
	Rp	81,2 bB	73,4 aA	4,8*	77,3 ab
Orman	Pn	137,0 dB	120,7 cA	12,9**	128,9 e
	Ps	90,5 c	89,0 b	0,0 ns	89,7 d
	Rp	132,8 d	125,6 c	3,4 ns	129,2 e
F Değeri		75,7***	51,6***		106,9***
Ortalama		97,3	93,5	0,7 ns	

Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde topraklarda Ga konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn, Rehabilitasyon Rp ve Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Ps’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde In konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.27’de verilmiştir.

Tablo 4.27 Bitkilerde In konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	3,5 aA	4,4 bB	6,0 cD	5,2 bC	49,0***	4,8 ab
	Ps	4,6 bB	4,1 aA	4,8 aB	4,5 aB	6,3**	4,5 a
	Rp	4,7 bA	4,3 abA	5,4 bB	5,8 cB	14,4***	5,1 b
Orman	Pn	4,8 bA	4,2 abA	6,0 cB	5,0 bA	7,7**	5,0 b
	Ps	4,7 bBC	4,3 abA	5,0 aC	4,5 a AB	7,0**	4,6 a
	Rp	5,8 cBC	4,6 cA	5,6 bB	5,9 cC	51,7***	5,5 c
F Değeri		7,3***	6,4***	16,7***	20,3***		8,0***
Ortalama		4,7 B	4,3 A	5,5 D	5,2 C	30,7***	

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında bitkilerde In konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps ve Orman Ps’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en düşük değer odunda görülürken en

yüksek değer yaprakta elde edilmiştir. Topraklarda In konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.28’de verilmiştir.

Tablo 4.28 Topraklarda In konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	38,7 b	33,3 c	4,5*	36,0 c
Rehab.	Pn	35,1 b	33,0 c	2,2 ns	34,1 bc
	Ps	28,3 a	28,6 b	0,0 ns	28,5 a
	Rp	35,6 bB	29,3 bA	17,9**	32,4 b
Orman	Pn	25,7 a	28,1 b	4,2 ns	26,9 a
	Ps	34,8 b	32,8 c	0,7 ns	33,8 bc
	Rp	27,4 a	24,1 a	3,7 ns	25,7 a
F Değeri		7,3***	17,0***		13,6***
Ortalama		32,2 B	29,9 A	5,1*	

Tablodaki değerler incelendiğinde topraklarda In konsantrasyonu değişiminin Pasa ve Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps, Orman Pn ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Bitkilerde Pb konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.29’da verilmiştir.

Tablo 4.29 Bitkilerde Pb konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	9,6 bC	5,5 cA	6,5 cA	7,8 dB	18,0***	7,3 b
	Ps	8,3 aC	4,0 abA	5,4 abB	5,0 aB	89,1***	5,7 a
	Rp	8,9 abC	4,3 abA	5,7 bB	5,3 abB	148,2***	6,0 a
Orman	Pn	11,8 cC	4,5 bA	6,6 cB	6,7 cB	61,1***	7,4 b
	Ps	8,0 aD	3,9 aA	5,0 aB	6,0 bcC	305,3***	5,7 a
	Rp	9,0 abD	4,0 abA	5,4 abB	6,2 bcC	335,3***	6,2 a
F Değeri		14,1***	12,4***	9,7***	12,7***		5,3***
Ortalama		9,3 C	4,4 A	5,8 B	6,2 B	171,3***	

Varyans analizi sonuçlarına göre bitkilerde Pb konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Pn ve Orman Pn’de elde edilmiştir. Yine en yüksek konsantrasyonların Pn de elde edilmiş olması dikkat çekmektedir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en düşük değer odunda elde edilirken en yüksek değer kökte görülmektedir.

Topraklarda Pb konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.30’da verilmiştir.

Tablo 4.30 Topraklarda Pb konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	52,2 cB	40,0 bA	9,4**	46,1 bc
Rehab.	Pn	42,5 b	40,0 b	0,5 ns	41,2 b
	Ps	48,4 bc	51,3 c	0,2 ns	49,8 c
	Rp	44,0 b	41,7 b	0,5 ns	42,9 b
Orman	Pn	29,9 aA	32,1 aB	7,0*	31,0 a
	Ps	30,0 aA	35,7 abB	30,0***	32,8 a
	Rp	31,9 a	31,5 a	0,0 ns	31,7 a
F Değeri		12,5***	9,2***		17,9***
Ortalama		39,89	38,95	0,2 ns	

Tablodaki sonuçlar göz önüne alındığında topraklarda Pb konsantrasyonu değişiminin Pasa, Orman Pn ve Orman Ps’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilirken en düşük değer Orman Pn, Orman Ps ve Orman Rp’da elde edilmiştir. Bitkilerde Li konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.31 Bitkilerde Li konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	2,3 aA	2,6 A	3,6 bB	3,4 bB	34,8***	3,0 ab
	Ps	2,9 aB	2,5 A	2,8 aB	2,8 aB	7,4**	2,8 a
	Rp	3,1 aB	2,5 A	2,6 aA	2,6 aA	4,8**	2,7 a
Orman	Pn	4,6 bB	2,6 A	4,4 cB	3,4 bAB	5,8**	3,8 c
	Ps	2,7 aB	2,5 A	2,7 aB	2,6 aAB	4,0*	2,6 a
	Rp	4,4 bC	2,6 A	2,9 aB	2,8 aAB	204,4***	3,2 b
F Değeri		9,1***	1,9 ns	31,5***	16,6***		12,4***
Ortalama		3,3 C	2,6 A	3,2 BC	2,9 B	10,7***	

Yukarıdaki değerler incelendiğinde bitkilerde Li konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer kökte görülürken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Li konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.32’de verilmiştir.

Tablo 4.32 Topraklarda Li konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	32,0 ab	32,3 a	0,0 ns	32,1 b
Rehab.	Pn	32,9 abc	27,9 a	0,9 ns	30,4 b
	Ps	52,7 e	59,1 c	1,9 ns	55,9 d
	Rp	44,1 de	43,5 b	0,0 ns	43,8 c
Orman	Pn	36,3 bcdA	43,0 bB	10,7**	39,6 c
	Ps	23,4 a	26,1 a	0,2 ns	24,8 a
	Rp	41,9 cd	38,6 b	1,1 ns	40,3 c
F Değeri		8,8***	29,8***		28,4***
Ortalama		37,6	38,7	0,2 ns	

Varyans analizi sonuçlarına bakıldığında topraklarda Li konsantrasyonu değişiminin Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Ps, Orman Pn ve Rehabilitasyon Rp’de elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde Mn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.33’te verilmiştir.

Tablo 4.33 Bitkilerde Mn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	45,9 aA	143,5 dA	163,8 bA	450,3 bcB	6,9**	200,9 b
	Ps	149,0 bA	100,3 cdA	216,3 bA	483,5 bcB	16,6***	237,3 b
	Rp	55,6 aA	18,5 abA	65,7 aA	575,6 cB	12,9***	178,9 b
Orman	Pn	167,4 bC	43,1 abcA	153,3 bB	259,6 abB	13,9***	155,8 b
	Ps	60,6 aA	82,2 bcdA	169,5 bB	440,9 bcC	35,2***	188,3 b
	Rp	103,0 abD	4,1 aA	27,3 aB	85,9 aC	210,9***	55,1 a
F Değeri		5,6***	5,3**	8,7***	4,4**		3,4**
Ortalama		96,9 AB	65,3 A	132,7 B	382,6 C	42,5***	

Tablodaki değerlere göre bitkilerde Mn konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en düşük değer Orman Rp’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer yaprakta elde edilirken en düşük değer odunda görülmektedir. Topraklarda Mn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.34’te verilmiştir.

Tablo 4.34 Topraklarda Mn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	601,0 a	546,1 a	0,9 ns	573,6 a
Rehab.	Pn	1179,2 bB	609,1 aA	7,8*	894,1 b
	Ps	2466,0 cA	2873,0 cB	4,6*	2669,5 d
	Rp	1318,3 b	1096,9 b	1,3 ns	1207,6 c
Orman	Pn	1464,3 b	1201,3 b	2,9 ns	1332,8 c
	Ps	1274,7 b	1046,4 b	0,3 ns	1103,5 bc
	Rp	1379,1 bB	1077,4 bA	14,7**	1228,2 c
F Değeri		21,3***	40,9***		51,4***
Ortalama		1394,7	1207,2	1,9 ns	

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığında topraklarda Mn konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn, Rehabilitasyon Ps ve Orman Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilirken en düşük değer Pasa’da elde edilmiştir. Bitkilerde Ag konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.35’te verilmiştir.

Tablo 4.35 Bitkilerde Ag konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	3,3 aA	3,7 B	3,8 bcB	3,8 bB	27,7***	3,6
	Ps	3,7 b	3,6	3,7 ab	3,7 ab	0,9 ns	3,7
	Rp	3,6 ab	3,6	3,6 a	3,8 b	1,5 ns	3,7
Orman	Pn	3,3 aA	3,8 B	3,9 cB	3,7 abAB	3,8*	3,7
	Ps	3,8 bC	3,7 BC	3,6 aAB	3,5 aA	5,4**	3,6
	Rp	3,9 bC	3,8 B	3,6 abAB	3,5 aA	6,6**	3,7
F Değeri		4,8**	1,7 ns	6,4***	4,5**		,2 ns
Ortalama		3,6	3,7	3,7	3,6	0,9 ns	

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde bitkilerde Ag konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Ps ve Rehabilitasyon Rp haricindeki diğer türlerde organ bazında ve odun dışındaki tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Kabukta en yüksek değer Orman Pn’de elde edilirken yaprakta en yüksek değer Rehabilitasyon Pn ve Rehabilitasyon Rp’de elde edilmiştir. Topraklarda Ag konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.36’da verilmiştir.

Tablo 4.36 Topraklarda Ag konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	12,2 bB	10,2 A	4,5*	11,2 b
Rehab.	Pn	10,6 a	10,2	1,2 ns	10,4 ab
	Ps	10,2 a	10,3	0,0 ns	10,2 a
	Rp	10,6 a	10,4	0,1 ns	10,5 ab
Orman	Pn	10,6 aB	9,9 A	5,0*	10,3 a
	Ps	11,2 ab	10,9	1,4 ns	11,1 ab
	Rp	10,4 a	10,1	0,6 ns	10,3 a
F Değeri		2,4*	1,5 ns		2,2*
Ortalama		10,9 B	10,3 A	7,7**	

Yukarıdaki değerler göz önüne alındığında topraklarda Ag konsantrasyonu değişiminin Pasa ve Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve alt toprakta tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps, Orman Pn ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Bitkilerde Na konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.37’de verilmiştir.

Tablo 4.37 Bitkilerde Na konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	61,6 bA	50,8 A	73,0 bcB	58,6 aA	4,4*	61,0 b
	Ps	52,6 abA	50,0 A	67,3 bB	51,5 aA	3,1*	55,4 ab
	Rp	72,4 cA	63,0 A	103,5 dB	107,7 cB	8,7***	86,6 d
Orman	Pn	80,0 cB	58,1 A	94,1 dC	53,3 aA	69,5***	71,4 c
	Ps	48,7 aA	50,3 A	48,2 aA	59,6 aB	3,6*	51,7 a
	Rp	102,8 dC	58,4 A	87,8 cdB	84,8 bB	64,3***	83,5 d
F Değeri		35,9***	1,6 ns	12,9***	32,1***		23,0***
Ortalama		69,7 B	55,1 A	79,0 C	69,2 B	11,9***	

Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde bitkilerde Na konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en düşük değer odunda görülürken en yüksek değer kabukta elde edilmiştir. Topraklarda Na konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.38’de verilmiştir.

Tablo 4.38 Topraklarda Na konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	457,7 b	476,2 b	0,2 ns	466,9 c
Rehab.	Pn	UL	257,9 a	-	257,9 a
	Ps	453,6 bA	610,9 cB	5,7*	532,2 c
	Rp	368,2 ab	361,5 a	0,0 ns	364,8 b
Orman	Pn	378,3 abA	613,6 cB	9,3**	495,9 c
	Ps	334,1 aB	318,3 aA	5,3*	326,2 ab
	Rp	557,0 c	500,6 bc	1,8 ns	528,8 c
F Değeri		10,2***	13,0***		12,8***
Ortalama		424,8	448,5	0,7 ns	

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında topraklarda Na konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Ps, Orman Pn ve Orman Ps’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda organ bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlere bakılırsa en yüksek değer Pasa, Rehabilitasyon Ps, Orman Pn ve Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Pn’de elde edilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen ağır metallerden Sr’un farklı alanlarda yetişen ağaçlarda organ bazında değişimi Tablo 4.39’da verilmiştir.

Tablo 4.39 Sr’un farklı alanlarda yetişen ağaçlarda organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	2,0 aA	2,8 aB	6,4 aC	3,3 aB	75,2***	3,6 a
	Ps	11,9 bcC	2,1 aA	7,2 aBC	2,9 aAB	7,6**	6,0 a
	Rp	21,8 deA	11,8 cA	55,4 cB	50,7 bB	14,2***	34,9 c
Orman	Pn	9,7 bB	2,3 aA	9,7 aB	4,3 aA	23,9***	6,5 a
	Ps	16,5 cdC	3,9 aA	10,7 aB	5,3 aA	45,5***	9,1 a
	Rp	23,4 eB	7,1 bA	32,4 bC	40,2 bD	103,6***	25,8 b
F Değeri		14,4***	21,9***	69,7***	32,1***		40,7***
Ortalama		14,2 B	5,0 A	20,3 B	17,8 B	9,6***	

Tablodaki değerler incelendiğinde bitkilerde Sr konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Rp’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Pn’de elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en düşük değer odunda görülürken en yüksek değer kök, kabuk ve yaprakta elde edilmiştir. Topraklarda Sr konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.40’da verilmiştir.

Tablo 4.40 Topraklarda Sr konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	19,3 ab	17,3 a	1,5 ns	18,3 ab
Rehab.	Pn	14,3 a	13,1 a	0,3 ns	13,7 a
	Ps	21,5 ab	27,3 b	1,2 ns	24,4 c
	Rp	25,5 b	20,2 ab	1,0 ns	22,8 bc
Orman	Pn	38,6 c	36,8 c	0,2 ns	37,7 d
	Ps	18,6 ab	16,2 a	0,3 ns	17,4 ab
	Rp	48,1 d	40,8 c	2,8 ns	44,4 e
F Değeri		18,1***	15,3***		32,3***
Ortalama		26,59	24,56	0,7 ns	

Varyans analizi sonuçlarına göre topraklarda Sr konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde toprak derinliği bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olmadığı ve hem alt hem üst topraklarda hem de ortalama değerlere göre tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Pn’de elde edilmiştir. Bitkilerde Tl konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.41’de verilmiştir.

Tablo 4.41 Bitkilerde Tl konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	2,3 aA	2,6 bA	4,1 bB	3,7 dB	24,1***	3,2 ab
	Ps	2,6 aA	2,1 aA	3,0 aB	3,0 aB	10,4***	2,8 a
	Rp	2,9 aA	2,4 aB	3,4 aC	3,3 abcC	9,8***	3,0 a
Orman	Pn	4,7 bC	2,4 aA	4,9 cC	3,5 cdB	10,4***	3,9 c
	Ps	2,6 aA	2,4 aA	3,3 aB	3,1 abB	44,4***	2,8 a
	Rp	4,3 bC	2,5 aA	3,4 aB	3,4 bcdB	212,4***	3,4 b
F Değeri		10,9***	7,2***	19,6***	4,3**		9,0***
Ortalama		3,2 B	2,4 A	3,7 C	3,3 B	24,8***	

Tablodaki sonuçlar göz önüne alındığında bitkilerde Tl konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps, Rehabilitasyon Rp ve Orman Ps’de elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer kabukta görülürken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Tl konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.42’de verilmiştir.

Tablo 4.42 Topraklarda Tl konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	34,5 c	30,7 bcd	2,6 ns	32,6 de
Rehab.	Pn	28,6 b	31,1 cd	2,5 ns	29,9 cd
	Ps	25,4 ab	26,4 ab	0,2 ns	25,9 b
	Rp	30,1 bcB	25,3 aA	9,8**	27,7 bc
Orman	Pn	34,0 c	34,7 d	0,1 ns	34,3 e
	Ps	20,5 a	23,1 a	0,4 ns	21,8 a
	Rp	34,6 c	29,7 bc	4,3 ns	32,2 de
F Değeri		8,8***	7,4***		13,6***
Ortalama		29,74	28,76	0,7 ns	

Değerler incelendiğinde topraklarda Tl konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde V konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.43’te verilmiştir.

Tablo 4.43 Bitkilerde V konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	5,8 aA	5,1 bA	11,8 bB	10,0 bB	9,2***	8,2 b
	Ps	8,0 aB	4,8 aA	5,5 aA	5,1aA	15,0***	5,8 a
	Rp	7,6 aB	4,8 aA	5,7 aA	5,8 aA	5,8**	6,0 a
Orman	Pn	20,1 bB	5,1 bA	15,8 cB	9,6 bA	10,0***	12,7 c
	Ps	6,1 aC	4,8 aA	5,8 aBC	5,4 aB	10,7***	5,5 a
	Rp	8,0 bC	5,1 bA	7,3 aB	7,1 aB	646,7***	8,8 b
F Değeri		12,6***	3,0*	25,0***	10,2***		14,4***
Ortalama		10,5 C	5,0 A	8,6 B	7,2 B	14,7***	

Varyans analizi sonuçlarına bakıldığında bitkilerde V konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmektedir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps, Rehabilitasyon Rp ve Orman Ps’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en düşük değer odunda görülürken en yüksek değer kökte elde edilmiştir. Topraklarda V konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.44’te verilmiştir.

Tablo 4.44 Topraklarda V konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	181,1 b	194,0 cd	3,3 ns	188,9 b
Rehab.	Pn	180,8 b	206,9 d	3,7 ns	193,9 b
	Ps	144,2 a	146,8 a	0,0 ns	145,5 a
	Rp	190,3 bB	153,2 abA	37,5***	171,8 b
Orman	Pn	189,4 b	195,1 cd	0,6 ns	192,2 b
	Ps	143,6 a	146,5 a	0,0 ns	145,0 a
	Rp	184,3 b	175,8 bc	0,6 ns	180,0 b
F Değeri		3,1*	7,3***		7,6***
Ortalama		173,05	174,09	0,0 ns	

Tablodaki değerlere göre topraklarda V konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Pn ve Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps ve Orman Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde Zn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.45’te verilmiştir.

Tablo 4.45 Bitkilerde Zn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	11,5 abA	11,0 cA	28,5 cC	22,1 bB	97,4***	18,3 b
	Ps	14,6 bcB	6,1 aA	18,4 bB	14,4 aB	8,7***	13,4 a
	Rp	10,5 aA	6,1 aA	24,1 bcB	21,4 bB	5,9**	15,5 ab
Orman	Pn	22,6 dB	12,6 dA	39,6 dD	32,0 cC	22,2***	26,7 c
	Ps	8,0 aA	8,9 bA	24,3 bcB	22,5 bB	69,0***	15,9 ab
	Rp	17,4 cD	5,3 aA	10,9 aB	13,3 aC	134,2***	11,7 a
F Değeri		9,3***	31,8***	13,7***	8,0***		11,8***
Ortalama		14,1 B	8,3 A	24,3 D	21,0 C	39,5***	

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığında bitkilerde Zn konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer kabukta görülürken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Zn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.46’da verilmiştir.

Tablo 4.46 Topraklarda Zn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	115,1 e	106,6 d	2,2 ns	110,8 c
Rehab.	Pn	90,6 cd	98,8 d	0,5 ns	96,7 bc
	Ps	70,0 bcA	93,5 cdB	140,6***	81,8 b
	Rp	103,0 deB	74,7 bcA	5,2*	88,8 b
Orman	Pn	46,9 aA	61,0 abB	15,0**	53,9 a
	Ps	85,8 cd	96,2 cd	0,2 ns	91,0 b
	Rp	51,7 ab	51,4 a	0,0 ns	51,6 a
F Değeri		15,8***	7,9***		17,6***
Ortalama		79,4	83,2	0,4 ns	

Varyans analizi sonuçlarına göre topraklarda Zn konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Ps, Rehabilitasyon Rp ve Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da elde edilirken en düşük değer Orman Pn ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Bitkilerde Au konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.47’de verilmiştir.

Tablo 4.47 Bitkilerde Au konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	2,8 aA	4,7 cA	6,1 bA	11,0 bcB	8,9***	6,2 b
	Ps	5,2 bAB	3,8 bcA	6,4 bB	11,3 bcC	15,1***	6,7 b
	Rp	3,5 aA	2,3 aA	3,7 aA	14,1 cB	12,8***	5,9 b
Orman	Pn	5,7 bB	2,8 abA	6,0 bB	7,4 abC	12,0***	5,5 ab
	Ps	3,4 aA	3,5 abcA	5,5 bB	10,4 bcC	26,2***	5,7 b
	Rp	5,1 bD	2,2 aA	3,2 aB	4,4 aC	112,5***	3,7 a
F Değeri		4,9**	4,8**	9,6***	4,1**		2,3*
Ortalama		4,3 AB	3,2 A	5,2 B	9,8 C	43,6***	

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde bitkilerde Au konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilirken en düşük değer Orman Rp’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer yaprakta görülürken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Au konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.48’de verilmiştir.

Tablo 4.48 Topraklarda Au konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	31,7 ab	26,9 a	4,3 ns	29,3 a
Rehab.	Pn	38,6 cB	27,8 abA	14,5**	33,2 ab
	Ps	54,6 dA	63,0 dB	4,9*	58,8 c
	Rp	41,8 cB	33,8 bcA	7,5*	37,8 b
Orman	Pn	37,8 bc	34,4 bc	1,1 ns	36,1 b
	Ps	30,9 a	35,5 c	1,8 ns	33,2 ab
	Rp	37,0 abcB	30,3 abcA	8,9**	33,6 ab
F Değeri		14,6***	33,2***		33,8***
Ortalama		38,9	36,0	2,1 ns	

Yukarıdaki değerler göz önüne alındığında Au konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn, Rehabilitasyon Ps ve Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilirken en düşük değer Pasa’da elde edilmiştir. Bitkilerde Ge konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.49’da verilmiştir.

Tablo 4.49 Bitkilerde Ge konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	UL	UL	4,7 b	3,9 a	8,5**	3,6 a
	Ps	4,7 C	1,0 A	3,2 aB	5,3 abcC	12,4***	4,1 a
	Rp	4,2 AB	1,2 A	8,7 dC	7,4 cdBC	8,3**	6,4 bc
Orman	Pn	UL	UL	7,4 c	4,5 ab	80,9***	6,3 bc
	Ps	UL	UL	5,8 b	6,1 bcd	29,5***	5,3 b
	Rp	UL	UL	7,6 cd	8,0 d	10,0***	7,0 c
F Değeri		21,2***	2,6 ns	25,9***	5,2**		10,3***
Ortalama		5,2 B	1,2 A	6,2 B	5,9 B	20,4***	

Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde bitkilerde Ge konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve odun haricindeki tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps ve Rehabilitasyon Pn’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer kabukta görülürken en düşük değer odunda görülmektedir. Topraklarda Ge konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.50’de verilmiştir.

Tablo 4.50 Topraklarda Ge konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	49,4 c	42,6 c	3,1 ns	46,0 c
Rehab.	Pn	39,7 b	39,6 bc	0,0 ns	39,6 b
	Ps	32,2 a	35,6 a	1,4 ns	33,9 a
	Rp	44,1 bcB	36,5 abA	10,8**	40,3 b
Orman	Pn	39,0 ab	41,8 c	2,1 ns	40,4 b
	Ps	39,8 b	38,1 ab	1,3 ns	38,9 b
	Rp	37,3 ab	36,0 ab	0,1 ns	36,6 ab
F Değeri		5,3***	5,5***		7,4***
Ortalama		40,2	38,7	1,8 ns	

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında topraklarda Ge konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde Mo konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.51’de verilmiştir.

Tablo 4.51 Bitkilerde Mo konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	2,3 aA	2,3 aA	4,1 bC	3,4 dB	15,4***	3,0 a
	Ps	3,0 aC	2,2 aA	2,7 aBC	2,4 aAB	9,9***	2,6 a
	Rp	5,9 aB	4,1 bAB	4,6 bAB	2,7 abA	3,9*	4,3 a
Orman	Pn	5,0 aB	2,3 aA	4,2 bB	3,0 bcA	9,3***	3,6 a
	Ps	2,7 aB	2,3 aA	2,8 aB	2,7 abB	14,3***	2,6 a
	Rp	43,7 bB	4,2 bA	4,2 bA	3,1 cdA	38,3***	13,8 b
F Değeri		37,8***	6,6***	4,4**	8,1***		10,2***
Ortalama		10,4 B	2,9 A	3,8 A	2,9 A	9,9***	

Tablodaki değerler incelendiğinde bitkilerde Mo konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps ve Orman Ps’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer ise kökte elde edilmiştir. Topraklarda Mo konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.52’de verilmiştir.

Tablo 4.52 Topraklarda Mo konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	52,7 d	43,5 d	3,8 ns	48,1 d
Rehab.	Pn	46,9 cd	40,7 cd	3,9 ns	43,8 c
	Ps	28,5 a	33,5 b	3,6 ns	31,0 a
	Rp	40,4 bc	34,9 b	3,9 ns	37,6 b
Orman	Pn	30,8 a	33,3 b	3,8 ns	32,0 a
	Ps	36,1 ab	39,3 c	1,4 ns	37,7 b
	Rp	30,4 a	27,8 a	2,6 ns	29,1 a
F Değeri		11,9***	22,9***		20,5***
Ortalama		38,0	36,2	1,2 ns	

Varyans analizi sonuçlarına göre topraklarda Mo konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde toprak derinliği bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olmadığı ve tüm toprakların tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da görülürken en düşük değer Rehabilitasyon Ps, Orman Pn ve Orman Rp’de elde edilmiştir. Bitkilerde Nb konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.53’te verilmiştir.

Tablo 4.53 Bitkilerde Nb konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	9,4 aA	10,0 abA	12,7 bB	12,1 cB	15,6***	11,0 a
	Ps	11,1 aB	9,8 aA	10,2 aA	9,9 aA	6,8**	10,3 a
	Rp	10,7 aB	9,7 aA	10,2 aAB	11,1 bcB	3,6*	10,4 a
Orman	Pn	14,0 bB	10,1 abA	14,2 cB	11,5 bcAB	4,8**	12,4 c
	Ps	10,7 a	10,1 ab	10,3 a	9,9 a	2,0 ns	10,2 a
	Rp	14,1 bB	10,4 bA	10,6 aA	10,8 abA	92,2***	11,5 b
F Değeri		7,0***	2,6*	24,5***	6,0***		9,1***
Ortalama		11,7 C	10,0 A	11,4 B	10,9 B	8,9***	

Tablodaki sonuçlar göz önüne alındığında bitkilerde Nb konsantrasyonu değişiminin Orman Ps haricindeki tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer kökte elde edilirken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Nb konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.54’te verilmiştir.

Tablo 4.54 Topraklarda Nb konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	103,1 c	93,3 bc	1,8 ns	98,2 e
Rehab.	Pn	90,1 bc	99,5 c	2,3 ns	94,8 de
	Ps	74,7 ab	76,4 a	0,1 ns	75,6 ab
	Rp	88,5 bcB	75,6 aA	17,5**	82,1 bc
Orman	Pn	89,3 bc	92,7 bc	1,1 ns	91,0 cde
	Ps	69,7 a	74,0 a	0,1 ns	71,8 a
	Rp	89,5 bc	83,5 ab	1,8 ns	86,5 cd
F Değeri		4,8***	7,5***		9,6***
Ortalama		86,5	85,1	0,2 ns	

Yukarıdaki değerler incelendiğinde bitkilerde Nb konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde Pd konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.55’te verilmiştir.

Tablo 4.55 Bitkilerde Pd konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	20,7 aA	22,9 B	23,6 bcC	23,4 bBC	44,9***	22,6
	Ps	22,9 bc	22,5	22,5 a	22,4 ab	0,9 ns	22,6
	Rp	22,5 b	22,7	22,6 a	23,5 b	1,5 ns	22,8
Orman	Pn	20,5 aA	23,3 B	24,1 cB	22,5 abB	5,8**	22,6
	Ps	23,2 bcB	23,1 B	22,4 aAB	21,5 aA	3,7*	22,5
	Rp	24,5 cC	23,5 BC	22,9 abAB	21,9 aA	6,2**	23,2
F Değeri		7,2***	1,4 ns	6,4***	3,7**		1,1 ns
Ortalama		22,4 A	23,0 B	23,0 B	22,5 AB	2,9*	

Varyans analizi sonuçlarına bakıldığında bitkilerde Pd konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Ps ve Rehabilitasyon Rp haricindeki tüm türlerde organ bazında ve odun dışındaki tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer odun ve kabukta elde edilirken en düşük değer kökte elde edilmiştir. Topraklarda Pd konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.56’da verilmiştir.

Tablo 4.56 Topraklarda Pd konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	65,4 a	63,6 a	0,2 ns	64,5 a
Rehab.	Pn	69,0 a	67,5 a	0,6 ns	68,3 b
	Ps	67,1 a	67,8 a	0,3 ns	67,4 ab
	Rp	65,9 a	63,6 a	0,6 ns	64,8 ab
Orman	Pn	66,8 a	64,5 a	1,6 ns	65,7 ab
	Ps	75,7 b	73,8 b	0,9 ns	74,7 c
	Rp	67,0 a	65,2 a	0,8 ns	66,1 ab
F Değeri		3,7**	6,7***		9,8***
Ortalama		68,2	66,6	2,2 ns	

Tablodaki değerlere göre topraklarda Pd konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde toprak derinliği bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olmadığı ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde oluşu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değer Orman Ps’de görülürken en düşük değer Pasa’da elde edilmiştir. Bitkilerde Sn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.57’de verilmiştir.

Tablo 4.57 Bitkilerde Sn konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	3,1 aA	4,1 bA	6,3 bB	6,0 B	19,7***	4,9 a
	Ps	4,5 bB	3,5 aA	5,3 aBC	5,7 C	11,0***	4,8 a
	Rp	4,8 bB	3,3 aA	7,9 cC	5,3 B	32,0***	5,3 ab
Orman	Pn	8,1 dC	3,5 aA	8,4 cC	5,9 B	44,2***	6,5 c
	Ps	3,9 abB	3,5 aA	6,8 bD	5,9 C	210,8***	5,0 ab
	Rp	6,9 cC	3,4 aA	6,7 bC	6,2 B	82,0***	5,8 bc
F Değeri		24,0***	4,8**	14,1***	1,4 ns		5,5***
Ortalama		5,2 B	3,6 A	6,9 D	5,8 C	60,8***	

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığında bitkilerde Sn konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve yaprak haricindeki tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Pn ve Rehabilitasyon Ps’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer ise kabukta görülürken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Sn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.58’de verilmiştir.

Tablo 4.58 Topraklarda Sn konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	70,9 c	59,1 bc	2,8 ns	65,0 c
Rehab.	Pn	53,1 abA	60,0 cB	13,0**	56,6 b
	Ps	44,6 a	46,8 a	0,2 ns	45,7 a
	Rp	62,7 bcB	49,4 aA	13,9**	56,1 b
Orman	Pn	72,0 c	57,2 bc	3,3 ns	64,6 c
	Ps	58,9 abc	54,6 b	1,6 ns	56,8 b
	Rp	54,5 ab	48,0 a	2,8 ns	51,2 ab
F Değeri		4,3**	13,5***		6,5***
Ortalama		59,6	53,6	7,1**	

Varyans analizi sonuçlarına göre topraklarda Sn konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn ve Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlere bakıldığında en yüksek değer Pasa ve Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde Zr konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.59’da verilmiştir.

Tablo 4.59 Bitkilerde Zr konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	3,2 aA	3,4 abA	4,4 bC	4,0 cB	20,2***	3,8 a
	Ps	3,7 aC	3,3 aA	3,5 aB	3,4 aA	13,8***	3,5 a
	Rp	3,8 aB	3,3 aA	3,6 aB	3,6 abAB	4,4*	3,6 a
Orman	Pn	8,5 bC	3,5 bA	7,0 cBC	4,8 dAB	7,9***	5,9 c
	Ps	3,7 aC	3,4 abA	3,6 aBC	3,5 abAB	4,1*	3,5 a
	Rp	7,2 bC	3,5 bA	4,0 abB	3,8 bcB	292,6***	4,6 b
F Değeri		13,4***	2,5*	35,4***	15,8***		17,2***
Ortalama		5,0 C	3,4 A	4,4 B	3,8 AB	10,6***	

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde bitkilerde Zr konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer kökte elde edilirken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Zr konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.60’da verilmiştir.

Tablo 4.60 Topraklarda Zr konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	28,9 b	26,5 a	1,0 ns	27,7 ab
Rehab.	Pn	20,5 aA	24,2 aB	5,5*	22,3 a
	Ps	21,0 aA	25,4 aB	4,6*	23,2 a
	Rp	26,8 ab	23,7 a	4,3 ns	25,3 a
Orman	Pn	86,8 d	78,0 c	0,6 ns	82,4 d
	Ps	31,2 b	35,8 a	0,4 ns	33,5 b
	Rp	71,1 c	64,6 b	2,2 ns	67,8 c
F Değeri		122,9***	23,0***		87,3***
Ortalama		40,9	39,8	0,0 ns	

Yukarıdaki değerler göz önüne alındığında topraklarda Zr konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn ve Rehabilitasyon Ps’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Orman Pn’de elde edilmiştir. Topraklarda Be konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.61’de verilmiştir.

Tablo 4.61 Topraklarda Be konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	3,0 c	2,7 c	1,5 ns	2,8 cd
Rehab.	Pn	2,5 abA	2,6 bcB	5,8*	2,5 b
	Ps	2,9 bc	3,1 d	0,3 ns	3,0 d
	Rp	2,7 bc	2,5 bc	5,2 ns	2,6 bc
Orman	Pn	2,5 bcA	2,6 bcB	6,7*	2,6 bc
	Ps	2,0 a	2,1 a	0,0 ns	2,1 a
	Rp	2,5 ab	2,4 ab	0,7 ns	2,4 b
F Değeri		3,8**	8,7***		9,3***
Ortalama		2,63	2,62	0,0 ns	

Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde topraklarda Be konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Pn ve Orman Pn’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. Topraklarda Pt konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.62’de verilmiştir.

Tablo 4.62 Topraklarda Pt konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	89,3 c	87,0 c	0,3 ns	88,1 d
Rehab.	Pn	84,2 bc	86,4 bc	0,7 ns	85,3 cd
	Ps	78,6 ab	80,3 ab	0,2 ns	79,4 ab
	Rp	82,8 bc	77,7 a	3,6 ns	80,3 ab
Orman	Pn	85,3 bc	86,4 bc	0,1 ns	85,9 cd
	Ps	73,7 a	78,3 a	0,9 ns	76,0 a
	Rp	86,2 bcB	78,3 aA	6,6*	82,3 bc
F Değeri		4,4**	4,2**		6,5***
Ortalama		82,9	82,1	0,3 ns	

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında topraklarda Pt konsantrasyonu değişiminin Orman Rp’de toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa’da elde edilirken en düşük değer Orman Ps’de elde edilmiştir. Topraklarda Sc konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 4.63’te verilmiştir.

Tablo 4.63 Topraklarda Sc konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Üst	F Değeri	Ortalama
Pasa	-	86,2 d	83,4 bc	1,4 ns	84,8 de
Rehab.	Pn	79,6 bc	83,3 bc	2,6 ns	81,4 cd
	Ps	70,4 aA	73,9 aB	7,8*	72,2 a
	Rp	81,1 cdB	76,0 aA	53,9***	78,5 bc
Orman	Pn	86,7 d	87,2 c	0,0 ns	86,9 e
	Ps	75,3 ab	78,6 ab	0,3 ns	76,9 b
	Rp	84,1 cd	83,2 bc	0,3 ns	83,6 de
F Değeri		10,5***	6,0***		14,2***
Ortalama		80,5	80,8	0,0 ns	

Tablodaki değerler incelendiğinde topraklarda Sc konsantrasyonu değişiminin Rehabilitasyon Ps ve Rehabilitasyon Rp’de toprak derinliği bazında değişimi ve tüm topraklarda tür bazında değişimi istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa ve Orman Rp’de elde edilirken en düşük değer Rehabilitasyon Ps’de elde edilmiştir. Bitkilerde Cd konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.64’te verilmiştir.

Tablo 4.64 Bitkilerde Cd konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	0,6 dB	0,4 dA	0,7 cC	0,3 dA	46,5***	0,5 e
	Ps	0,4 bC	0,3 bB	0,4 bC	0,2 abA	21,4***	0,3 bc
	Rp	0,2 aA	0,2 aA	0,4 abB	0,2 abA	7,9***	0,3 ab
Orman	Pn	0,4 cB	0,3 cAB	0,7 cC	0,3 cA	26,6***	0,5 d
	Ps	0,4 bC	0,3 bcB	0,4 bD	0,2 bA	75,5***	0,3 c
	Rp	0,3 aB	0,2 aA	0,3 aB	0,2 aA	97,4***	0,2 a
F Değeri		33,7***	18,6***	35,6***	14,7***		27,5***
Ortalama		0,4 B	0,3 A	0,5 C	0,3 A	32,6***	

Yukarıdaki değerler incelendiğinde bitkilerde Cd konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmektedir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Rehabilitasyon Pn ve Orman Pn’de elde edilirken en düşük değer Orman Rp’da elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer kabukta görülürken en düşük değer odun ve yaprakta elde edilmiştir. Topraklarda Cd konsantrasyonu bütün toprak numunelerinde belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Bitkilerde Cd konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.65’te verilmiştir.

Tablo 4.65 Bitkilerde Cr konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F Değeri	Ortalama
Rehab.	Pn	9,6 aA	6,8 cA	19,6 bB	21,6 abB	15,6***	14,4
	Ps	21,5 bC	5,6 bA	12,1 aAB	13,6 aB	7,7**	13,2
	Rp	8,7 aA	5,3 abA	14,2 aA	47,2 cB	8,4***	18,9
Orman	Pn	17,3 bB	6,1 bcA	20,3 bB	21,4 abB	13,8***	16,3
	Ps	10,1 aB	6,1 bcA	12,6 aB	15,5 aC	16,5***	11,1
	Rp	21,5 bD	4,6 aA	12,3 aB	35,3 bcC	1063,5***	18,4
F Değeri		6,7***	6,1***	4,9**	5,5***		1,9 ns
Ortalama		14,8 B	5,7 A	15,2 B	25,8 C	28,9***	

Varyans analizi sonuçlarına bakıldığında bitkilerde Cr konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer yaprakta elde edilirken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda Cr konsantrasyonu da bütün toprak numunelerinde belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır.

4.2 Elementlerin BCF ve TF Değerleri

Çalışmaya konu elementlerin bitki organlarındaki translokasyonunu belirleyebilmek amacıyla pasa sahası ve ormanlık alanda her element için ayrı ayrı BCF ve TF değerleri hesaplanmıştır. Mg elementinin BCF değerleri Tablo 4.66’da verilmiştir.

Tablo 4.66 Mg elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,022	0,014	0,049	0,056	0,035
	Ps	0,148	0,025	0,071	0,084	0,082
	Rp	0,043	0,021	0,080	0,294	0,110
Orman	Pn	0,081	0,021	0,093	0,100	0,074
	Ps	0,056	0,029	0,074	0,097	0,064
	Rp	0,105	0,013	0,054	0,198	0,093
Ortalama		0,076	0,021	0,070	0,138	

Mg elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasada 0,014 ile 0,294 arasında, ormanda ise 0,013 ile 0,198 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde pasa sahasında 0,110 orman sahasında ise 0,093 değeri ile en yüksek değerler Rp türünde elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,138 ile yaprakta elde edilmiştir. Mg elementinin TF değerleri Tablo 4.67’de verilmiştir.

Tablo 4.67 Mg elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,636	2,227	2,545	1,803
	Ps	0,169	0,480	0,568	0,406
	Rp	0,488	1,860	6,837	3,062
Orman	Pn	0,259	1,148	1,235	0,881
	Ps	0,518	1,321	1,732	1,190
	Rp	0,124	0,514	1,886	0,841
Ortalama		0,366	1,258	2,467	

Mg elementinde TF değerlerinin pasada 0,169 ile 6,837 arasında ormanda ise 0,124 ile 1,886 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek değerler hem pasada hem de ormanda Rp yapraklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak pasada Rp’de, ormanda da Ps’de elde edilirken organ olarak yapraklarda elde edilmiştir. Ca elementinin BCF değerleri Tablo 4.68’de verilmiştir.

Tablo 4.68 Ca elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,064	1,709	6,161	3,659	3,148
	Ps	0,794	0,084	0,594	0,331	0,451
	Rp	1,329	0,535	3,058	4,504	2,357
Orman	Pn	0,319	0,065	0,557	0,391	0,333
	Ps	1,532	0,409	1,726	1,530	1,299
	Rp	0,782	0,169	1,007	1,938	0,974
Ortalama		0,970	0,495	2,184	2,059	

Tablo’da görüldüğü üzere Ca elementinin BCF değerleri pasada 0,084 ile 6,161 arasında, ormanda ise 0,065 ile 1,938 arasında değişektedir. En yüksek BCF değerleri pasada Pn kabuklarında, ormanda ise Rp yapraklarında hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise en yüksek BCF değerleri tür olarak pasada Pn, ormanda Ps’de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Ca elementinin TF değerleri Tablo 4.69’da verilmiştir.

Tablo 4.69 Ca elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,606	5,790	3,439	3,612
	Ps	0,106	0,748	0,417	0,424
	Rp	0,403	2,301	3,389	2,031
Orman	Pn	0,204	1,746	1,226	1,059
	Ps	0,267	1,127	0,999	0,798
	Rp	0,216	1,288	2,478	1,327
Ortalama		0,467	2,167	1,991	

TF değerleri Ca için pasada en yüksek 5,790 ile Pn kabuklarında, ormanda ise 2,478 ile Rp yapraklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada Ps odunların da 0,106 ormanda ise 0,204 ile Pn odunlarında hesaplanmıştır. Ca elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak pasada Pn’de ormanda ise Rp’de ulaşırken organ olarak en yüksek ortalama değerler kabuklarda belirlenmiştir. K elementinin BCF değerleri Tablo 4.70’te verilmiştir.

Tablo 4.70 K elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,685	0,520	1,070	1,912	1,047
	Ps	0,544	0,180	0,571	0,630	0,481
	Rp	0,831	0,238	0,980	0,742	0,698
Orman	Pn	0,172	0,204	0,574	0,669	0,405
	Ps	0,416	1,276	3,731	4,629	2,513
	Rp	3,546	0,511	1,691	1,261	1,752
Ortalama		1,032	0,488	1,436	1,641	

K elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,180 ormanda ise 0,172 olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 1,912 ile Pn yapraklarında, ormanda da 4,629 ile Ps yapraklarında elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere pasada Pn, ormanda ise Ps türünde ulaşılırken organlarda en yüksek ortalama değerler 1,641 ile yapraklarda hesaplanmıştır. K elementinin TF değerleri Tablo 4.71’de verilmiştir.

Tablo 4.71 K elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,759	1,562	2,791	1,704
	Ps	0,331	1,050	1,158	0,846
	Rp	0,286	1,179	0,893	0,786
Orman	Pn	1,186	3,337	3,890	2,804
	Ps	3,067	8,969	11,127	7,721
	Rp	0,144	0,477	0,356	0,326
Ortalama		0,962	2,762	3,369	

Tablo değerleri incelendiğinde K elementinde TF değerlerinin pasada 0,286 ile 2,791 arasında değiştiği ve en yüksek değerlerin Pn yapraklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,144 ile 11,127 arasında değişmekte olup en yüksek değerler Ps yapraklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak ise en yüksek değerler pasada Pn, ormanda Ps türlerinde elde edilirken organlarda da yapraklarda elde edilmiştir. Fe elementinin BCF değerleri Tablo 4.72’de verilmiştir.

Tablo 4.72 Fe elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,009	0,002	0,077	0,060	0,037
	Ps	0,018	0,001	0,008	0,042	0,017
	Rp	0,028	0,001	0,009	0,001	0,010
Orman	Pn	0,121	0,002	0,103	0,043	0,067
	Ps	0,014	0,000	0,009	0,005	0,007
	Rp	0,088	0,001	0,025	0,018	0,033
Ortalama		0,046	0,001	0,039	0,028	

Fe elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasada 0,001 ile 0,077 arasında, ormanda ise 0 ile 0,121 arasında değişim gösterdiği görölmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde pasa sahasında 0,037 orman sahasında ise 0,067 değeri ile en yüksek değerler Pn türünde elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,039 ile kabukta elde edilmiştir. Fe elementinin TF değerleri Tablo 4.73'te verilmiştir.

Tablo 4.73 Fe elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,222	8,556	6,667	5,148
	Ps	0,056	0,444	2,333	0,944
	Rp	0,036	0,321	0,036	0,131
Orman	Pn	0,017	0,851	0,355	0,408
	Ps	0,000	0,643	0,357	0,333
	Rp	0,011	0,284	0,205	0,167
Ortalama		0,057	1,850	1,659	

Fe elementinde TF değerlerinin pasada 0,036 ile 8,556 arasında ormanda ise 0 ile 0,851 arasında değiştii görölmektedir. En yüksek değerler hem pasada hem de ormanda Pn kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak pasada da ormanda da Pn'de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Al elementinin BCF değerleri Tablo 4.74'te verilmiştir.

Tablo 4.74 Al elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,006	0,441	0,040	0,030	0,129
	Ps	0,018	0,001	0,005	0,002	0,007
	Rp	0,020	0,166	0,003	0,001	0,048
Orman	Pn	0,077	0,275	0,055	0,025	0,108
	Ps	0,018	0,002	0,017	0,022	0,015
	Rp	0,058	0,000	0,010	0,011	0,020
Ortalama		0,033	0,148	0,022	0,015	

Tablo’da görüldüğü üzere Al elementinin BCF değerleri pasada 0,001 ile 0,441 arasında, ormanda ise 0 ile 0,275 arasında değişmektedir. En yüksek BCF değerleri pasada da ormanda da Pn odunlarında hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise en yüksek BCF değerleri tür olarak Pn, organ olarak da odunlarda elde edilmiştir. Al elementinin TF değerleri Tablo 4.75’te verilmiştir.

Tablo 4.75 Al elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	73,500	6,667	5,000	28,389
	Ps	0,056	0,278	0,111	0,148
	Rp	8,300	0,150	0,050	2,833
Orman	Pn	3,571	0,714	0,325	1,537
	Ps	0,111	0,944	1,222	0,759
	Rp	0,000	0,172	0,190	0,121
Ortalama		14,256	1,488	1,150	

TF değerleri Al için pasada en yüksek 73,500 ile Pn odunlarında, ormanda ise 3,571 ile yine Pn odunlarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada 0,050 ile Rp yapraklarında, ormanda da 0 ile Rp odunlarında hesaplanmıştır. Al elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak Pn’de, organ olarak odunda ulaşılmıştır. Ortalama değerlerde en önemli etken Pasa Pn odunlarında hesaplanan 73,500 değeridir. Ancak bu değer göz ardı edildiğinde de yine ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak Pn, organ olarak ise odunlarda elde edilmektedir. P elementinin BCF değerleri Tablo 4.76’da verilmiştir.

Tablo 4.76 P elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,648	0,526	0,865	1,226	0,816
	Ps	0,551	0,321	0,723	0,766	0,590
	Rp	0,575	0,426	1,078	0,949	0,757
Orman	Pn	0,671	0,480	0,862	1,128	0,785
	Ps	0,483	0,625	1,349	2,085	1,136
	Rp	2,760	0,640	1,430	1,207	1,509
Ortalama		0,948	0,503	1,051	1,227	

P elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,321 ormanda ise 0,480 olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 1,226 ile Pn yapraklarında, ormanda da 2,760 ile Rp köklerinde elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere pasada Pn (0,816), ormanda ise Rp (1,509) türünde ulaşılırken organlarda en yüksek ortalama değerler 1,227 ile yapraklarda hesaplanmıştır. P elementinin TF değerleri Tablo 4.77’de verilmiştir.

Tablo 4.77 P elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,812	1,335	1,892	1,346
	Ps	0,583	1,312	1,390	1,095
	Rp	0,741	1,875	1,650	1,422
Orman	Pn	0,715	1,285	1,681	1,227
	Ps	1,294	2,793	4,317	2,801
	Rp	0,232	0,518	0,437	0,396
Ortalama		0,730	1,520	1,895	

Tablo değerleri incelendiğinde P elementinde TF değerlerinin pasada 0,583 ile 1,892 arasında değiştii ve en yüksek değerlerin Pn yapraklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,232 ile 4,317 arasında değişmekte olup en yüksek değerler Ps yapraklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak ise en yüksek değerler pasada Rp, ormanda Ps türlerinde elde edilirken organlarda da yapraklarda elde edilmiştir. S elementinin BCF değerleri Tablo 4.78’de verilmiştir.

Tablo 4.78 S elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,158	0,151	0,592	0,442	0,336
	Ps	0,585	0,199	0,535	0,558	0,469
	Rp	0,777	0,307	0,943	1,306	0,833
Orman	Pn	0,342	0,126	0,456	0,300	0,306
	Ps	0,440	0,389	0,963	1,205	0,749
	Rp	1,001	0,230	0,623	0,728	0,646
Ortalama		0,551	0,234	0,685	0,757	

S elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasada 0,151 ile 1,306 arasında, ormanda ise 0,126 ile 1,205 arasında değişim gösterdiği görölmektedir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler pasa sahasında 0,833 ile Rp’de orman sahasında ise 0,749 ile Ps’de elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,757 ile yaprakta elde edilmiştir. S elementinin TF değerleri Tablo 4.79’da verilmiştir.

Tablo 4.79 S elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,956	3,747	2,797	2,500
	Ps	0,340	0,915	0,954	0,736
	Rp	0,395	1,214	1,681	1,097
Orman	Pn	0,368	1,333	0,877	0,859
	Ps	0,884	2,189	2,739	1,937
	Rp	0,230	0,622	0,727	0,526
Ortalama		0,529	1,670	1,629	

S elementinde TF değerlerinin pasada 0,340 ile 3,747 arasında ormanda ise 0,230 ile 2,739 arasında değiştii görölmektedir. En yüksek değerler pasada Pn kabuklarında, ormanda ise Ps yapraklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak pasada Pn’de, ormanda da Ps’de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Ba elementinin BCF değerleri Tablo 4.80’de verilmiştir.

Tablo 4.80 Ba elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,038	0,021	0,142	0,076	0,069
	Ps	0,029	0,004	0,028	0,010	0,018
	Rp	0,064	0,008	0,059	0,074	0,051
Orman	Pn	0,138	0,011	0,136	0,071	0,089
	Ps	0,317	0,037	0,170	0,085	0,152
	Rp	0,123	0,022	0,075	0,104	0,081
Ortalama		0,118	0,017	0,102	0,070	

Tablo’da görüldüğü üzere Ba elementinin BCF değerleri pasada 0,004 ile 0,142 arasında, ormanda ise 0,011 ile 0,317 arasında değişmektedir. En yüksek BCF değerleri pasada Pn kabuklarında, ormanda ise Ps köklerinde hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek BCF değerleri tür olarak pasada Pn, ormanda Ps’de elde edilirken organ olarak köklerde elde edilmiştir. Ba elementinin TF değerleri Tablo 4.81’de verilmiştir.

Tablo 4.81 Ba elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,553	3,737	2,000	2,097
	Ps	0,138	0,966	0,345	0,483
	Rp	0,125	0,922	1,156	0,734
Orman	Pn	0,080	0,986	0,514	0,527
	Ps	0,117	0,536	0,268	0,307
	Rp	0,179	0,610	0,846	0,545
Ortalama		0,199	1,293	0,855	

TF değerleri Ba için pasada en yüksek 3,737 ile ormanda ise 0,986 ile Pn kabuklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada 0,125 ormanda ise 0,080 olarak hesaplanmıştır. Ba elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak pasada Pn’de ormanda ise Rp’de ulaşırken organ olarak en yüksek ortalama değerler kabuklarda belirlenmiştir. Bi elementinin BCF değerleri Tablo 4.82’de verilmiştir.

Tablo 4.82 Bi elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,059	0,074	0,124	0,094	0,088
	Ps	0,125	0,109	0,141	0,125	0,125
	Rp	0,112	0,105	0,147	0,154	0,130
Orman	Pn	0,142	0,099	0,177	0,135	0,138
	Ps	0,092	0,087	0,110	0,092	0,095
	Rp	0,164	0,119	0,164	0,164	0,153
Ortalama		0,116	0,099	0,144	0,127	

Bi elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,059 ormanda ise 0,087 olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 0,154 ile Rp yapraklarında, ormanda da 0,177 ile Pn kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere pasada da ormanda da Rp türünde ulaşılırken organlarda en yüksek ortalama değerler 0,127 ile yapraklarda hesaplanmıştır. Bi elementinin TF değerleri Tablo 4.83'te verilmiştir.

Tablo 4.83 Bi elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,254	2,102	1,593	1,650
	Ps	0,872	1,128	1,000	1,000
	Rp	0,938	1,313	1,375	1,209
Orman	Pn	0,697	1,246	0,951	0,965
	Ps	0,946	1,196	1,000	1,047
	Rp	0,726	1,000	1,000	0,909
Ortalama		0,906	1,331	1,153	

Tablo değerleri incelendiğinde Bi elementinde TF değerlerinin pasada 0,872 ile 2,102 arasında değiştiği ve en yüksek değerlerin Pn kabuklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,697 ile 1,246 arasında değişmekte olup en yüksek değerler yine Pn kabuklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak en yüksek değerler pasada da ormanda da Pn türünde elde edilirken organlarda da kabuklarda elde edilmiştir. B elementinin BCF değerleri Tablo 4.84'te verilmiştir.

Tablo 4.84 B elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,000	0,000	0,024	0,044	0,017
	Ps	0,013	0,000	0,000	0,046	0,015
	Rp	0,000	0,000	0,059	0,259	0,080
Orman	Pn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ps	0,000	0,000	0,031	0,032	0,016
	Rp	0,045	0,000	0,068	0,102	0,054
Ortalama		0,010	0,000	0,030	0,081	

B elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin birçok numunede hesaplanamadığı görölmektedir. En yüksek BCF değeri 0,259 ile Rp yapraklarında elde edilirken pasa Ps ve orman Rp dışında köklerde hesaplama yapılamamıştır. Ortalama değerler incelendiğinde pasa sahasında 0,080 orman sahasında ise 0,054 değeri ile en yüksek değerler Rp türünde elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,081 ile yaprakta elde edilmiştir. B elementinin TF değerleri Tablo 4.85'te verilmiştir.

Tablo 4.85 B elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	-	-	-	-
	Ps	-	-	3,538	1,179
	Rp	-	-	-	-
Orman	Pn	-	-	-	-
	Ps	-	-	-	-
	Rp	-	1,511	2,267	1,259
Ortalama		-	-	-	

Tabloda göröleceği üzere B elementinde TF değerleri sadece Ps yaprakları ile Rp kabuk ve yapraklarında hesaplanmıştır. Bu durumun sebebi hesaplamalarda kullanılan BCF değerlerinin diğer türlerin köklerinde hesaplanamamış olmasıdır. Pasa sahaslarında Ps yapraklarında hesaplanan TF değeri 3,538 iken Orman sahasında Rp yapraklarında hesaplanan TF değeri 2,267'dir. Co elementinin BCF değerleri Tablo 4.86'da verilmiştir.

Tablo 4.86 Co elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,023	0,009	0,155	0,064	0,063
	Ps	0,034	0,004	0,047	0,023	0,027
	Rp	0,034	0,006	0,064	0,021	0,031
Orman	Pn	0,205	0,009	0,262	0,076	0,138
	Ps	0,047	0,010	0,090	0,053	0,050
	Rp	0,118	0,007	0,104	0,051	0,070
Ortalama		0,077	0,008	0,120	0,048	

Tablo’da görüldüğü üzere Co elementinin BCF değerleri pasada 0,004 ile 0,155 arasında, ormanda ise 0,007 ile 0,262 arasında değişmektedir. En yüksek BCF değerleri pasada da ormanda da Pn kabuklarında hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise en yüksek BCF değerleri tür olarak Pn organ olarak da kabuklarda elde edilmiştir. Co elementinin TF değerleri Tablo 4.87’de verilmiştir.

Tablo 4.87 Co elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,391	6,739	2,783	3,304
	Ps	0,118	1,382	0,676	0,725
	Rp	0,176	1,882	0,618	0,892
Orman	Pn	0,044	1,278	0,371	0,564
	Ps	0,213	1,915	1,128	1,085
	Rp	0,059	0,881	0,432	0,457
Ortalama		0,167	2,346	1,001	

TF değerleri Co için pasada en yüksek 6,739 ile Pn kabuklarında, ormanda ise 1,915 ile Ps kabuklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada 0,118 ile Ps odunlarında, ormanda ise 0,044 ile Pn odunlarında hesaplanmıştır. Co elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak pasada Pn’de ormanda ise Ps’de ulaşırken organ olarak en yüksek ortalama değerler kabuklarda belirlenmiştir. Cu elementinin BCF değerleri Tablo 4.88’de verilmiştir.

Tablo 4.88 Cu elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	-	-	-	-	--
	Ps	0,212	0,007	0,147	0,054	0,105
	Rp	-	-	-	-	-
Orman	Pn	0,369	0,004	0,475	0,131	0,245
	Ps	0,054	0,005	0,097	0,055	0,053
	Rp	0,173	0,004	0,185	0,103	0,116
Ortalama		0,202	0,005	0,226	0,086	

Cu elementinde Pn ve Rp’de BCF değerleri hesaplanamamıştır. Ps’de hesaplanan BCF değerleri de 0,007 ile 0,212 arasında değişmektedir. Ormanda ise bütün numunelerde BCF değeri hesaplanmış ve 0,004 ile 0,475 arasında değiştii belirlenmiştir. Ormanda en yüksek ortalama değerler Pn’de elde edilmiştir. Organlarda ise ortalama değerlere göre en yüksek değerler 0,226 ile kabuklarda hesaplanmıştır. Cu elementinin TF değerleri Tablo 4.89’da verilmiştir.

Tablo 4.89 Cu elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	-	-	-	-
	Ps	0,033	0,693	0,255	0,327
	Rp	-	-	-	-
Orman	Pn	0,011	1,287	0,355	0,551
	Ps	0,093	1,796	1,019	0,969
	Rp	0,023	1,069	0,595	0,562
Ortalama		0,040	1,211	0,556	

Tablo değerleri incelendiğinde Cu elementinde TF değerlerinin pasada sadece Ps’de hesaplanabildiği görölmektedir. Pasada Ps de hesaplanan TF değerleri odunda 0,033 ile en düşük seviyede iken kabuklarda 0,693 ile en yüksek seviyededir. Ormanda ise TF değerleri 0,011 ile 1,796 arasında değişmekte olup en yüksek değerler Ps kabuklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak da en yüksek değerler ormanda Ps türünde elde edilirken organlarda da kabuklarda elde edilmiştir. Ga elementinin BCF değerleri Tablo 4.90’da verilmiştir.

Tablo 4.90 Ga elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,232	0,255	0,282	0,271	0,260
	Ps	0,297	0,281	0,287	0,286	0,288
	Rp	0,277	0,266	0,276	0,290	0,277
Orman	Pn	0,192	0,165	0,205	0,175	0,184
	Ps	0,243	0,233	0,231	0,223	0,233
	Rp	0,211	0,168	0,170	0,169	0,180
Ortalama		0,242	0,228	0,242	0,236	

Ga elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasada 0,232 ile 0,297 arasında, ormanda ise 0,165 ile 0,243 arasında değişim gösterdiği görölmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde hem pasa sahasında hem de orman sahasında elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu ve değerlerin dar bir aralıkta değişim gösterdiği görölmektedir. Ga elementinin TF değerleri Tablo 4.91’de verilmiştir.

Tablo 4.91 Ga elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,099	1,216	1,168	1,161
	Ps	0,946	0,966	0,963	0,958
	Rp	0,960	0,996	1,047	1,001
Orman	Pn	0,859	1,068	0,911	0,946
	Ps	0,959	0,951	0,918	0,943
	Rp	0,796	0,806	0,801	0,801
Ortalama		0,937	1,001	0,968	

Ga elementinde TF değerlerinin pasada 0,946 ile 1,216 arasında ormanda ise 0,796 ile 1,068 arasında değiştii yani değişimin oldukça sınırlı bir aralıkta geręekleştii görölmektedir. En yüksek değerler hem pasada hem de ormanda Pn kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak Pn’de organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. In elementinin BCF değerleri Tablo 4.92’de verilmiştir.

Tablo 4.92 In elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,103	0,129	0,176	0,152	0,140
	Ps	0,161	0,144	0,168	0,158	0,158
	Rp	0,145	0,133	0,167	0,179	0,156
Orman	Pn	0,178	0,156	0,223	0,186	0,186
	Ps	0,139	0,127	0,148	0,133	0,137
	Rp	0,226	0,179	0,218	0,230	0,213
Ortalama		0,159	0,145	0,183	0,173	

Tablo’da görüldüğü üzere In elementinin BCF değerleri pasada 0,103 ile 0,179 arasında, ormanda ise 0,127 ile 0,230 arasında değişmektedir. En yüksek BCF değerleri pasada da ormandada Rp yapraklarında hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise en yüksek BCF değerleri tür olarak pasada Ps, ormanda Rp’de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. In değerlerinin birbirine çok yakın olması ve dar bir aralıkta değişim göstermesi dikkat çekicidir. In elementinin TF değerleri Tablo 4.93’te verilmiştir.

Tablo 4.93 In elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,252	1,709	1,476	1,479
	Ps	0,894	1,043	0,981	0,973
	Rp	0,917	1,152	1,234	1,101
Orman	Pn	0,876	1,253	1,045	1,058
	Ps	0,914	1,065	0,957	0,979
	Rp	0,792	0,965	1,018	0,925
Ortalama		0,941	1,198	1,119	

TF değerleri In için pasada en yüksek 1,709 ile Pn kabuklarında, ormanda ise 1,253 ile yine Pn kabuklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada 0,894 ormanda ise 0,792 olarak hesaplanmıştır. In elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak Pn’de organ olarak kabuklarda ulaşmıştır. Pb elementinin BCF değerleri Tablo 4.94’te verilmiştir.

Tablo 4.94 Pb elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,233	0,133	0,158	0,189	0,178
	Ps	0,167	0,080	0,108	0,100	0,114
	Rp	0,207	0,100	0,133	0,124	0,141
Orman	Pn	0,381	0,145	0,213	0,216	0,239
	Ps	0,244	0,119	0,152	0,183	0,175
	Rp	0,284	0,126	0,170	0,196	0,194
Ortalama		0,253	0,117	0,156	0,168	

Pb elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,080 ormanda ise 0,119 olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 0,233 ile ormanda da 0,381 ile Pn köklerinde elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere Pn türünde ve yapraklarda ulaşılmıştır. Pb elementinin TF değerleri Tablo 4.95'te verilmiştir.

Tablo 4.95 Pb elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,571	0,678	0,811	0,687
	Ps	0,479	0,647	0,599	0,575
	Rp	0,483	0,643	0,599	0,575
Orman	Pn	0,381	0,559	0,567	0,502
	Ps	0,488	0,623	0,750	0,620
	Rp	0,444	0,599	0,690	0,578
Ortalama		0,474	0,625	0,669	

Tablo değerleri incelendiğinde Pb elementinde TF değerlerinin pasada 0,479 ile 0,811 arasında değiştiği ve en yüksek değerlerin Pn yapraklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,381 ile 0,750 arasında değişmekte olup en yüksek değerler Ps yapraklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak da en yüksek değerler pasada Pn, ormanda Ps türlerinde elde edilirken organlarda da yapraklarda elde edilmiştir. Ancak hesaplanan en yüksek değer 0,750 olup, diğer elementlerle karşılaştırıldığında bu rakamın çok düşük kaldığı görölmekte, bütün değerlerin 1'den küçük olması ayrıca dikkat çekmektedir. Li elementinin BCF değerleri Tablo 4.96'da verilmiştir.

Tablo 4.96 Li elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,076	0,086	0,118	0,112	0,098
	Ps	0,052	0,045	0,050	0,050	0,049
	Rp	0,071	0,057	0,059	0,059	0,062
Orman	Pn	0,116	0,066	0,111	0,086	0,095
	Ps	0,109	0,101	0,109	0,105	0,106
	Rp	0,109	0,065	0,072	0,069	0,079
Ortalama		0,089	0,070	0,087	0,080	

Li elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasada 0,045 ile 0,118 arasında, ormanda ise 0,065 ile 0,116 arasında değişim gösterdiği görölmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde en yüksek değerler pasa sahasında 0,098 ile Pn’de, orman sahasında ise 0,106 değeri ile Ps’de elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,089 ile köklerde elde edilmiştir. Li elementinin TF değerleri Tablo 4.97’de verilmiştir.

Tablo 4.97 Li elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,132	1,553	1,474	1,386
	Ps	0,865	0,962	0,962	0,930
	Rp	0,803	0,831	0,831	0,822
Orman	Pn	0,569	0,957	0,741	0,756
	Ps	0,927	1,000	0,963	0,963
	Rp	0,596	0,661	0,633	0,630
Ortalama		0,815	0,994	0,934	

Li elementinde TF değerlerinin pasada 0,803 ile 1,553 arasında ormanda ise 0,569 ile 1,000 arasında değiştii görölmektedir. En yüksek değerler pasada Pn kabuklarında ormanda ise Ps kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak pasada Pn’de, ormanda da Ps’de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Mn elementinin BCF değerleri Tablo 4.98’de verilmiştir.

Tablo 4.98 Mn elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,051	0,160	0,183	0,504	0,225
	Ps	0,056	0,038	0,081	0,181	0,089
	Rp	0,046	0,015	0,054	0,477	0,148
Orman	Pn	0,126	0,032	0,115	0,195	0,117
	Ps	0,055	0,074	0,154	0,400	0,171
	Rp	0,084	0,003	0,022	0,070	0,045
Ortalama		0,070	0,054	0,102	0,305	

Tablo’da görüldüğü üzere Mn elementinin BCF değerleri pasada 0,015 ile 0,504 arasında, ormanda ise 0,003 ile 0,400 arasında değişektedir. En yüksek BCF değerleri pasada Pn yapraklarında, ormanda ise Ps yapraklarında hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek BCF değerleri tür olarak pasada Pn, ormanda Ps’de elde edilirken organ olarak yapraklarda elde edilmiştir. Mn elementinin TF değerleri Tablo 4.99’da verilmiştir.

Tablo 4.99 Mn elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	3,137	3,588	9,882	5,536
	Ps	0,679	1,446	3,232	1,786
	Rp	0,326	1,174	10,370	3,957
Orman	Pn	0,254	0,913	1,548	0,905
	Ps	1,345	2,800	7,273	3,806
	Rp	0,036	0,262	0,833	0,377
Ortalama		0,963	1,697	5,523	

TF değerleri Mn için pasada en yüksek 10,370 ile Rp yapraklarında, ormanda ise 7,273 ile Ps yapraklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada Rp odunlarında 0,326 ormanda ise 0,036 ile Rp odunlarında hesaplanmıştır. Mn elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak pasada Pn’de ormanda ise Ps’de ulaşırken organ olarak en yüksek ortalama değerler yapraklarda belirlenmiştir. Ag elementinin BCF değerleri Tablo 4.100’de verilmiştir.

Tablo 4.100 Ag elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,317	0,356	0,365	0,365	0,351
	Ps	0,363	0,353	0,363	0,363	0,361
	Rp	0,343	0,343	0,343	0,362	0,348
Orman	Pn	0,320	0,369	0,379	0,359	0,357
	Ps	0,342	0,333	0,324	0,315	0,329
	Rp	0,379	0,369	0,350	0,340	0,360
Ortalama		0,344	0,354	0,354	0,351	

Ag elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,317 ile Pn köklerinde ormanda ise 0,315 ile Ps yapraklarında olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 0,365 ile Pn kabuk ve yapraklarında, ormanda da 0,379 ile Pn kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere pasada Ps, ormanda ise Rp türünde ulaşılırken organlarda en yüksek ortalama değerler 0,354 ile odun ve kabuklarda hesaplanmıştır. Ag elementinin TF değerleri Tablo 4.101’de verilmiştir.

Tablo 4.101 Ag elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,123	1,151	1,151	1,142
	Ps	0,972	1,000	1,000	0,991
	Rp	1,000	1,000	1,055	1,018
Orman	Pn	1,153	1,184	1,122	1,153
	Ps	0,974	0,947	0,921	0,947
	Rp	0,974	0,923	0,897	0,931
Ortalama		1,033	1,034	1,024	

Tablo değerleri incelendiğinde Ag elementinde TF değerlerinin pasada 0,972 ile 1,151 arasında değiştii ve en yüksek değerlerin Pn yaprak ve kabuklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,897 ile 1,184 arasında değişmekte olup en yüksek değerler Pn kabuklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak tür bazında en yüksek değerler pasa ve orman sahasında Pn, organlarda da kabuklarda elde edilmiştir. Na elementinin BCF değerleri Tablo 4.102’de verilmiştir.

Tablo 4.102 Na elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,239	0,197	0,283	0,227	0,237
	Ps	0,099	0,094	0,126	0,097	0,104
	Rp	0,198	0,173	0,284	0,295	0,238
Orman	Pn	0,161	0,117	0,190	0,107	0,144
	Ps	0,149	0,154	0,148	0,183	0,159
	Rp	0,194	0,110	0,166	0,160	0,158
Ortalama		0,173	0,141	0,200	0,178	

Na elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasada 0,094 ile 0,295 arasında, ormanda ise 0,107 ile 0,194 arasında değişim gösterdiği görölmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde pasa sahasında en yüksek değer 0,295 ile Rp’de, orman sahasında ise 0,194 ile Rp’de elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,200 ile kabukta elde edilmiştir. Değerlerin yine dar bir aralıkta değişim gösterdiği görölmektedir. Na elementinin TF değerleri Tablo 4.103’te verilmiştir.

Tablo 4.103 Na elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,824	1,184	0,950	0,986
	Ps	0,949	1,273	0,980	1,067
	Rp	0,874	1,434	1,490	1,266
Orman	Pn	0,727	1,180	0,665	0,857
	Ps	1,034	0,993	1,228	1,085
	Rp	0,567	0,856	0,825	0,749
Ortalama		0,829	1,153	1,023	

Na elementinde TF değerlerinin pasada 0,824 ile 1,490 arasında ormanda ise 0,567 ile 1,228 arasında değiştii görölmektedir. En yüksek değerler pasada Rp yapraklarında, ormanda ise Ps yapraklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak pasada Rp’de, ormanda ise Ps’de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Sr elementinin BCF değerleri Tablo 4.104’te verilmiştir.

Tablo 4.104 Sr elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,146	0,204	0,467	0,241	0,265
	Ps	0,488	0,086	0,295	0,119	0,247
	Rp	0,956	0,518	2,430	2,224	1,532
Orman	Pn	0,257	0,061	0,257	0,114	0,172
	Ps	0,948	0,224	0,615	0,305	0,523
	Rp	0,527	0,160	0,730	0,905	0,581
Ortalama		0,554	0,209	0,799	0,651	

Tablo’da görüldüğü üzere Sr elementinin BCF değerleri pasada 0,086 ile 2,430 arasında, ormanda ise 0,061 ile 0,948 arasında değişmektedir. En yüksek BCF değerleri pasada Rp kabuklarında, ormanda ise Ps köklerinde hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise en yüksek BCF değerleri tür pasa ve orman sahasında Rp’de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Sr elementinin TF değerleri Tablo 4.105’te verilmiştir.

Tablo 4.105 Sr elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,397	3,199	1,651	2,082
	Ps	0,176	0,605	0,244	0,342
	Rp	0,542	2,542	2,326	1,803
Orman	Pn	0,237	1,000	0,444	0,560
	Ps	0,236	0,649	0,322	0,402
	Rp	0,304	1,385	1,717	1,135
Ortalama		0,482	1,563	1,117	

TF değerleri Sr için pasada en yüksek 3,199 ile Pn kabuklarında, ormanda ise 1,717 ile Rp yapraklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada 0,176 ile Ps odunlarında ormanda ise 0,236 ile Ps odunlarında hesaplanmıştır. Sr elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak pasada Pn’de ormanda ise Rp’de ulaşırken organ olarak en yüksek ortalama değerler kabuklarda belirlenmiştir. Tl elementinin BCF değerleri Tablo 4.106’da verilmiştir.

Tablo 4.106 Tl elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,077	0,087	0,137	0,124	0,106
	Ps	0,100	0,081	0,116	0,116	0,103
	Rp	0,105	0,087	0,123	0,119	0,109
Orman	Pn	0,137	0,070	0,143	0,102	0,113
	Ps	0,119	0,110	0,151	0,142	0,131
	Rp	0,134	0,078	0,106	0,106	0,106
Ortalama		0,112	0,086	0,129	0,118	

Tl elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,077 ormanda ise 0,070 olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 0,137 ile Pn kabuklarında, ormanda da 0,151 ile Ps kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere pasada Rp, ormanda ise Ps türünde ulaşılırken organlarda en yüksek ortalama değerler 0,129 ile kabuklarda hesaplanmıştır. Tl’de hesaplanan BFC değerlerinin diğer elementlerdekinden çok daha düşük seviyelerde olduğu görölmektedir. Tl elementinin TF değerleri Tablo 4.107’de verilmiştir.

Tablo 4.107 Tl elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,130	1,779	1,610	1,506
	Ps	0,810	1,160	1,160	1,043
	Rp	0,829	1,171	1,133	1,044
Orman	Pn	0,511	1,044	0,745	0,767
	Ps	0,924	1,269	1,193	1,129
	Rp	0,582	0,791	0,791	0,721
Ortalama		0,798	1,202	1,105	

Tablo değerleri incelendiğinde Tl elementinde TF değerlerinin pasada 0,810 ile 1,779 arasında değiştiği ve en yüksek değerlerin Pn kabuklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,511 ile 1,269 arasında değişmekte olup en yüksek değerler Ps kabuklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak ise en yüksek değerler pasada Pn, ormanda Ps türlerinde elde edilirken organlarda da kabuklarda elde edilmiştir. V elementinin BCF değerleri Tablo 4.108’de verilmiştir.

Tablo 4.108 V elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,030	0,026	0,061	0,052	0,042
	Ps	0,055	0,033	0,038	0,035	0,040
	Rp	0,044	0,028	0,033	0,034	0,035
Orman	Pn	0,105	0,027	0,082	0,050	0,066
	Ps	0,042	0,033	0,040	0,037	0,038
	Rp	0,044	0,028	0,041	0,039	0,038
Ortalama		0,053	0,029	0,049	0,041	

V elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasada 0,026 ile 0,061 arasında, ormanda ise 0,027 ile 0,105 arasında değişim gösterdiği görölmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde pasa sahasında 0,042 orman sahasında ise 0,066 değeri ile en yüksek değerler pasa ve orman sahasında Pn türünde elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,053 ile köklerde elde edilmiştir. V elementinin TF değerleri Tablo 4.109’da verilmiştir.

Tablo 4.109 V elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,867	2,033	1,733	1,544
	Ps	0,600	0,691	0,636	0,642
	Rp	0,636	0,750	0,773	0,720
Orman	Pn	0,257	0,781	0,476	0,505
	Ps	0,786	0,952	0,881	0,873
	Rp	0,636	0,932	0,886	0,818
Ortalama		0,630	1,023	0,898	

V elementinde TF değerlerinin pasada 0,600 ile 2,033 arasında ormanda ise 0,257 ile 0,952 arasında değiştii görölmektedir. En yüksek değerler pasada Pn kabuklarında, ormanda Ps kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak pasada Pn’de, ormanda da Ps’de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Zn elementinin BCF değerleri Tablo 4.110’da verilmiştir.

Tablo 4.110 Zn elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,119	0,114	0,295	0,229	0,189
	Ps	0,178	0,075	0,225	0,176	0,164
	Rp	0,118	0,069	0,271	0,241	0,175
Orman	Pn	0,419	0,234	0,735	0,594	0,496
	Ps	0,088	0,098	0,267	0,247	0,175
	Rp	0,337	0,103	0,211	0,258	0,227
Ortalama		0,210	0,116	0,334	0,291	

Tabloda görüldüğü üzere Zn elementinin BCF değerleri pasada 0,069 ile 0,295 arasında, ormanda ise 0,088 ile 0,735 arasında değişmektedir. En yüksek BCF değerleri pasada da ormanda da Pn kabuklarında hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise en yüksek BCF değerleri tür olarak Pn, organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Zn elementinin TF değerleri Tablo 4.111’de verilmiştir.

Tablo 4.111 Zn elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,958	2,479	1,924	1,787
	Ps	0,421	1,264	0,989	0,891
	Rp	0,585	2,297	2,042	1,641
Orman	Pn	0,558	1,754	1,418	1,243
	Ps	1,114	3,034	2,807	2,318
	Rp	0,306	0,626	0,766	0,566
Ortalama		0,657	1,909	1,658	

TF değerleri Zn için pasada en yüksek 2,479 ile Pn kabuklarında, ormanda ise 3,034 ile Ps kabuklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada 0,421 ile Ps odunlarında ormanda ise 0,306 ile Rp odunlarında hesaplanmıştır. Zn elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak pasada Pn’de ormanda ise Ps’de ulaşırken organ olarak en yüksek ortalama değerler kabuklarda belirlenmiştir. Au elementinin BCF değerleri Tablo 4.112’de verilmiştir.

Tablo 4.112 Au elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,084	0,142	0,184	0,331	0,185
	Ps	0,088	0,065	0,109	0,192	0,114
	Rp	0,093	0,061	0,098	0,373	0,156
Orman	Pn	0,158	0,078	0,166	0,205	0,152
	Ps	0,102	0,105	0,166	0,313	0,172
	Rp	0,152	0,065	0,095	0,131	0,111
Ortalama		0,113	0,086	0,136	0,258	

Au elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,061 ormanda ise 0,065 olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 0,373 ile Rp yapraklarında, ormanda da 0,313 ile Ps yapraklarında elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere pasada Pn, ormanda ise Ps türünde ulaşılırken organlarda en yüksek ortalama değerler 0,258 ile yapraklarda hesaplanmıştır. Au elementinin TF değerleri Tablo 4.113'te verilmiştir.

Tablo 4.113 Au elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,690	2,190	3,940	2,607
	Ps	0,739	1,239	2,182	1,387
	Rp	0,656	1,054	4,011	1,907
Orman	Pn	0,494	1,051	1,297	0,947
	Ps	1,029	1,627	3,069	1,908
	Rp	0,428	0,625	0,862	0,638
Ortalama		0,839	1,298	2,560	

Tablo değerleri incelendiğinde Au elementinde TF değerlerinin pasada 0,656 ile 4,011 arasında değiştii ve en yüksek değerlerin Rp yapraklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,428 ile 3,069 arasında değişmekte olup en yüksek değerler Ps yapraklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak ise en yüksek değerler pasada Pn, ormanda Ps türlerinde elde edilirken organlarda da yapraklarda elde edilmiştir. Ge elementinin BCF değerleri Tablo 4.114'te verilmiştir.

Tablo 4.114 Ge elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0	0	0,119	0,098	0,054
	Ps	0,139	0,029	0,094	0,156	0,105
	Rp	0,104	0,030	0,216	0,184	0,134
Orman	Pn	0	0	0,183	0,111	0,074
	Ps	0	0	0,149	0,157	0,077
	Rp	0	0	0,208	0,219	0,107
Ortalama		0,122	0,030	0,162	0,154	

Ge elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin köklerde ve odunlarda sadece pasada Ps ve Rp’de hesaplandığı, diğer türlerde kök ve odunlarda 0 çıktığı görölmektedir. Sadece 0 dışındaki değerler hesaplamaya dâhil edildiğinde BCF değerinin pasada 0,029 ile 0,216 arasında, ormanda ise 0,111 ile 0,219 arasında değişim gösterdiği görölmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde pasa sahasında 0,134 orman sahasında ise 0,107 değeri ile en yüksek değerler Rp türünde elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,162 ile kabukta elde edilmiştir. Ge elementinin TF değerleri Tablo 4.115’te verilmiştir.

Tablo 4.115 Ge elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	-	-	-	-
	Ps	0,209	0,676	1,122	0,669
	Rp	0,288	2,077	1,769	1,378
Orman	Pn	-	-	-	-
	Ps	-	-	-	-
	Rp	-	-	-	-
Ortalama		0,249	1,377	1,446	

Ge elementinde TF değerleri sadece pasada Ps ve Rp için hesaplanabilmiştir. En yüksek değerler pasada Rp kabukları (2,077) ve yapraklarında (1,769) elde edilirken Ps’de sadece yapraklarda elde edilen TF değeri (1,122) 1’in üzerindedir. Ortalama değerlere göre de yapraklarda elde edilen değer diğer organlarınkinden yüksektir. Mo elementinin BCF değerleri Tablo 4.116’da verilmiştir.

Tablo 4.116 Mo elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,053	0,053	0,094	0,078	0,070
	Ps	0,097	0,071	0,087	0,077	0,083
	Rp	0,157	0,109	0,122	0,072	0,115
Orman	Pn	0,156	0,072	0,131	0,094	0,113
	Ps	0,072	0,061	0,074	0,072	0,070
	Rp	1,502	0,144	0,144	0,107	0,474
Ortalama		0,340	0,085	0,109	0,083	

Tablo’da görüldüğü üzere Mo elementinin BCF değerleri pasada 0,053 ile 0,157 arasında, ormanda ise 0,061 ile 1,502 arasında değişmektedir. En yüksek BCF değerleri Rp köklerinde hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise en yüksek BCF değerleri hem Pasa hem Ormanda tür olarak Rp’de, organ olarak köklerde elde edilmiştir. Mo elementinin TF değerleri Tablo 4.117’de verilmiştir.

Tablo 4.117 Mo elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,000	1,774	1,472	1,415
	Ps	0,732	0,897	0,794	0,808
	Rp	0,694	0,777	0,459	0,643
Orman	Pn	0,462	0,840	0,603	0,635
	Ps	0,847	1,028	1,000	0,958
	Rp	0,096	0,096	0,071	0,088
Ortalama		0,639	0,902	0,733	

TF değerleri Mo için pasada en yüksek 1,774 ile Pn kabuklarında, ormanda ise 1,028 ile Ps kabuklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada 0,459 ormanda ise 0,071 olarak hesaplanmıştır. Mo elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak pasada Pn’de ormanda ise Ps’de ulaşırken organ olarak en yüksek ortalama değerler kabuklarda belirlenmiştir. Nb elementinin BCF değerleri Tablo 4.118’de verilmiştir.

Tablo 4.118 Nb elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,099	0,105	0,134	0,128	0,117
	Ps	0,147	0,130	0,135	0,131	0,136
	Rp	0,130	0,118	0,124	0,135	0,127
Orman	Pn	0,154	0,111	0,156	0,126	0,137
	Ps	0,149	0,141	0,143	0,138	0,143
	Rp	0,163	0,120	0,123	0,125	0,133
Ortalama		0,140	0,121	0,136	0,131	

Nb elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,099 ormanda ise 0,111 olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 0,147 ile Ps köklerinde, ormanda da 0,163 ile Rp köklerinde elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere Ps türü ile kök organında hesaplanmıştır. Nb elementinin TF değerleri Tablo 4.119’da verilmiştir.

Tablo 4.119 Nb elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,061	1,354	1,293	1,236
	Ps	0,884	0,918	0,891	0,898
	Rp	0,908	0,954	1,038	0,967
Orman	Pn	0,721	1,013	0,818	0,851
	Ps	0,946	0,960	0,926	0,944
	Rp	0,736	0,755	0,767	0,753
Ortalama		0,876	0,992	0,956	

Tablo değerleri incelendiğinde Nb elementinde TF değerlerinin pasada 0,884 ile 1,354 arasında değiştiği ve en yüksek değerlerin Pn kabuklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,721 ile 1,013 arasında değişmekte olup en yüksek değerler yine Pn kabuklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak en yüksek değerler pasada Pn, ormanda Ps türlerinde elde edilirken organlarda da yapraklarda elde edilmiştir. Pd elementinin BCF değerleri Tablo 4.120’de verilmiştir.

Tablo 4.120 Pd elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,303	0,335	0,346	0,343	0,332
	Ps	0,340	0,334	0,334	0,332	0,335
	Rp	0,347	0,350	0,349	0,363	0,352
Orman	Pn	0,312	0,355	0,367	0,342	0,344
	Ps	0,311	0,309	0,300	0,288	0,302
	Rp	0,371	0,356	0,346	0,331	0,351
Ortalama		0,331	0,340	0,340	0,333	

Pd elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasada 0,303 ile 0,363 arasında, ormanda ise 0,288 ile 0,371 arasında değişim gösterdiği görölmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde pasa sahasında 0,352 orman sahasında ise 0,351 değeri ile en yüksek değerler Rp türünde elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,340 odun ve kabuklarda elde edilmiştir. Pd elementinin TF değerleri Tablo 4.121’de verilmiştir.

Tablo 4.121 Pd elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,106	1,142	1,132	1,127
	Ps	0,982	0,982	0,976	0,980
	Rp	1,009	1,006	1,046	1,020
Orman	Pn	1,138	1,176	1,096	1,137
	Ps	0,994	0,965	0,926	0,962
	Rp	0,960	0,933	0,892	0,928
Ortalama		1,032	1,034	1,011	

Pd elementinde TF değerlerinin pasada 0,976 ile 1,142 arasında ormanda ise 0,892 ile 1,176 arasında değiştii görölmektedir. En yüksek değerler hem pasada hem de ormanda Pn kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak Pn’de, organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Ancak Pd’de TF değerlerinin bütün tür ve organlarda birbirine çok yakın olduğu görölmektedir. Sn elementinin BCF değerleri Tablo 4.122’de verilmiştir.

Tablo 4.122 Sn elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,055	0,072	0,111	0,106	0,086
	Ps	0,098	0,077	0,116	0,125	0,104
	Rp	0,086	0,059	0,141	0,094	0,095
Orman	Pn	0,125	0,054	0,130	0,091	0,100
	Ps	0,069	0,062	0,120	0,104	0,089
	Rp	0,135	0,066	0,131	0,121	0,113
Ortalama		0,095	0,065	0,125	0,107	

Tablo’da görüldüğü üzere Sn elementinin BCF değerleri pasada 0,055 ile 0,141 arasında, ormanda ise 0,054 ile 0,135 arasında değişmektedir. En yüksek BCF değerleri pasada Rp kabuklarında, ormanda ise Rp köklerinde hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise en yüksek BCF değerleri tür olarak pasada Ps, ormanda Rp’de elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir. Sn elementinin TF değerleri Tablo 4.123’te verilmiştir.

Tablo 4.123 Sn elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,309	2,018	1,927	1,751
	Ps	0,786	1,184	1,276	1,082
	Rp	0,686	1,640	1,093	1,140
Orman	Pn	0,432	1,040	0,728	0,733
	Ps	0,899	1,739	1,507	1,382
	Rp	0,489	0,970	0,896	0,785
Ortalama		0,767	1,432	1,238	

TF değerleri Sn için pasada en yüksek 2,018 ile Pn kabuklarında, ormanda ise 1,739 ile Ps kabuklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise pasada 0,686 ile Rp odunlarında ormanda ise 0,432 ile Pn odunlarında hesaplanmıştır. Sn elementinde TF değerleri en yüksek ortalama seviyelerine tür olarak pasada Pn’de ormanda ise Ps’de ulaşırken organ olarak en yüksek ortalama değerler kabuklarda belirlenmiştir. Zr elementinin BCF değerleri Tablo 4.124’te verilmiştir.

Tablo 4.124 Zr elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	0,143	0,152	0,197	0,179	0,168
	Ps	0,159	0,142	0,151	0,147	0,150
	Rp	0,150	0,130	0,142	0,142	0,141
Orman	Pn	0,103	0,042	0,085	0,058	0,072
	Ps	0,110	0,101	0,107	0,104	0,106
	Rp	0,106	0,052	0,059	0,056	0,068
Ortalama		0,129	0,103	0,124	0,114	

Zr elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,130 ile Rp odunlarında ormanda ise 0,042 ile Pn odunlarında belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasada 0,197 ile Pn kabuklarında, ormanda da 0,110 ile Ps köklerinde elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere pasada Pn, ormanda ise Ps türünde ulaşılırken organlarda en yüksek ortalama değerler 0,129 ile köklerde hesaplanmıştır. Zr elementinin TF değerleri Tablo 4.125'te verilmiştir.

Tablo 4.125 Zr elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Pn	1,063	1,378	1,252	1,231
	Ps	0,893	0,950	0,925	0,923
	Rp	0,867	0,947	0,947	0,920
Orman	Pn	0,408	0,825	0,563	0,599
	Ps	0,918	0,973	0,945	0,945
	Rp	0,491	0,557	0,528	0,525
Ortalama		0,773	0,938	0,860	

Tablo değerleri incelendiğinde Zr elementinde TF değerlerinin pasada 0,867 ile 1,378 arasında değiştii ve en yüksek değerlerin Pn kabuklarında hesaplandığı görölmektedir. Ormanda ise TF değerleri 0,408 ile 0,973 arasında değişmekte olup en yüksek değerler Ps kabuklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak ise en yüksek değerler pasada Pn, ormanda Ps türlerinde elde edilirken organlarda da kabuklarda elde edilmiştir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında öncelikle pasa sahası, revejetasyon sahası ve maden sahası içerisinde kalan ormanlık alanlardaki topraklarda element analizleri yapılmıştır. Ayrıca revejetasyon sahası ve ormanlık alanda yetişen üç adet ağaç türünde kök, odun, kabuk ve yapraklarda element analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler, elementlerin genellikle yüksek konsantrasyonlarda olduğunu göstermektedir. Bu bölümde dikkat çeken bazı sonuçlar tartışılmıştır.

Çalışma Cu madeni sahasında yapıldığından Cu elementinin değişimi oldukça önemlidir. Çalışma sonucunda Cu konsantrasyonunun alt topraklarda sadece Pasa Ps, Orman Pn ve Orman Rp ile üst topraklarda Orman Pn ve Orman Ps de belirlenebilir limitler dâhilinde birikim yaptığı belirlenmiştir. Hem Pasa hem de Ps dışında rehabilite edilen Pasa sahalarında Cu konsantrasyonunun belirlenebilir limitlerin altında kalması, madencilik faaliyetleri esnasında topraktan Cu'nun büyük ölçüde alındığını göstermektedir. Bitkilerde ise en yüksek değer (132,2 ppm) pasa sahasındaki Pn kabuklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer hem Pasa (54,2 ppm) hem de orman sahasında Pn'de (46,5 ppm) elde edilirken en düşük değer Orman Ps'de (11,4 ppm) elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer kabuklarda (59,3 ppm) elde edilmiştir.

Bitki yapraklarındaki Cu konsantrasyonlarının 20-100 mg kg⁻¹ aralığında olduğu ve hayvan yemi olarak kullanılan bitkiler için izin verilen maksimum limitin 40 mg kg⁻¹ olduğu bildirilmektedir (Milla-Moreno ve Guy, 2021). Bitkilerde Cu, 200 mg kg⁻¹ dw (kuru ağırlık)'de fitotoksiktir (Filimon vd., 2021). Ancak bakır madenlerinde yapılan çalışmalarda Cu konsantrasyonu Soapwort yapraklarında 350 mg kg⁻¹ dw ve Orange mullein yapraklarında 630 mg kg⁻¹ dw olarak bulunmuştur (Antonijević vd., 2012). Başka bir Cu madeninde yapılan çalışmada, nehir kenarındaki bitki sürgünlerindeki Cu konsantrasyonunun 11,1 µg g⁻¹ ile 34,7 µg g⁻¹ arasında değiştiği, atık sahalarındaki bitki sürgünlerindeki Cu konsantrasyonunun ise 7,5 µg g⁻¹ ile 294,26 µg g⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir (Alizadeh vd., 2022). Romanya'daki eski Cu maden sahalarında yapılan bir çalışmada, sebzelerdeki en yüksek değerler maydanoz

köklerinde ($6,88 \text{ mg kg}^{-1}$ taze madde) bulunmuştur. Aynı çalışmada, kontrol parselinde üretilen maydanoz köklerindeki Cu konsantrasyonunun $1,22 \text{ mg kg}^{-1}$ taze madde olduğu bildirilmiştir (Harmanescu vd., 2011).

Cu konsantrasyonu toprak örneklerinin çoğunda belirlenebilir sınırların altında kalmış ve en yüksek konsantrasyon $248,95 \text{ ppm}$ olmuştur. Tarımsal topraklarda kabul edilebilir en yüksek konsantrasyonların Cu için 63 mg kg^{-1} ve Pb için 70 mg kg^{-1} olduğu bildirilmektedir (Milla-Moreno ve Guy, 2021). Cu madeninde yapılan bir çalışmada, atık sahası topraklarındaki Cu konsantrasyonunun $34,4 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, Cr konsantrasyonunun $6,60 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, Co konsantrasyonunun $1,91 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ ve Pb konsantrasyonunun $11,0 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ a kadar çıktığı belirlenmiştir (Alizadeh vd., 2022). Başka bir bakır madeninde yapılan çalışmada, maden sahası dışındaki alanlarda Cu konsantrasyonunun maksimum $122,01 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ve Pb konsantrasyonunun maksimum $3,27 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw'ye}$ ulaştığı, ocak alanındaki topraklarda ise Cu konsantrasyonunun $3800 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ve Pb konsantrasyonunun $1700 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw'ye}$ ulaştığı tespit edilmiştir (Filimon vd., 2021).

En yaygın ve tehlikeli elementlerden birisi olan Cr, bütün toprak numunelerinde belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Bitkilerde ise en yüksek değer $47,2 \text{ ppm}$ ile Rp yapraklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer yaprakta ($25,8 \text{ ppm}$) elde edilirken en düşük değer ($5,7 \text{ ppm}$) odunda elde edilmiştir. Bitki yapraklarındaki Cr konsantrasyonlarının $5\text{-}30 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeyinde olduğu ve hayvan yemi olarak kullanılan bitkiler için izin verilen maksimum limitin 100 mg kg^{-1} olduğu bildirilmektedir (Milla-Moreno ve Guy, 2021). Cu madeninde yapılan bir çalışmada, nehir kenarındaki bitki sürgünlerinde Cr konsantrasyonunun $0,475 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ ile $1,50 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Aynı çalışmada, atık sahalarındaki bitki sürgünlerinde Cr konsantrasyonunun $0,314 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ ile $3,67 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ arasında değiştiği belirlenmiştir (Alizadeh vd., 2022).

Çalışmada, ortalama Pb konsantrasyonunun odunda $4,4 \text{ ppm}$, köklerde $9,3 \text{ ppm}$, kabukta $5,8 \text{ ppm}$ ve yapraklarda $6,2 \text{ ppm}$ olarak hesaplanmıştır. Pb bitkiler için bir besin maddesi olarak gerekli olmasına rağmen, $100\text{-}500 \text{ mg kg}^{-1}$ seviyesinde bitkiler için toksiktir ve bitkilerdeki ortalama seviyesi $0,2\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$ dır. Ancak yapılan

alışmalar Pb konsantrasyonunun oldukça yüksek olabileceğini göstermiştir. Örneğın Portakal sığırkuyruğunda gövdede 590 mg kg⁻¹ ve yapraklarda 1400 mg kg⁻¹ seviyesine kadar ulaşabildiğini tespit edilmiştir (Filimon vd., 2021). Cu madeni sahalarında yapılan diğerkalışmalarda, en yüksek değerkler maydanozda (köklerde 15,78 mg kg⁻¹ taze madde ve yapraklarda 1,97 kg⁻¹ taze madde) ve sebzelerde izin verilen en yüksek değerk 0,50 kg⁻¹ taze madde olarak belirlenmiştir (Harmanescu vd., 2011). Maden sahalarından uzakta ancak endüstriyel kirliliğın olduğu bir bölgede yapılan bir çalışmada, *Picea* ibrelerinde Pb konsantrasyonu 4098,8 μg kg⁻¹ kadar yüksek bulunmuştur (Isinkaralar vd., 2025a). Kentsel alanlarda yetiştirilen sebzelerde Pb konsantrasyonlarının çok daha yüksek olduğu, örneğın biber yapraklarında 13240,4 μg kg⁻¹ a kadar çıktığını bildirilmektedir (Gültekin vd., 2025).

Bitki yapraklarındaki Cd konsantrasyonlarının 5-30 mg kg⁻¹ düzeyinde olduğu ve hayvan yemi olarak kullanılan bitkiler için izin verilen maksimum limitin 10 mg kg⁻¹ olduğu bildirilmektedir (Milla-Moreno ve Guy, 2021). Sebzelerde izin verilen Cd konsantrasyonu 0,20 mg kg⁻¹ taze madde olup, eski Cu madeni sahalarında yapılan bir çalışmada, diğerk ağır metallerin aksine Cd'nin sınır değerkleri aşmadığını ve maksimum Cd konsantrasyonunun bitki köklerinde 0,20 mg kg⁻¹ taze madde, bitki yapraklarında ise 0,12 mg kg⁻¹ taze madde olduğu tespit edilmiştir (Harmanescu vd., 2011). Eski bir maden sahasında yapılan bir başka çalışmada, en yüksek Cd konsantrasyonu 0,12 mg/kg fw ile lahana yapraklarında ölçülmüştür. Aynı çalışmada, salatalık meyvesindeki Cd konsantrasyonu 0,13 mg/kg fw olarak bulunmuştur (Manea vd., 2020).

Çalışma kapsamında bazı kabuk numunelerinde element konsantrasyonlarının diğerk organlara göre çok daha yüksek düzeyde çıktığını belirlenmiştir. Esasında kabuk, yaşayan bir organ değildir ve konu ile ilgili yapılan çok sayıda çalışmada kabuklardaki element konsantrasyonunun büyük oranda çeşitli elementlerle kontamine olan partikül maddelerden kaynaklandığını belirtilmektedir. Örneğın ağır metal kirliliğının yüksek düzeyde olduğu bir bölgede ağır metaller partikül maddelere yapışmakta, ağır metaller açısından bir yutak haline gelen partikül maddeler de bitkilerin dış organlarına yapışmaktadır. Özellikle kabuklar przlı yapıları dolayısıyla bu partikül maddelerin kolayca tutunabileceğini organlardır (Key vd., 2022; Koc vd., 2025; Sulhan vd., 2023).

Bundan dolayı kabuklardaki element birikimin büyük oranda dış kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kabuk, diğer organlarla karşılaştırıldığında kütle olarak çok daha küçük düzeyde olduğundan fitoremediasyon çalışmalarında fazlaca etkin olarak kullanılamamaktadır.

Bitki dokularındaki ağır metal konsantrasyonu birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörlerden bazıları metallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, formları, organların morfolojisi, yüzey alanı, bitki habitusu, yüzey dokusu, metallere maruz kalma süresi ve çevresel koşullardır (Koc vd., 2025). Bu faktörler arasında bitki türü belki de en önemlisidir. Çünkü diğer özelliklerin çoğu bitki türüyle ilişkilidir. Bu nedenle birçok çalışmada aynı ortamda yetişen bitkilerde ağır metal konsantrasyonlarının farklı seviyelerde olduğu tespit edilmiştir (Koç vd., 2024b; Yaşar İsmail vd., 2025). Bu sonuç oldukça doğaldır çünkü canlı organizmaların tüm fenotipik karakterleri genetik yapı ve çevre koşullarının etkileşimi altında şekillenmektedir (Çobanoğlu vd., 2023; Hrivnak vd., 2024; Özdikmenli vd., 2024). Bitki türü, bitkinin genetik yapısını ve çevre ile etkileşimini şekillendiren en önemli faktördür. Bu nedenle aynı ortamda yetişen bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonlarının bitki türüne bağlı olarak değişiklik göstermesi doğaldır.

Çalışma kapsamında bitki organlarının TF değerleri hesaplanmıştır. Ağır metaller için TF değeri 1'den büyük olan ağaçlar güçlü akümülatörler olarak kabul edilmektedir (Takarina ve Pin, 2017). Çalışma sonucunda birçok elementte bu değerlerin aşıldığı görülmektedir. En yüksek TF değerleri ise Pasa Pn sahalarında Al (28,389), Orman Ps sahalarında K (7,721) ve Pasa Pn sahalarında Mn'de (5,536) elde edilmiştir. Genel olarak ise en yüksek konsantrasyonlar Pn türünde elde edilmiştir. Buna karşılık özellikle Rp'de elde edilen TF değerlerinin de oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

En yüksek konsantrasyonlar genellikle Pn'de elde edilmiştir. Örneğin *Pinus nigra*'daki ortalama Co konsantrasyonu atık alanında 8,0 ppm ve orman alanında 7,6 ppm, Cu konsantrasyonu atık alanında 54,2 ppm ve orman alanında 46,5 ppm, Pb konsantrasyonu atık alanında 7,3 ppm ve orman alanında 7,4 ppm, Cd konsantrasyonu her iki alanda da 0,5 ppm ve Cr konsantrasyonu atık alanında 14,4 ppm ve orman alanında 16,3 ppm'dir.

Çalışma sonucunda Cu konsantrasyonunun pasa sahasındaki topraklarda büyük oranda belirlenebilir limitlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Aynı şekilde topraklarda Cr ve Cd gibi insan sağlığı açısından son derece zararlı bazı element konsantrasyonlarının da belirlenebilir limitlerin altında kaldığı tespit edilmiştir. Ancak bu elementlerin bitkilerdeki konsantrasyonları oldukça yüksek düzeydedir. Bu sonuç madencilik sahalarında ağır metal kirliliğinin tek kaynağının toprak olmadığını göstermektedir. Yapılan çalışmalar elementlerin bitki bünyesine topraktan kökler, havadan yapraklar ve gövde bölümlerinden doğrudan girebildiğini göstermektedir (Cobanoglu vd., 2023). Bu sonuçlara göre çalışma alanındaki bitkilere Cu, Cr ve Cd gibi elementlerin hava kaynaklı olarak girebildiği söylenebilir.

Çalışma kapsamında pasa alanında en yüksek TF değeri Pn'de elde edilmiştir. Pn'de özellikle kabuklarda elde edilen TF değerleri diğer türlerde elde edilen TF değerlerine göre oldukça yüksektir. Pn kabuklarındaki TF değerleri Co için 6,739 Cu için 5,868 ve Pb için 0,678 olarak hesaplanmıştır. Pn yapraklarındaki TF değerleri de oldukça yüksek olup Co için 2,783 Cu için 2,588 ve Pb için 0,811'dir. TF değeri, bir türün fitoremediasyon çalışmaları için uygunluğunu gösteren önemli bir kriterdir. Daha büyük TF değerine sahip bitkiler fitoremediasyonda daha etkilidir (Wang vd., 2019). Bu nedenle TF değerleri çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Yunnan'daki Cu maden sahalarında yapılan bir çalışmada, sebzelerdeki TF değerlerinin Cu ve Pb için 0,8'den, Cd için ise 0,5'ten düşük olduğu tespit edilmiştir (Liu vd., 2023). Şili'de Cu maden sahasında yapılan bir çalışmada *Prosopis tamarugo*, *Schinus molle* ve *Atriplex nummularia* türlerinde TF'nin Cu için 0,14 ile 2,78 arasında, Pb için 0,004 ile 2,74 arasında ve Cd için 0,33 ile 1,13 arasında değiştiği, *Schinus molle* türünde ise Cd için TF hesaplanmadığı bildirilmiştir (Lam vd., 2017). Avustralya'da Cu madeninde yapılan bir çalışmada, TF *Acacia pycnantha*'da Cu ve Pb için hesaplanamamış, Cd için 1,20 olarak hesaplanmış, *Eucalyptus camaldulensis*'te ise Cu için hesaplanamamış, ancak Cd için 1,04 ve Pb için 3,9 olarak hesaplanmıştır (Nirola vd., 2015). Çin'de yapılan bir başka çalışmada, Cu madeni sahasında kirlenmiş alanlarda yetişen *P. yunnanensis*, Mn, Cd, As, Zn, Pb, Cu (TF > 1,0) → Ag (0,5-1,0) → Cr, Ni, Mo (0,1-0,5), kirlenmiş alanlarda *P. massoniana*'nın ağır metaller için translokasyon yeteneği Mn, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn (> 1,0) → Ni (0,5-1,0) → Ag (< 0,5) şeklinde sıralanmaktadır. Kirlenmiş alanlarda, *P. yunnanensis*'in Mn, Cd, As, Zn, Pb, Cu için

translokasyon faktörlerinin tümü > 1 ve maksimum 5,60 olarak hesaplanmıştır (Wang vd., 2019).

Bitkiler uzun yıllardır ağır metal kirliliğini izlemek için biyomonitör olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Pb, Fe, Ni, Zn ve Cu için *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior* ve *Tilia tomentosa* (Hrotkó vd., 2021), Cr ve Zn için *Picea pungens* (Sulhan vd., 2023), Pb, Zn, Cd ve Cu için *Azadirachta indica*, *Cassia fistula*, *Conocarpus erectus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Morus alba* ve *Populus deltoids* (Rahman vd., 2022), Ni ve Pb için *Picea orientalis* (Isinkaralar vd., 2025a), Pb, Fe ve Al için *Solanum lycopersicum*, *Capsicum annuum*, *Phaseolus vulgaris* ve *Zea mays* (Gültekin vd., 2025) biyomonitör olarak uygunlukları araştırılan bazı bitkilerdir.

Ağır metal kirliliğinin uzun zaman dilimindeki değişimlerinin belirlenmesinde ve kirliliğin azaltılmasında yüksek yapılı bitkilerin odunlarından sıklıkla yararlanılmaktadır. Bu bitkilerde odun kısmı yıllar içinde yeni halkalar oluşturduğundan ve hangi yılda hangi halkanın oluştuğunu tespit etmek mümkün olduğundan büyük önem taşımaktadır. Ayrıca odun diğer organlara göre çok daha büyük bir kütleye sahip olduğundan, ağır metalleri bu organda biriktirebilen türler fitoremediasyon çalışmalarında da değerlidir (Key vd., 2022; Koc vd., 2024). Diri oduna çekilen metal iyonlarının bu dokularda ne ölçüde mevcut kalacağı, muhtemelen çeşitli ağaç türlerinde ksilemin değişen iyon değiştirme kapasitesine bağlıdır. İyon değiştirme kapasitesi (IEC), biyomateryaller üzerine adsorbe edilen metal iyonlarının miktarını kontrol eder (Hubbe vd., 2011). Emilen iki değerlikli bir metal elementinin bir molü için, bir mol Ca elementi yer değiştirir (Crist vd., 2003). Başka bir deyişle, metal türlerinin değerliğine bağlı olarak, adsorbe edilen her metal iyonu türünün hidrojen veya sodyum gibi diğer birçok iyonun yerini değiştirmesi beklenir (Hubbe, 2013). Pozitif yüklü iyonlar çoğu selülozik bileşiklerle ilişkili olabilir (Hubbe vd., 2022).

Bu çalışmada, *Pinus nigra*'nın hem biyo izleme (biyomonitöring) hem de fitoremediasyon amacıyla kullanılabilecek en uygun tür olduğu belirlenmiştir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda *Pinus nigra*, B, Na (Erdem vd., 2023a), As, Sr, Pd, V (Koç, 2025), Cu, Mn, Al (Erdem vd., 2023b), Se, Ag, Tl ve Sb (Şevik vd. 2024) biriktirme potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Çalışmalar, *Pinus nigra*'nın As, Sr, Pd, V

(Koç, 2025), Se, Ag, Tl ve Sb (Şevik vd. 2024) gibi çok düşük konsantrasyonlarda bile toksik ve zararlı olan ağır metallerin kirliliğini azaltmak için de uygun olduğunu göstermiştir.

Çalışma sonuçları incelendiğinde hem topraklarda hem de bitki organlarında belirlenen element konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum bitki gelişimini önemli ölçüde etkilemektedir. Çünkü bu elementlerin toprakta yüksek konsantrasyonda bulunması bitkilerin suyu almasını zorlaştırmakta kuraklık stresi benzeri stres oluşturmaktadır. Bitkiler hayatları boyunca kuraklık (Koç ve Nzokou, 2022), ağır metal (Isinkalar vd., 2025b), UV-B (Ozel vd., 2021a), radyasyon (Ozel vd., 2021b) gibi bitki gelişimini sınırlandıran çeşitli stres faktörlerine maruz kalmaktadırlar. Toprakta bazı besin elementlerinin yüksek düzeyde olması da bitkiler için bir stres faktörüdür ve bu durum osmotik basıncı artırarak bitkilerin su alımını engellemekte, kuraklık benzeri bir etki oluşturmaktadır. Kuraklık bitki gelişmesini sınırlandıran en önemli stres faktörlerinin başında gelmektedir (Koç, 2022a,b).

Çalışmaya konu elementler aynı zamanda birer ağırlıdır. Pb, As, V, Cr gibi bazı ağır metaller yaşayan canlılar için düşük konsantrasyonlarda bile toksik ve ölümcül (Isinkalar vd., 2022; Istanbul vd., 2023; Key vd., 2022) olabilirken, bitkiler için besin elementi olarak gerekli olanların bile yüksek konsantrasyonlarda zararlı olduğu belirtilmektedir (Ghoma vd., 2022; Istanbul vd., 2023; Sulhan vd., 2022). Çalışmaya konu elementlerin topraklarda yüksek konsantrasyonlarda olması, bu açıdan da bitki gelişimini sınırlandırmaktadır.

Bilindiği üzere bitki gelişimi ve bütün fenotipik karakterleri genetik yapı ile çevre koşullarının karşılıklı etkileşimi sonucunda şekillenmektedir (Yayla vd., 2022). Çevresel faktörler başlıca iklimatik (Ertürk vd., 2024a,b; Sevik vd., 2016; Yigit vd., 2019) ve edafik (Kravkaz Kuşcu vd., 2018a,b) olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Edafik faktörler içerisinde bitki besin elementleri bitki gelişimini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Madencilik faaliyetleri toprak yapısını bozduğu gibi besin içeriğini de önemli ölçüde bozmaktadır.

6. ÖNERİLER

Çalışma sonucunda çalışma alanındaki topraklarda ve bu alanda yetişen bitkilerdeki Mg, Ca ve K gibi bitkiler için gerekli besin elementi konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu elementlerin yüksek düzeyde olması bitki gelişimini sınırlandıran bir faktördür. Ancak, çalışmaya konu bitkiler bu alanda pasa sahası üzerinde de normal gelişimini sürdürmektedir. Bundan dolayı çalışmaya konu türlerin bu elementlerin yüksek konsantrasyonlarına dayanıklı olduğu söylenebilir. Benzer alanlarda çalışmaya konu bitkilerin kullanılması önerilmektedir.

Çalışmaya konu bitkilerde TF değerleri oldukça yüksek düzeyde bulunmuştur. Yapılan çalışmalar TF değeri 1'in üzerinde olması durumunda o türün fitoremediasyon çalışmaları için uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma sonuçları kullanılarak ağır metal kirliliği yüksek düzeyde olan bölgelerde hangi bitkilerin fitoremediasyon çalışmalarında kullanılacağına karar verilebilir. Örneğin Ag veya Pd kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu alanlarda *Pinus nigra*, Ge kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bölgelerde *Robinia pseudoacacia* kullanılabilir. Çalışma sonucunda Pb gibi bazı elementlerde ortalama TF değerleri bütün türlerde 1'in altında kalmıştır. Bu alanlarda çalışmada değerlendirilmeyen türlerin fitoremediasyon potansiyellerinin araştırılması önerilmektedir.

Çalışma sonucunda genel olarak en düşük element konsantrasyonları odun kısmında elde edilmiştir. Odun, bitkinin en büyük organıdır ve bu organda depo edilen element miktarı büyük önem taşımaktadır. Çalışmaya konu besin elementlerin düşük konsantrasyonları da yüksek konsantrasyonları da istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Çalışma sonuçları kullanılarak istenilen amaç doğrultusunda türler uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin çalışma sonucunda önemli besin elementlerinden olan Ca'da odunda en düşük konsantrasyonlar Ps, en yüksek konsantrasyonlar *Robinia pseudoacacia* türlerinde elde edilmiştir. Toprakta Ca eksikliği olan yerlerde topraktaki Ca'yı daha az kullandığı için *Pinus sylvestris*, Ca kirliliği olan yerlerde ise Ca konsantrasyonunu azaltmak için *Robinia pseudoacacia* tercih edilmelidir. Benzer şekilde örneğin en zararlı elementlerden olan Sr kirliliğinin

azaltılması için, odunda Sr'u en yüksek düzeyde biriktirebilen *Robinia pseudoacacia* kullanılabilir. Ayrıca bitkilerin yapraklarında biriktirebildikleri elementlerin en geç birkaç yıl içerisinde toprağa dökülerek ayrıştığı ve tekrar besin döngüsüne katıldığı da unutulmamalıdır.

Çalışma sonuçları, pasa, revejetasyon sahası ve ormanlık alandaki element konsantrasyonlarının oldukça farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum hem madencilik çalışmalarının hem de madencilik faaliyetleri sonrasında revejetasyon çalışmalarının toprak karakterlerini ve özellikle besin içeriğini önemli ölçüde değiştirebildiğini ortaya koymaktadır. Bu değişim, madencilik faaliyetleri sonrası restorasyon ve revejetasyon çalışmalarında dikkate alınarak planlamalar yapılmalıdır. Örneğin Cu konsantrasyonu ormanlık alanlardaki topraklarda 248,95 ppm seviyesine kadar çıkarken pasa sahalarında hem işlem görmemiş alanlarda hem de revejetasyon çalışması yapılan alanlarda (Ps alt toprak hariç) belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Cu yüksek konsantrasyonlarda toksik olabilen bir element olmasında karşın aynı zamanda bitki gelişimi için gerekli bir besin elementidir. Bundan dolayı pasa sahalarında bitkilere Cu gübresi verilmesi gerekmektedir. Benzer durumlar diğer bazı besin elementleri için de geçerlidir.

Çalışma sonuçları maden sahasında halen ağır metal kirliliğinin yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sahalarda rehabilitasyon ve revejetasyon çalışmalarının aksatılmaması önem arz etmektedir. Ancak bitkilendirme çalışmalarında özellikle gıda veya hayvan yemi olarak kullanılacak bitkilerin yetiştirilmesinin sakıncalı olduğu düşünülmektedir. Bu alanlarda bu tür bitkilerin yetiştirilmemesi, yetiştirilirse de insan veya hayvanlar için besin kaynağı olarak kullanılmaması önerilmektedir.

Çalışma sonucunda topraklarda Cr ve Cd gibi insan sağlığı açısından son derece zararlı bazı element konsantrasyonlarının belirlenebilir limitlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Bunun dışında Cu konsantrasyonu da pasa sahasındaki topraklarda büyük oranda belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Ancak bu elementlerin bitkilerdeki konsantrasyonları oldukça yüksektir. Bu sonuç madencilik sahalarında ağır metal kirliliğinin tek kaynağının toprak olmadığını göstermektedir.

Bu sahalarda madencilik prosesi esnasındaki ağır metal kirlilik kaynakları ayrıca değerlendirilmelidir.

Çalışma kapsamında bakır madenciliği yapılan bir sahada madencilik faaliyeti yapılan ve yapılmayan alanlarda toprak ve bitki organlarındaki bazı element konsantrasyonlarının değişimi incelenmiştir. Yapılan literatür çalışmasında özellikle düşük konsantrasyonlarda dahi insanlar için zararlı olabilen bazı ağır metallerin kirliliğinin azaltılmasında bitkilerin kullanımı konusunda sınırlı sayıda çalışma olduğu belirlenmiştir. Bu elementlerden insan ve çevre sağlığı açısından son derece zararlı olan As, Ba, Be, Pd, Pu, Sr, Tl, V ve Sb gibi ağır metaller konusunda yapılan çalışma sayısı da oldukça sınırlıdır. Konu ile ilgili çalışmalarda bu elementlere daha fazla ağırlık verilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abiya, S. E., Odiyi, B. O., Ologundudu, F. A., Akinnifesi, O. J., & Akadiri, S. (2018). Assessment of heavy metal pollution in a gold mining site in Southwestern Nigeria. *Journal of Genetics and Cell Biology*, 1(2), 30-35.
- Ahirwal, J., Pandey, V. C. (2021). Restoration of mine degraded land for sustainable environmental development. *Restor Ecol*. <https://doi.org/10.1111/rec.13268>
- Ahmadpour, A., Tahmasbi, M., Bastami, T. R., & Besharati, J. A. (2009). Rapid removal of cobalt ion from aqueous solutions by almond green hull. *Journal of Hazardous Materials*, 166(2-3), 925-930.
- Ak Tutuncu, A., Ozel, H. B., Sevik, H., & Erdem, R. (2024). Variation of boron concentrations in the wood and bark of some trees. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 24(02), 2242–2249
- Alizadeh, A., Ghorbani, J., Motamedi, J., Vahabzadeh, G., Edraki, M., & van Der Ent, A. (2022). “Metal and metalloid accumulation in native plants around a copper mine site: implications for phytostabilization.” *International Journal of Phytoremediation*, 24(11), 1141-1151. DOI: 10.1080/15226514.2021.2011831
- Altaf, M. M., Diao, X. P., Shakoar, A., Imtiaz, M., Altaf, M. A., & Khan, L. U. (2021). Delineating vanadium (V) ecological distribution, its toxicant potential, and effective remediation strategies from contaminated soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-19.
- Amoakwah, E., Ahsan, S., Rahman, M. A., Asamoah, E., Essumang, D. K., Ali, M., & Islam, K. R. (2020). Assessment of heavy metal pollution of soil-water-vegetative ecosystems associated with artisanal gold mining. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 29(7), 788-803.
- Antonijević, M. M., Dimitrijević, M. D., Milić, S. M., & Nujkić, M. M. (2012). “Metal concentrations in the soils and native plants surrounding the old flotation tailings pond of the Copper Mining and Smelting Complex Bor (Serbia).” *Journal of Environmental Monitoring*, 14(3), 866-877. DOI: 10.1039/C2EM10803H
- Aral, H., & Vecchio-Sadus, A. (2008). Toxicity of lithium to humans and the environment—a literature review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2008. 70(3); 349-356.
- Arıcak, B., Canturk, U., Koc, I., Erdem, R., Sevik, H. (2024). Shifts That May Appear in Climate Classifications in Bursa Due to Global Climate Change, *Forestist*. 74: 129-137. Doi:10.5152/ forestist.2024.23074
- Aygün, C., Kara, İ., Oral, H. H., Erdoğan, İ., Atalay, A. K., & Sever, A. L. (2018). Bazı Çalı Bitkilerinin Sezonluk (İlkbahar, Yaz, Sonbahar) Yaprak

Örneklerindeki Makro ve Mikro Besin Elementi İçerikleri. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 7(1), 51-65.

Belzile, N., Chen, Y. W., & Filella, M. (2011). Human exposure to antimony: I. Sources and intake. *Critical reviews in environmental science and technology*, 41(14), 1309-1373.

Bindraban, P. S., Dimkpa, C. O., & Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, 56(3), 299-317.

Bird, R. P., & Eskin, N. M. (2021). The emerging role of phosphorus in human health. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 96, pp. 27-88). *Academic Press*.

Blain, R. (2022). "Thallium," in: *Handbook on the Toxicology of Metals* (Fifth Edition), *Academic Press*, Cambridge, MA, USA, pp. 795-806. DOI: 10.1016/B978-0-12-822946-0.00028-3

Boğa, A. (2007). Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Adana. 2007; 16: 218.

Bolat, İ. & Kara, Ö. (2017). Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 218-228.

Cesur, A., Zeren Cetin, I., Abo Aisha, A. E. S., Alrabiti, O. B. M., Aljama, A. M. O., Jawed, A. A., Cetin, M., Sevik, H., Ozel, H.B. (2021). The usability of *Cupressus arizonica* annual rings in monitoring the changes in heavy metal concentration in air. *Environmental Science and Pollution Research* (Environ Sci Pout Res) 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13166-4; <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13166-4>

Cetin, M., & Cobanoglu, O. (2019) The Possibilities of Using Blue Spruce (*Picea pungens* Engelm) as a Biomonitor by Measuring the Recent Accumulation of Mn in Its Leaves. *Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1): 43-50.

Cetin, M., & Jawed, A. A. (2024). Variation of Ba concentrations in some plants grown in Pakistan depending on traffic density. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(3), 3785-3791.

Chen, L., Liu, J., Hu, W., Gao, J., & Yang, J. (2021). Vanadium in soil-plant system: Source, fate, toxicity, and bioremediation. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 124200. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124200>

Childers, D. L., Corman, J., Edwards, M., & Elser, J. J. (2011). Sustainability challenges of phosphorus and food: solutions from closing the human phosphorus cycle. *Bioscience*, 61(2), 117-124.

Cima, F. (2011). Tin: environmental pollution and health effects. *Encyclopedia of environmental health*, 2, 65-75.

- Cobanoğlu, H., Sevik, H., & Koç, İ. (2023). Do Annual Rings Really Reveal Cd, Ni, and Zn Pollution in the Air Related to Traffic Density? An Example of the Cedar Tree. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(2), 65.
- Crist, D. R., Crist, R. H., & Martin, J. R. (2003). "A new process for toxic metal uptake by a kraft lignin," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology* 78(23), 199-202. DOI: 10.1002/jctb.735
- Çelik, M. Y., Sarıışık, A., Gürcan, S. 2003. Mermer ve taş ocaklarının çevreye olan görsel etkileri. Türkiye IV. *Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 463, 466-473.
- Çobanoğlu, H., Canturk, U., Koc, I., Kulac, S., Sevik, H. (2023). Climate Change Effect on Potential Distribution of Anatolian Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in the Upcoming Century in Türkiye, *Forestist*, 73(3): 247-256
- Da Silveira Pereira, W. V., Teixeira, R. A., de Souza, E. S., de Moraes, A. L. F., Campos, W. E. O., do Amarante, C. B., ... & Fernandes, A. R. (2020). Chemical fractionation and bioaccessibility of potentially toxic elements in area of artisanal gold mining in the Amazon. *Journal of Environmental Management*, 267, 110644.
- Dan-Badjo, A. T., Ibrahim, O. Z., Guéro, Y., Morel, J. L., Feidt, C., & Echevarria, G. (2019). Impacts of artisanal gold mining on soil, water and plant contamination by trace elements at Komabangou, Western Niger. *Journal of Geochemical Exploration*, 205, 106328.
- Dominique, P., Aochi, H., & Morel, J. (2022). Triggered seismicity in a flooded former coal mining basin (Gardanne area, France). *Mine Water and the Environment*, 41(2), 317-334.
- Duri, L. G., Visconti, D., Fiorentino, N., Adamo, P., Fagnano, M., & Caporale, A. G. (2020). "Health risk assessment in agricultural soil potentially contaminated by geogenic thallium: Influence of plant species on metal mobility in soil-plant system," *Agronomy* 10(6), article 890. DOI: 10.3390/agronomy10060890
- Erdem, R., Arıcak, B., Cetin, M., & Sevik, H. (2023). Change in some heavy metal concentrations in forest trees by species, organ, and soil depth. *Forestist*, 73(3), 257-263.
- Erdem, R., Çetin, M., Arıcak, B., & Sevik, H. (2023a). The Change of the Concentrations of Boron and Sodium in Some Forest Soils Depending on Plant Species. *Forestist*, 73(2).
- Erdem, R., Koç, İ., Çobanoğlu, H., & Şevik, H. (2024). Variation of magnesium, one of the macronutrients, in some trees based on organs and species. *Forestist*, 74(1), 84-93.

- Ertürk, N., Arıcak, B., Yiğit, N., & Sevik, H. (2024b). Potential changes in the suitable distribution areas of *Fagus orientalis* lipsky in Kastamonu due to global climate change. *Forestist*, 74: 159-165. doi:10.5152/forestist.2024.23024.
- Ertürk, N., Arıcak, B., Sevik, H., & Yigit, N. (2024a). Possible Change in Distribution Areas of *Abies* in Kastamonu due to Global Climate Change. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 24 (1), 81-91.
- Farjana, S. H., Huda, N., & Mahmud, M. P. (2019). Kobalt çıkarma işleminin yaşam döngüsü değerlendirmesi. *Sürdürülebilir Madencilik Dergisi*, 18 (3), 150-161.
- Farooq, M. A., Islam, F., Ali, B., Najeeb, U., Mao, B., Gill, R. A., Yan, G., Siddique, K. H., & Zhou, W. (2016). Arsenic toxicity in plants: Cellular and molecular mechanisms of its transport and metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 132, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.08.004>
- Fashola, M., Ngole-Jeme, V., Babalola, O. 2016. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 13(11), 1047-1067.
- Filimon, M. N., Caraba, I. V., Popescu, R., Dumitrescu, G., Verdes, D., Petculescu Ciochina, L., & Sinitean, A. (2021). “Potential Ecological and Human Health Risks of Heavy Metals in Soils in Selected Copper Mining Areas-A Case Study: The Bor Area.” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 1516. DOI: 10.3390/ijerph18041516
- Frank, A., Madej, A., Galgan, V., & Petersson, L. R. (1996). “Vanadium poisoning of cattle with basic slag. Concentrations in tissues from poisoned animals and from a reference, slaughter-house material,” *Science of The Total Environment* 181(1), 73-92. DOI: 10.1016/0048-9697(95)04962-2
- Frouz, J., Vobořilová, V., Janoušová, I., Kadochová, Š., Matějček, L. (2015): Spontaneous establishment of late successional tree species English oak (*Quercus robur*) and European beech (*Fagus sylvatica*) at reclaimed alder plantation and unreclaimed post mining sites. – *Ecological Engineering* 77: 1-8.
- Gad, S. (2014). “Antimony trioxide,” in: Encyclopedia of Toxicology (Third Edition), Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 277-279. DOI: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00816-2
- Gao, L., Meng, C. S., Yi, T. F., Xu, K., Cao, H. W., Zhang, S. H., ... (2021). Genome-wide association study reveals the genetic basis of yield- and quality-related traits in wheat. *BMC Plant Biol.* 21:144. doi: 10.1186/s12870-021-02925-7
- Garg, N., Singla, P. Arsenic toxicity in crop plants: physiological effects and tolerance mechanisms. *Environ Chem Lett* 9, 303–321 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10311-011-0313-7>
- Ghazaryan, K. A., Movsesyan, H. S., Ghazaryan, N. P., Shalunts, S. V. 2016. Assessment of heavy metal contamination of soils around Agarak (RA) copper-

- molybdenum mine complex. Proceedings of The Yerevan State University: Chemistry and Biology, Yerevan State University, 34-42.
- Ghoma, W. E. O., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2023). Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *Environmental science and pollution research*, 30(30), 75768-75776.
- Ghoma, W., Sevik, H. & Isinkaralar, K. (2022). Using indoor plants as biomonitors for detection of toxic metals by tobacco smoke. *Air Qual Atmos Health* 15, 415-424 <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01146-z>
- González-Valoys, A. C., Arrocha, J., Monteza-Destro, T., Vargas-Lombardo, M., Esbrí, J. M., Garcia-Ordiales, E., ... & Higuera, P. (2022). Environmental challenges related to cyanidation in Central American gold mining; the Remance mine (Panama). *Journal of environmental management*, 302, 113979.
- Gültekin, Y., Kılıç Bayraktar, M., Sevik, H., Cetin, M., Bayraktar, T. (2025) Optimal Vegetable Selection in Urban and Rural Areas Using Artificial Bee Colony Algorithm: Heavy Metal Assessment and Health Risk, *Journal of Food Composition and Analysis*, DOI: 10.1016/j.jfca.2024.107169.
- Hadrup, N., Ravn-Haren, G. (2020). “Acute human toxicity and mortality after selenium ingestion: A review,” *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 58, Article ID 126435.
- Hao, L., Zhang, B., Feng, C., Zhang, Z., Lei, Z., & Shimizu, K. (2021). Human health risk of vanadium in farmland soils near various vanadium ore mining areas and bioremediation assessment. *Chemosphere*, 263, 128246.
- Harmanescu, M., Alda, L. M., Bordean, D. M., Gogoasa, I., & Gergen, I. (2011). “Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area; a case study: Banat County, Romania.” *Chemistry Central Journal*, 5, 1-10.
- Henckens, T. (2021). Thirteen scarce resources analyzed. *Governance of the World's Mineral Resources*, 147-380. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823886-8.00007-5>
- Hossini, H., Shafie, B., Niri, A. D., Nazari, M., Esfahlan, A. J., Ahmadpour, M., ... & Hoseinzadeh, E. (2022). Kromun insan sağlığı üzerindeki etkileri üzerine kapsamlı bir inceleme: indüklenen toksisiteye ilişkin iç görüler. *Çevre Bilimi ve Kirlilik Araştırması*, 1-20.
- Hrivnák, M., Krajmerová, D., Paule, L., Zhelev, P., Sevik, H., Ivanković, M., Goginashvili, N., Paule, J., & Gömöry, D. (2024). “Are there hybrid zones in *Fagus sylvatica* L. sensu lato?.” *Eur J Forest Res* 143, 451–464. DOI:10.1007/s10342-023-01634-0
- Hrotkó, K., Gyeveki, M., Sütöriné, D. M., Magyar, L., Mészáros, R., Honfi, P., & Kardos, L. (2021). “Foliar dust and heavy metal deposit on leaves of urban trees

- in Budapest (Hungary).” *Environmental geochemistry and health*, 43, 1927-1940. DOI:10.1007/s10653-020-00769-y(0123456789(),-volV)(01234567
- Hu, G., Ge, L., Li, Y., Mukhtar, M., Shen, B., Yang, D., & Li, J. (2020). Carbon dots derived from flax straw for highly sensitive and selective detections of cobalt, chromium, and ascorbic acid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 579, 96-108.
- Hubbe, M. A. (2013). “New horizons for use of cellulose-based materials to adsorb pollutants from aqueous solutions,” *Lignocellulose* 2(2), 386-411.
- Hubbe, M. A., Hasan, S. H., & Ducoste, J. J. (2011). “Cellulosic substrates for removal of pollutants from aqueous systems: A review. 1. Metals,” *BioResources* 6(2), 2161-2287.
- Hubbe, M. A., Szlek, D. B., & Vera, R. E. (2022). “Detergency mechanisms and cellulosic surfaces: A review,” *BioResources* 17(4), 7167-7249. DOI: 10.15376/biores.17.4.Hubbe
- Imtiaz, M., Tu, S., Xie, Z., Han, D., Ashraf, M., & Rizwan, M. S. (2015). Growth, V uptake, and antioxidant enzymes responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under vanadium stress. *Plant and Soil*, 390, 17-27.
- Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koc, I., Sevik, H., & Ozel, H. B. (2025b). Atmospheric Trace Metal Exposure in a 60-Year-Old Wood: A Sustainable Methodological Approach to Measurement of Dry Deposition. *Int J Environ Res* 19, 112 (2025). <https://doi.org/10.1007/s41742-025-00783-x>
- Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Özel, H. B., & Şevik, H. (2024a). Assessing the possibility of airborne bismuth accumulation and spatial distribution in an urban area by tree bark: A case study in Düzcce, Türkiye. *Biomass conversion and biorefinery*, 14(18), 22561-22572. DOI: 10.1007/s13399-023-04399-z
- Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Özel, H. B. & Sevik, H. (2024b) A Comparative Study About Physical Properties of Copper Oxide and Zinc Oxide Nanoparticles on *Fagus orientalis* L. as Bioindicator. *Water Air Soil Pollut* 235, 738 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07551-1>
- Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., & Sevik, H. (2025a). Health for the future: spatiotemporal CA-MC modeling and spatial pattern prediction via dendrochronological approach for nickel and lead deposition. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-13. DOI:10.1007/s11869-025-01702-x
- Istanbullu, S. N., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Isinkaralar, O. (2023). Spatial Distribution of Heavy Metal Contamination in Road Dust Samples from an Urban Environment in Samsun, Türkiye. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 110(4), 78. DOI: 10.1007/s00128-023-03720-w
- Işık, Z., Görmüş, S., Ergene, N. Magnezyumun Klinik Önemi. *Genel Tıp Derg.* 2004; 14(2): 69-75.

- Jayawardana, D. T., Pitawala, H. M. T. G. A., & Ishiga, H. (2015). Geochemical evidence for the accumulation of vanadium in soils of chronic kidney disease areas in Sri Lanka. *Environmental Earth Sciences*, 73(9), 5415-5424.
- Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M. S., Kumar, V., Shackira, A., Puthur, J. T., Abdi, G., Sarraf, M., & Hasanuzzaman, M. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 172, 56-69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001>
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal G., Güven A. & Timur S., (2007). Metallerin Çevresel Etkileri –I. (erişim adresi: www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf, erişim tarihi: 19.04.2019).
- Karatepe, Y., Külcüoğlu, C., & Makineci, E. (2020). “Comparison of soil properties of an adjacent clay mine spoil, a mining site reclaimed with stone pine (*Pinus pinea* L.) plantation and a natural forest,” *Applied Ecology and Environmental Research* 18(5), 6857-6874. DOI: 10.15666/aeer/1805_68576874
- Keith, L. S., & Maples-Reynolds, N. (2022). Germanium. In Handbook on the Toxicology of Metals (pp. 289-316). *Academic Press*.
- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2022). “Determining the 180-year change of Cd, Fe, and Al concentrations in the air by using annual rings of *Corylus colurna* L.,” *Water, Air, & Soil Pollution* 233(7), Article Number 244. DOI: 10.1007/s11270-022-05741-3
- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2023). “Proof of concept to characterize historical heavy-metal concentrations in atmosphere in North Turkey: Determining the variations of Ni, Co, and Mn concentrations in 180-year-old *Corylus colurna* L. (Turkish hazelnut) annual rings,” *Acta Physiologiae Plantarum* 45(10), Article Number 120. DOI: 10.1007/s11738-023-03608-6
- Kimbrough, D. E., Cohen, Y., Winer, A. M., Creelman, L., & Mabuni, C. (1999). Çevredeki kromun kritik bir değerlendirmesi. *Çevre bilimi ve teknolojisinde eleştirel incelemeler*, 29 (1), 1-46.
- Koc, I., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Kulac, S., & Sevik, H. (2024). Change of Cr concentration from past to present in areas with elevated air pollution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(2), 2059-2070.
- Koc, İ., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Sevik, H., & Kulac, S. (2025). Variation of 40-year Pb deposition in some conifers grown in the air-polluted-urban area of Düzce, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 84(7), 186.
- Koç, İ. (2022a). Determining the near-future biocomfort zones in Samsun province by the global climate change scenarios. *Kastamonu university journal of forestry faculty*, 22(2), 181-192.

- Koç, İ. (2022b). Determining the biocomfort zones in near future under global climate change scenarios in Antalya. *Kastamonu university journal of engineering and sciences*, 8(1), 6-17.
- Koç, İ. (2025). Chronological Levels of As, Pd, V, and Sr in 356-year-old *Pinus nigra* Annual Rings in Northern Türkiye. *BioResources*, 20(1). 2215-2233
- Koç, İ., & Nzokou, P. (2022). Do various conifers respond differently to water stress? A comparative study of white pine, concolor and balsam fir. *Kastamonu university journal of forestry faculty*, 22(1), 1-16.
- Koç, İ., Canturk, U., Cobanoglu, H., Kulac, S., Key, K., & Sevik, H. (2025). Assessment of 40-year Al Deposition in some Exotic Conifer Species in the Urban Air of Düzce, Türkiye. *Water Air Soil Pollut* 236, 76. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07723-z>
- Koç, İ., Canturk, U., Isinkaralar, K., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2024). Assessment of metals (Ni, Ba) deposition in plant types and their organs at Mersin City, Türkiye. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 282.
- Komarnisky, L. A., Christopherson, R. J., & Basu, T. K. (2003). Sulfur: its clinical and toxicologic aspects. *Nutrition*, 19(1), 54-61.
- Kravkaz Kuscü, I. S., Cetin, M., Yigit, N., Savaci, G., & Sevik, H. (2018a). Relationship between Enzyme Activity (Urease-Catalase) and Nutrient Element in Soil Use. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27 (5). 2107-2112.
- Kravkaz-Kuscü, I. S., Sariyildiz, T., Cetin, M., Yigit, N., Sevik, H., & Savaci, G. (2018b). Evaluation of the soil properties and primary forest tree species in Taskopru (Kastamonu) district. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (3), 1613-1617.
- Kulac, S., Pulatoglu, A. O., Koç, İ., Sevik, H., & Ozel, H. B. (2025). Assessing Tree Species for Monitoring and Mitigating Strontium Pollution in Urban Environments. *Water, Air, & Soil Pollution*, 236(9), 605.
- Kulaç, Ş., Arıcak, B., & Erdem, R. (2024) *Cedrus atlantica's* Usability for Reducing and Monitoring the Change in Lithium Pollution in the Air. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 10(2), 52-56.
- Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H. B., Arıcak, B., Onat, S. M., & Sevik, H. (2023). “Change of aluminum concentrations in specific plants by species, organ, washing, and traffic density,” *BioResources* 18(1), 792-803. DOI: 10.15376/biores.18.1.792-803
- Lai, Z., He, M., Lin, C., Ouyang, W., & Liu, X. (2022). Interactions of antimony with biomolecules and its effects on human health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 233, 113317.
- Lam, E. J., Cánovas, M., Gálvez, M. E., Montofré, Í. L., Keith, B. F., & Faz, Á. (2017). “Evaluation of the phytoremediation potential of native plants growing on a

- copper mine tailing in northern Chile.” *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 210-217. DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.06.015
- Li, L., Ruan, T., Lyu, Y., & Wu, B. (2017). Advances in effect of germanium or germanium compounds on animals—a review. *Journal of biosciences and medicines*, 5(7), 56-73.
- Liao, S., Zhu, F., Zhao, X., Yang, H., & Chen, X. (2018). A reusable P, N-doped carbon quantum dot fluorescent sensor for cobalt ion. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 260, 156-164.
- Lijima, A., Tago, H., Kumagai, K., Kato, M., Kozawa, K., Sato, K., & Furuta, N. (2008b). Regional and seasonal characteristics of emission sources of fine airborne particulate matter collected in the center and suburbs of Tokyo, Japan as determined by multielement analysis and source receptor models. *Journal of Environmental Monitoring*, 10(9), 1025-1032.
- Liu, Y., Zhang, R., Pan, B., Qiu, H., Wang, J., Zhang, J., Niu, X., He, L., Qian, W. & Peijnenburg, W. J. (2023). “Uptake of heavy metals by crops near a mining field: Pathways from roots and leaves.” *Chemosphere*, 322, 138215. DOI:10.1016/j.chemosphere.2023.138215
- Ma, B., Lv, W., Li, J., Yang, C., Tang, Q., & Wang, D. (2021). Promotion Removal of Aniline with Electro-Fenton Processes Utilizing Carbon Nanotube 3D Morphology Modification of an Ag-Loaded Copper Foam Cathode. *J. Water Process Eng.* 43, 102295. doi:10.1016/j.jwpe.2021.102295
- Makineci, E. (2021). “Nitrogen accumulation in forest floors with introduced *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* in dune site,” *Environmental Monitoring and Assessment* 193(6), 1-9. DOI: 10.1007/s10661-021-09100-3
- Makineci, E., Gungor, B. S., & Kumbasli, M. (2011). Natural plant revegetation on reclaimed coal mine landscapes in Agacli-Istanbul. *African Journal of Biotechnology*, 10(16), 3248-3259.
- Manea, D. N., Ienciu, A. A., Ștef, R., Șmuleac, I. L., Gergen, I. I., & Nica, D. V. (2020). “Health risk assessment of dietary heavy metals intake from fruits and vegetables grown in selected old mining areas-a case study: the banat area of southern carpathians.” *International journal of environmental research and public health*, 17(14), 5172. DOI: 10.3390/ijerph17145172
- Milla-Moreno, E., & Guy, R. D. (2021). “Growth response, uptake and mobilization of metals in native plant species on tailings at a Chilean copper mine.” *International Journal of Phytoremediation*, 23(5), 539-547. DOI: 10.1080/15226514.2020.1838435
- Mossi, M. M. M (2018). Determination Of Heavy Metal Accumulation In Some Shrub Formed Landscape Plants, *Kastamonu University Institute of Science Department of Forest Engineering*, Phd Thesis, 141 pages

- Ndinwa, G. C. C., Ohwona, C. O. 2014. Environmental and health impact of solid mineral exploration and exploitation in south-northern Nigeria: A case study of Igarra in Edo State. *Review of Environmental and Earth Sciences*, 1, 24- 36
- Ngole, V. M., Ekosse, G. I. E. 2012. Copper, nickel and zinc contamination in soils within the precincts of mining and land filling environments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), 485-494.
- Nirola, R., Megharaj, M., Palanisami, T., Aryal, R., Venkateswarlu, K., & Naidu, R. (2015). "Evaluation of metal uptake factors of native trees colonizing an abandoned copper mine—a quest for phytostabilization." *Journal of Sustainable Mining*, 14(3), 115-123. DOI: 10.1016/j.jsm.2015.11.001
- Nordberg, G. F., Fowler, B. A., Nordberg, M., & Friberg, L. (2005). Handbook on the Toxicology of Metals, European Environment Agency, Copenhagen
- Odukoya, A. M., Olobaniyi, S. B., & Oluseyi, T. O. (2018). Assessment of potentially toxic elements pollution and human health risk in soil of Ilesha gold mining site, southwest Nigeria. *Journal of the Geological Society of India*, 91(6), 743-748.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M. & Pehlivan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri Dergisi*, 17,14-26.
- Ozel, H. B., Abo Aisha, A. E. S., Cetin, M. Sevik, H., Zeren Cetin, I. (2021a). The effects of increased exposure time to UV-B radiation on germination and seedling development of Anatolian black pine seeds. *Environ Monit Assess* 193, 388. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09178-9>
- Ozel, H. B., Cetin, M., Sevik, H., Varol, T., Isik, B., Yaman, B. (2021b). The effects of base station as an electromagnetic radiation source on flower and cone yield and germination percentage in *Pinus brutia* Ten. *Biologia Futura* (2021). <https://doi.org/10.1007/s42977-021-00085-1>
- Ozyurt, G., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2024a). Usability of *Cedrus atlantica* in monitoring changes and reducing airborne palladium pollution. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23(1), 371-378.
- Ozyurt, G., Ozel, H. B., Sevik, H., & Cobanoglu, H. (2024b). Determination of suitable species that can be used in declining niobium pollution in the atmosphere. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23(1), 605-611.
- Özdikmenli, G., Yiğit, N., Özel, H. B., & Şevik, H. (2024). "Altitude-dependent Variations in Some Morphological and Anatomical Features of Anatolian Chestnut. *BioResources*, 19(3), 4635-4651.
- Özel, H. B., Şevik, H., Yıldız, Y., & Çobanoğlu, H. (2024). Effects of Silver Nanoparticles on Germination and Seedling Characteristics of Oriental Beech (*Fagus orientalis*) Seeds. *BioResources*, 19(2). 2135-2148.
- Paktunç, D. 2001. Madencilik ve çevre etkileri. *Mavi Gezegen Popüler Yerbilimi Dergisi*, 4, Ankara.

- Panyala, N. R., Peña-Méndez, E. M., Havel, J. (2008). Silver or silver nanoparticles: a hazardous threat to the environment and human health? *J Appl Biomed* 6(3):117-129.
- Pramanik, P., Goswami, A. J., Ghosh, S., & Kalita, C. (2019). An indigenous strain of potassium-solubilizing bacteria *Bacillus pseudomycooides* enhanced potassium uptake in tea plants by increasing potassium availability in the mica waste-treated soil of North-east India. *Journal of applied microbiology*, 126(1), 215-222.
- Prasad, S., Yadav, K. K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral-Pinto, M. M., Rezania, S., & Alam, J. (2021). Krom kontaminasyonu ve çevre sağlığı üzerindeki etkisi ve iyileştirilmesi: Sürdürülebilir bir yaklaşım. *Çevre Yönetimi Dergisi*, 285 , 112174.
- Prematuri, R., Turjaman, M., Sato, T., & Tawaraya, K. (2020). Chemical characteristic of forest soil and gold mine tailings and their effect to the plant growth of two leguminous trees. *ArticleGet*, 11-20.
- Rahman, S. U., Yasin, G., Nawaz, M. F., Cheng, H., Azhar, M. F., Riaz, L., Javed, A., & Lu, Y. (2022). “Evaluation of heavy metal phytoremediation potential of six tree species of Faisalabad city of Pakistan during summer and winter seasons.” *Journal of environmental management*, 320, 115801. DOI:10.1016/j.jenvman.2022.115801
- Ramírez, M. G. V., Barrantes, J. A. G., Thomas, E., Miranda, L. A. G., Pillaca, M., Peramas, L. D. T., & Tapia, L. R. B. (2020). Heavy metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon. *Catena*, 189, 104454.
- Ribeiro, R., Capela, D., Ferreira, M., Martins, R., Jorge, P., Guimarães, D., & Lima, A. (2021). X-ray fluorescence and laser-induced breakdown spectroscopy analysis of Li-rich minerals in veins from Argemela Tin Mine, central Portugal. *Minerals*, 11(11), 1169.
- Rodríguez-Vila, A., Asensio, V., Forján, R., Covelo, E. F. (2016): Carbon fractionation in a mine soil amended with compost and biochar and vegetated with *Brassica juncea* L. – *Journal of Geochemical Exploration* 169: 137-143.
- Sahin, S., Ozel, H. B., Sevik, H., & Erdem, R. (2025). Monitoring the change of silicon pollution in air and usability of *Tilia tomentosa* in reducing pollution. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 26(01), 2988-2996
- Sako, A., Semdé, S., & Wenmenga, U. (2018). Geochemical evaluation of soil, surface water and groundwater around the Tongon gold mining area, northern Côte d’Ivoire, West Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 145, 297-316.
- Savas, D. S., Sevik, H., Isinkaralar, K., Turkyilmaz, A., & Cetin, M. (2021). “The potential of using *Cedrus atlantica* as a biomonitor in the concentrations of Cr and Mn,” *Environmental Science and Pollution Research* 28, 55446-55453. DOI: 10.1007/s11356-021-14826-1

- Sevik, H., & Elajail, I. S. I. (2022). Çevresel Etkileri Bakımından Bazı Mineral Beton Katkı Maddelerinin Ga, Ag ve B İçeriklerinin Değerlendirilmesi. *Icontech International Journal*, 6(3), 83-93.
- Sevik, H., Cetin, M., & Kapucu, O. (2016). Effect of light on young structures of Turkish fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana*). *Oxidation Communications*, 39(1), 485-492.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Ozel, H. B., & Pinar, B. (2019b). Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (6), 12843-12857.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Yigit, N., & Karakus, O. (2019a). Changes in micromorphological characters of *Platanus orientalis* L. leaves in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (3), 5909-5921.
- Sevik, H., Koç, İ. & Cobanoglu, H. (2024). Determination of Some Exotic Landscape Species As Biomonitors That Can Be Used for Monitoring and Reducing Pd Pollution in the Air. *Water Air Soil Pollut* 235, 615. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07429-2>
- Sevik, H., Koç, İ., & Cobanoglu, H. (2024). Determination of some exotic landscape species as biomonitors that can be used for monitoring and reducing Pd pollution in the air. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(10), 615.
- Sevik, H., Uzun Ozel, H., Yildiz, Y., & Ozel, H. B. (2025). Effects of adding Fe₂O₃ and Fe₃O₄ nanoparticles to soil on germination and seedling characteristics of Oriental beech, *BioResources*, 20(1), 70-82.
- Sharma, A., Kapoor, D., Wang, J., Shahzad, B., Kumar, V., Bali, A. S., ... & Yan, D. (2020). Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: an overview. *Plants*, 9(1), 100.
- Sharma, M., & Kumar, P. (2020). Biochemical alteration of mustard grown under tin contaminated soil. *Plant Archives*, 20(2), 3487-3492.
- Stoeva, N., & Bineva, T. (2003). Oxidative changes and photosynthesis in oat plants grown in As-contaminated soil. *Bulg J Plant Physiol*, 29(1-2), 87-95.
- Sulhan, O. F., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2023). Assessment of Cr and Zn deposition on *Picea pungens* Engelm. in urban air of Ankara, Türkiye. *Environment, development and sustainability*, 25(5), 4365-4384.
- Şevik, H., Yildiz, Y., Ozel, H. B. (2024). Phytoremediation and Long-term Metal Uptake Monitoring of Silver, Selenium, Antimony, and Thallium by Black Pine (*Pinus nigra* Arnold)", *BioResources*, 19(3). 4824-4837.
- Takarina, N. D., Pin, T. G. (2017). "Bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) of heavy metals in mangrove trees of Blanakan fish farm." *Makara Journal of Science*, 77-81. DOI: 10.7454/mss.v21i2.7308

- Tao, S. H., & Bolger, P. M. (1997). Hazard assessment of germanium supplements. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 25(3), 211-219.
- Tekin, O., Cetin, M., Varol, T., Ozel, H. B., Sevik, H., Zeren Cetin, I. (2022). Altitudinal Migration of Species of Fir (*Abies* spp.) in Adaptation to Climate Change. *Water, Air, & Soil* (Water Air Soil Pollut) 233, 385 (2022). DOI: 10.1007/s11270-022-05851-y
- Tripathi, R. D., Srivastava, S., Mishra, S., Singh, N., Tuli, R., Gupta, D. K., & Maathuis, F. J. (2007). Arsenic hazards: strategies for tolerance and remediation by plants. *TRENDS in Biotechnology*, 25(4), 158-165
- URL-1. Leadlab. What Are The 13 Priority Pollutant Metals? <https://leadlab.com/what-are-the-13-priority-pollutant-metals/> Erişim Tarihi; 30/05/2025
- Vallero, D. (2014). Metal and Metalloid Cycles. *Fundamentals of Air Pollution* (Fifth Edition), 531-545. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401733-7.00023-2>
- Varol, T., Canturk, U., Cetin, M., Ozel, H. B., Sevik, H., & Zeren Cetin, I. (2022). Identifying the suitable habitats for Anatolian boxwood (*Buxus sempervirens* L.) for the future regarding the climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(1), 637-647.
- Varol, T., Ozel, H. B., Ertugrul, M., Emir, T., Tunay, M., Cetin, M., & Sevik, H. (2021). Prediction of soil-bearing capacity on forest roads by statistical approaches. *Environmental monitoring and assessment*, 193(8), 527.
- Wang, W., Song, F., Du, C., & Su, Y. (2022). Durable and eco-friendly peroxymonosulfate activation over cobalt/tin oxides-based heterostructures for antibiotics removal: Insight to mechanism, degradation pathway. *Journal of Colloid and Interface Science*, 625, 479-492.
- Wang, Y., Wu, B., Berns, A. E., Xing, Y., Kuhn, A. J., & Amelung, W. (2020). Magnesium isotope fractionation reflects plant response to magnesium deficiency in magnesium uptake and allocation: a greenhouse study with wheat. *Plant and soil*, 455, 93-105.
- Wang, Z., Liu, X., & Qin, H. (2019). "Bioconcentration and translocation of heavy metals in the soil-plants system in Machangqing copper mine, Yunnan Province, China." *Journal of Geochemical Exploration*, 200, 159-166. DOI:10.1016/j.gexplo.2019.02.005
- Weissenstein, K., Sinkala, T. 2011. Soil pollution with heavy metals in mine environments, impact areas of mine dumps particularly of gold-and copper mining industries in Southern Africa. *Arid Ecosystems*, 1(1), 53.
- Xiao, T., Yang, F., Li, S., Zheng, B., & Ning, Z. (2012). "Thallium pollution in China: A geo-environmental perspective," *Science of The Total Environment* 421-422, 51-58. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.008

- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F., & Guo, S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*, 9(2), 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005>
- Yaşar İsmail, T. S., İsmail, M. D., Çobanoğlu, H., Koç, İ., & Sevik, H. (2024). "Monitoring arsenic concentrations in airborne particulates of selected landscape plants and their potential for pollution mitigation." *Forestist*, DOI:10.5152/forestist.2024.24071
- Yayla, E. E., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2022). "Detection of landscape species as a low-cost biomonitoring study: Cr, Mn, and Zn pollution in an urban air quality," *Environmental Monitoring and Assessment* 194(10), Article Number 687. DOI: 10.1007/s10661-022-10356-6
- Yigit, N., Cetin, M., Ozturk, A., Sevik, H., & Cetin, S. (2019). Variation of Stomatal Characteristics in Broad Leaved Species Based on Habitat. *Applied Ecology and Environmental Research* 17 (6):12859-12868.
- Yigit, N., Mutevelli, Z., Sevik, H., Onat, S. M., Ozel, H. B., Cetin, M., Olgun, C. (2021). Identification of Some Fiber Characteristics in *Rosa* sp. and *Nerium oleander* L. Wood Grown under Different Ecological Conditions. *BioResources*, 16(3): 5862-5874. DOI:10.15376/biores.14.3.7015-7024
- Yu, Y. Q., & Yang, J. Y. (2019). Oral bioaccessibility and health risk assessment of vanadium (IV) and vanadium (V) in a vanadium titanomagnetite mining region by a whole digestive system in-vitro method (WDSM). *Chemosphere*, 215, 294-304.
- Yucedag, C., Ozel, H. B., Cetin, M., & Sevik, H. (2019). Variability in morphological traits of seedlings from five *Euonymus japonicus* cultivars. *Environmental monitoring and assessment*, 191(5), 1-4.
- Yüksek, S., Yüksek, H. E. (2022). Doğal Minerallerin Sağlık Açısından Faydaları-Zararları Teşhis ve Tedavideki Önemi. *Health Sciences Student Journal*, 2(3), 63-70.
- Zheng, J., Yang, L., Deng, Y., Zhang, C., Zhang, Y., Xiong, S., ... & Gong, D. (2020). A review of public and environmental consequences of organic germanium. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(13), 1384-1409.