

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

**DEMİR MADENİ İŞLETMESİ ÇEVRESİNDEKİ DOĞAL
ALANLARDA YAYILIŞ GÖSTEREN YEM BİTKİSİ TÜRLERİNİN
AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE
FİTOREMEDİASYON KAPASİTELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ: BİNGÖL-AVNİK ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇAĞRI ŞAHİN

TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Hava Şeyma İNCİ**

BİNGÖL-2025

**DEMİR MADENİ İŞLETMESİ ÇEVRESİNDEKİ DOĞAL ALANLARDA
YAYILIŞ GÖSTEREN YEM BİTKİSİ TÜRLERİNİN AĞIR METAL
İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE FİTOREMEDİASYON
KAPASİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: BİNGÖL-AVNİK ÖRNEĞİ**

Dr. Öğr. Üyesi Hava Şeyma İNCİ danışmanlığında, Çağrı ŞAHİN tarafından hazırlanan bu çalışma 26/08/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarla Bitkileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Erdal ÇAÇAN *İmza* :

Üye (Danışman): Dr. Öğr. Üyesi Hava Şeyma İNCİ *İmza* :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Rıdvan UÇAR *İmza* :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince emekleri ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikimlerini paylaşarak yanımda olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hava Şeyma İNCİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince yanımda olarak desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hakan İNCİ' ye ve bitki türlerine ait teşhisleri yaparak arazi çalışmalarımdayan yanımda olan Dr. Öğr. Üyesi Mihriban AHISKALI hocama teşekkür ederim. Her türlü yardımı ve desteği sağlayarak yanımda olan ekip arkadaşım Ziraat Yüksek Mühendisi Hazel GÖKDERE'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Katkı ve desteklerinden dolayı başta Prof. Dr. Erdal ÇAÇAN hocam olmak üzere Dr. Öğr. Üyesi Rıdvan UÇAR ve Dr. Öğr. Üyesi Selim ÖZDEMİR hocalarıma teşekkür ederim.

Anne, babama ve sevgili eşime bu süreçte yanımda oldukları için teşekkürlerimi sunarım.

Çağrı ŞAHİN

Bingöl, 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Fitoremediasyon, Hiperakümülatör Bitkiler ve İncelenen Elementler.....	3
2.2. Türlerin Element İçerikleri ve Fitoremediasyon Kapasiteleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	8
2.3. Bitkilerde ve Topraklarda İzin Verilen Metal Sınır Değerleri	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Çalışma Alanı	15
3.2. Bingöl İline Ait 2024 Yılı İklim Verileri	18
3.3. Toprak Özellikleri	18
3.4. İncelenen Bitki Türleri	19
3.5. Bitki ve Toprak Analizleri.....	26
3.5.1. Element Konsantrasyonlarının Belirlenmesi (Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn).....	26
3.5.2. Translokasyon Faktörünün Hesaplanması (Tf)	27
3.5.3. Biyokonsantrasyon Faktörünün (BCF) Hesaplanması	27
3.6. İstatistiksel Analiz	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Element Konsantrasyonları Kapsamında Türlerin Değerlendirilmesi	29
4.1.1. Türlerin Al Konsantrasyonu	29

4.1.2. Türlerin Co Konsantrasyonu	34
4.1.3. Türlerin Cr Konsantrasyonu	39
4.1.4. Türlerin Cu Konsantrasyonu	43
4.1.5. Türlerin Fe Konsantrasyonu	48
4.1.6. Türlerin Mn Konsantrasyonu	53
4.1.7. Türlerin Ni Konsantrasyonu	58
4.1.8. Türlerin Zn Konsantrasyonu	63
4.2. Türlerin Fitoremediasyon Kapasitelerinin Değerlendirilmesi	68
4.2.1. <i>Lathyrus sphaericus</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri.....	68
4.2.2. <i>Trifolium campestre</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri.....	69
4.2.3. <i>Trifolium nigrescens</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri	70
4.2.4. <i>Trifolium arvense</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri.....	71
4.2.5. <i>Vicia cracca</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri	72
4.2.6. <i>Lotus gebelia</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri.....	72
4.2.7. <i>Poa bulbosa</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri	73
4.2.8. <i>Bromus tectorum</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri.....	74
4.2.9. <i>Aegilops neglecta</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri.....	75
4.2.10. <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri	76
4.2.11. <i>Stipa capensis</i> Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri	77
4.3. Translokasyon Faktör (TF) Değerlerinin İncelenen Elementler için Grafıksel Gösterimi	78
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

As	: Arsenik
Mg	: Magnezyum
Co	: Kobalt
Ca	: Kalsiyum
Cr	: Krom
Fe	: Demir
Ni	: Nikel
Cu	: Bakır
TF	: Translokasyon Faktörü
Pb	: Kurşun
Cd	: Kadmiyum
Se	: Selenyum
Zn	: Çinko
BCF	: Biyokonsantrasyon Faktörü
Mn	: Manganez
da	: Dekar
ha	: Hektar
Mo	: Molibden
kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
Al	: Alüminyum
HNO ₃	: Nitrik Asit
cm	: Santimetre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Çalışma alanının koordinatları ile oluşturulan harita.....	15
Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresine ait genel görüntü	16
Şekil 3.3. Avnik demir işletmesine ait görüntü (Anonim, 2023a)	16
Şekil 3.4. Bingöl İli Maden Haritası (MTA) (Anonim, 2023b).....	17
Şekil 3.5. Çalışmanın yapıldığı Bingöl iline ait 2024 yılı sıcaklık ve yağış verileri	18
Şekil 3.6. Baklagil (Fabaceae) familyasına ait türler.....	23
Şekil 3.7. Buğdaygil (Poaceae) familyasına ait türlerin görselleri	24
Şekil 3.8. Gülgiller (Rosaceae) familyasına ait Sanguisorba minör L. türünün görüntüsü	25
Şekil 3.9. Bitki örneklemesinde saha görüntüleri	25
Şekil 3.10. Bitki örneklerinin analiz aşamalarına ait görüntüler	27
Şekil 4.1. Türlerin köklerindeki Al konsantrasyonu.....	31
Şekil 4.2. Türlerin gövdelerindeki Al konsantrasyonu	31
Şekil 4.3. Türlerin yapraklarındaki Al konsantrasyonuna ait grafik.....	32
Şekil 4.4. Türlerin generatif kısımlarındaki Al konsantrasyonuna ait grafik	32
Şekil 4.5. Türlerin köklerindeki Co konsantrasyonu	36
Şekil 4.6. Türlerin gövdelerindeki Co konsantrasyonu	36
Şekil 4.7. Türlerin yapraklarındaki Co konsantrasyonu	37
Şekil 4.8. Türlerin generatif kısımlarındaki Co konsantrasyonu	37
Şekil 4.9. Türlerin köklerindeki Cr konsantrasyonu.....	41
Şekil 4.10. Türlerin gövdelerindeki Cr konsantrasyonu	41
Şekil 4.11. Türlerin yapraklarındaki Cr konsantrasyonu.....	42
Şekil 4.12. Türlerin generatif kısımlarındaki Cr konsantrasyonuna ait grafik	42
Şekil 4.13. Türlerin köklerindeki Cu konsantrasyonu	45
Şekil 4.14. Türlerin gövdelerindeki Cu konsantrasyonu	46
Şekil 4.15. Türlerin yapraklarındaki Cu konsantrasyonu	46
Şekil 4.16. Türlerin generatif kısımlarındaki Cu konsantrasyonuna ait grafik.....	47
Şekil 4.17. Türlerin köklerindeki Fe konsantrasyonu.....	50
Şekil 4.18. Türlerin gövdelerindeki Fe konsantrasyonu	50
Şekil 4.19. Türlerin yapraklarındaki Fe konsantrasyonu.....	51
Şekil 4.20. Türlerin generatif kısımlarındaki Fe konsantrasyonu.....	51
Şekil 4.21. Türlerin köklerindeki Mn konsantrasyonu	55

Şekil 4.22. Türlerin gövdelerindeki Mn konsantrasyonu	55
Şekil 4.23. Türlerin yapraklarındaki Mn konsantrasyonu	56
Şekil 4.24. Türlerin generatif kısımlarındaki Mn konsantrasyonu	56
Şekil 4.25. Türlerin köklerindeki Ni konsantrasyonu.....	60
Şekil 4.26. Türlerin gövdelerindeki Ni konsantrasyonu	60
Şekil 4.27. Türlerin yapraklarındaki Ni konsantrasyonu.....	61
Şekil 4.28. Türlerin generatif kısımlarındaki Ni konsantrasyonu.....	61
Şekil 4.29. Türlerin köklerindeki Zn konsantrasyonu	65
Şekil 4.30. Türlerin gövdelerindeki Zn konsantrasyonu.....	65
Şekil 4.31. Türlerin yapraklarındaki Zn konsantrasyonu	66
Şekil 4.32. Türlerin generatif kısımlarındaki Zn konsantrasyonu	66
Şekil 4.33. Türlerin organlarındaki Al konsantrasyonlarına ait grafik	79
Şekil 4.34. Türlerin organlarındaki Co konsantrasyonlarına ait grafik	79
Şekil 4.35. Türlerin organlarındaki Cr konsantrasyonlarına ait grafik	80
Şekil 4.36. Türlerin organlarındaki Cu konsantrasyonlarına ait grafik	81
Şekil 4.37. Türlerin organlarındaki Fe konsantrasyonları	811
Şekil 4.38. Türlerin organlarındaki Mn konsantrasyonlarına ait grafik.....	822
Şekil 4.39. Türlerin organlarındaki Ni konsantrasyonları	833
Şekil 4.40. Türlerin organlarındaki Zn konsantrasyonları.....	833

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. WHO tarafından belirlenen Bitkilerde ve topraklarda izin verilen toksik metal sınır değerleri (WHO/FAO, 2007; Sönmez ve Kılıç, 2021).	14
Tablo 3.1. Çalışma alanından örneklenen topraklara ait bazı özellikler	19
Tablo 3.2. Teşhis edilen bitki türlerinin listesi	20
Tablo 4.1. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Al konsantrasyonuna ait varyans analizi	29
Tablo 4.2. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Al konsantrasyonuna ait ortalamalar	30
Tablo 4.3. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Co konsantrasyonuna ait varyans analizi	34
Tablo 4.4. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Co konsantrasyonuna ait ortalamalar	35
Tablo 4.5. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cr konsantrasyonuna ait varyans analizi	39
Tablo 4.6. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cr konsantrasyonuna ait ortalamalar	40
Tablo 4.7. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cu konsantrasyonuna ait varyans analizi	44
Tablo 4.8. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cu konsantrasyonuna ait ortalamalar	44
Tablo 4.9. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Fe konsantrasyonuna ait varyans analizi	48
Tablo 4.10. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Fe konsantrasyonuna ait ortalamalar	49
Tablo 4.11. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Mn konsantrasyonuna ait varyans analizi	53
Tablo 4.12. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Mn konsantrasyonuna ait ortalamalar	54
Tablo 4.13. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Ni konsantrasyonuna ait varyans analizi	58

Tablo 4.14. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Ni konsantrasyonuna ait ortalamalar	59
Tablo 4.15. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Zn konsantrasyonuna ait varyans analizi	63
Tablo 4.16. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Zn konsantrasyonuna ait ortalamalar	64
Tablo 4.17. <i>Lathyrus sphaericus</i> bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri.....	69
Tablo 4.18. <i>Trifolium campestre</i> bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri.....	70
Tablo 4.19. <i>Trifolium nigrescens</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri	70
Tablo 4.20. <i>Trifolium arvense</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri.....	71
Tablo 4.21. <i>Vicia cracca</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri.....	72
Tablo 4.22. <i>Lotus gebelia</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri	73
Tablo 4.23. <i>Poa bulbosa</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri	74
Tablo 4.24. <i>Bromus tectorum</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri	74
Tablo 4.25. <i>Aegilops neglecta</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri.....	75
Tablo 4.26. <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri	76
Tablo 4.27. <i>Stipa capensis</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri	77
Tablo 4.28. <i>Sanguisorba minor</i> bitkisine ait TF ve BCF değerleri	78

DEMİR MADENİ İŞLETMESİ ÇEVRESİNDEKİ DOĞAL ALANLARDA YAYILIŞ GÖSTEREN YEM BİTKİSİ TÜRLERİNİN AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE FİTOREMEDİASYON KAPASİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: BİNGÖL-AVNİK ÖRNEĞİ

ÖZET

Madenler ekonomik değeri yüksek, yenilenemeyen kaynaklar olmalarından dolayı ülke ekonomisi için oluştukları yerlerden çıkarılmak zorundadır. Ülke ekonomisi açısından büyük önem arz eden maden işletmelerinin çevre üzerindeki etkileri büyük önem taşımaktadır. Maden sahalarındaki doğal bitki türlerinin taranması, fitoremediasyon yaklaşımları için uygun bitkilerin belirlenmesini sağlayabilme gibi avantajlar taşımaktadır.

Bu çalışmada Bingöl ili, Genç ilçesinde bulunan 15 yıldır işletilen Avnik demir madeninin çevresindeki doğal alanlarda yayılış gösteren yem bitkisi türlerinin ağır metal içeriklerinin araştırılması ve fitoremediasyon kapasitelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda sahadan altı baklagil, beş buğdaygil ve bir gülgiller familyasına ait (*Lathyrus sphaericus* Retz., *Trifolium campestre* Schreb., *Trifolium nigrescens* Viv., *Trifolium arvense* L., *Vicia cracca* L., *Lotus gebelia* Vent., *Poa bulbosa* L., *Bromus tectorum* L., *Aegilops neglecta* Req. Ex Bertol., *Calamagrostis pseudophragmites* (Haller) Koeler, *Stipa capensis* Thunb. *Sanguisorba minör* L.) 12 farklı tür toplanmıştır. Bitkilerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarında Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn içerikleri belirlenmiştir. Fitoremediasyon kapasitelerinin araştırılması için Translokasyon Faktörü (TF) değeri ve Biyokonsantrasyon faktörü (BCF) değerleri hesaplanmıştır. *L. sphaericus* ve *V. cracca*'da $TF_{Cr, Fe, Mn, Ni, Zn} > 1$, *T. nigrescens*'te $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni} > 1$, *L. gebelia*'da $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Mn} > 1$, *P. bulbosa* ve *S. capensis*'te $TF_{Cu} > 1$, *B. tectorum*'da $TF_{Cr, Mn, Ni} > 1$, *A. neglecta* ve *C. pseudophragmites*'te $TF_{Mn} > 1$ ve *S. minor*'da $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn} > 1$ olarak belirlendiği için bu türlerin fitoekstraksiyon potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Özellikle Cr elementi için $BCF_{kök}$ değerleri *T. campestre* (38,91), *P. bulbosa* (17,80), *A. neglecta* (22,9) ve *S. capensis* (21,30) türlerinde oldukça yüksek çıkarak bu türlerin Cr için fitostabilizasyonda kullanılma durumlarını güçlendirmektedir.

Maden sahasından toplanan bu türlerden bazılarının fitoremediasyon için umut verici olduğu düşünülmele birlikte saksı denemelerinde tek element toksitesi ile yapılacak çalışmalar türlerin fitoekstraktör ya da fitostabilizatör olmaları konusunda daha net bilgiler sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Fitoremediasyon, Ağır metal, Maden, Yem bitkileri.

INVESTIGATION OF THE HEAVY METAL CONTENTS OF FORAGE PLANT SPECIES DISTRIBUTED IN NATURAL AREAS AROUND THE IRON ORE MINE AND EVALUATION OF THEIR PHYTOREMEDIATION CAPACITIES: THE EXAMPLE OF BİNGÖL-AVNİK

ABSTRACT

Since mines are non-renewable resources with high economic value, they must be extracted from the places where they occur for the country's economy. The effects of mining facilities, which are of great importance for the country's economy, on the environment are of great importance. Screening of natural plant species in mining sites has advantages such as determining suitable plants for phytoremediation approaches.

In this study, it was aimed to investigate the heavy metal contents of forage plant species spreading in the natural areas around the Avnik iron mine, which has been operated for 15 years in Genç district of Bingöl province, and to evaluate their phytoremediation capacities. In this direction, six legume, five gramineae and one rosaceae family ((*Lathyrus sphaericus* Retz., *Trifolium campestre* Schreb., *Trifolium nigrescens* Viv., *Trifolium arvense* L., *Vicia cracca* L., *Lotus gebelia* Vent., *Poa bulbosa* L., *Bromus tectorum* L., *Aegilops neglecta* Req. Ex Bertol., *Calamagrostis pseudophragmites* (Haller) Koeler, *Stipa capensis* Thunb. *Sanguisorba minor* L.)) were collected from the field 12 different species were collected. Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn contents were determined in roots, stems, leaves and generative parts of the plants. Translocation Factor (TF) and Bioconcentration Factor (BCF) values were calculated to investigate their phytoremediation capacity. $TF_{Cr, Fe, Mn, Ni, Zn} > 1$ in *L. sphaericus* and *V. cracca*, $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni} > 1$ in *T. nigrescens*, $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Mn} > 1$ in *L. gebelia*, $TF_{Cu} > 1$ in *P. bulbosa* and *S. capensis*, $TF_{Cr, Mn, Ni} > 1$ in *B. tectorum*, $TF_{Cr, Mn, Ni} > 1$ in *A. neglecta* and *C. pseudophragmites* as $TF_{Mn} > 1$, and $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn} > 1$ in *S. minor*, these species are considered to have phytoextraction potential. In particular, BCF_{root} values for Cr were quite high in *T. campestre* (38.91), *P. bulbosa* (17.80), *A. neglecta* (22.9) and *S. capensis* (21.30), strengthening the case for these species to be used in phytostabilization for Cr.

Although some of these species collected from the mine site are thought to be promising for phytoremediation, further studies with single element toxicity in pot trials will provide clearer information on whether the species are phytoextractors or phytostabilizers.

Keywords: Phytoremediation, Heavy metal, Mine, Forage plant.

1. GİRİŞ

Bugün yeryüzünün, doğanın, dünyanın ve tüm insanlığın pasif ya da aktif şekilde mücadele ettiği en önemli konulardan biri şüphesiz kirliliktir. Çevre sorunları, sağlık sorunları ve diğer birçok sorunun altında yatan temel neden olarak kirlilik görülmektedir. Kirlilik türleri içerisinde besin zincirine dahil olarak insanları tehdit edebilen ağır metal kirliliği ise en ön sıralarda yer almaktadır.

Ağır metaller belirli çevre koşullarında toksik konsantrasyonlara ulaşarak ekolojik zarara neden olan elementlerdir. Ağır metallerin doğadaki varlığı doğal sebeplerden kaynaklanabileceği gibi endüstriyel faaliyetlerden de kaynaklanabilmektedir (Akyol ve Kuzu, 2017).

“Ağır metal” terimi (Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Cd, Zn gibi; Ghorı vd. 2019), genel olarak, 5 g cm⁻³’ten daha fazla özgül ağırlığa sahip metaller için kullanılmaktadır (Sharma ve Agrawal, 2005). Sağlığı tehdit eden toksik metallerin bitkiler tarafından alımı ve birikimi, insanlara ve hayvansal besinlerine potansiyel giriş yolu olmaktadır. Son 200 yılda, toksik ağır metallerin emisyonları muazzam bir şekilde artmıştır (Clemens, 2006).

Ağır metal kirliliği, çoğunlukla fosil yakıtların yakılması, belediye atıkları, kanalizasyon, tarım ilaçları, madencilik ve maden eritme işlemlerinden kaynaklanmaktadır (Naila vd. 2019). Çevredeki yüksek mevcudiyetleri, yine maden faaliyetleri ve belediye atıkları, boya, pil, metal hurdaları, motor yağı, pestisit-herbisitlerin ve gübrelerin uygulanması dahil olmak üzere antropojenik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Awokunmi, 2010).

Günümüzde modern ve gelişmiş ülke standartlarına ulaşabilmek için maden endüstrisinin önemi gittikçe önem kazanmaktadır. Geçmişi çok eski yıllara dayanan madencilik faaliyetleri günümüzde de en büyük endüstri kollarından biri halindedir. Ancak madenin işletilmesi sırasında izlenen yöntem ne olursa olsun uzun süreli ve geri dönülemez çevre kirliliklerine neden olabilme ihtimali vardır (Cheng vd. 2018). Madencilik faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan pasa toprakları da belirli alanlara biriktirilerek orada toprak ve

yeraltı sularının kirlenmesine sebebiyet verebilecek ağır metal yüklü atık alanlarının oluşmasına neden olabilmektedir (Fashola vd. 2016).

Madencilik ve metal öğütme faaliyetleri toprak, su ve havadaki ağır metal kirliliğinin başlıca kaynakları arasında görülmektedir (Chamba-Eras vd. 2022). Toprağın iyileştirilmesine yönelik fiziksel yöntemler arasında toprak değişimi, termal desorpsiyon, membran filtrasyonu ve iyon değişimi yer alırken, kimyasal yöntemler arasında kimyasal çökeltme, kimyasal süzdürme, kimyasal fiksasyon ve immobilizasyon yer almaktadır (Rama vd. 2021). Ancak hem fiziksel hem de kimyasal yöntemler genellikle maliyetlidir, toprakta geri dönüşü olmayan değişikliklere neden olmakta ve ikincil kirlenmeye yol açmaktadır (Salas-Moreno ve Marrugo-Negrete, 2020; Chamba-Eras vd. 2022).

Madenler ekonomik değeri yüksek, yenilenemeyen kaynaklar olmalarından dolayı ülke ekonomisi için oluştukları yerlerden çıkarılmak zorundadır (Eraslan, 2014). Ülke ekonomisi açısından büyük önem arz eden maden işletmelerinin kapatılması yerine, bu faaliyetlerin orman ve çevre üzerindeki etkilerini minimum düzeyde tutacak yöntem ve teknikleri geliştirmek ve uygulamak gerekmektedir (Uzun ve Bollukcu, 2009).

Fitoremediasyon, çevredeki ağır metallerin toksik etkilerini azaltmak için bitkileri kullanan bir biyoremediasyon türüdür (Ashraf vd. 2019). Yüksek metal konsantrasyonlarında yetiştikleri halde strese dayalı herhangi bir toksisite semptomu göstermeyen hiperakümülatör bitkiler olarak adlandırılan bitkiler, ağır metalleri köklerinden daha çok sürgünlerinde biriktirmektedirler. Toprak üstü organlarında 10000 mg kg^{-1} 'den fazla Mn ve Zn, 1000 mg kg^{-1} 'den fazla As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se veya 100 mg kg^{-1} Cd konsantrasyonundan daha fazlasını biriktirebilen bitkiler metal hiperakümülatörü olarak sınıflandırılmaktadır (Sytar vd. 2021).

Maden sahalarındaki doğal bitki türlerinin taranması, fitoremediasyon yaklaşımları için uygun bitkilerin belirlenmesini sağlayabilir.

Bu çalışmada Bingöl ili, Genç ilçesinde bulunan 15 yıldır işletilen Avnik demir madeninin çevresindeki doğal alanlarda yayılış gösteren yem bitkisi türlerinin ağır metal içeriklerinin araştırılması ve fitoremediasyon kapasitelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Fitoremediasyon, Hiperakümülatör Bitkiler ve İncelenen Elementler

Ağır metallerle kirlenmiş topraklara uygulanabilen fitoremediasyon teknolojileri arasında en yaygın kullanılanlardan ikisi fitoekstraksiyon ve fitostabilizasyondur. Fitoekstraksiyon, metalleri yeraltında tutan fitostabilizasyonun aksine, ağır metallerin uzaklaştırılması için kalıcı bir çözüm olarak kabul edilmektedir (Yan vd. 2020).

Fitostabilizasyon yöntemi, metallerin köklerin yüzeyine yapışması, köklerde akümüle olması ve kirleticilerin hareketsizleştirilmesi şeklinde meydana gelmektedir. Bu teknolojiye bitki rizosfer bölgesindeki mikrobiyal aktivite ile bitki, kirletici faktörünün yapısını suda çözünemeyen ya da taşınamayan forma dönüştürebilmektedir (Çarşambalı, 2020).

Fitoekstraksiyonda ise yüksek toprak üstü biyokütle üretimi, yüksek tolerans ve metalleri ekstrakte etme, transfer etme ve biriktirme yeteneği çok önemlidir. Bu bağlamda, hiperakümülatör bitkiler olarak bilinen yüksek biyokütle üretimine sahip akümülatör bitkiler, fitoremediasyon için en uygun olanlardır. Hiperakümülatör bitkiler, bazı durumlarda düşük üretkenliğe sahip olabilmelerine rağmen, fitotoksisite belirtileri göstermeden toprak üstü biyokütlelerinde biriken metallerin veya metaloidlerin normal konsantrasyonlarını 100 kat veya daha fazla aşabilirler (Baker, 1981; Chamba-Eras vd. 2022).

Fitoekstraksiyon potansiyeli, biyokonsantrasyon faktörü (biyoakümülasyon faktörü veya biyolojik absorpsiyon katsayısı olarak da bilinir) ve translokasyon faktörünün hesaplanmasıyla tahmin edilebilir. Biyokonsantrasyon faktörü (BCF), hasat edilen bitki dokusundaki bir elementin toplam konsantrasyonunun bitkinin yetiştiği topraktaki konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanır ve translokasyon faktörü (TF), bitkinin toprak üstü kısımlarındaki bir elementin toplam konsantrasyonunun köklerdeki konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanır (Favas vd. 2014).

BCF ve TF, bitkinin fitoremediasyon potansiyelinin tahmini için kullanılırlar, $TF > 1$ ise bitki metali kökten gövdeye iletmiştir. $BCF > 10$ ise bitki hiperakümülatör, $BCF > 1$ ise bitki akümülatör, $BCF < 1$ ise bitki ekskluder demektir (Sevencan, 2022). BCF, bitkilerde metal birikim etkinliğinin değerlendirilmesi için ve TF ise bitkinin köklerinden üst organlarına metallerin yerini değiştirme kapasitesini değerlendirmek için kullanılır (Sürmen vd. 2019).

BCF, TF değerleri 1 sınır değerinden yüksek bulunan bitkiler “fitoekstraktör (akümülatör veya hiperakümülatör) olarak, TF değerleri sınır değerinin altında, BCF değeri 1 sınır değeri üzerinde olan bitkiler “fitostabilizatör” olarak sınıflandırılmıştır (Yang vd. 2014).

Ortakçı (2020) tarafından “Fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür” ve “fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür” terimleri türetilmiştir. Buna göre; TF değerleri sınır değerinin üzerinde olan ve BCF değerleri sınır değere yakın olan ve özellikle toprak üstü metal konsantrasyonları köklerden yüksek olan türler “fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür”, TF değerleri 1’den düşük ve köklerinde diğer organlara göre daha iyi birikim gözlenen türler “fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür” olarak tanımlanmıştır.

Alüminyum, özellikle Al^{+3} ’ün en fitotoksik formunun yaygın olduğu 5 veya 5.5 gibi düşük pH değerlerine sahip asidik topraklarda bitkilerin büyümesini engelleyici bir element olarak bilinmektedir (Liu vd. 2014). pH değeri 5.5’in altında olan topraklarda $2-3 \mu g g^{-1}$ alüminyum eşiğinin çoğu bitki için tehlikeli olduğu düşünülmektedir (Påhlsson, 1990). Bitkilerde alüminyum için hala bilinen veya kanıtlanmış bir biyolojik rol olmamasına rağmen, bazı çalışmalar düşük konsantrasyonlarda alüminyumun bitki büyümesinin uyarılmasına yol açabileceğini göstermektedir (Kidd ve Proctor, 2000). Toksisitesinin birincil hedefi, Al birikiminin dakikalar veya saatler içinde kök büyümesinin engellenmesine neden olduğu bitkilerin kökleridir (Ma vd. 2001). Emamverdian vd. (2015) Al toksisitesinin, özellikle ilk kök hasarının bir sonucu olarak bitkilerin toprak üstü kısımlarını olumsuz etkilediğini, bunun sebebinin köklerin besin alım kabiliyetini engelleyerek besin eksikliğine neden olduğunu ancak belirtilerin köklerde gözlenenler kadar belirgin olmadığını ifade etmişlerdir. Stoma açıklığındaki azalma ve fotosentetik aktivitedeki azalmanın da Al toksisitesinden kaynaklandığı bildirilmektedir (Vardar ve Ünal, 2007). Bhalerao ve Prabhu (2013), mısır (*Zea mays* L.) ve sorgum (*Sorghum bicolor*

(L.) Moench) gibi bitkilerde Al toksisitesinin P, K, Ca ve Mg gibi bazı ana besin maddelerinin emiliminde ve taşınmasında bozulmaya yol açabileceğini bildirmiştir. Alüminyum toksisitesi köklerde şiddetli olup nekroza ve kök büyümesinin azalmasına neden olmakta, bu etkiler su ve besin alımını azaltarak fotosentezi ve sürgün büyümesini azaltmaktadır (Rahman ve Upadhyaya 2021).

Bitki yaşamı üzerindeki faydalı etkilerinin yanı sıra kobaltın (Co) bazı olumsuz etkileri de vardır. Daha yüksek seviyelerde kobaltın nodül oluşumunu azalttığı ve bunun da gelişme ve ürün veriminin azalmasına yol açtığı bilinmektedir. Daha yüksek Co seviyeleri ayrıca kloroz ve nekroza ve kök oluşumunun inhibisyonuna yol açarak besin taşınmasını ve su alımını engellemektedir. Kobaltın toksisitesi kalsiyum, fosfor ve bazı bitki büyüme düzenleyicilerinin ekzojen uygulamalarıyla hafifletilebilmektedir (Akeel ve Jahan, 2020).

Demir (Fe) bitkiler için temel bir besin maddesidir; ancak bu element aşırı konsantrasyonlarda toksisiteye neden olabilir. Bitkiler için Fe toksisitesi büyümeyi (Pandey ve Verma, 2019) ve fotosentezi (Xu vd. 2015) azaltabilir ve oksidatif strese neden olabilir (Lapaz vd. 2022). Demir, elektron zincirlerinin merkezi bir bileşeni ve birçok hayati enzimin ko-faktörüdür. Sadece birkaç bakteri demiri diğer metallerle değiştirebilir, bu da onu neredeyse tüm yaşam formları için gerekli bir element haline getirir. Bitkilerde demir, fotosentez ve klorofil sentezi için de gereklidir. Topraktaki demirin mevcudiyeti, doğal ekosistemlerdeki bitki türlerinin dağılımını belirler ve bitkilerin verimini ve besin kalitesini sınırlar. Gıda ürünlerindeki yeterli demir seviyeleri, dünya çapındaki en büyük beslenme bozukluklarından biri olan demir eksikliğine bağlı anemi ile mücadele için kritik öneme sahiptir. Ancak çok fazla demir hücreler için toksiktir. Bu nedenle, bitkilerin topraktaki demirin genellikle kısıtlı olan mevcudiyetinin üstesinden, hareketliliğini artıran ve fazla olduğunda alımını kısıtlayan stratejilerle gelmesi zorunludur (Schmidt vd. 2020). Ayrıca demir madeni atıkları Al, As, Ba, Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V ve Zn gibi potansiyel toksik elementler içerdiğinden önemli toksisite gösterebilmektedirler (Carmo vd. 2017).

Krom (Cr) Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'na göre 1. sınıf kanserojen olarak sınıflandırılmıştır (IARC,1987). Yüksek çözünürlüğü nedeniyle Cr (VI), yeraltı sularını kirleten ve besin zinciri yoluyla aktarılabilen tehlikeli bir iyon olarak kabul edilmektedir.

Krom toksisitesinin bitki büyümesini etkilediği ve ana metabolik süreçleri engellediği bildirilmektedir (Shanker vd. 2009). Krom fazlalığı, hücre zarı ve kloroplastta ultra yapısal değişikliklere, yapraklarda kloroz oluşmasına, kök hücrelerinin hasar görmesine, su ilişkisi ve mineral beslenmede bozulmaya, enzimatik aktiviteleri değiştirerek terlemeyi etkilemeye ve bitki büyümesinin gerilemesine sebep olmaktadır (Sharma vd. 2020). Diğer ağır metallerle karşılaştırıldığında, kromun bitki köklerindeki hareketliliği düşüktür. Bu nedenle, köklerdeki Cr konsantrasyonu bazen sürgünlerdekinden 100 kat daha yüksektir (Gupta ve Sinha, 2006). Genellikle kromun köklerden sürgünlere translokasyonu sınırlıdır ve doku içindeki kromun kimyasal formuna bağlıdır (Shahid vd. 2017). Bitki dokularında Cr (VI), hücre duvarlarına bağlanma eğiliminde olan Cr (III)'e dönüştürülür ve bu da kromun bitki dokuları içinde daha fazla taşınmasını engeller (Kabata-Pendias ve Szteke, 2015).

Bakır (Cu), mitokondri, kloroplast ve hücre sitoplazmasında redoks reaksiyonunun katalizörü olarak (Fargasova, 2004) veya bitki solunumu sırasında elektron taşıyıcısı olarak (Yruela, 2009), bitkilerin birçok hayati fizyolojik işlevine katılan önemli bir mikro besindir. Ancak bitkilerin dokularındaki Cu konsantrasyonu optimum seviyelerin üzerine çıktığında toksik hale gelmektedir (Lombardi ve Sebastiani, 2005). Topraktaki bakır konsantrasyonu tipik olarak 2- 250 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasındadır ve sağlıklı bitkiler 20-30 $\mu\text{g g}^{-1}$ absorbe edebilirler (Azooz vd. 2012). Ancak bakır kullanılabilirliği büyük ölçüde toprak pH'ına bağlıdır ve fito kullanılabilirliği pH düştükçe artar (Sheldon ve Menzies, 2005). Buna ek olarak, bakırın bitkiler tarafından alımı ve toksisitesi bitkinin beslenme durumuna, topraktaki Cu^{+2} konsantrasyonuna, maruz kalma süresine ve bir türün genotipine bağlıdır (Nicholls ve Mal, 2003). Emamverdian vd. (2015) rodos otunda (*Chloris gayana* Knuth), karanfilde (*Syzygium aromaticum* L.), salatalıkta (*Cucumis sativus*) ve bazı okaliptüs türlerinde yapılan çok sayıda araştırmada, bakırın kök dokularında birikme eğiliminde olduğunu ve sürgünlere doğru çok az yukarı doğru hareket ettiğini bildirmişlerdir. Bu nedenle, ilk semptomlar kökte görülse de sonraki semptomlar arasında kloroz, nekroz ve yaprak renk değişikliği yer almaktadır (Yruela, 2009).

Emamverdian vd. (2015) manganın, fotosentez, solunum ve bazı enzimlerin biyosentezi dahil olmak üzere bitkilerde birçok metabolik ve büyüme sürecinde önemli bir rol oynayan temel bir mikro besin olduğunu, ayrıca manganın karbonhidrat ve azot metabolizmasında,

yağ asidi ve karotenoid sentezinde ve hormonal aktivasyonda rol oynadığını bildirmişlerdir. Toprak ortamında Mn^{+2} manganın en kararlı ve çözünebilir formudur, bununla birlikte, düşük toprak pH'sı, daha az toprak organik maddesi ve azalan redoks potansiyeli, Mn^{+2} 'nin bitkiler için kullanılabilirliğini veya toksisitesini artırır (Reichman, 2002). Belirtiler arasında buruşuk yapraklar, yaşlı yapraklarda yaprak damarlarının koyulaşması, yaşlı yapraklarda kloroz ve kahverengi lekeler ve gövdelerde siyah lekeler yer alabildiği bildirilmiştir (Emamverdian vd. 2015).

Nikel (Ni), çevre ve insan sağlığı için büyük endişe kaynağı olan 23 metal kirleticiden biridir. Topraklar $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ kadar düşük veya 450 mg kg^{-1} kadar yüksek nikel seviyeleri içerebilmektedir. Topraktaki ortalama Ni içeriği yaklaşık 20 mg kg^{-1} 'dir. Nikel azot asimilasyonunda rol oynayan bazı enzimlerin (örneğin üreaz) temel bir bileşeni olarak işlev görmek ve birkaç bitkide (baklagiller) doğal olarak bulunmaktadır (Ahmad ve Ashraf, 2011). Nikel yüksek konsantrasyonlarda fitotoksiktir. Birçok bitkide Ni, süperoksit dismutaz (SOD), Askorbat peroksitler (APX) ve Katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesinde değişikliğe neden olmaktadır. Bitkilerde nikel toksisitesinin en yaygın belirtileri büyümenin engellenmesi, klorozun başlaması, nekroz ve solmadır. Nikel, bitkilerdeki metabolik reaksiyonları güçlü bir şekilde etkilemekte ve oksidatif strese neden olabilecek Reaktif Oksijen Türleri (ROS'lar) üretme yeteneğine sahip olmaktadır. Yüksek Ni seviyeleri, toleranslı olmayan bitkilerde kök meristeminde hücre bölünmesini engelleyebilir ve bitki büyümesini azaltabilir. Çalışmalar nikelin fotosentez ve solunum üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermiştir. Yüksek Ni alımı, iki çenekli ve tek çenekli bitki türlerinin su içeriğinde bir düşüşe neden olmaktadır (Bhalerao vd. 2015).

Çinko (Zn), karasal ortamlarda toprağın doğal bir bileşenidir ve çok sayıda metabolik yolda zorunlu işlevleri yerine getirdiği için bitki büyümesi için hayati bir elementtir. Bununla birlikte, topraktaki potansiyel olarak zararlı Zn seviyeleri, bitkilerde büyümenin, fotosentez ve solunum hızının azalması, dengesiz mineral beslenmesi ve reaktif oksijen türlerinin üretiminin artması gibi çeşitli değişikliklere neden olabilmektedir. Çinko topraklara kayaların ayrışması, orman yangınları, volkanlar, madencilik ve eritme faaliyetleri, gübre, kanalizasyon çamuru ve fosfatlı gübreler gibi çeşitli kaynaklardan girmektedir. Çevresel açıdan artan alarmin yanı sıra, bitkilerdeki Zn esansiyelliği ve toksisitesi arasındaki dar bir uçuşum bulunmaktadır (Kaur ve Garg, 2021).

2.2. Türlerin Element İçerikleri ve Fitoremediasyon Kapasiteleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Kaliforniya'daki serpantin otlaklarının bazı bölümleri sık sık sincap höyüğü oluşumuna maruz kalmaktadır. Höyük topraklarının bitki büyümesi ve iyon alımı üzerindeki etkilerini karakterize etmek için çalışmalar yapılmıştır. Baskın tek yıllık türlerden *Bromus moil* bitkisinin sürgünleri için farklı toprak tiplerinde ortalama konsantrasyonlar; Zn 36 mg kg⁻¹, Cu 14 mg kg⁻¹, Co 8,13 mg kg⁻¹ ve Ni 5,2 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Koide vd. 1987).

Andersson ve Brunet (1993) *Bromus benekenii*'nin büyümesi üzerinde Al iyonlarının etkilerini araştırmak için bir deney yürütmüşlerdir. Doğal toprak çözeltilerini simüle eden iyon konsantrasyonları ile sürekli akan çözelti kültürleri kullanılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında 370 mg kg⁻¹ Al uygulaması yapmışlar ve bitkinin köklerinde (278 mg kg⁻¹) sürgünlerinden (47 mg kg⁻¹) yaklaşık 6 kat daha fazla Al birikimi ölçmüşlerdir.

Wheeler ve Dodd (1995), 15 farklı *Trifolium* ve 6 farklı *Lotus* türü ile yaptıkları çalışmada Mn, Zn, Fe, Al ve Cu konsantrasyonlarını bitkilerin toprak üstü ve toprakaltı kısımlarında belirlemişlerdir. *Trifolium* türleri için ortalama toprak üstü ve toprakaltı konsantrasyonları; Mn: 61,6 mg kg⁻¹ ve 88,3 mg kg⁻¹, Zn: 102,2 mg kg⁻¹ ve 176,3 mg kg⁻¹, Fe: 133,9 mg kg⁻¹ ve 800,7 mg kg⁻¹, Al: 110,0 mg kg⁻¹ ve 279,1 mg kg⁻¹, Cu: 14,4 mg kg⁻¹ ve 51,5 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir. *Lotus* türleri için ortalama toprak üstü ve toprakaltı konsantrasyonları; Mn: 34,0 mg kg⁻¹ ve 51,3 mg kg⁻¹, Zn: 66,0 mg kg⁻¹ ve 66,2 mg kg⁻¹, Fe: 158,0 mg kg⁻¹ ve 333,3 mg kg⁻¹, Al: 88,00 mg kg⁻¹ ve 202,7 mg kg⁻¹, Cu: 7,7 mg kg⁻¹ ve 9,7 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir.

Bromus hordaceus bitkisinin toprak üstü organlarında Mn konsantrasyonu farklı sızıntı suyu uygulamalarında (0-5,30 mg L⁻¹ Mn) test edilmiş ve bitki dokularında Mn içeriği 46,6-53,33 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Adarve vd. 1998).

Shahidi vd. (1999) *Lathyrus maritimus* bitkisinde Al, Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarını bitkinin farklı kısımlarında ölçmüşlerdir. Tohum, yaprak, gövde ve olgun bakla kabuklarında verilen sıra ile Al konsantrasyonu 31 mg kg⁻¹, 173 mg kg⁻¹, 260

mg kg⁻¹, 113 mg kg⁻¹, Cu konsantrasyonları 9 mg kg⁻¹, 9 mg kg⁻¹, 7 mg kg⁻¹, 7 mg kg⁻¹, Fe konsantrasyonları 88 mg kg⁻¹, 259 mg kg⁻¹, 128 mg kg⁻¹, 342 mg kg⁻¹, Mn konsantrasyonları 38 mg kg⁻¹, 34 mg kg⁻¹, 17 mg kg⁻¹, 57 mg kg⁻¹, Zn konsantrasyonları 31 mg kg⁻¹, 21 mg kg⁻¹, 25 mg kg⁻¹ ve 6 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. *Lathyrus maritimus* bitkisinin mikro element açısından zengin olduğunu bildirmişlerdir.

Mitrović vd. (2008) çalışmalarında farklı alanlardan elde edilen *Calamagrostis epigejos* bitkileri için Cu, Mn ve Zn elementlerinin ortalama toprak üstü konsantrasyonlarının toprak altı konsantrasyona oranını sırasıyla 0,19, 0,22 ve 0,39 olarak belirtmişlerdir. Ocak külü ve karpit kireci yığınlarından toplanan *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin element içerikleri çeşitlilik göstermiş olup 49,70-1800,0 mg kg⁻¹ Fe, 0,01-1,17 mg kg⁻¹ Co, 7,33-146,0 mg kg⁻¹ Mn ve 8,68-1500,0 mg kg⁻¹ Al arasında değişmektedir (Antonkiewicz, 2010).

Banowetz vd. (2009), USDA Tarım Araştırma Servisi Bitki Germ Plazm merkezinden topladıkları *Poa pratensis* bitkilerinin toprak üstü biyokütlelerinde Al içeriğini 616 mg kg⁻¹, Co içeriğini 681 mg kg⁻¹, Fe içeriğini 771 mg kg⁻¹, Mn içeriğini 131 mg kg⁻¹ ve Zn içeriğini 71,1 mg kg⁻¹ bulmuşlardır.

Sinegani ve Dastjerdi (2009) çalışmalarında İran Isfahan'daki kurak dağların metal içeren bir bölgesinde yetişen karasal bitkilerde, sürgün ve köklerde olağanüstü yüksek konsantrasyonlarda Zn ve Ni biriktiren türleri belirlemek için bir arazi araştırması yürütmüşlerdir. Bitki örnekleri Bama Pb ve Zn madeni yakınlarındaki Irankoh bölgelerinden toplanmıştır. Toprakta toplam ve alınabilir Ni konsantrasyonu sırası ile 59,0 mg kg⁻¹ ve 0,14 mg kg⁻¹ iken Zn konsantrasyonu 260,0 mg kg⁻¹ ve 5,61 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir. Bitkide Ni konsantrasyonu; 15<kök<20 mg kg⁻¹ ve 0<sürgün<5 mg kg⁻¹ iken Zn konsantrasyonu 500<kök<600 ve 100<sürgün<200 şeklinde belirlenmiştir. *Bromus tectorum* bitkisi için Ni TF değeri 0,13 iken Zn TF değeri 0,34 olarak bulunmuştur.

Padmavathiamma ve Li (2010) *Poa pratensis* ile yaptığı çalışmada toprakta Mn konsantrasyonunun 215 mg kg⁻¹ ve toprak pH değerinin 5,4 olduğu durumda bitkinin köklerinde Mn içeriğini 390 mg kg⁻¹, yapraklarında 297 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Ayrıca bitkide Mn TF faktörünü 1,16 olduğunu bildirmişlerdir.

Akbalık, (2012) Diyarbakır ilinin çayır ve meralarından topladığı 5 farklı *Vicia* türlerinin (*Vicia sativa* L. subsp. *nigra* (L.), *Vicia sativa* L. subsp. *Sativa*, *Vicia narbonensis* L. var. *Narbonensis* L, *Vicia noeana* Reut. Ex Boiss, *Vicia sericocarpa* Fenzl var. *Sericocarpa*) Cr, Zn ve Ni konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Çalışma alanı topraklarının Cr içerikleri 0,62-0,94 mg kg⁻¹, Zn içerikleri 0,98-1,43 mg kg⁻¹ ve Ni içerikleri 7,14-10,22 mg kg⁻¹ aralığında belirlenmiştir. *Vicia* türlerinin Cr, Zn ve Ni konsantrasyon aralıkları verilen sıra ile 0,09-1,30, 4,90-56,94 ve 0,76-8,85 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir.

Ait Amar demir madeni sahasında toplanan kendiliğinden yetişen doğal bitkiler sürgün ve köklerinde Cr, Cu ve Fe birikimini incelemek için analiz edilmiştir. Metallerin sürgün ve kök birikiminde büyük farklılıklar sergilemiştir. *Bromus hordeaceus*, *Bromus rubens* ve *Stipa capensis* Thunb. bitkilerinin Cr elementi için TF değerleri sırasıyla 0,63, 0,46 ve 0,34, Cu elementi için TF değerleri sırasıyla 2,50, 0,44 ve 1,5 ve Fe elementi için TF değerleri sırasıyla 0,10, 0,11 ve 0,13 olarak belirlenmiştir. *Bromus hordeaceus*, *Bromus rubens* ve *Stipa capensis* Thunb. bitkilerinin Cr elementi için BCF değerleri sırasıyla 0,04, 0,04 ve 0,03, Cu elementi için BCF değerleri sırasıyla 0,33, 0,36 ve 0,28 ve Fe elementi için BCF değerleri 3 türde de 0,001 olarak belirlenmiştir (Nouri vd. 2013).

Hassani vd. (2015) Cr, Zn ve Ni gibi topraktaki ağır metaller ve asidik çamur girişi nedeniyle kirlenmiş olan Eshtehard sanayi kasabası çevresindeki yerel mera bitkilerini incelemişler ve çalışma alanındaki bitkilerin hiperakümüasyon ve fitostabilizasyon potansiyelini araştırmışlardır. *Bromus tectorum*'un toplandığı topraktaki Cr, Ni ve Zn konsantrasyonlarını sırası ile 441,3, 93,5 ve 1850,9 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Bitkinin Cr için TF değerini 1,24, BCF değerini 0,05, Ni için TF değerini 0,77, BCF değerini 1,54 ve Zn için TF değerini 1,40 ve BCF değerini 1,83 olarak hesaplamışlardır.

Sun vd. (2015) yaptıkları çalışmada Çin'deki Sarı Nehir Haliç'inin yeni oluşan gel-git bölgesindeki dokuz birimde bitkilerdeki ağır metal (Pb, Cr, Cu, Zn ve Ni) konsantrasyonlarını incelenmişlerdir. *Calamagrostis pseudophragmites* bitkilerinde Pb, Cr, Cu, Zn ve Ni elementleri için TF ve BCF değerlerinin hepsini 1'in altında hesaplamışlardır.

Mahdavian vd. (2017) Orta İran'daki Yezd Eyaletinde bir maden alanından elde edilen bitkilerin metal birikimi kapsamını ve bu bitkilerin iki potansiyel fitoremediasyon stratejisi olarak fitoekstraksiyon ve fitostabilizasyon için uygunluğunu araştırmışlardır. *Bromus tectorum* için köklerdeki Zn konsantrasyonunu 145,8-268,1 mg kg⁻¹, sürgünlerdeki Zn konsantrasyonunu 32,0-40,9 mg kg⁻¹ olarak belirlerken hem BCF hem de TF değerlerini 0,1-0,2 olarak bildirmişlerdir.

Jeddou vd. (2017) *Lathyrus ochrus* bitkisinin yaprak ve köklerinde Ni içeriğini, bitkide BCF ve TF değerlerini belirlemişlerdir. Nikeli (0-20-60-200-600 mg kg⁻¹) 5 farklı konsantrasyonda uygulamışlar ve yapraklarda 0-48,82 mg kg⁻¹ aralığında köklerde 6,62-594,51 mg kg⁻¹ aralığında ölçmüşlerdir. Tüm uygulamalarda BCF ve TF değerleri birin (<1) altında kalmıştır.

Arslan (2017) 173 *Lathyrus* genotipinde iz element konsantrasyonlarını belirlemiştir. Genotipleri topladığı toprakta bulunan konsantrasyonlar şu şekildedir: Fe: 5,4 ppm, Mn: 6,5 ppm, Zn: 0,2 ve Cu :1,9 ppm. *Lathyrus* genotiplerinde iz element miktarları minimum, maksimum ve ortalama olarak sırasıyla; Se 0, 0,84, 0,16; Mn 4,32, 21,47, 12,02; Cu 3,13, 18,73, 8,35; Fe 21,28, 181,29, 56,98; Mg 499,48, 2720,17, 1433,77; Mo 0,70, 9,50, 3,69 ve Co 0, 0,27, 0,12 mg kg⁻¹ olarak bulmuşlardır.

Gounden vd. (2018) 5 farklı *Trifolium* türü (*Trifolium africanum*, *Trifolium burchellianum*, *Trifolium repens*, *Trifolium dubium* ve *Trifolium pratense*) ile yaptıkları çalışmada bitki örneklerinin Cr, Ni ve Co konsantrasyonlarını Cr>Ni>Co şeklinde sıralamışlardır ve incelenen bu üç element içinde konsantrasyonun <5 mg kg⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir.

Randelović vd. (2018) çalışmalarında, farklı seviyelerde antropojenik etkiye maruz kalan beş lokasyondaki yayılcı klonal çim *Calamagrostis epigejos*'un kimyasal bileşimini ve birikim potansiyelini incelemişlerdir. Toplam ve kullanılabilir ağır metallerin alımı, taşınması ve birikimi arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir; bu farklılıkların toprağın fiziko-kimyasal özelliklerine ve sahadaki kirlilik seviyesine göre değiştiğini belirtmişlerdir. BCF; Fe: 0,05-1, Mn: 0,05-1,61, Zn: 0,24-2,06, Cu: 0,35-0,63 ve TF; Fe:0,16-0,58, Mn:0,9-1,43, Zn:0,15-0,26 ve Cu: 0,29-0,72 olarak hesaplanmıştır.

Kolesnichenko vd. (2018) yaptıkları çalışmada Tomsk bölgesinin Orta havzasında bulunan *Vicia cracca* ve bazı mera bitkilerinin element konsantrasyonlarını bitkilerin gövde ve yaprak kısımlarında incelemişlerdir. *Vicia cracca* bitkisinin yapraklarında ve gövdesinde verilen sıra ile Al içeriğini 53,2-25,3 mg kg⁻¹, Cu içeriğini 4,2-2,5 mg kg⁻¹, Fe içeriğini 410,2-132,4 mg kg⁻¹, Mn içeriğini 351,1-73,0 mg kg⁻¹, Ni içeriğini 1,9-0,9 mg kg⁻¹ ve Zn içeriğini 73,5-17,9 mg kg⁻¹ olarak belirlendiğini bildirmişlerdir.

Salinitro vd. (2019), *Poa annua* bitkisinde içinde bulunduğu 8 farklı toprak özelliğine sahip alandan toplanan bitkilerin element içeriklerini ve biyokonsantrasyon faktörlerini belirlemişlerdir. Bitkilerin toprak üstü kısımlarında Cu içeriği 1,80-20,2 mg kg⁻¹, Cr içeriği 0,38-4,4 mg kg⁻¹, Ni içeriği 0,82-17,2 mg kg⁻¹ ve Zn içeriği 34,0-220 mg kg⁻¹ aralığında belirlenmiştir. Ayrıca bitkilerin BCF değerleri Cu için 0,01-0,43, Cr için 0,01-0,21, Ni için 0,03-0,19 ve Zn için 0,04-1,85 aralıklarında bulunmuştur.

Khan vd. (2019) *Bromus catharticus* bitkisinin çiçeklenme öncesi devresinde bitkide Fe konsantrasyonunun 700 mg kg⁻¹ olduğunu bildirmiştir.

Maslennikov vd. (2020) *Lathyrus maritimus* bitkisinde yaptıkları çalışmada Bigel Curonian Spit milli parkındaki ön kumuldan alınan kum örneklerindeki ağır metal içeriğinin minimum değerde olup, sağlık standartları (izin verilen maksimum konsantrasyonlar-MAC) dahilinde olduğunu bildirmişlerdir. Kumuldan alınan toprak örneklerindeki ağır metal seviyelerinin ise: çinko 11,9-13,5 mg kg⁻¹ (55 mg kg⁻¹ MAC); nikel-3,7-4,1 mg kg⁻¹ (20 mg kg⁻¹ MAC); bakır-14,2-16,2 mg kg⁻¹ (33 mg kg⁻¹ MAC); krom-23,4-26,4 mg kg⁻¹ (Cr³⁺ 100 mg kg⁻¹ MAC); manganez-55,9-60,3 mg kg⁻¹ (300 mg kg⁻¹ MAC) şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Bitki yapraklarında element içeriklerini Mn: 49,2 mg kg⁻¹, Fe: 131,2 mg kg⁻¹, Zn: 16,7 mg kg⁻¹, Cu: 1 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir.

Sujkowska-Rybkowska vd. (2020) ultramafik topraktan topladıkları *Lotus corniculatus* bitkisinin Co içeriğini sürgünlerde 2,4 mg kg⁻¹, köklerde 8,5 mg kg⁻¹, Cr içeriğini sürgünlerde 5,4 mg kg⁻¹, köklerde 20,5 mg kg⁻¹ ve Ni içeriğini sürgünlerde 59,5 mg kg⁻¹, köklerde 167,1 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Ayrıca TF değerlerini Co için 0,28, Cr için 0,26 ve Ni için 0,36 olarak bildirmişlerdir.

Hasnaoui vd. (2020) çalışmalarında, Fas'ın doğusundaki terk edilmiş Pb/Zn maden sahasında doğal olarak yetişen bitkilerde ağır metal toleransını ve birikimini test etmişlerdir. *Stipa tenacissima* bitkisinde Cu için BCF 1,55, TF 0,12, Ni için BCF 0,40, TF 0,59 ve Zn için BCF 0,01, TF 0,50 olarak bildirilmiştir.

Karatassiou vd. (2021) çalışmalarında serpantin ve serpantin olmayan toprakta yetişen *Aegilops triuncialis*'in üç popülasyonundan elde edilen bitkilerin element içerikleri incelenmiştir. Serpantin toprakta Fe 30,21 mg kg⁻¹, Mn 34,63 mg kg⁻¹, Ni 53,22 mg kg⁻¹ olarak ve serpantin olmayan toprakta Fe 5,24 mg kg⁻¹, Mn 9,23 mg kg⁻¹ ve Ni 1,51 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Fe konsantrasyonları köklerde gövde ve yapraklardan çok daha yüksek bulunmuştur. Tüm popülasyonlarda ve her iki toprak türünde de en yüksek Mn konsantrasyonları köklerde ve en düşük yapraklarda ölçülmüştür. Nikel sadece serpantin topraklarda tespit edilmiştir ve konsantrasyonu köklerde sürgünlerden çok daha yüksek bulunmuştur.

Angouran (İran) madencilik alanında ağır metaller (Zn, Pb, Cr, Cd ve Co) tarafından toprağın kirlenmesi ve madencilik bölgesinde bulunan doğal türler tarafından alımı üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Madenin etrafındaki üç sahadaki bitki ve topraklar örneklenmiş ve karakterize edilmiş ve metallerin birikimi ve taşınması değerlendirilmiştir. *Stipa arabica* bitkisinde Co için TF 2,13, BCF 0,33, Cr için TF 3,34, BCF 0,18 ve Zn için TF 1,17, BCF 0,54 olarak belirlenmiştir (Hosseinniaee vd. 2022).

Djelic vd. (2023) yaptıkları çalışmada Kosovska Mitrovica maden atıklarından topladıkları *Sanguisorba minor* bitkisinin kök, gövde-yaprak ve çiçeklerinde verilen sıra ile 458,78, 162,58, 475,08 mg kg⁻¹ Mn; 21,26, 1,25, 26,2 mg kg⁻¹ Ni; 7807,36, 723,32, 7276,08 mg kg⁻¹ Fe; 92,74, 36,84, 77,76 mg kg⁻¹ Zn; 72,32, 5,84, 70,32 mg kg⁻¹ Cr ve 19,32, 7,47, 18,38 mg kg⁻¹ Cu içeriğini belirlemişlerdir. Ayrıca Mn için BCF<1, TF<1; Ni için BCF<1, TF>1; Fe için BCF<1, TF<1; Zn için BCF<1, TF<1; Cr için BCF<1, TF<1; Cu için BCF<1, TF>1 olarak hesaplanmıştır.

Kodirova vd. (2024) 12 farklı *Lathyrus* genotipi ile yaptıkları çalışmada tohum örneklerinin Co içeriklerini 0,08-0,32 mg kg⁻¹ bulurken Cr içeriklerini ortalama 1,10 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir.

Tiodar vd. (2024) çalışmalarında Hg ile kirlenmiş alanlarda bazı bitki türlerinin bazı elementler için fitoremediasyon kapasitelerini değerlendirmişlerdir. Toplanan *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin %40'ında Cu için BCF >1, %33'ünde Zn için BCF >1 ve %13'ünde Mn için BCF >1 olarak hesaplanmıştır. Bitkilerin TF değerleri her üç element içinde $TF_{Cu, Zn ve Mn} < 1$ olarak bildirilmiştir.

2.3. Bitkilerde ve Topraklarda İzin Verilen Toksik Metal Sınır Değerleri

Bitkilerde ve topraklarda izin verilen toksik metal sınır değerleri Tablo 2.1'de sunulmuştur (WHO/FAO, 2007; Sönmez ve Kılıç, 2021).

Tablo 2.1. WHO tarafından belirlenen Bitkilerde ve topraklarda izin verilen toksik metal sınır değerleri (WHO/FAO, 2007; Sönmez ve Kılıç, 2021).

Elementler	Toprak (mg kg ⁻¹)	Bitki (mg kg ⁻¹)
Al	-	-
Cd	3	0,2
Co	-	-
Cr	150	5
Cu	140	40
Fe	50000	450
Mn	80	500
Ni	50	67
Pb	300	0,3
Zn	300	60

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Bu araştırmada, 2024 yılının Nisan-Haziran aylarında Avnik Demir madeni çevresindeki doğal alanlarda yayılış gösteren yem bitkisi türlerinin toplanması ve ağır metal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanına (yaklaşık 40 da) ait koordinatlar ($38^{\circ} 39' 1''$ K- $40^{\circ} 18' 13''$ D) ile oluşturulan harita Şekil 3.1 ve Şekil 3. 2' de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Çalışma alanının koordinatları ile oluşturulan harita

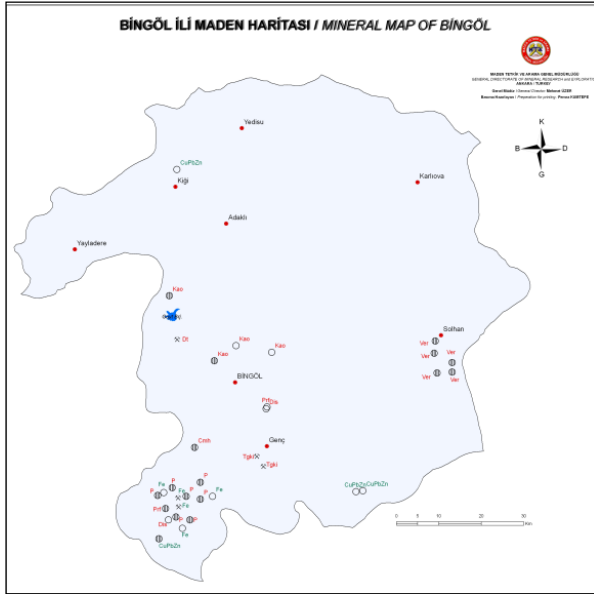


Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresine ait genel görüntü

Avnik Demir İşletmesi, Bingöl'e 45 km, Genç ilçesine 30 km uzaklıkta bulunan bir demir cevheri (manyetit) işletmesidir. Üretilen cevher, Avnik Demir İşletmesi tesislerinde konsantre haline dönüştürülerek kendi bünyesindeki laboratuvarında kalite kontrolü yapıldıktan sonra yurtiçi ve yurtdışı piyasalarına sunulmaktadır (Anonim, 2023a). Maden işletmesine ait görüntüler Şekil 3.3 ve ayrıca Bingöl iline ait maden haritası Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Avnik demir işletmesine ait görüntü (Anonim, 2023a)



Şekil 3.4. Bingöl İli Maden Haritası (MTA) (Anonim, 2023b)

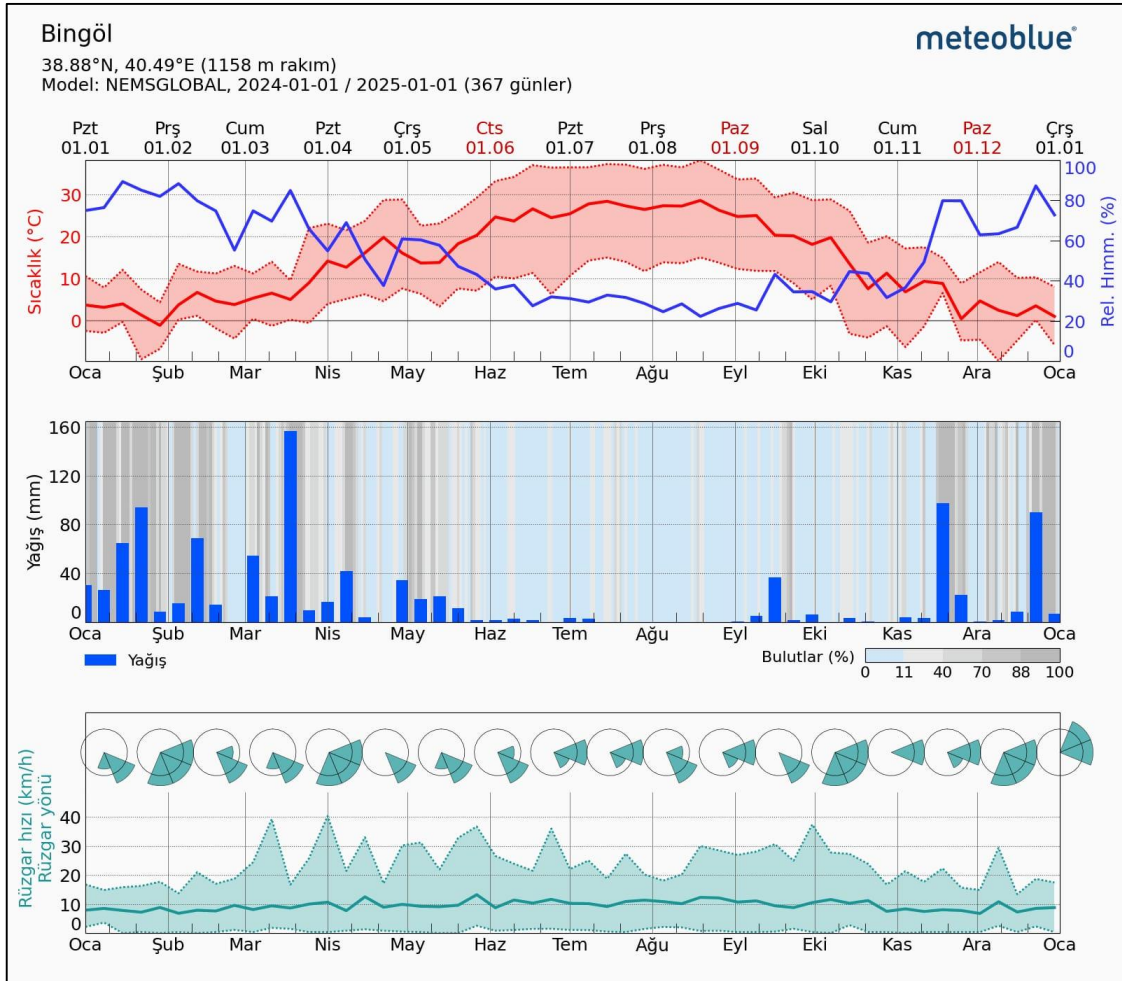
Araştırmada 2024 yılı Nisan, Mayıs ve Haziran ayları içerisinde Bingöl ilinin Genç ilçesi sınırlarında yer alan Avnik demir madeni işletmesi çevresindeki doğal alanlarda yayılış gösteren yem bitkisi türleri vejetasyonunun takip edilmesiyle (yaklaşık 4 ha'lık alanda tarama yapılarak) birlikte en olgun oldukları zamanlarda toplanmıştır. Bitki türlerine ait teşhisler Bingöl Üniversitesi Gıda, Tarım ve Hayvancılık MYO Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Mihriban AHISKALI tarafından yapılmıştır.

Bitkiler araziden mümkün olduğunca köklerine zarar verilmeden alınmış, teşhisleri yapılmış, kök, gövde, yaprak ve generatif kısım (çiçek, bakla, başak, salkım) olmak üzere organlarına ayrılmış ve önce musluk suyu daha sonra saf su ile yıkanmıştır. Yıkanan bitki kısımları 70 °C'de 48 saat kurutulduktan sonra el değirmeninde öğütülerek element analizlerine hazır hale getirilmiştir.

Toprak örnekleri ise bitki örnekleri alınan yerlerden (40 da) 0-30 cm derinliğe kadar (3 farklı alandan) alınmış, poşetler ile laboratuvar ortamına getirilmiş ve 2 mm'lik elek ile elenerek analize hazırlanmıştır.

3.2. Bingöl İline Ait 2024 Yılı İklim Verileri

Çalışmanın yapıldığı Bingöl iline ait 2024 yılı iklim verileri Şekil 3.5'te sunulmuştur. Çalışmanın yapıldığı 2024 yılı Nisan-Mayıs-Haziran aylarının ortalama sıcaklık değerleri yaklaşık 19 °C ve bu aylara ait yağış miktarı ortalama yaklaşık 52 mm olarak görülmektedir.



Şekil 3.5. Çalışmanın yapıldığı Bingöl iline ait 2024 yılı sıcaklık ve yağış verileri

3.3. Toprak Özellikleri

Çalışma alanından örneklenen topraklara ait bazı özellikler Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Çalışma alanından örneklenen topraklara ait bazı özellikler

Tekstür	pH	EC ($\mu\text{s/cm}$)	O.M. (%)	Kireç (%)
Tınlı	6,60	403,10	0,41	2,58
Toplam Element konsantrasyonları (mg kg^{-1})				
Al	Cd	Co	Cr	Cu
21832,8	-	6,5	1,5	1,7
Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
9821,5	117,2	7,6	2,3	5,2

Çalışma alanındaki toprakların ortalama değerlerine bakıldığında pH Sağlam (2012)’a göre “nötr” sınıfında, Dellavalle (1992)’ye göre “hafif tuzlu” sınıfında, Ülgen ve Yurtsver (1974)’e göre organik maddesi “çok az” sınıfında, Evliya (1964)’ya göre “kireçli” sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanı topraklarının element konsantrasyonları WHO (WHO/FAO, 2007; Sönmez ve Kılıç, 2021) tarafından belirlenen topraklarda izin verilen toksik metal sınır değerlerine göre incelendiğinde; Al ve Co için bir sınır değeri gösterilmemiştir, Cd elementi çalışma topraklarında tespit edilememiştir, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn izin verilen sınır değerleri aşmamıştır, yalnızca Mn konsantrasyonu izin verilen sınır değerden yüksek ölçülmüştür.

3.4. İncelenen Bitki Türleri

Araştırma alanı olarak belirlenen maden sahası etrafında yayılış gösteren hakim 12 yem bitkisi türü toplanıp 11 cilt olan Türkiye Florası (Flora of Turkey and the East Aegean Islands) kitabına göre teşhis edilmiştir. Örneklerin toplandığı alanın rakımının ortalama 1240 m ve koordinatlarının $38^{\circ} 39' 1''$ K- $40^{\circ} 18' 13''$ D (ve çevresi) olduğu bilgisi kaydedildikten sonra, bitkinin genel görüntüsü ve habitat alanı ile birlikte, alanın genel görüntüsü fotoğraflanmıştır. Örneklerin toplanması sırasında mümkün olduğunca tohum, çiçek, taban yaprak gibi tür teşhisinde elzem olan parçalar toplanılmaya çalışılmıştır. Arazi defterine çalışma alanı ve toplanan örnekler hakkında teşhiste önemli olabilecek, kurduğunda veya preslendiğinde değişebilecek (renk, koku, şekil) özellikteki bilgiler de kaydedilmiştir. Taksonların bilimsel isimleri ve aktörleri güncel Türkiye Bitkileri Listesi

kitabından kontrol edilmiştir (Güner vd. 2012). Yapılan çalışma sonucu teşhis edilen bitki türleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Teşhis edilen bitki türlerinin listesi

Tür	Familya	Tür adı
1 <i>Lathyrus sphaericus</i> Retz.	Fabaceae	Çam burçağı, Yalancı bezelye
2 <i>Trifolium campestre</i> Schreb.	Fabaceae	İri kır üçgülü
3 <i>Trifolium nigrescens</i> Viv.	Fabaceae	Yanık üçgül
4 <i>Trifolium arvense</i> L.	Fabaceae	Tarla üçgülü, Tavşanayağı
5 <i>Vicia cracca</i> L.	Fabaceae	Kuş fiği
6 <i>Lotus gebelia</i> Vent.	Fabaceae	Gazalboynuzu, Gül gazalboynuzu
7 <i>Poa bulbosa</i> L.	Poaceae	Yumrulu salkım otu
8 <i>Bromus tectorum</i> L.	Poaceae	Kır bromu
9 <i>Aegilops neglecta</i> Req. Ex Bertol.	Poaceae	Tüylü buğday
10 <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> (Haller) Koeler	Poaceae	Saz çimi
11 <i>Stipa capensis</i> Thunb.	Poaceae	Kılaç otu, Kum kılaçı
12 <i>Sanguisorba minör</i> L.	Rosaceae	Küçük çayır düğmesi

Türlerin generatif kısımları: *Lathyrus sphaericus* bitkisinde; baklalar, *Trifolium campestre* bitkisinde; çiçekler, *Trifolium nigrescens* bitkisinde; çiçekler, *Trifolium arvense* bitkisinde; çiçekler, *Vicia cracca* bitkisinde; çiçekler, *Lotus gebelia* bitkisinde; çiçekler, *Poa bulbosa* bitkisinde; salkımlar, *Bromus tectorum* bitkisinde; salkımlar, *Aegilops neglecta* bitkisinde; salkım, *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisinde; salkımlar, *Stipa capensis* bitkisinde; salkımlar ve *Sanguisorba minör* bitkisinde; meyvelerden oluşmaktadır.

Araştırma alanından alınan bitki türlerine ait bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

1. *Lathyrus sphaericus* Retz. : Tüysüz, tek yıllık ve 15-50 cm boylarındadır. Gövde kanatsız, dik veya yükselicidir. Çiçekler tek, kiremit kırmızısıdır. Çiçeklenme zamanı Nisan-Mayıs aylarıdır. Yol kenarlarında ve maki çalılıkları içlerinde (250-350 m rakımlarda rastlanabilir) yetişmektedir (Kaynak vd. 2005).

2. *Trifolium campestre* Schreb. : Tek yıllık otsu, dik veya yatık gelişen, 10-30 cm boylanabilen bitkilerdir. Çiçek durumu: Çok çiçekli-başçık. Çiçek renkleri parlak ya da

soluk sarıdır. Şubat ayından Eylül ayına kadar çiçeklenebilir. Tarla, mera veya boş alanlarda (1-2200 m rakım) görülmektedir. İstilacı grup arasında yer almaktadır (Serin vd. 2008).

3. *Trifolium nigrescens* Viv. : Yere yatık ya da dik gövdeye sahip, tek yıllık, 10-60 cm boylanabilen bitkilerdir. Çiçek durumu şemsiye şeklinde olup çiçek rengi beyaz ya da pembe rengindedir. Çiçeklenme zamanı Mart-Ekim aylarıdır. Çayırılık alanlarda, su ve yol kenarlarında, orman açıklıklarında (450-2000 m rakım) yetişmektedir (Kaynak vd. 2005).

4. *Trifolium arvense* L. : Tek yıllıktır, yarı dik ve dik gelişim göstermektedir, 5-30 cm arasında boylanma görülür. Yol kenarlarında, meralarda ve metruk alanlarda görülmektedir. Yem değeri yüksektir, istilacı grupta yer almaktadır (Serin vd. 2008).

5. *Vicia cracca* L. : Tüylü fiğ benzeyen, iki yıllık, 1 metreye kadar boylanabilen fiğ türüdür. Yol kenarlarında, dağlık meralarda, gölge alanlarda ve tarlalalarda yayılış göstermektedir. Yem değeri yüksektir ve azalıcı grupta yer almaktadır (Serin vd. 2008).

6. *Lotus gebelia* Vent. : Çok yıllıktır ve otsudur, Doğu Anadolu Bölgesinde 800-1800 m yüksekliklerde yetişebilmektedir. Çiçekleri pembe ya da kırmızımsıdır bazen beyaz görülebilmektedir. Yem değeri yüksektir ve azalıcı gruptadır (Serin vd. 2008).

7. *Poa bulbosa* L. : Çok yıllıktır, yumak formudur ve 10-60 cm boylanabilmektedir. Bitki taze ve yeşilken hayvanlar tarafından sevilerek atlanmaktadır fakat hemen kuruduğu için çoğaltıcılar grubunda yer almaktadır (Serin vd. 2008).

8. *Bromus tectorum* L. : Dik gövdeli ve tek yıllıktır, 50 cm kadar boylanabilmektedir. Kuru çayırlarda yaygın olarak yetişmektedir. Gelişiminin ilk aşamalarında hayvanlar otlamaktadırlar ve bitki istilacı grupta yer almaktadır (Serin vd. 2008).

9. *Aegilops neglecta* Req. Ex Bertol. : Tek yıllık bir bitkidir, 25-30 cm boylanabilen dik büyüme gösteren bir yapıya sahiptir. Çalılıklar, tarla kanarları, erozyon bölgeleri ve meralarda görülebilirler (0-1300 m rakım). İstilacı grupta yer almaktadır (Serin vd. 2008).

10. *Calamagrostis pseudophragmites* (Haller) Koeler.: Bitki 50-120 cm boylanabilen çok yıllık bir bitkidir. Ormanların sınırlarında görülmekte ve yaz aylarında çiçeklenmektedir (Anonim, 2025).

11. *Stipa capensis* Thunb.: Tek yıllıktır, 10-30 cm arasında boylanabilen dik büyüme gösteren bir bitkidir. İstilacı grupta yer almaktadır (Serin vd. 2008).

12. *Sanguisorba minör* L. : Çok yıllıktır, 40-70 cm arasında boylanabilen otsu özellikte bir bitkidir. Çiçekleri kömeç formundadır. Kurak çayır alanlarında ve meralarda yaygın görülmektedir. Yem değeri yüksektir ve azalıcı grupta yer almaktadır (Serin vd. 2008).

Baklagil familyasına ait türlerin görselleri Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6. Baklagil (Fabaceae) familyasına ait türler

Baklagil (Fabaceae) familyasına ait türlerin sahadaki görselleri, sol üstten başlayarak tür isimleri: *Lathyrus sphaericus* Retz., *Trifolium campestre* Schreb., *Trifolium nigrescens* Viv., *Trifolium arvense* L., *Vicia cracca* L., *Lotus gebelia* Vent.

Buğdaygil familyasına ait türlerin görselleri Şekil 3.7’de sunulmuştur.



Şekil 3.7. Buğdaygil (Poaceae) familyasına ait türlerin görselleri

Buğdaygil (Poaceae) familyasına ait türlerin sahadaki görselleri, sol üstten başlayarak tür isimleri: *Poa bulbosa* L., *Bromus tectorum* L., *Aegilops neglecta* Req. Ex Bertol., *Calamagrostis pseudophragmites* (Haller) Koeler, *Stipa capensis* Thunb. Gülgiller (Rosaceae) familyasına ait türün görseli Şekil 3.8’de sunulmuştur.



Şekil 3.8. Gülgiller (Rosaceae) familyasına ait *Sanguisorba minör* L. türünün görüntüsü



Şekil 3.9. Bitki örneklemesinde saha görüntüleri

3.5. Bitki ve Toprak Analizleri

3.5.1. Element Konsantrasyonlarının Belirlenmesi (Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn)

Bitki ve toprak analizleri Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında yapılmıştır. Bitki örneklerinin mikrodalgada yakma işlemi Miller (1998) tarafından bildirilen yönteme uyarlanarak yapılmıştır. Bitkilerin başak, salkım, çiçek gibi generatif kısımları ile yaprak, gövde ve kök kısımları kurutulup öğütülmüş 0,5 g ağırlığında tartılmış ve mikrodalga cihazının (CEM-MARS 6) vessellarına aktarılmıştır. Daha sonra üzerlerine 10 ml HNO₃ eklenmiştir. Cihazda bitki örnekleri için belirlenen toplam yakma ayarlamaları işaretlenmiştir (güç (%); power: W; basınç: psi; çözünme süresi; sıcaklık °C; bekleme süresi (hold time)).

Sonraki aşamada gerekli seyreltme ve süzme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Örneklere ait element konsantrasyonları ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) cihazında okunarak kaydedilmiştir.

Not: Bitki örneklerinin element içeriklerinin okunmasında Cd ve Pb metalleri de yer almasına rağmen bitki örneklerinde tespit edilemediği için bulgulara yer verilmemiştir. Toprak örneklerinin toplam element analizleri 3:1 oranında HCl ve HNO₃ karışımı ile Kacar (2009) tarafından bildirilen yönteme uyarlanarak gerçekleştirilmiştir ve yine element (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) okumaları ICP-MS cihazı ile yapılmıştır.

Hesaplama işlemleri: Bitki/Toprakta (mg kg⁻¹)

Toplam Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn = It x F (1)

It: Tanık çözeltisine göre düzenlenmiş bitki çözeltisine ait okuma değeri

F: seyreltme kat sayısı/ örnek miktarı

Toprak örneklerinin tekstür analizi; Gee ve Boudier (1986), pH; Thomas (1996), EC; (Rhoades, 1996), organik madde; Nelson ve Sommers (1996), kireç; Allison ve Moodie (1965) tarafından bildirilen yönteme göre yapılmıştır.



Şekil 3.10. Bitki örneklerinin analiz aşamalarına ait görüntüler

3.5.2. Translokasyon Faktörünün Hesaplanması (TF)

Bitkinin sürgünündeki ağır metal konsantrasyonunun, kökteki ağır metal konsantrasyonuna oranıdır ve ağır metallerin kökten bitkinin diğer organlarına taşınabilme kabiliyetini belirtmektedir. Eğer bitkilerin TF değerleri 1'den büyük olursa, fitoremediasyonda biyoakümülatör olarak kullanılabilirler (Sürmen vd. 2019). Aşağıdaki formülden yararlanılarak hesaplanmıştır (Alaribe ve Agamuthu, 2015; Ortakçı, 2020).

$$TF = \frac{\text{Sürgündeki element konsantrasyonu}}{\text{Kökteki element konsantrasyonu}} \quad (3.2)$$

3.5.3. Biyokonsantrasyon Faktörünün (BCF) Hesaplanması

Fitoremediasyon için yetiştirilecek bitkilerin seçiminde TF gibi BCF verileri de değerlendirilir. Bitkilerin metal alımlarının büyüklüğü, Bioconcentration factor (BCF) yani

biriktirme faktörü olarak ifade edilmektedir. Bu faktör bitkideki (kök ya da sürgün) metal konsantrasyonunun, topraktaki metal konsantrasyonuna bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Ladislav vd. 2012; Sürmen vd. 2019).

$$\text{Biyoakümülyasyon faktörü (BCF)} = \frac{\text{Bitki metal kons.}}{\text{Toprak metal kons}} \quad (3.3)$$

3.6. İstatistiksel Analiz

Elde edilen veriler JMP istatistik programında varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve önemli ($p < 0,05$) olan parametreler Tukey testi ile karşılaştırılmıştır (JMP, 2018).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Element Konsantrasyonları Kapsamında Türlerin Değerlendirilmesi

4.1.1. Türlerin Al Konsantrasyonu

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Al konsantrasyonlarının varyans analizine ait değerler Tablo 4.1’de sunulmuştur. Türler arasındaki Al konsantrasyonu, organlar arasındaki Al konsantrasyonu ve tür*organ interaksiyonu istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.1. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Al konsantrasyonuna ait varyans analizi

Kaynak	SD	KO	F değeri
Tür	11	812987,95	514,29**
Organ	3	1709040,83	1081,13**
Tür*Organ	33	287169,17	181,66**
Tekerrür	2	547,1	0,35
Hata	94	1580,79	
Genel	143		
R ²	0,99	DK (%)	9,44

** : $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, R²: Belirtme katsayısı, DK: Değişim katsayısı (%).

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Al konsantrasyonuna ait ortalamalar Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Al konsantrasyonuna ait ortalamalar

Al konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)					
Türler	Organlar				Ortalama
	Kök	Gövde	Yaprak	Generatif	
<i>L. sphaericus</i>	170,54n-t**	159,18o-t	194,45m-r	51,18s-t	143,84H**
<i>T. campestre</i>	1933,43a	178,96n-s	436,58ij	959,09de	877,01B
<i>T. nigrescens</i>	524,67hı	1055,44cd	1186,13c	972,30de	934,63A
<i>T. arvense</i>	1442,87b	224,39l-q	224,39l-q	398,88ijk	572,63C
<i>V. cracca</i>	606,82gh	128,59q-t	286,50k-o	803,33f	456,31D
<i>L. gebelia</i>	169,69n-t	136,33p-t	201,11m-r	215,46l-r	180,65H
<i>P. bulbosa</i>	981,84de	260,61l-p	260,61l-p	185,67n-r	422,18DE
<i>B. tectorum</i>	596,23gh	320,43j-m	320,43j-m	108,58q-t	336,42FG
<i>A. neglecta</i>	877,25ef	85,66r-t	85,66r-t	180,10n-s	307,17G
<i>C. pseudophragmites</i>	659,84g	84,92r-t	334,02jkl	175,34n-s	313,53G
<i>S. capensis</i>	818,42f	299,93k-n	299,93k-n	83,77r-t	375,51EF
<i>S. minor</i>	100,29q-t	39,12t	261,18l-p	145,60p-t	136,55H
Ortalama	740,16A**	247,80C	340,92B	356,61B	

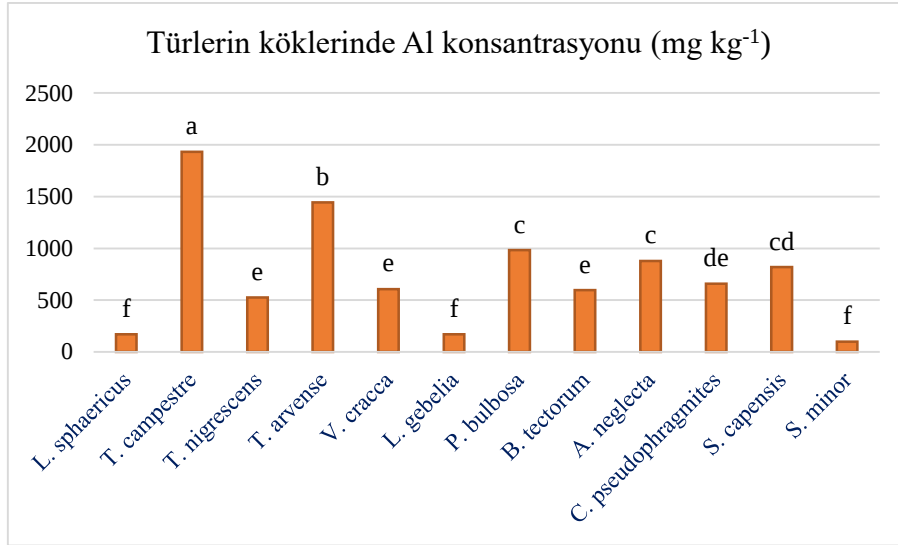
** : p<0,01 önemli. Büyük harfler ortalama gruplarını, küçük harfler interaksiyon gruplarını göstermektedir.

Organlar arasında en yüksek Al içeriği (740,16 mg kg⁻¹) bitkilerin köklerinde en düşük ise gövdelerinde (240,80 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türler arasında en yüksek Al içeriği (934,63 mg kg⁻¹) *Trifolium nigrescens* bitkisinde iken en düşük Al içeriği (136,55, 143,84 ve 180,65 mg kg⁻¹) *Sanguisorba minör*, *Lathyrus sphaericus* ve *Lotus gebelia* türlerinde belirlenmiştir.

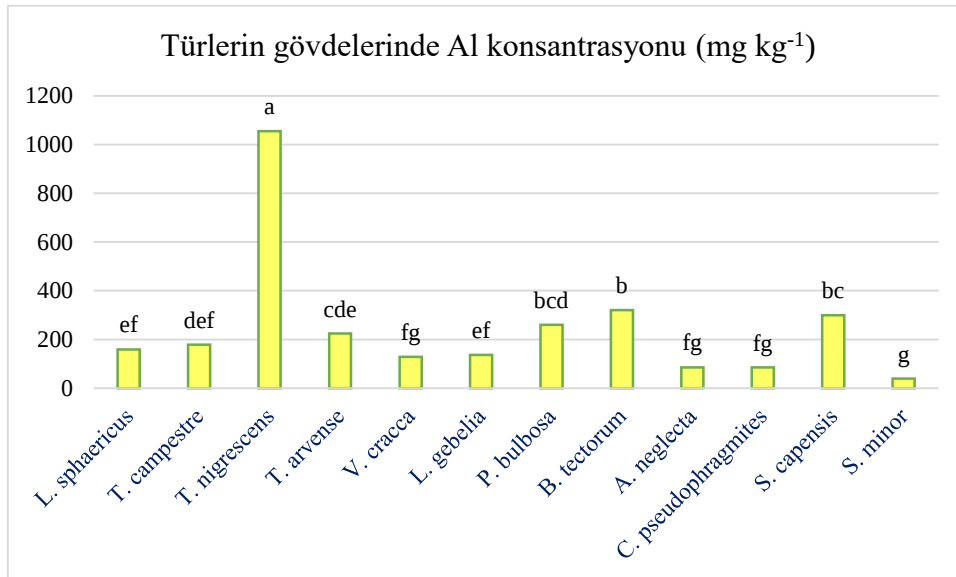
Tür*organ interaksiyonunda en yüksek Al içeriği (1933,43 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinin köklerinde iken en düşük Al içeriği (39,12 mg kg⁻¹) *Sanguisorba minör* bitkisinin gövdesinde belirlenmiştir.

Türlerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarındaki Al konsantrasyonları organ bazında grafik olarak görselleştirilmiş ve Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te sunulmuştur.



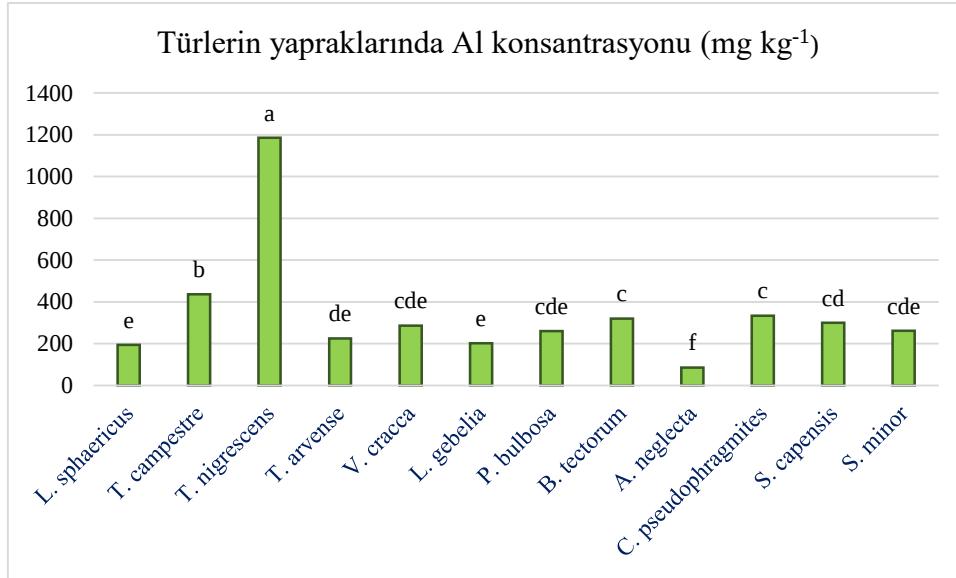
Şekil 4.1. Türlerin köklerindeki Al konsantrasyonu

Köklerinde en fazla Al akümüle eden tür *Trifolium campestre* iken en az Al akümüle eden tür *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.1).



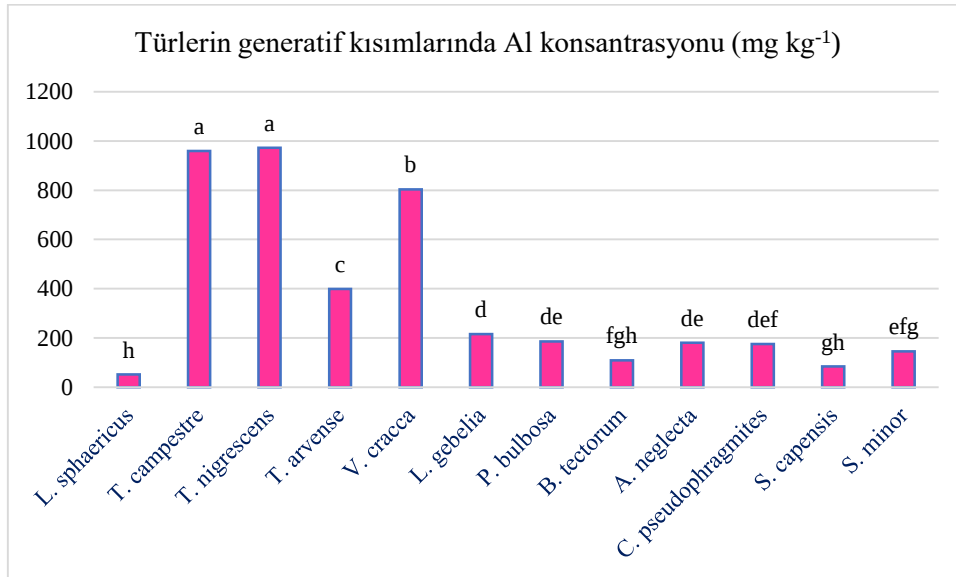
Şekil 4.2. Türlerin gövdelerindeki Al konsantrasyonu

Gövdelerinde en fazla Al akümüle eden tür *Trifolium nigrescens* iken en az Al akümüle eden tür *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.3. Türlerin yapraklarındaki Al konsantrasyonuna ait grafik

Yapraklarında en fazla Al akümüle eden tür *Trifolium nigrescens* iken en az Al akümüle eden tür *Aegilops neglecta* olmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.4. Türlerin generatif kısımlarındaki Al konsantrasyonuna ait grafik

Generatif kısımlarında en fazla Al akümüle eden türler *Trifolium campestre* ve *Trifolium nigrescens* iken en az Al akümüle eden tür *Lathyrus sphaericus* olmuştur (Şekil 4.4).

Wheeler ve Dodd (1995), 15 farklı *Trifolium* ve 6 farklı *Lotus* türü ile yaptığı çalışmada *Trifolium* türlerinin toprak üstü ortalama Al konsantrasyonlarını $110,0 \text{ mg kg}^{-1}$ bulurken toprakaltı konsantrasyonlarını $279,1 \text{ mg kg}^{-1}$ bulmuştur. *Lotus* türlerinin toprak üstü ortalama Al konsantrasyonlarını $88,0 \text{ mg kg}^{-1}$ bulurken toprakaltı Al konsantrasyonlarını $202,7 \text{ mg kg}^{-1}$ bulmuştur. Wheeler ve Dodd (1995), çalışmalarıyla bu çalışma sonucu konsantrasyon bakımından benzerlik göstermemektedir. Bunun sebeplerinin çalışma alanlarındaki Al konsantrasyonları ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Ancak *Trifolium* ve *Lotus* türleri arasında bir kıyaslama yapılacak olursa Wheeler ve Dodd (1995)'un çalışmalarında da bu çalışmada olduğu gibi *Trifolium* türleri *Lotus* türlerinden daha fazla Al içeriğine sahip olmuştur.

Shahidi vd. (1999) *Lathyrus maritimus* bitkisinin vejetatif kısımlarının generatif kısımlarına göre fazla Al içerdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada da Shahidi vd. (1999)'nin çalışmalarına benzer şekilde *Lathyrus sphaericus* bitkisi vejetatif kısımlarında (yaprak ve gövde) generatif kısımlarından (tohum ve bakla kabuğu) yaklaşık 3,5 kat daha fazla Al akümüle etmiştir.

Vicia cracca bitkisinin yapraklarında gövdedekinin yaklaşık 2,2 katı Al birikimi gözlemlenmiştir benzer şekilde Kolesnichenko vd. (2018)'nin yaptıkları çalışmada *Vicia cracca* bitkisinin yapraklarında gövdedekinin yaklaşık 2,1 katı Al belirlenmiştir.

Poa bulbosa bitkisinin sürgünlerinde bulunan Al içeriği Banowetz vd. (2009), USDA Tarım Araştırma Servisi Bitki Germ Plazm merkezinden topladıkları *Poa pratensis* bitkilerinin Al içeriğinden daha düşük bulunmuştur.

Bromus tectorum bitkisinin köklerinde sürgünlerinden yaklaşık 2 kat daha fazla Al birikimi gerçekleşmiştir, Andersson ve Brunet (1993) *Bromus benekenii*'nin köklerinde sürgünlerinden yaklaşık 6 kat daha fazla Al birikimi ölçmüşlerdir.

Ocak külü yığınlarından toplanan *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin Al içerikleri çeşitlilik göstermiş olup $8,68-1500,0 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmektedir (Antonkiewicz, 2010). Bu çalışmada *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisinin dokularında belirlenen

ortalama Al içeriği ($313,53 \text{ mg kg}^{-1}$) ise araştırmacıların belirledikleri konsantrasyon aralığında yer almaktadır.

4.1.2. Türlerin Co Konsantrasyonu

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Co konsantrasyonlarının varyans analizine ait değerler Tablo 4.3'te sunulmuştur. Türler arasındaki Co konsantrasyonu, organlar arasındaki Co konsantrasyonu ve tür*organ interaksyonu istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.3. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Co konsantrasyonuna ait varyans analizi

Kaynak	SD	KO	F değeri
Tür	11	0,29	525,39**
Organ	3	0,66	1185,43**
Tür*Organ	33	0,15	260,70**
Tekerrür	2	0,00	0,17
Hata	94	0,00	
Genel	143		
R ²	0,99	DK (%)	7,30

** : $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, R²: Belirtme katsayısı, KO: Kareler ortalaması, DK: Değişim katsayısı (%).

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Co konsantrasyonuna ait ortalamalar Tablo 4.4'te sunulmuştur.

Tablo 4.4. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Co konsantrasyonuna ait ortalamalar

Co konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)					
Türler	Organlar				Ortalama
	Kök	Gövde	Yaprak	Generatif	
<i>L. sphaericus</i>	0,34gh ^{**}	0,27ijk	0,30ij	0,27ijk	0,30E^{**}
<i>T. campestre</i>	1,54a	0,15mno	0,29ij	0,66cd	0,66A
<i>T. nigrescens</i>	0,39fgh	0,66cd	0,61de	0,60de	0,56B
<i>T. arvense</i>	0,55e	0,20klm	0,20klm	0,28ijk	0,31E
<i>V. cracca</i>	0,42fg	0,12no	0,29ij	0,82b	0,41C
<i>L. gebelia</i>	0,15mno	0,10op	0,15mno	0,25jkl	0,16G
<i>P. bulbosa</i>	0,61de	0,20k-n	0,20k-n	0,15mno	0,29E
<i>B. tectorum</i>	0,45f	0,20k-n	0,20k-n	0,08op	0,23F
<i>A. neglecta</i>	0,71c	0,08op	0,08op	0,33hı	0,30E
<i>C.pseudophragmites</i>	0,30ij	0,12no	0,18 ^{lmn}	0,08op	0,17G
<i>S. capensis</i>	0,62de	0,33hı	0,33hı	0,12no	0,35D
<i>S. minor</i>	0,07op	0,04p	0,15mno	0,33hı	0,15G
Ortalama	0,51A^{**}	0,21D	0,25C	0,33B	

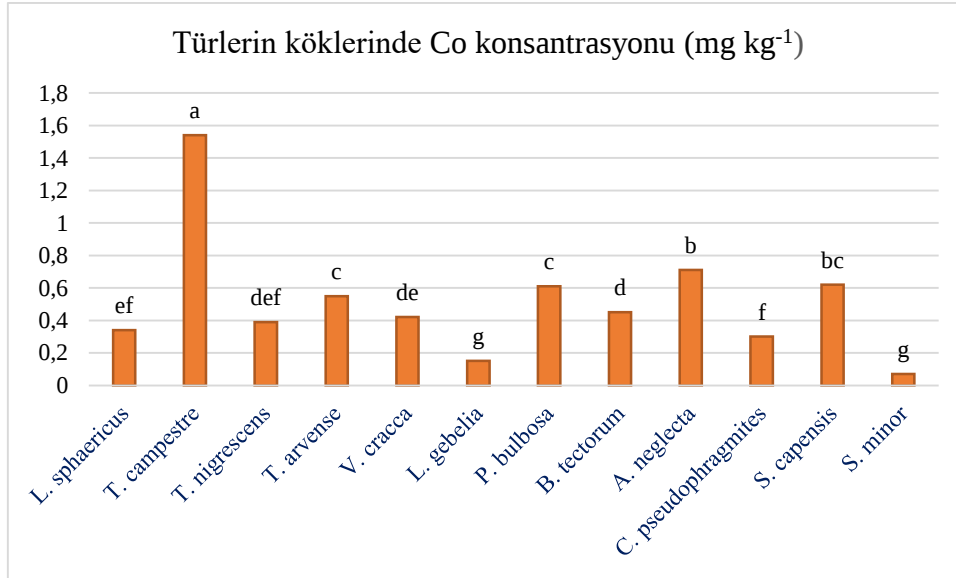
^{**}: p<0,01 önemli. Büyük harfler ortalama gruplarını, küçük harfler interaksiyon gruplarını göstermektedir.

Organlar arasında en yüksek Co içeriği (0,51 mg kg⁻¹) bitkilerin köklerinde en düşük ise gövdelerinde (0,21 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türler arasında en yüksek Co içeriği (0,66 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinde iken en düşük Co içeriği (0,15, 0,16 ve 0,17 mg kg⁻¹) *Sanguisorba minör*, *Lotus gebelia* ve *Calamagrostis pseudophragmites* türlerinde belirlenmiştir.

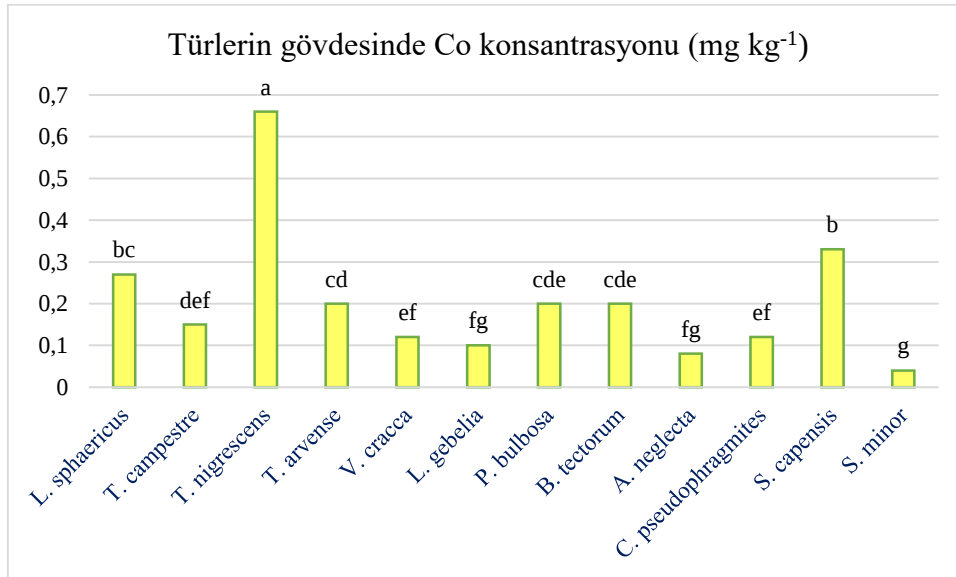
Tür*organ interaksiyonunda en yüksek Co içeriği (1,54 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinin köklerinde iken en düşük Co içeriği (0,04 mg kg⁻¹) *Sanguisorba minör* bitkisinin gövdesinde belirlenmiştir.

Türlerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarındaki Co konsantrasyonları organ bazında grafik olarak görselleştirilmiş ve Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de sunulmuştur.



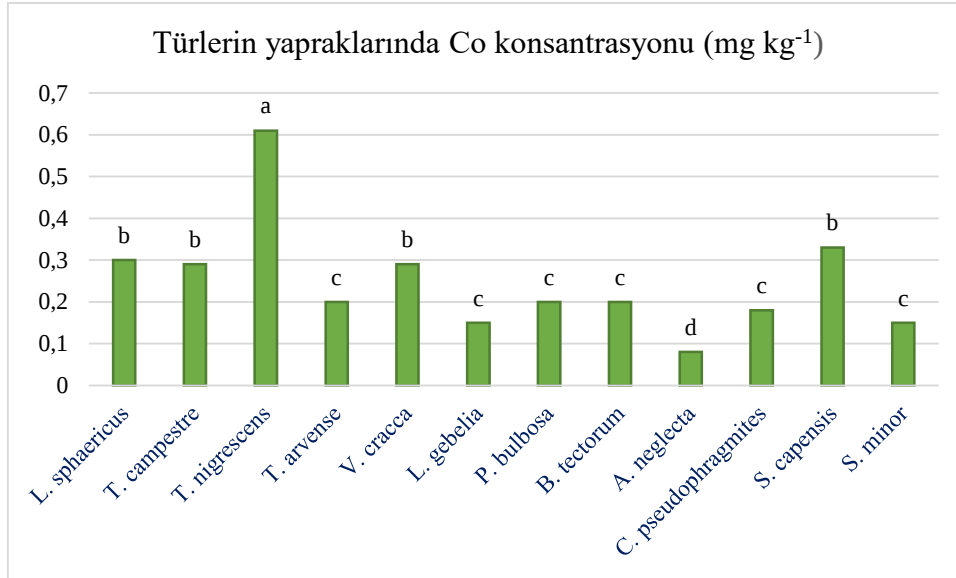
Şekil 4.5. Türlerin köklerindeki Co konsantrasyonu

Köklerinde en fazla Co akümüle eden tür *Trifolium campestre* iken en az Co akümüle eden tür *Sanguisorba minör* ve *Lotus gebelia* olmuştur (Şekil 4.5).



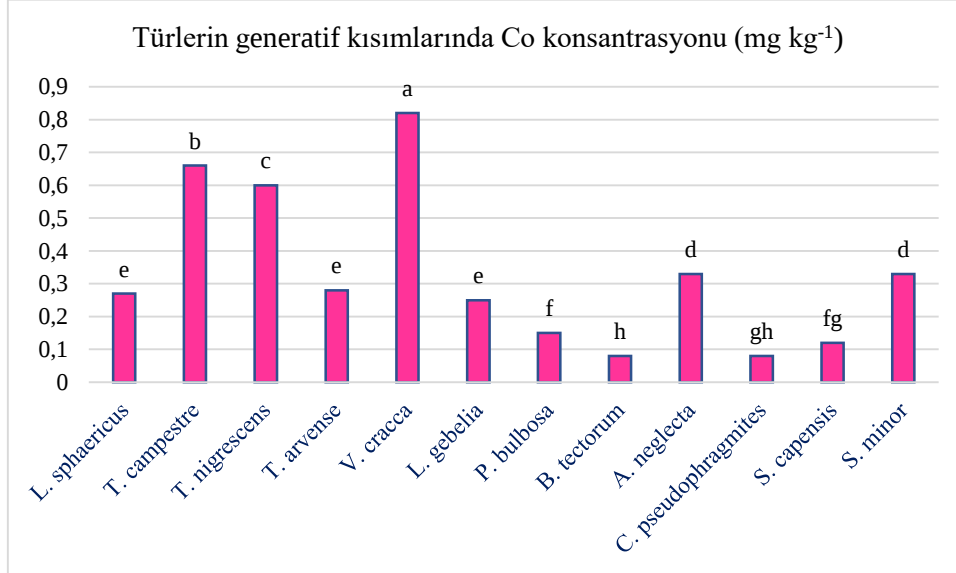
Şekil 4.6. Türlerin gövdelerindeki Co konsantrasyonu

Gövdelerinde en fazla Co akümüle eden tür *Trifolium nigrescens* iken en az Co akümüle eden *Sanguisorba minör* olmuştur (Şekil 4.6).



Şekil 4.7. Türlerin yapraklarındaki Co konsantrasyonu

Yapraklarında en fazla Co akümüle eden tür *Trifolium nigrescens* iken en az Co akümüle eden *Aegilops neglecta* olmuştur (Şekil 4.7).



Şekil 4.8. Türlerin generatif kısımlarındaki Co konsantrasyonu

Generatif kısımlarında en fazla Co akümüle eden tür *Vicia cracca* iken en az Co akümüle eden tür *Bromus tectorum* olmuştur (Şekil 4.8).

Bu çalışmada *Lathyrus sphaericus* bitkisinin generatif kısımları için belirlenen Co konsantrasyonu ($0,27 \text{ mg kg}^{-1}$), Kodirova vd. (2024)'inin 12 farklı *Lathyrus* genotipinin tohumlarında ölçtükleri Co konsantrasyonu için belirledikleri ($0,08-0,32 \text{ mg kg}^{-1}$) aralıkta bulunmuştur.

Trifolium türlerinin Co konsantrasyonları $0,31-0,66 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Gounden vd. (2018) 5 farklı *Trifolium* türü ile yaptıkları çalışmada Co elementi için konsantrasyonun $<2 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğunu bildirmişlerdir.

Lotus gebelia bitkisinin sürgünlerinde $0,13$, köklerinde $0,15 \text{ mg kg}^{-1}$ Co belirlenmiştir; Sujkowska-Rybkowska vd. (2020) ultramafik topraktan topladıkları *Lotus corniculatus* bitkisinin Co içeriğini sürgünlerde $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$, köklerde $8,5 \text{ mg kg}^{-1}$ belirlemişlerdir. Çalışma alanı topraklarının Co konsantrasyonu birbirinden oldukça farklıdır ve toprakların bitkilerin Co içeriğini etkilemesinden dolayı farklılık olduğu düşünülmektedir. Ağır metal seviyeleri aynı yerden toplanan farklı bitkiler için de değişiklik göstermiştir. Metallerin bitkiler tarafından alımı, topraktaki metal konsantrasyonları, kation değişim kapasitesi, toprak pH'ı, organik madde içeriği, bitki türleri ve çeşitleri ve bitki yaşı gibi bir dizi faktörden etkilenmektedir. Bununla birlikte, hakim faktör topraktaki metal konsantrasyonu ve dolayısıyla mevcut çevresel koşullardır (Annan vd. 2013).

Poa bulbosa bitkisinin sürgünlerinde bulunan Co içeriği Banowetz vd. (2009), topladıkları *Poa pratensis* bitkilerinin Co içeriğinden çok daha düşük bulunmuştur.

Koide vd. (1987), *Bromus moil* bitkisinin sürgünleri için farklı toprak tiplerinde ortalama Co içeriğini $8,13 \text{ mg kg}^{-1}$ bulurken, bu çalışmada *Bromus tectorum*'un sürgünlerinde Co içeriği $0,20 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Ocak külü yığınlarından toplanan *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin Co içerikleri çeşitlilik göstermiş olup, $0,01-1,17 \text{ mg kg}^{-1}$ Co arasında değişmektedir (Antonkiewicz, 2010). Bu çalışmada *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisinin dokularında belirlenen ortalama Co içeriği ($0,17 \text{ mg kg}^{-1}$) ise araştırmacıların belirledikleri konsantrasyon aralığında yer almaktadır.

4.1.3. Türlerin Cr Konsantrasyonu

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cr konsantrasyonlarının varyans analizine ait değerler Tablo 4.5'te sunulmuştur. Türler arasındaki Cr konsantrasyonu, organlar arasındaki Cr konsantrasyonu ve tür*organ interaksiyonu istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.5. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cr konsantrasyonuna ait varyans analizi

Kaynak	SD	KO	F değeri
Tür	11	715,34	329,14**
Organ	3	506,91	233,24**
Tür*Organ	33	278,61	128,19**
Tekerrür	2	0,83	0,38
Hata	94	2,17	
Genel	143		
R ²	0,99	DK (%)	14,31

** : $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, R²: Belirtme katsayısı, KO: Kareler ortalaması, DK: Değişim katsayısı (%).

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cr konsantrasyonuna ait ortalamalar Tablo 4.6'da sunulmuştur.

Tablo 4.6. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cr konsantrasyonuna ait ortalamalar

Cr konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)					
Türler	Organlar				Ortalama
	Kök	Gövde	Yaprak	Generatif	
<i>L. sphaericus</i>	0,78o**	1,70o	1,72o	1,21o	1,35G**
<i>T. campestre</i>	58,36a	2,90mo	7,94ı-l	24,17de	23,34A
<i>T. nigrescens</i>	3,00l-o	21,34e	11,48f-ı	13,94fg	12,44C
<i>T. arvense</i>	13,19fgh	3,41l-o	3,41lo	7,74ı-m	6,94D
<i>V. cracca</i>	3,31l-o	3,72l-o	2,63no	7,91ı-l	4,40E
<i>L. gebelia</i>	2,00o	2,81mo	1,66o	2,11o	2,15FG
<i>P. bulbosa</i>	26,70d	11,51f-ı	11,51f-ı	3,76l-o	13,37C
<i>B. tectorum</i>	5,19j-o	8,96h-k	8,96h-k	3,57l-o	6,67D
<i>A. neglecta</i>	34,30a	4,06k-o	4,06k-o	28,98cd	17,85B
<i>C.pseudophragmites</i>	9,45g-j	5,33j-o	14,77f	4,34k-o	8,47D
<i>S. capensis</i>	31,96bc	25,06de	25,06de	9,47g-j	22,89A
<i>S. minor</i>	1,63o	1,39o	7,17ı-n	3,62l-o	3,45EF
Ortalama	15,82A**	7,68C	8,36BC	9,24B	

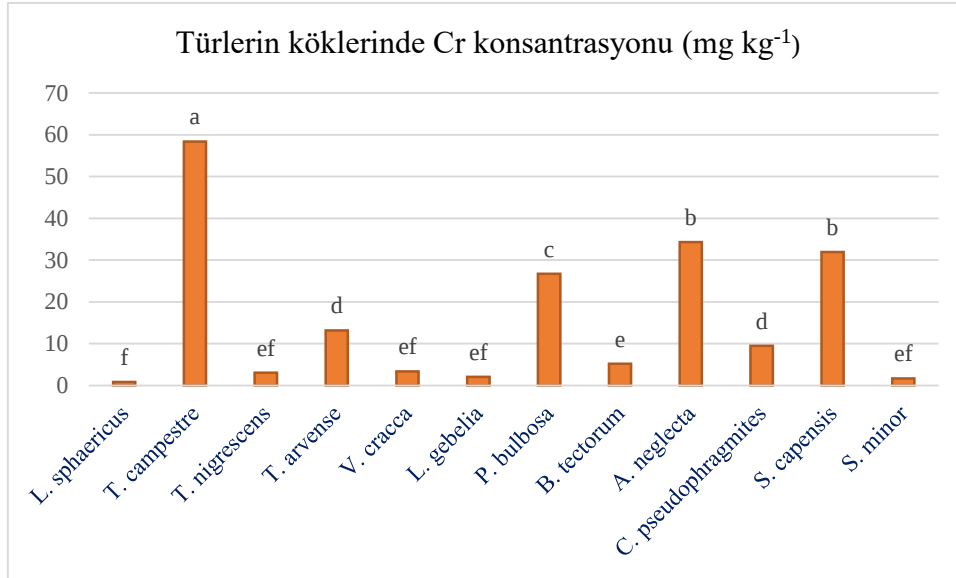
** : p<0,01 önemli. Büyük harfler ortalama gruplarını, küçük harfler interaksiyon gruplarını göstermektedir.

Organlar arasında en yüksek Cr içeriği (15,82 mg kg⁻¹) bitkilerin köklerinde en düşük ise gövde ve yapraklarda (7,68 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türler arasında en yüksek Cr içeriği (23,34 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinde iken en düşük Cr içeriği (1,35 mg kg⁻¹) *Lathyrus sphaericus* türünde belirlenmiştir.

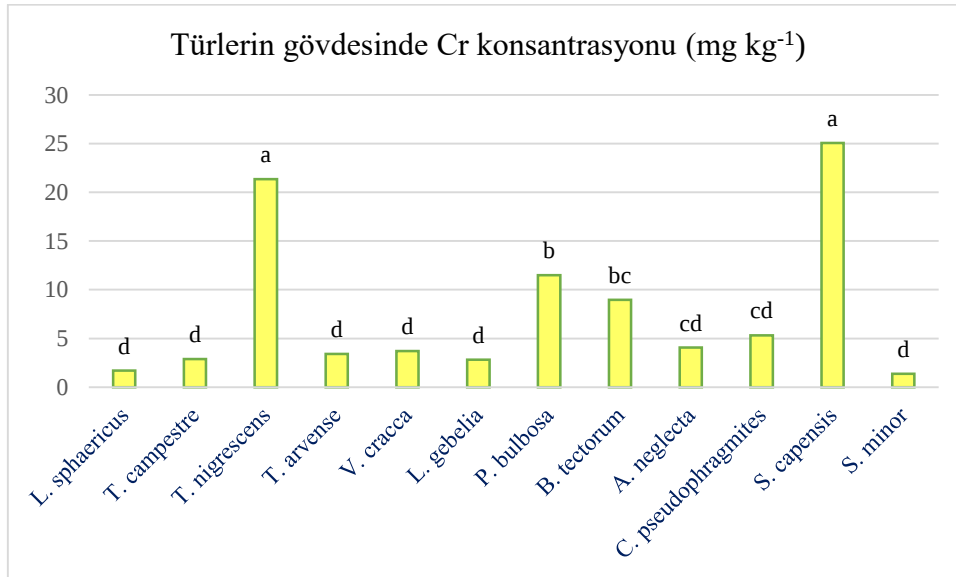
Tür*organ interaksiyonunda en yüksek Cr içeriği (58,36 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinin köklerinde iken en düşük Cr içeriği *Lathyrus sphaericus* bitkisinin köklerinde, generatif kısımlarında, gövde ve yapraklarında (0,78, 1,21, 1,70 ve 1,72 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türlerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarındaki Cr konsantrasyonları organ bazında grafik olarak görselleştirilmiş ve Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sunulmuştur.



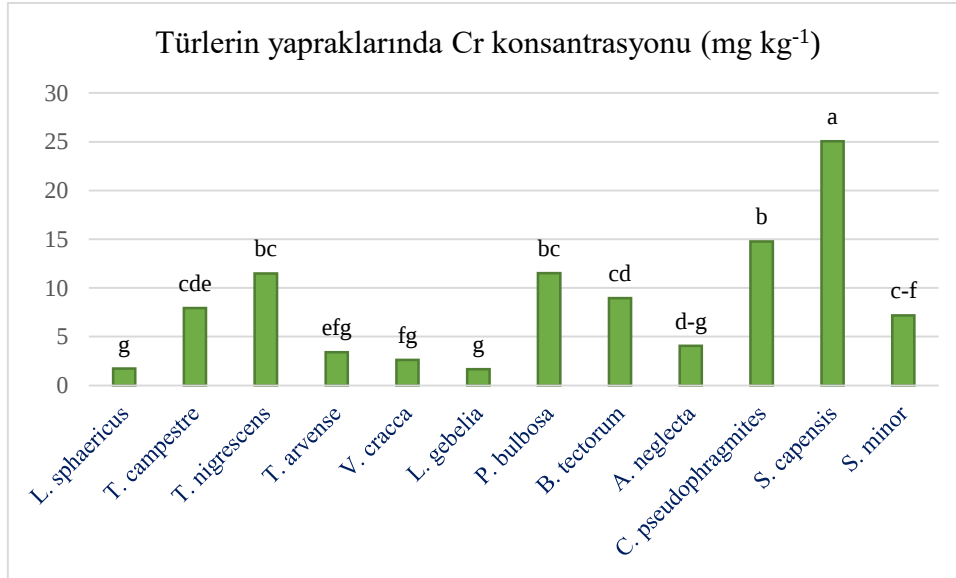
Şekil 4.9. Türlerin köklerindeki Cr konsantrasyonu

Köklerinde en fazla Cr akümüle eden tür *Trifolium campestre* iken en az Cr akümüle eden tür *Lathyrus sphaericus* olmuştur (Şekil 4.9).



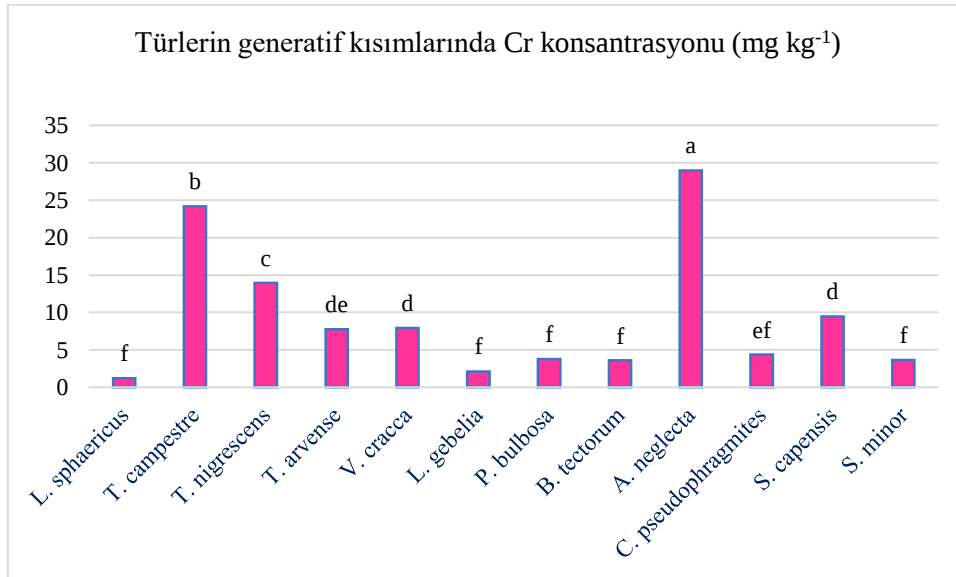
Şekil 4.10. Türlerin gövdelerindeki Cr konsantrasyonu

Gövdelerinde en fazla Cr akümüle eden türler *Trifolium nigrescens* ve *Stipa capensis* iken en az Cr akümüle eden türler *Lathyrus sphaericus*, *Trifolium campestre*, *Trifolium arvense*, *Vicia cracca*, *Lotus gebelia* ve *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.10).



Şekil 4.11. Türlerin yapraklarındaki Cr konsantrasyonu

Yapraklarında en fazla Cr akümüle eden tür *Stipa capensis* iken en az Cr akümüle eden türler *Lathyrus sphaericus* ve *Lotus gebelia* olmuştur (Şekil 4.11).



Şekil 4.12. Türlerin generatif kısımlarındaki Cr konsantrasyonuna ait grafik

Generatif kısımlarında en fazla Cr akümüle eden tür *Aegilops neglecta* iken en az Cr akümüle eden türler *Lathyrus sphaericus*, *Lotus gebelia*, *Poa bulbosa*, *Bromus tectorum* ve *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.12).

Bu çalışmada *Lathyrus sphaericus* bitkisinin generatif kısımları için belirlenen Cr konsantrasyonu ($1,21 \text{ mg kg}^{-1}$), Kodirova vd. (2024)'inin 12 farklı *Lathyrus* genotipinin tohumlarında ölçtükleri Cr konsantrasyonuna ($1,10 \text{ mg kg}^{-1}$) benzerlik göstermektedir.

Trifolium türlerinin Cr konsantrasyonları $6,94\text{-}23,34 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Gounden vd. (2018) 5 farklı *Trifolium* türü ile yaptıkları çalışmada Cr elementi için konsantrasyonun en fazla 6 mg kg^{-1} olduğunu bildirmişlerdir. Topraktaki Cr konsantrasyonu ve türler arasındaki farklılık bitkilerin element içeriklerini değiştirebilir.

Lotus gebelia bitkisinin sürgünlerinde $2,24 \text{ mg kg}^{-1}$, köklerinde $2,00 \text{ mg kg}^{-1}$ Cr belirlenmiştir; Sujkowska-Rybkowska vd. (2020) ultramafik topraktan topladıkları *Lotus corniculatus* bitkisinin Cr içeriğini sürgünlerde $5,4 \text{ mg kg}^{-1}$, köklerde $20,5 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlemişlerdir. Çalışma alanı topraklarının Cr konsantrasyonları arasındaki farkın bitkilerin Cr içeriğine yansımından dolayı sonuçların yakınlık göstermediği düşünülmektedir.

Vicia cracca türünün dokularındaki ortalama Cr konsantrasyonu ($4,40 \text{ mg kg}^{-1}$) Akbalık (2012)'in 5 *Vicia* türü ile yaptıkları çalışmada buldukları Cr konsantrasyonundan ($0,09\text{-}1,30 \text{ mg kg}^{-1}$) daha yüksek bulunmuştur. Araştırmacıların topraklarındaki Cr konsantrasyonunun bu çalışmadaki toprakta belirlenen Cr konsantrasyonundan daha düşük olduğu için bu duruma yansıdığı düşünülmektedir.

Poa bulbosa bitkisinin sürgünlerinde bulunan Cr içeriği Salinitro vd. (2019)'inin inceledikleri *Poa annua* bitkisinin Cr içeriğinden daha yüksek bulunmuştur.

4.1.4. Türlerin Cu Konsantrasyonu

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cu konsantrasyonlarının varyans analizine ait değerler Tablo 4.7'de sunulmuştur. Türler arasındaki Cu konsantrasyonu, organlar arasındaki Cu konsantrasyonu ve tür*organ interaksiyonu istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.7. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cu konsantrasyonuna ait varyans analizi

Kaynak	SD	KO	F değeri
Tür	11	39,06	991,59**
Organ	3	4,08	103,69**
Tür*Organ	33	2,73	69,31**
Tekerrür	2	0,05	1,21
Hata	94	0,04	
Genel	143		
R ²	0,99	DK (%)	5,97

** : P<0,01, SD: Serbestlik derecesi, R²: Belirtme katsayısı, KO: Kareler ortalaması, DK: Değişim katsayısı (%).

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cu konsantrasyonuna ait ortalamalar Tablo 4.8’de sunulmuştur.

Tablo 4.8. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Cu konsantrasyonuna ait ortalamalar

Cu konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)						
Türler		Organlar				Ortalama
		Kök	Gövde	Yaprak	Genaratif	
2	<i>L. sphaericus</i>	5,10de**	4,08fgh	4,34fg	3,96ghı	4,37B**
3	<i>T. campestre</i>	5,08de	3,13j-m	4,34fg	3,55h-k	4,03C
4	<i>T. nigrescens</i>	2,13p-t	2,11p-t	2,54m-q	2,58m-q	2,34F
5	<i>T. arvense</i>	3,79g-j	2,90k-n	2,90k-n	3,42ı-l	3,25D
9	<i>V. cracca</i>	5,34de	3,05klm	3,34ı-l	4,38fg	4,03C
10	<i>L. gebelia</i>	2,03p-t	2,61m-p	1,20u	1,49tu	1,83G
1	<i>P. bulbosa</i>	2,10p-t	2,26n-s	2,26n-s	2,60m-p	2,30F
6	<i>B. tectorum</i>	2,88l-o	1,95p-t	1,95p-t	2,59m-p	2,34F
7	<i>A. neglecta</i>	1,68stu	1,24u	1,24u	1,83r-u	1,50H
8	<i>C.pseudophragmites</i>	10,90a	9,94b	6,64c	5,72d	8,30A
13	<i>S. capensis</i>	2,48m-r	2,56m-q	2,56m-q	2,97klm	2,64E
12	<i>S. minor</i>	1,92q-t	4,15fgh	2,24o-s	4,74ef	3,26D
Ortalama		3,79A**	3,33B	2,96C	3,32B	

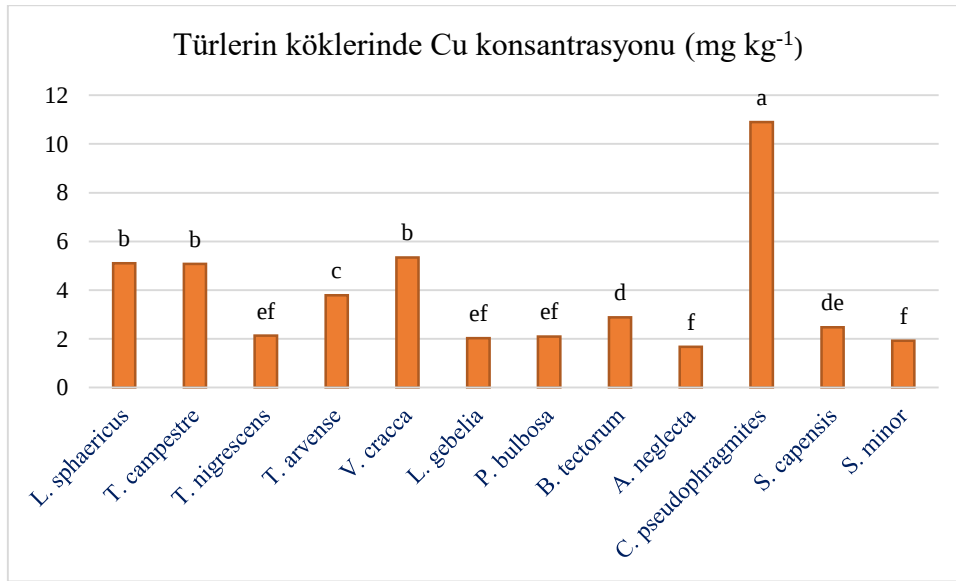
** : p<0,01 önemli. Büyük harfler ortalama gruplarını, küçük harfler interaksiyon gruplarını göstermektedir.

Organlar arasında en yüksek Cu içeriği (3,79 mg kg⁻¹) bitkilerin köklerinde, en düşük ise Cu içeriği ise yapraklarda (2,96 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türler arasında en yüksek Cu içeriği ($8,30 \text{ mg kg}^{-1}$) *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisinde iken, en düşük Cu içeriği ($1,50 \text{ mg kg}^{-1}$) *Aegilops neglecta* bitkisinde belirlenmiştir.

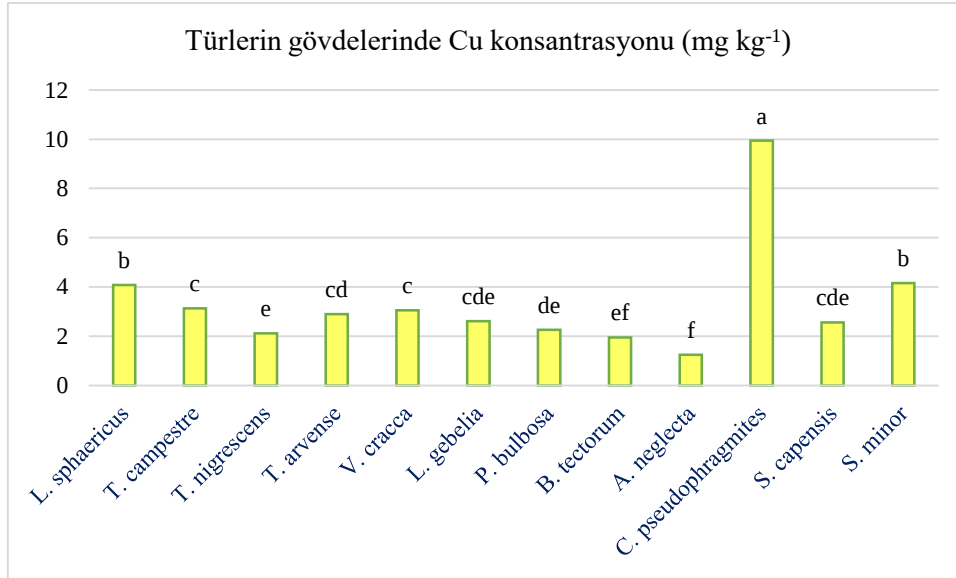
Tür*organ interaksiyonunda en yüksek Cu içeriği ($10,90 \text{ mg kg}^{-1}$) *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisinin köklerinde iken, en düşük Cu içeriği *Lotus gebelia* bitkisinin (1,20 mg kg^{-1}) yapraklarında ve *Aegilops neglecta* bitkisinin gövde ve yaprağında ($1,24 \text{ mg kg}^{-1}$) belirlenmiştir.

Türlerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarındaki Cu konsantrasyonları organ bazında grafik olarak görselleştirilmiş ve Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da sunulmuştur.



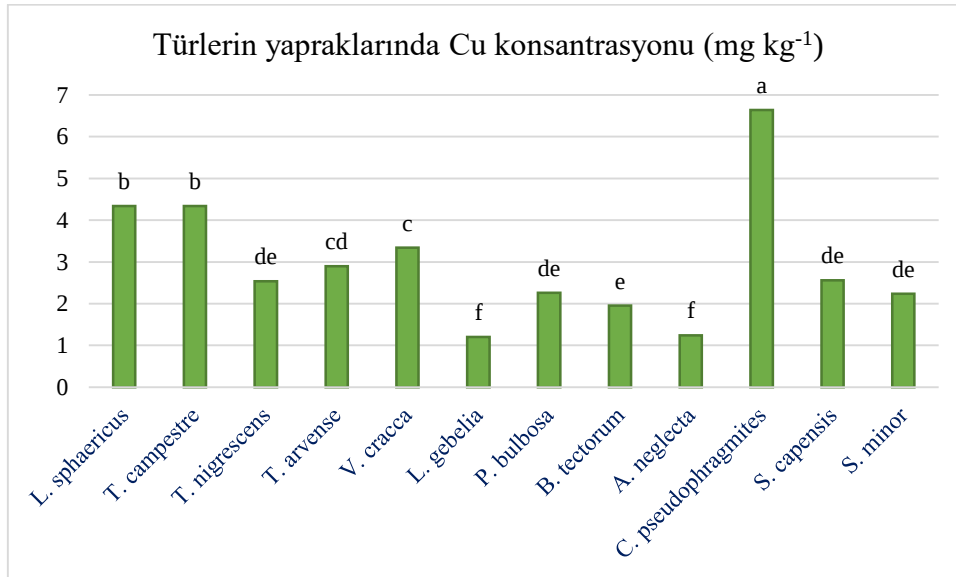
Şekil 4.13. Türlerin köklerindeki Cu konsantrasyonu

Köklerinde en fazla Cu akümüle eden tür *Calamagrostis pseudophragmites* iken, en az Cu akümüle eden türler *Aegilops neglecta* ve *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.13).



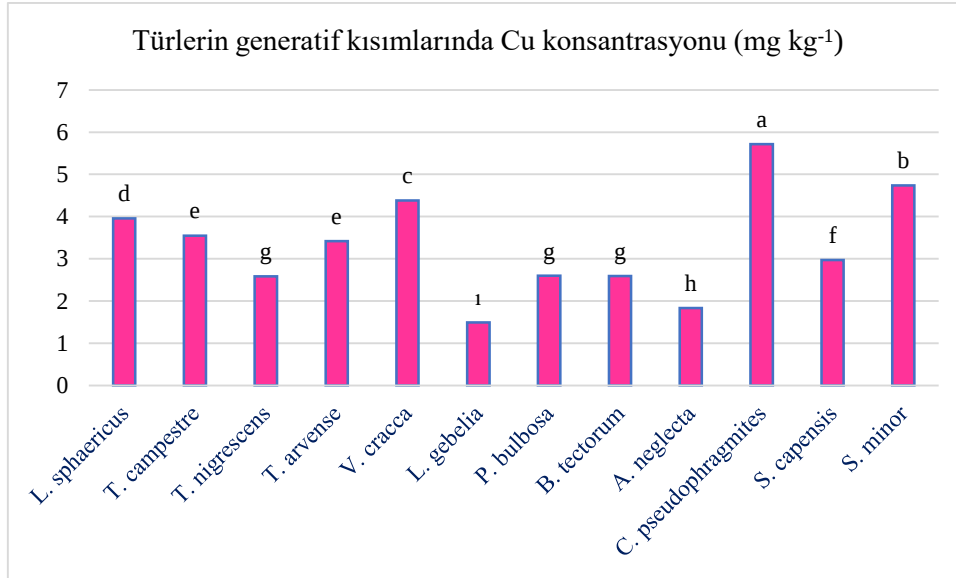
Şekil 4.14. Türlerin gövdelerindeki Cu konsantrasyonu

Gövdesinde en fazla Cu akümüle eden tür *Calamagrostis pseudophragmites* iken, en az Cu akümüle eden tür *Aegilops neglecta* olmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.15. Türlerin yapraklarındaki Cu konsantrasyonu

Yapraklarında en fazla Cu akümüle eden tür *Calamagrostis pseudophragmites* iken, en az Cu akümüle eden tür *Lotus gebelia* ve *Aegilops neglecta* olmuştur (Şekil 4.15)



Şekil 4.16. Türlerin generatif kısımlarındaki Cu konsantrasyonuna ait grafik

Generatif kısmında en fazla Cu akümüle eden tür *Calamagrostis pseudophragmites* iken, en az Cu akümüle eden tür *Lotus gebelia* olmuştur (Şekil 4.16).

Topraktaki ortalama Cu içeriğinin 1,9 mg kg⁻¹ olduğu durumlarda *Lathyrus* genotiplerinde Cu içeriği ortalama 8,35 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir (Arslan, 2017). Bu çalışmada da benzer Cu konsantrasyonuna sahip toprak olmasına karşın, bitki dokularında (*Lathyrus sphaericus*) daha az Cu içeriği ölçülmüştür.

Wheeler ve Dodd (1995), 15 farklı *Trifolium* ve 6 farklı *Lotus* türü ile yaptığı çalışmada *Trifolium* türlerinin toprak üstü ortalama Cu konsantrasyonlarını 14,4 mg kg⁻¹ olarak bulurken, toprakaltı konsantrasyonlarını 51,5 mg kg⁻¹ olarak bulmuşlardır. *Lotus* türlerinin toprak üstü ortalama Cu konsantrasyonlarını 7,7 mg kg⁻¹, toprakaltı Al konsantrasyonlarını 9,7 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Wheeler ve Dodd (1995)'un, çalışmalarıyla bu çalışma sonucu konsantrasyon bakımından benzerlik göstermemektedir. Bunun sebeplerinin çalışma alanlarındaki Cu konsantrasyonları ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Ancak *Trifolium* ve *Lotus* türleri arasında bir kıyaslama yapılacak olursa Wheeler ve Dodd (1995)'un çalışmalarında da bu çalışmada olduğu gibi *Trifolium* türleri *Lotus* türlerinden daha fazla Cu içeriğine sahip olmuştur.

Vicia cracca bitkisinin yapraklarında ve gövdesinde ölçülen Cu içeriği ile Kolesnichenko vd. (2018)'nin çalışmalarında yine *Vicia cracca* bitkisinin yapraklarında ve gövdesinde belirlenen Cu içeriği ile benzer olduğu belirlenmiştir.

Poa bulbosa'nın dokularındaki ortalama Cu içeriği (2,30 mg kg⁻¹), Salinitro vd. (2019)'nin *Poa annua* bitkilerinin Cu içerikleri için buldukları konsantrasyon (1,80-20,2 mg kg⁻¹) aralıklarında yer almaktadır.

Koide vd. (1987), *Bromus moil* bitkisinin sürgünleri için farklı toprak tiplerinde ortalama Cu içeriğini 14 mg kg⁻¹ bulurken, bu çalışmada *Bromus tectorum*'un sürgünlerinde Cu içeriği 1,95 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Mitrović vd. (2008), çalışmalarında farklı alanlardan elde edilen *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin Cu elementi için ortalama toprak üstü konsantrasyonlarını toprak altı konsantrasyonlarından daha az bulmuşlardır. Bu çalışmada da *Calamagrostis pseudophragmites* bitkilerinin toprak üstü Cu konsantrasyonları toprakaltı Cu konsantrasyonundan daha düşük olduğu belirlenmiştir.

4.1.5. Türlerin Fe Konsantrasyonu

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Fe konsantrasyonlarının varyans analizine ait değerler Tablo 4.9'da sunulmuştur. Türler arasındaki Fe konsantrasyonu, organlar arasındaki Fe konsantrasyonu ve tür*organ interaksiyonu istatistiksel olarak çok önemli (p<0,01) bulunmuştur.

Tablo 4.9. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Fe konsantrasyonuna ait varyans analizi

Kaynak	SD	KO	F değeri
Tür	11	651284,63	851,61**
Organ	3	668312,37	873,88**
Tür*Organ	33	228879,27	299,28**
Tekerrür	2	8,85	0,01
Hata	94	765	
Genel	143		
R ²	1,00	DK (%)	8,20

** : P<0,01, SD: Serbestlik derecesi, R²: Belirtme katsayısı, KO: Kareler ortalaması, DK: Değişim katsayısı (%).

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Fe konsantrasyonuna ait ortalamalar Tablo 4.10'da sunulmuştur.

Tablo 4.10. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Fe konsantrasyonuna ait ortalamalar

Fe konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)						
Türler	Organlar				Ortalama	
	Kök	Gövde	Yaprak	Genaratif		
2	<i>L. sphaericus</i>	98,72q-u**	122,83p-u	167,27l-r	39,24u	107,01F**
3	<i>T. campestre</i>	1758,73a	148,54o-t	407,26gh	801,02de	778,89A
4	<i>T. nigrescens</i>	350,51hij	930,50c	1072,93b	882,56cd	809,12A
5	<i>T. arvense</i>	686,83f	170,51l-q	170,51l-q	249,84k-n	319,42C
9	<i>V. cracca</i>	251,79klm	90,15q-u	226,30k-o	494,82g	265,77D
10	<i>L. gebelia</i>	97,27q-u	95,21q-u	157,30n-s	168,76l-r	129,63F
1	<i>P. bulbosa</i>	740,22ef	208,55k-p	208,55k-p	91,00q-u	312,08C
6	<i>B. tectorum</i>	369,92hi	284,74ijk	284,74ijk	65,82stu	251,30D
7	<i>A. neglecta</i>	922,49c	88,40q-u	88,40q-u	250,83klm	337,53C
8	<i>C.pseudophragmites</i>	257,92jkl	61,97tu	253,58kl	170,69l-q	186,04E
13	<i>S. capensis</i>	805,64de	389,37h	389,37h	76,36r-u	415,19B
12	<i>S. minor</i>	61,62tu	41,08u	278,76ijk	159,63m-r	135,27F
Ortalama		533,47A**	219,32D	308,75B	287,55C	

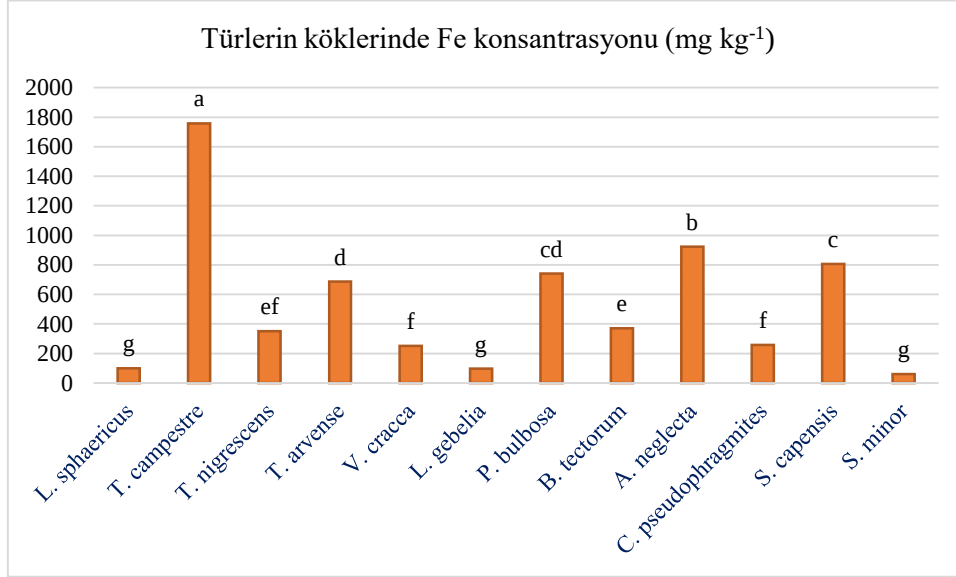
** : p<0,01 önemli. Büyük harfler ortalama gruplarını, küçük harfler interaksiyon gruplarını göstermektedir.

Organlar arasında en yüksek Fe içeriği (533,47 mg kg⁻¹) bitkilerin köklerinde en düşük ise gövdelerinde (219,32 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türler arasında en yüksek Fe içeriği *Trifolium campestre* (778,89 mg kg⁻¹) ve *Trifolium nigrescens* (809,12 mg kg⁻¹) bitkilerinde iken en düşük Fe içeriği *Lathyrus sphaericus* (107,01 mg kg⁻¹), *Lotus gebelia* (129,63 mg kg⁻¹) ve *Sanguisorba minor* (135,27mg kg⁻¹) türlerinde belirlenmiştir.

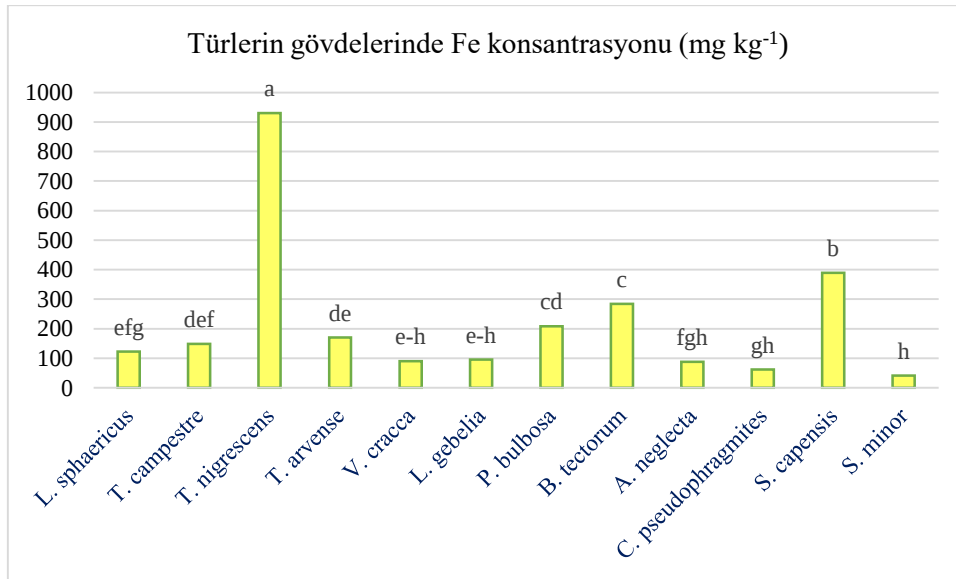
Tür*organ interaksiyonunda en yüksek Fe içeriği (1758,73 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinin köklerinde iken, en düşük Fe içeriği *Lathyrus sphaericus* (39,24 mg kg⁻¹) bitkisinin generatif kısmında ve *Sanguisorba minor* (41,08 mg kg⁻¹) bitkisinin gövdesinde belirlenmiştir.

Türlerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarındaki Fe konsantrasyonları organ bazında grafik olarak görselleştirilmiş ve Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de sunulmuştur.



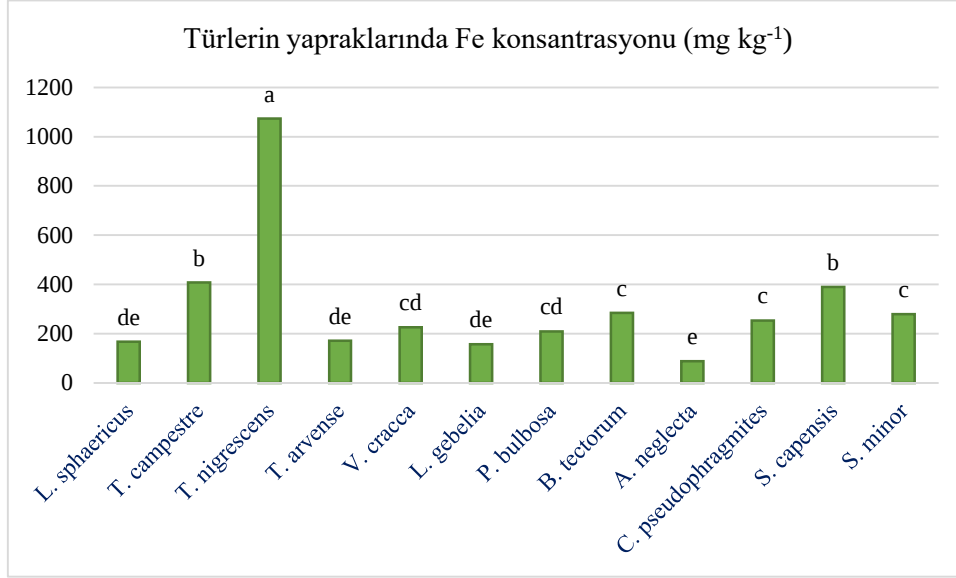
Şekil 4.17. Türlerin köklerindeki Fe konsantrasyonu

Köklerinde en fazla Fe akümüle eden tür *Trifolium campestre* iken en az Fe akümüle eden tür *Lathyrus sphaericus*, *Lotus gebelia* ve *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.17).



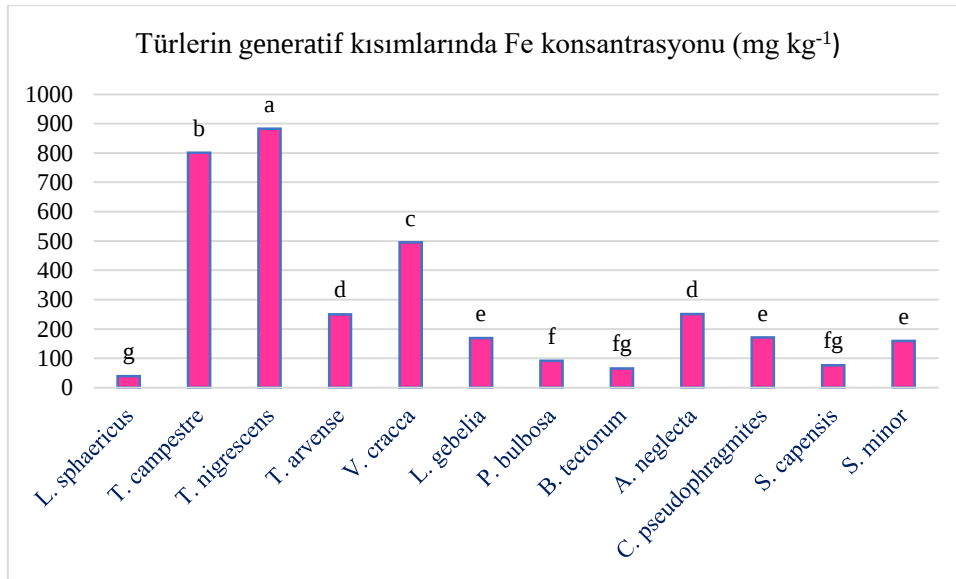
Şekil 4.18. Türlerin gövdelerindeki Fe konsantrasyonu

Gövdelerinde en fazla Fe akümüle eden tür *Trifolium nigrescens* iken en az Fe akümüle eden tür *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.18).



Şekil 4.19. Türlerin yapraklarındaki Fe konsantrasyonu

Yapraklarında en fazla Fe akümüle eden tür *Trifolium nigrescens* iken en az Fe akümüle eden tür *Aegilops neglecta* olmuştur (Şekil 4.19).



Şekil 4.20. Türlerin generatif kısımlarındaki Fe konsantrasyonu

Generatif kısımlarında en fazla Fe akümüle eden tür *Trifolium nigrescens* iken en az Fe akümüle eden tür *Lathyrus sphaericus* olmuştur (Şekil 4.20).

Wheeler ve Dodd (1995), 15 farklı *Trifolium* ve 6 farklı *Lotus* türü ile yaptığı çalışmada *Trifolium* türlerinin toprak üstü ortalama Fe konsantrasyonlarını 133,9 mg kg⁻¹ bulurken, toprakaltı konsantrasyonlarını 800,7 mg kg⁻¹ olarak bulmuşlardır. *Lotus* türlerinin toprak üstü ortalama Fe konsantrasyonlarını 158,0 mg kg⁻¹ olarak bulurken, toprakaltı Fe konsantrasyonlarını 333,3 mg kg⁻¹ olarak bulmuşlardır. Wheeler ve Dodd (1995)'in çalışmalarındaki *Lotus* türlerine ait konsantrasyon sonuçlarıyla bu çalışmanın sonuçları benzerlik göstermesine rağmen *Trifolium* türlerinin sonuçlarının bu çalışma sonuçlarından daha düşük olduğu belirlenmiştir. *Trifolium* ve *Lotus* türleri arasında bir kıyaslama yapılacak olursa Wheeler ve Dodd (1995)'un çalışmalarında da bu çalışmada olduğu gibi *Trifolium* türleri, *Lotus* türlerinden daha fazla Fe içeriğine sahip olmuştur.

Shahidi vd. (1999) *Lathyrus maritimus* bitkisinin vejetatif kısımlarının generatif kısımlarına göre daha fazla Fe içerdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada da Shahidi vd. (1999)'nin çalışmalarına benzer şekilde *Lathyrus sphaericus* türünün vejetatif kısımları generatif kısımlarından daha fazla Fe içermiştir.

Vicia cracca bitkisinin yapraklarında gövdedekinin yaklaşık 2,5 katı Fe birikimi gözlemlenirken, Kolesnichenko vd. (2018)'nin yaptıkları çalışmada *Vicia cracca* bitkisinin yapraklarında gövdedekinin yaklaşık 3,1 katı Fe birikimi gözlemlenmiştir.

Poa bulbosa bitkisinin sürgünlerinde bulunan Fe içeriği, Banowetz vd. (2009)'nin topladıkları *Poa pratensis* bitkilerinin Fe içeriğinden daha düşük bulunmuştur.

Khan vd. (2019), *Bromus catharticus* bitkisinin çiçeklenme öncesi devresinde bitkide Fe konsantrasyonunun 700 mg kg⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada olgun bitkinin sürgünlerindeki ortalama Fe içeriği (284,74 mg kg⁻¹) daha düşük bulunmuştur.

Aegilops neglecta bitkisinde Fe içeriği köklerde toprak üstü organlardan çok daha yüksek bulunmuştur. Karatassiou vd. (2021) de çalışmalarında *Aegilops triuncialis*'in Fe konsantrasyonunu köklerde gövde ve yapraklardan çok daha yüksek bulmuşlardır.

Ocak külü yığınlarından toplanan *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin Fe içerikleri çeşitlilik göstermiş olup, 49,70-1800,0 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Antonkiewicz, 2010). Bu çalışmada *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisinin dokularında belirlenen ortalama Fe içeriği (186,04 mg kg⁻¹), araştırmacıların belirledikleri konsantrasyon aralığında yer almaktadır.

4.1.6. Türlerin Mn Konsantrasyonu

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Mn konsantrasyonlarının varyans analizine ait değerler Tablo 4.11’de sunulmuştur. Türler arasındaki Mn konsantrasyonu, organlar arasındaki Mn konsantrasyonu ve tür*organ interaksyonu istatistiksel olarak çok önemli (p<0,01) bulunmuştur.

Tablo 4.11. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Mn konsantrasyonuna ait varyans analizi

Kaynak	SD	KO	F değeri
Tür	11	4998,85	886,72**
Organ	3	7059,85	1252,30**
Tür*Organ	33	2028,47	359,82**
Tekerrür	2	9,81	1,74
Hata	94	5,64	
Genel	143		
R ²	1,00	DK (%)	5,99

** : P<0,01, SD: Serbestlik derecesi, R²: Belirtme katsayısı, KO: Kareler ortalaması, DK: Değişim katsayısı (%).

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Mn konsantrasyonuna ait ortalamalar Tablo 4.12’de sunulmuştur.

Tablo 4.12. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Mn konsantrasyonuna ait ortalamalar

Mn konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)					
Türler	Organlar				Ortalama
	Kök	Gövde	Yaprak	Genaratif	
<i>L. sphaericus</i>	12,23op**	14,65m-p	46,14fg	18,47l-o	22,87G**
<i>T. campestre</i>	92,32bc	23,59kl	85,88c	61,97e	65,94B
<i>T. nigrescens</i>	25,29ı-l	33,56h	71,96d	48,21fg	44,76C
<i>T. arvense</i>	23,82jkl	21,78k-n	21,78k-n	23,06kl	22,61G
<i>V. cracca</i>	22,51klm	9,08p	32,45hı	28,60h-k	23,16G
<i>L. gebelia</i>	12,85op	14,18nop	51,38f	22,99kl	25,35FG
<i>P. bulbosa</i>	28,66h-k	27,22h-k	27,22h-k	28,96h-k	28,01EF
<i>B. tectorum</i>	33,83h	46,46fg	46,46fg	25,00ı-l	37,94D
<i>A. neglecta</i>	45,18fg	61,52e	61,52e	23,23kl	47,86C
<i>C. pseudophragmites</i>	33,36h	43,34g	197,51a	84,63c	89,71A
<i>S. capensis</i>	31,72hıj	34,44h	34,44h	17,96l-o	29,64E
<i>S. minor</i>	7,16p	13,29op	35,06h	94,08b	37,40D
Ortalama	30,74C**	28,59D	59,32A	39,76B	

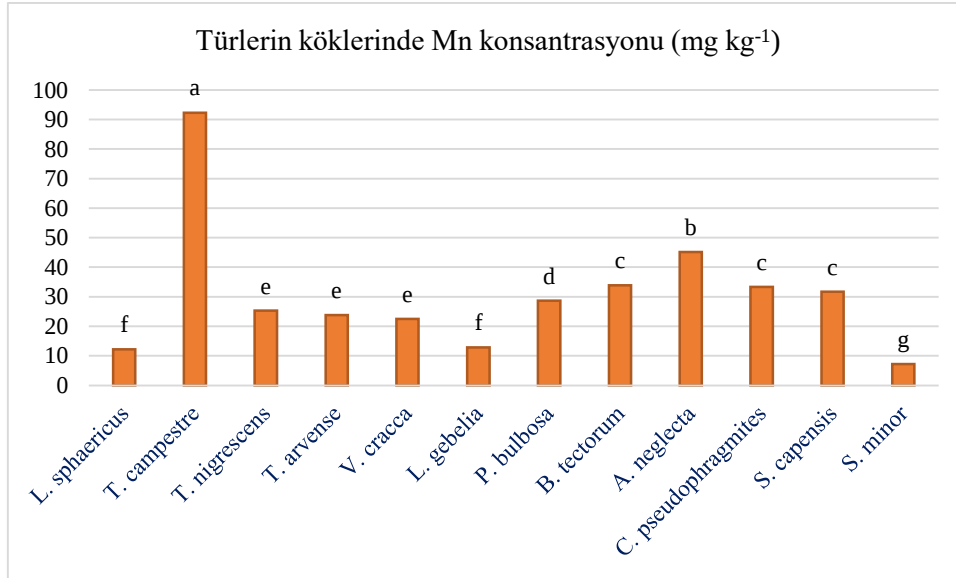
** : p<0,01 önemli. Büyük harfler ortalama gruplarını, küçük harfler interaksiyon gruplarını göstermektedir.

Organlar arasında en yüksek Mn içeriği (59,32 mg kg⁻¹) bitkilerin yapraklarında, en düşük ise gövdelerinde (28,59 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türler arasında en yüksek Mn içeriği (89,71 mg kg⁻¹) *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisinde iken en düşük Mn içeriği (22,87, 22,61 ve 23,16 mg kg⁻¹) *Lathyrus sphaericus*, *Trifolium arvense* ve *Vicia cracca* türlerinde belirlenmiştir.

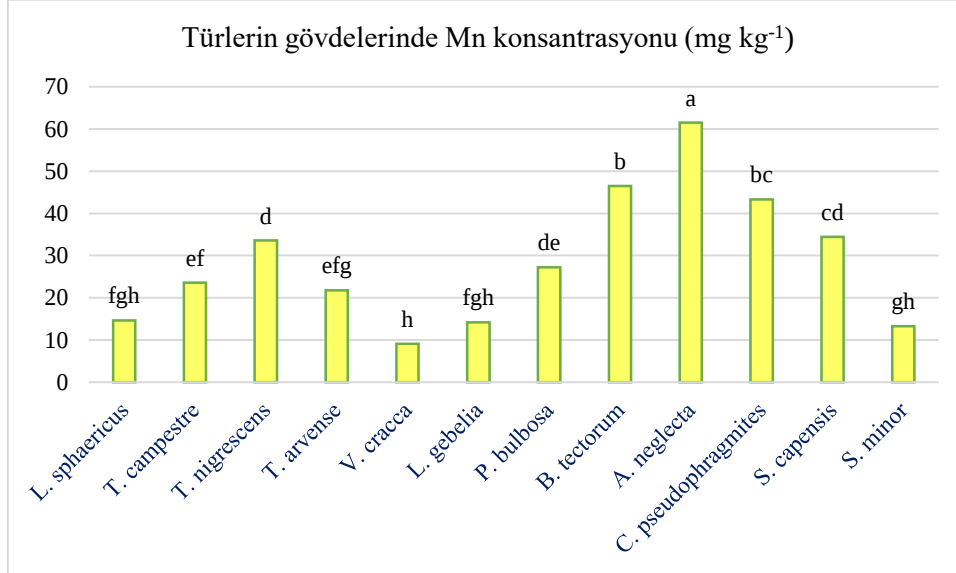
Tür*organ interaksiyonunda en yüksek Mn içeriği (197,51 mg kg⁻¹) *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisinin yapraklarında iken en düşük Mn içeriği (7,16 mg kg⁻¹) *Sanguisorba minor* bitkisinin köklerinde belirlenmiştir.

Türlerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarındaki Mn konsantrasyonları organ bazında grafik olarak görselleştirilmiş ve Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te sunulmuştur.



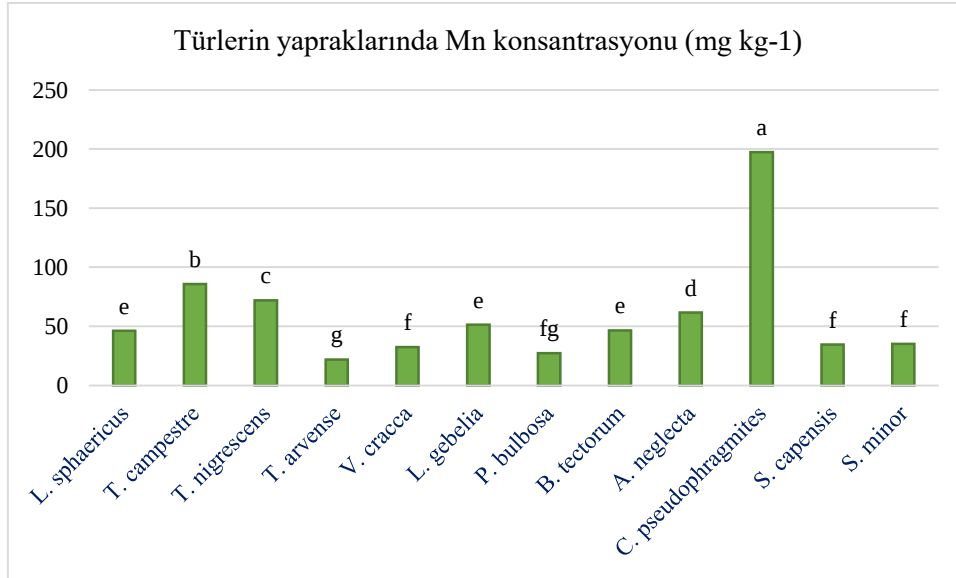
Şekil 4.21. Türlerin köklerindeki Mn konsantrasyonu

Köklerinde en fazla Mn akümüle eden tür *Trifolium campestre* iken, en az Mn akümüle eden tür *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.21).



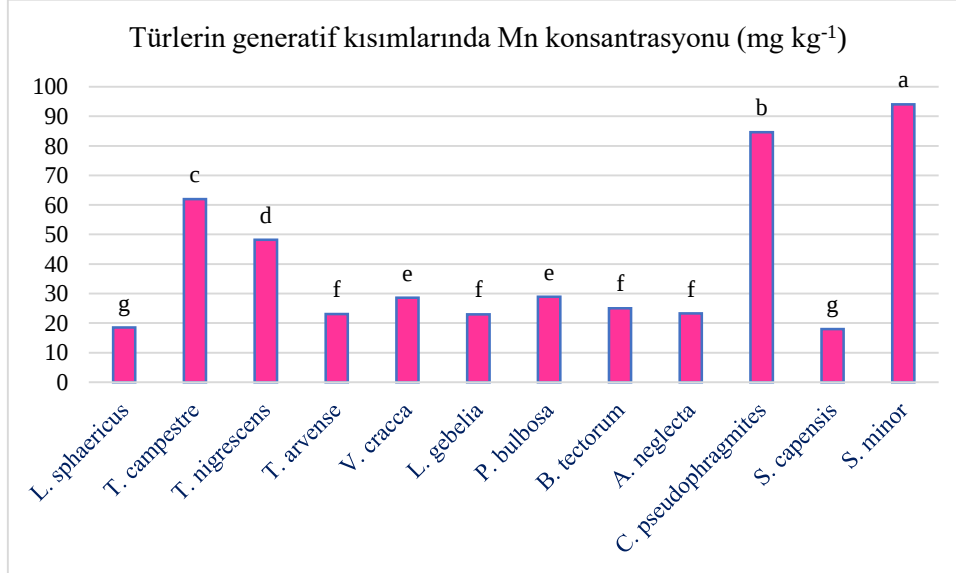
Şekil 4.22. Türlerin gövdelerindeki Mn konsantrasyonu

Gövdelerinde en fazla Mn akümüle eden tür *Aegilops neglecta* iken, en az Mn akümüle eden tür *Vicia cracca* olmuştur (Şekil 4.22).



Şekil 4.23. Türlerin yapraklarındaki Mn konsantrasyonu

Yapraklarında en fazla Mn akümüle eden tür *Calamagrostis pseudophragmites* iken, en az Mn akümüle eden tür *T. arvense* olmuştur (Şekil 4.23).



Şekil 4.24. Türlerin generatif kısımlarındaki Mn konsantrasyonu

Generatif kısımlarında en fazla Mn akümüle eden türler *Sanguisorba minor* iken, en az Mn akümüle eden türler *Lathyrus sphaericus* ve *Stipa capensis* olmuştur (Şekil 4.24).

Bu çalışmaya benzer şekilde Maslennikov vd. (2020) *Lathyrus maritimus* bitkisinin yapraklarında Mn içeriğinin yüksek olduğunu bildirmiştir.

Wheeler ve Dodd (1995), 6 farklı *Lotus* türü ile yaptığı çalışmada toprak üstü organlardaki ortalama Mn konsantrasyonu (34 mg kg^{-1}), bu çalışmada incelenen *Lotus gebelia* türünün toprak üstü organlarındaki ortalama Mn konsantrasyonu ($29,52 \text{ mg kg}^{-1}$) ile benzerlik göstermektedir. Wheeler ve Dodd (1995), tarafından belirlenen *Trifolium* türlerinin toprak üstü ortalama Mn konsantrasyonlarını bu çalışmadaki *Trifolium* türlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Vicia cracca bitkisinin yapraklarında gövdedekinin yaklaşık 3,6 katı Mn birikimi gözlemlenirken, Kolesnichenko vd. (2018)'nin yaptıkları çalışmada *Vicia cracca* bitkisinin yapraklarında gövdedekinin yaklaşık 4,8 katı Mn birikimi gözlemlenmiştir.

Poa bulbosa'nın köklerinde $28,66 \text{ mg kg}^{-1}$ Mn, yapraklarında $27,22 \text{ mg kg}^{-1}$ Mn belirlenmiştir. Padmavathiamma ve Li (2010) *Poa pratensis* ile yaptığı çalışmada toprakta Mn konsantrasyonunun 215 mg kg^{-1} ve toprak pH değerinin 5,4 olduğu durumda bitkinin köklerinde Mn içeriğini 390 mg kg^{-1} , yapraklarında 297 mg kg^{-1} olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmanın yapıldığı toprak Mn konsantrasyonunun ($117,2 \text{ mg kg}^{-1}$) daha az olması ve toprak pH değerinin daha yüksek olması bitki dokularında Mn içeriğinin daha az olmasının nedenleri olarak görülmektedir.

Bromus tectorum'un sürgünlerinde belirlenen Mn konsantrasyonu ($46,46 \text{ mg kg}^{-1}$), Adarve vd. (1998)'nin çalışmalarında *Bromus hordaceus* bitkisinin toprak üstü organlarında belirledikleri Mn içerikleri ile paralellik ($46,6\text{-}53,33 \text{ mg kg}^{-1}$) göstermektedir.

Aegilops neglecta bitkisinde Mn içeriği köklerde toprak üstü organlardan daha düşük konsantrasyonda bulunmuştur. Karatassiou vd. (2021), bu çalışmanın aksine *Aegilops triuncialis* bitkisinde Mn konsantrasyonunu en yüksek köklerde en düşük yapraklarda bulmuşlardır.

Ocak külü yığınlarından toplanan *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin Mn içerikleri $7,33\text{-}146,0 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmektedir (Antonkiewicz, 2010). Bu çalışmada *Calamagrostis*

pseudophragmites bitkisinin dokularında belirlenen ortalama Mn içeriği ($89,71 \text{ mg kg}^{-1}$), araştırmacıların belirledikleri konsantrasyon aralığında yer almaktadır.

Sanguisorba minor bitkisinin gövde ve yapraklarında akümüle olan Mn içeriğinin 3,9 katı generatif kısımlarında ölçülmüştür. Benzer şekilde Djelic vd. (2023) yaptıkları çalışmada *Sanguisorba minor* bitkisinin yaprak ve gövdesindeki ortalama Mn konsantrasyonunun 2,9 katını çiçeklerinde belirlemişlerdir.

4.1.7. Türlerin Ni Konsantrasyonu

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Ni konsantrasyonlarının varyans analizine ait değerler Tablo 4.13'te sunulmuştur. Türler arasındaki Ni konsantrasyonu, organlar arasındaki Ni konsantrasyonu ve tür*organ interaksiyonu istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.13. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Ni konsantrasyonuna ait varyans analizi

Kaynak	SD	KO	F değeri
Tür	11	59,92	317,17**
Organ	3	82,57	437,09**
Tür*Organ	33	33,24	175,93**
Tekerrür	2	0,04	0,21
Hata	94	0,19	
Genel	143		
R^2	0,99	DK (%)	11,25

** $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, R^2 : Belirtme katsayısı, KO: Kareler ortalaması, DK: Değişim katsayısı (%).

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Ni konsantrasyonuna ait ortalamalar Tablo 4.14.'te sunulmuştur.

Tablo 4.14. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Ni konsantrasyonuna ait ortalamalar

Ni konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)					
Türler	Organlar				Ortalama
	Kök	Gövde	Yaprak	Genaratif	
<i>L. sphaericus</i>	0,41x	0,74vwx	0,72wx	0,51wx	0,60G**
<i>T. campestre</i>	21,89a	1,18t-x	3,31l-p	9,13cd	8,88A
<i>T. nigrescens</i>	1,71r-x	7,35ef	4,84h-k	6,08fgh	4,99C
<i>T. arvense</i>	5,00hij	1,41r-x	1,41r-x	3,57j-o	2,85E
<i>V. cracca</i>	3,20l-q	1,50r-x	1,81q-x	7,82de	3,58D
<i>L. gebelia</i>	2,25o-u	1,32s-x	1,38r-x	3,60j-o	2,14F
<i>P. bulbosa</i>	7,14ef	3,47k-o	3,47k-o	1,89p-w	3,99D
<i>B. tectorum</i>	1,65r-x	2,69n-s	2,69n-s	0,91t-x	1,99F
<i>A. neglecta</i>	10,80b	1,03t-x	1,03t-x	8,04de	5,23C
<i>C.pseudophragmites</i>	4,33ı-l	2,35o-t	4,01ı-n	5,20ghı	3,97D
<i>S. capensis</i>	9,88bc	6,62efg	6,62efg	2,19o-v	6,33B
<i>S. minor</i>	1,42r-x	0,85u-x	2,84m-r	4,29ı-m	2,35EF
Ortalama	5,81A**	2,54D	2,85C	4,44B	

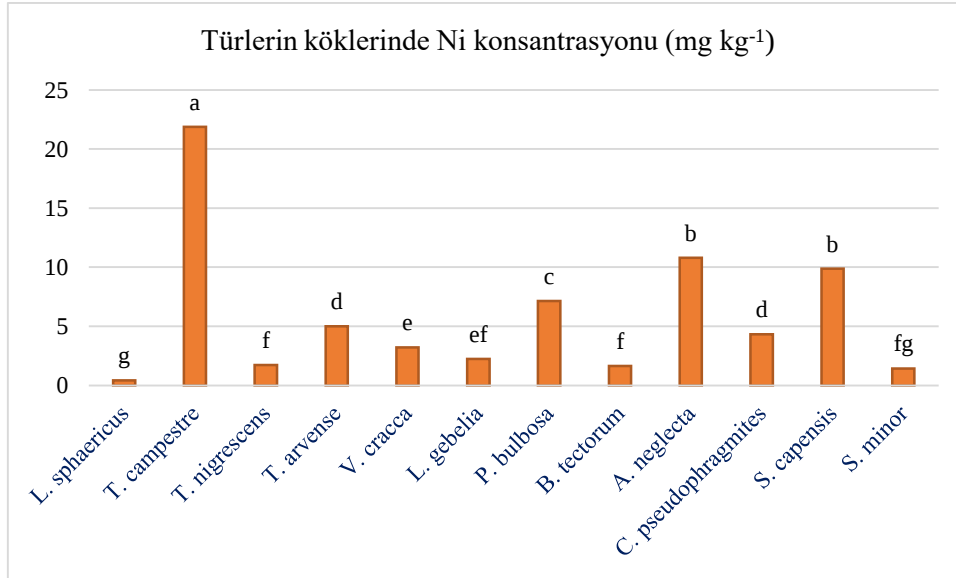
** : p<0,01 önemli. Büyük harfler ortalama gruplarını, küçük harfler interaksiyon gruplarını göstermektedir.

Organlar arasında en yüksek Ni içeriği (5,81 mg kg⁻¹) bitkilerin köklerinde en düşük ise gövdelerinde (2,54 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türler arasında en yüksek Ni içeriği (8,88 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinde iken en düşük Ni içeriği (0,60 mg kg⁻¹) *Lathyrus sphaericus* türünde belirlenmiştir.

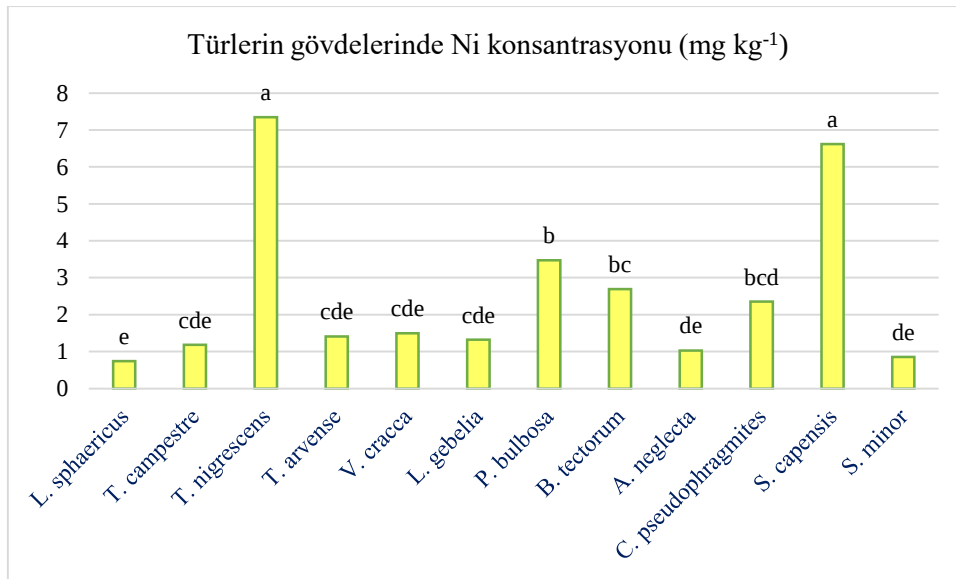
Tür*organ interaksiyonunda en yüksek Ni içeriği (21,89 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinin köklerinde iken en düşük Ni içeriği (0,41 mg kg⁻¹) *Lathyrus sphaericus* bitkisinin köklerinde belirlenmiştir.

Türlerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarındaki Ni konsantrasyonları organ bazında grafik olarak görselleştirilmiş ve Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de sunulmuştur.



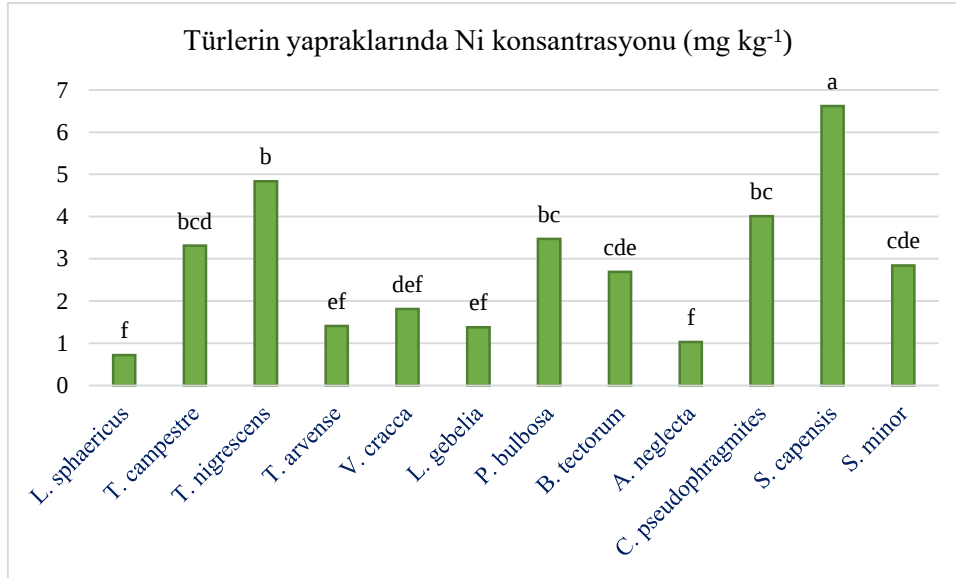
Şekil 4.25. Türlerin köklerindeki Ni konsantrasyonu

Köklerinde en fazla Ni akümüle eden tür *Trifolium campestre* iken en az Ni akümüle eden tür *Lathyrus sphaericus* olmuştur (Şekil 4.25).



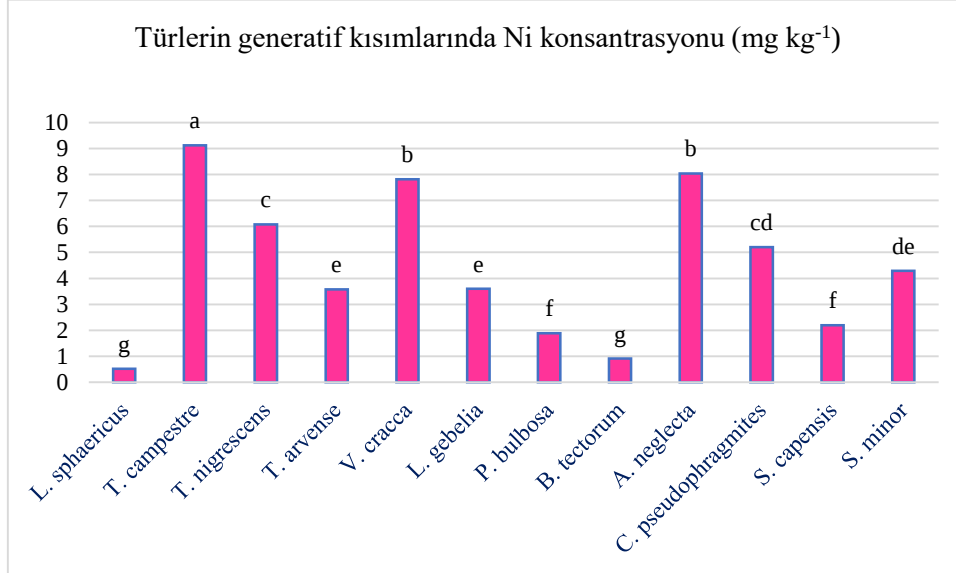
Şekil 4.26. Türlerin gövdelerindeki Ni konsantrasyonu

Gövdelerinde en fazla Ni akümüle eden tür *Trifolium nigrescens* ve *Stipa capensis* iken en az Ni akümüle eden tür *Lathyrus sphaericus* olmuştur (Şekil 4.26).



Şekil 4.27. Türlerin yapraklarındaki Ni konsantrasyonu

Yapraklarında en fazla Ni akümüle eden tür *Stipa capensis* iken, en az Ni akümüle eden türler *Lathyrus sphaericus* ve *Aegilops neglecta* olmuştur (Şekil 4.27).



Şekil 4.28. Türlerin generatif kısımlarındaki Ni konsantrasyonu

Generatif kısımlarında en fazla Ni akümüle eden tür *Trifolium campestre* iken en az Ni akümüle eden türler *Lathyrus sphaericus* ve *Bromus tectorum* olmuştur (Şekil 4.28).

Lathyrus sphaericus bitkisi Ni elementini toprak üstü organlarına taşımıştır. Ancak Jeddou vd. (2017) *Lathyrus ochrus* bitkisinde Ni elementinin üst aksamla çok sınırlı taşındığını nikelin çoğunlukla köklerde akümüle olduğunu bildirmiştir.

Trifolium türlerinin Ni konsantrasyonları 2,85-8,88 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Gounden vd. (2018) 5 farklı *Trifolium* türü ile yaptıkları çalışmada Ni elementi için konsantrasyonun bu çalışmaya benzer şekilde (<10 mg kg⁻¹) olduğunu bildirmişlerdir.

Lotus gebelia bitkisinin sürgünlerinde 1,35 mg kg⁻¹, köklerinde 2,25 mg kg⁻¹ Ni belirlenmiştir; Sujkowska-Rybkowska vd. (2020) ultramafik topraktan topladıkları *Lotus corniculatus* bitkisinin Ni içeriğini sürgünlerde 59,5 mg kg⁻¹, köklerde 167,1 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarını ultramafik topraklarda yapmışlardır ve çalışma topraklarının Ni konsantrasyonu bu çalışmanın yapıldığı toprağın Ni konsantrasyonundan oldukça yüksektir. Bitkiler içinde yetiştikleri ortamın element konsantrasyonundan etkilenmektedirler (Marschner, 1995). Saruhan vd. (2012) yaptıkları çalışmada *Lotus corniculatus* bitkisinin Ni içeriğini kontrol bitkilerinde bu çalışmaya benzer şekilde 1,30 mg kg⁻¹ olarak bildirmişlerdir.

Vicia cracca bitkisinin yaprak ve gövdesindeki (1,81 ve 1,50 mg kg⁻¹) Ni konsantrasyonu Kolesnichenko vd. (2018)'nin çalışmalarındaki *Vicia cracca* bitkisinin yaprak ve gövdesindeki (1,9 ve 0,9 mg kg⁻¹) Ni konsantrasyonu ile benzerlik göstermektedir.

Poa bulbosa'nın dokularındaki ortalama Ni içeriği (3,99 mg kg⁻¹), Salinitro vd. (2019)'nin *Poa annua* bitkilerinin Ni içerikleri için buldukları konsantrasyon (0,82-17,2 mg kg⁻¹) aralıklarında yer almaktadır.

Sinegani ve Dastjerdi (2009), çalışmalarında *Bromus tectorum* bitkisinde Ni konsantrasyonunu 0<sürgün <5 mg kg⁻¹ aralığında bildirmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen *Bromus tectorum* bitkisinin sürgünlerindeki (2,69 mg kg⁻¹) Ni konsantrasyonu araştırmacıların bildirdikleri konsantrasyon aralığında yer almaktadır.

Aegilops neglecta bitkisinde Ni içeriği köklerde toprak üstü organlardan daha yüksek bulunmuştur. Karatassiou vd. (2021) de çalışmalarında *Aegilops triuncialis*'in Ni konsantrasyonunu köklerde gövde ve yapraklardan daha yüksek bulmuşlardır.

Sanguisorba minor bitkisinin kök ve generatif kısmındaki Ni içerikleri birbirine yakınken, gövdede Ni içeriği oldukça düşük çıkmıştır. Benzer şekilde Djelic vd. (2023) yaptıkları çalışmada *Sanguisorba minor* bitkisinin kök ve çiçeklerinde elde ettikleri Ni konsantrasyonları birbirilerine yakın bulunmuşken, gövde-yaprak Ni içeriği oldukça düşük bulunmuştur.

4.1.8. Türlerin Zn Konsantrasyonu

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Zn konsantrasyonlarının varyans analizine ait değerler Tablo 4.15'te sunulmuştur. Türler arasındaki Zn konsantrasyonu, organlar arasındaki Zn konsantrasyonu ve tür*organ interaksyonu istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.15. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Zn konsantrasyonuna ait varyans analizi

Kaynak	SD	KO	F değeri
Tür	11	329,66	291,20**
Organ	3	149,27	447,82**
Tür*Organ	33	112,37	99,26**
Tekerrür	2	2,31	2,04
Hata	94	1,13	
Genel	143		
R^2	0,99	DK (%)	8,63

** $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, R^2 : Belirtme katsayısı, KO: Kareler ortalaması, DK: Değişim katsayısı (%).

Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Zn konsantrasyonuna ait ortalamalar Tablo 4.16'da sunulmuştur.

Tablo 4.16. Farklı yem bitkisi türleri ve türlerin organlarında bulunan Zn konsantrasyonuna ait ortalamalar

Zn konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)					
Türler	Organlar				Ortalama
	Kök	Gövde	Yaprak	Generatif	
<i>L. sphaericus</i>	11,66g-m	14,94efg	11,50g-m	10,94h-n	12,26C**
<i>T. campestre</i>	44,25a	9,66k-o	14,83efg	16,79def	21,38A
<i>T. nigrescens</i>	14,31e-h	4,97qrs	7,14o-r	12,30g-l	9,68E
<i>T. arvense</i>	13,73e-h	9,37l-p	9,37l-p	13,27f-j	11,43CD
<i>V. cracca</i>	14,49e-h	11,04h-n	19,64cd	28,44b	18,40B
<i>L. gebelia</i>	9,07l-p	8,43m-q	6,55o-r	11,19h-n	8,81E
<i>P. bulbosa</i>	13,45e-ı	2,30s	2,30s	7,20o-r	6,32F
<i>B. tectorum</i>	16,93de	9,70j-o	9,70j-o	11,75g-m	12,02C
<i>A. neglecta</i>	9,25l-p	4,36rs	4,36rs	6,73o-r	6,17F
<i>C.pseudophragmites</i>	28,70b	20,84c	9,32l-p	25,62b	21,12A
<i>S. capensis</i>	13,00g-k	7,82n-r	7,82n-r	10,01ı-o	9,66E
<i>S. minor</i>	2,52s	5,39qrs	5,86p-s	26,95b	10,18DE
Ortalama	15,95A**	9,07C	9,03C	15,10B	

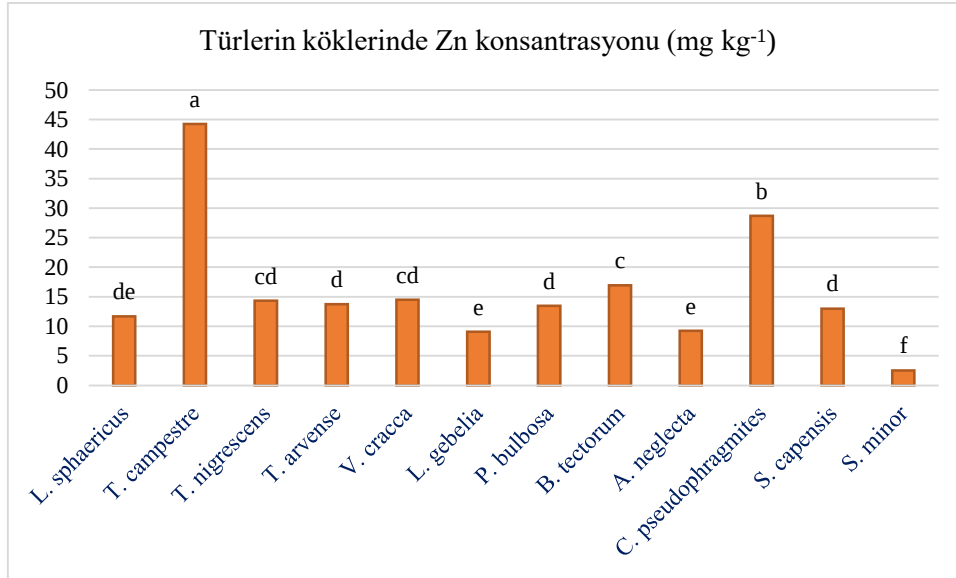
** : p<0,01 önemli. Büyük harfler ortalama gruplarını, küçük harfler interaksiyon gruplarını göstermektedir.

Organlar arasında en yüksek Zn içeriği (15,95 mg kg⁻¹) bitkilerin köklerinde en düşük ise gövdelerinde (9,07 mg kg⁻¹) ve yapraklarında (9,03 mg kg⁻¹) belirlenmiştir.

Türler arasında en yüksek Zn içeriği *Trifolium campestre* (21,38 mg kg⁻¹) ve *Calamagrostis pseudophragmites* (21,12 mg kg⁻¹) bitkilerinde iken, en düşük Zn içeriği *Poa bulbosa* (6,32 mg kg⁻¹) ve *Aegilops neglecta* (6,17 mg kg⁻¹) türlerinde belirlenmiştir.

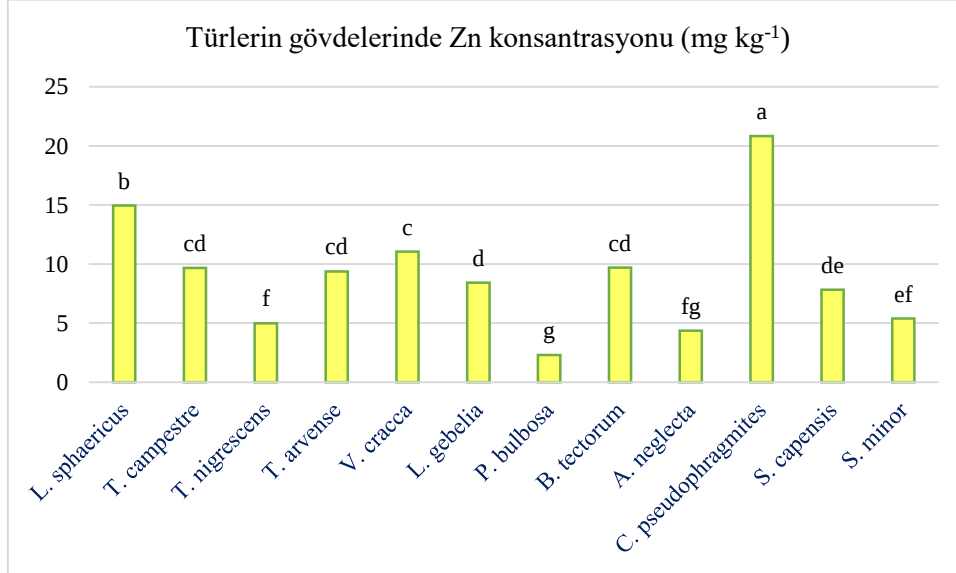
Tür*organ interaksiyonunda en yüksek Zn içeriği (44,25 mg kg⁻¹) *Trifolium campestre* bitkisinin köklerinde iken, en düşük Zn içeriği (2,30 mg kg⁻¹) *Poa bulbosa* bitkisinin gövde ve yapraklarında belirlenmiştir.

Türlerin kök, gövde, yaprak ve generatif kısımlarındaki Zn konsantrasyonları organ bazında grafik olarak görselleştirilmiş ve Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de sunulmuştur.



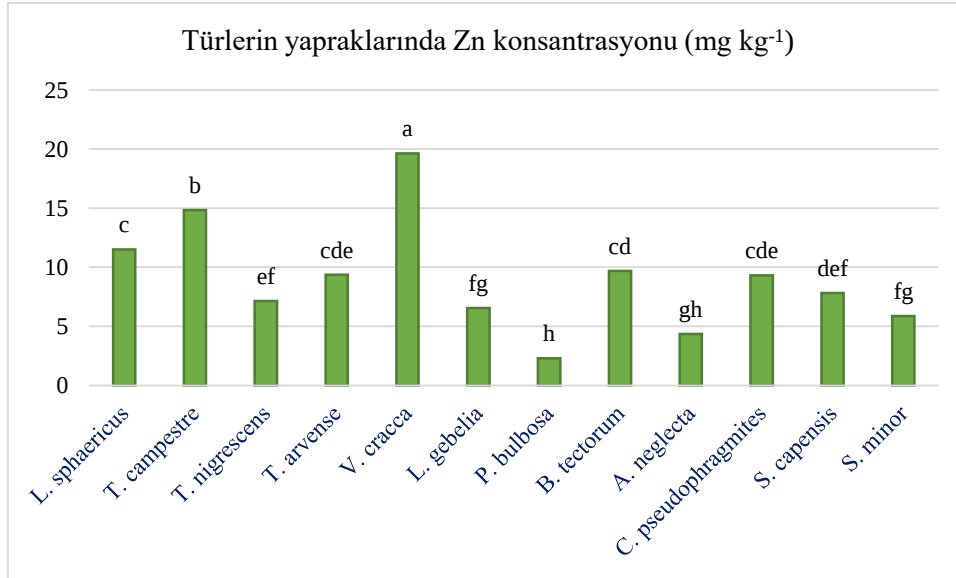
Şekil 4.29. Türlerin köklerindeki Zn konsantrasyonu

Köklerinde en fazla Zn akümüle eden tür *Trifolium campestre* iken, en az Zn akümüle eden tür *Sanguisorba minor* olmuştur (Şekil 4.29).



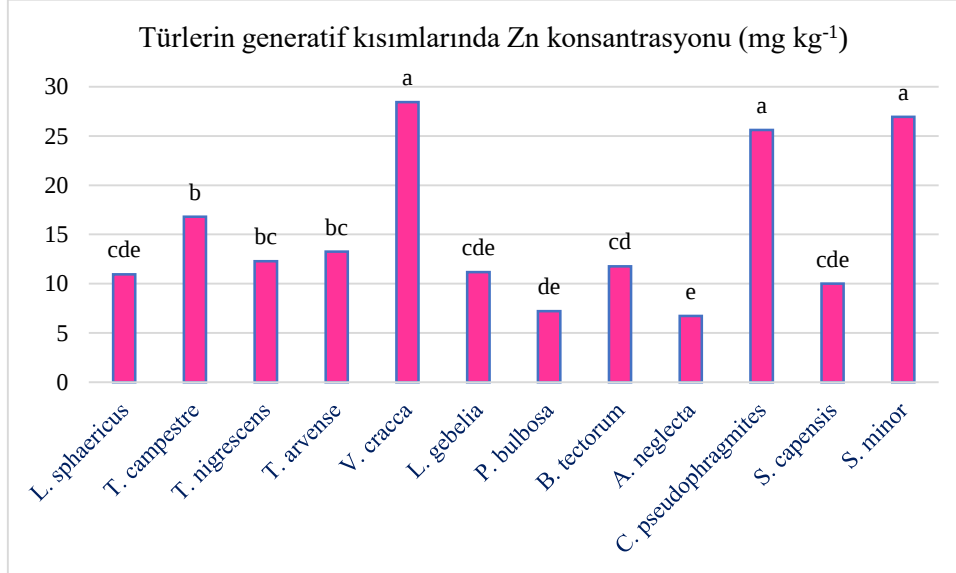
Şekil 4.30. Türlerin gövdelerindeki Zn konsantrasyonu

Gövdelerinde en fazla Zn akümüle eden tür *Calamagrostis pseudophragmites* iken, en az Zn akümüle eden tür *Poa bulbosa* olmuştur (Şekil 4.30).



Şekil 4.31. Türlerin yapraklarındaki Zn konsantrasyonu

Yapraklarında en fazla Zn akümüle eden tür *Vicia cracca* iken, en az Zn akümüle eden tür *Poa bulbosa* olmuştur (Şekil 4.31).



Şekil 4.32. Türlerin generatif kısımlarındaki Zn konsantrasyonu

Generatif kısımlarında en fazla Zn akümüle eden türler *Vicia cracca*, *Calamagrostis pseudophragmites* ve *Sanguisorba minor* iken, en az Zn akümüle eden tür *Aegilops neglecta* olmuştur (Şekil 4.32).

Maslennikov vd. (2020) toprakta Zn konsantasyonunun 11,9-13,5 mg kg⁻¹ olduğu ortamda *Lathyrus maritimus* bitkisinin yapraklarında Zn içeriğini 16,7 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Çalışmamızda da benzer toprak konsantasyonunda *Lathyrus sphaericus* bitkisinin de dokularında benzer Zn içeriği ölçülmüştür.

Bu çalışmada incelenen *Lotus* ve *Trifolium* türlerinin toprakaltı ve toprak üstü organlarının Zn konsantrasyonları, Wheeler ve Dodd (1995)'un çalışmasında incelediği *Lotus* ve *Trifolium* türlerinin toprakaltı ve toprak üstü organlarının Zn konsantrasyonlarından çok daha düşük olarak belirlenmiştir. *Trifolium* ve *Lotus* türleri arasında Zn konsantrasyonu yoğunluğuna göre bir karşılaştırma yapıldığında ise Wheeler ve Dodd (1995)'un çalışmalarında da *Trifolium* türleri *Lotus* türlerinden daha fazla Zn içeriğine sahip bulunmuştur.

Vicia cracca türünün dokularındaki ortalama Zn konsantrasyonu (18,40 mg kg⁻¹), Akbalık (2012)'nin 5 *Vicia* türü için bildirdiği Zn konsantrasyonu (4,90-56,94 mg kg⁻¹) ile aynı aralıkta yer almıştır.

Poa bulbosa'nın dokularındaki ortalama Zn içeriği, Salinitro vd. (2019)'nin *Poa annua* ve Banowetz vd. (2009)'nin *Poa pratensis* için bildirdiği Zn içeriklerinden daha düşüktür.

Bromus tectorum'un sürgünlerindeki ortalama Zn içeriği (9,70 mg kg⁻¹), Mahdavian vd. (2017)'nin *Bromus tectorum*'un sürgünleri için bildirdiği Zn içeriklerinden (32,0-40,9 mg kg⁻¹) daha düşüktür.

Mitrović vd. (2008) çalışmalarında farklı alanlardan elde edilen *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin Zn elementi için ortalama toprak üstü konsantrasyonlarını toprak altı konsantrasyonlarından daha düşük bulmuşlardır. Bu çalışmada da *Calamagrostis pseudophragmites* bitkilerinin toprak üstü Zn konsantrasyonları, toprakaltı Zn konsantrasyonundan daha düşüktür.

4.2. Türlerin Fitoremediasyon Kapasitelerinin Değerlendirilmesi

Bir bitkinin topraktaki metalleri biriktirme kabiliyeti, köklerdeki metal konsantrasyonunun topraktakine oranı olarak tanımlanan BCF (Bioconcentration Factor) kullanılarak tahmin edilebilir. Bir bitkinin metalleri köklerden sürgünlere aktarma kabiliyeti, sürgünlerdeki metal konsantrasyonunun köklere oranı olarak tanımlanan TF (Translocation Factor) kullanılarak ölçülür. Fitoekstraksiyon süreci genellikle ağır metallerin kolayca hasat edilebilen bitki kısımlarına, yani sürgünlere taşınmasını gerektirir. BCF ve TF'yi karşılaştırarak, farklı bitkilerin metalleri topraktan alma ve sürgünlere aktarma yetenekleri karşılaştırılabilir. Toleranslı bitkiler toprak-kök ve kök-sürgün transferlerini engelleme eğilimindedir ve bu nedenle biyokütlelerinde çok daha az birikim olurken, hiperakümülatör bitkiler metalleri aktif olarak alır ve toprak üstü biyokütlelerine aktarırlar. TF ve özellikle BCF değerleri birden küçük ($TF < 1$) olan bitkiler fitoekstraksiyon için uygun değilken (Fitz ve Wenzel, 2002), $TF > 1$ olması, fitoremediasyon için bitki türlerinin sınıflandırılmasında belirleyici bir faktördür (Chanu ve Gupta, 2016).

Bununla birlikte, yüksek biyokonsantrasyon faktörü (BCF, bitki köklerinin metal konsantrasyonunun toprağın metal konsantrasyonuna oranı) ve düşük translokasyon faktörü (TF, bitki sürgünlerinin metal konsantrasyonunun köklerin metal konsantrasyonuna oranı) olan bitkiler fitostabilizasyon potansiyeline sahiptirler (Yoon vd. 2006).

Zayed vd. (1998) biyokonsantrasyon faktörünü (BCF) dörde ayırmışlardır; $BCF < 0,01$ akümülatör özelliği olmayan bitkiler, $BCF: 0,01-0,1$ düşük akümülatör özelliği olan bitkiler, $BCF: 0,1-1,0$ orta akümülatör bitkiler, $BCF: 1-10$ ise yüksek akümülatör özelliği olan ya da hiperakümülatör olarak adlandırılan bitkilerdir.

4.2.1. *Lathyrus sphaericus* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Lathyrus sphaericus bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.17’de sunulmuştur.

Tablo 4.17. *Lathyrus sphaericus* bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Lathyrus sphaericus</i>	Al	0,79	0,01	0,01	Uygun değil
	Co	0,82	0,05	0,04	Uygun değil
	Cr	1,98	0,52	1,03	Fitoekstraksiyon
	Cu	0,81	3,09	2,50	Fitostabilisasyon
	Fe	1,11	0,01	0,01	Fitoekstraksiyon
	Mn	2,16	0,10	0,23	Fitoekstraksiyon
	Ni	1,60	0,05	0,09	Fitoekstraksiyon
	Zn	1,07	2,24	2,40	Fitoekstraksiyon

Lathyrus sphaericus bitkisinde Cr, Fe, Mn, Ni ve Zn için $TF > 1$, Cu ve Zn için $BCF_{kök} > 1$ ve Cr, Cu ve Zn için $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada Ni için elde edilen ($TF > 1$) değerden farklı olarak Jeddou vd. (2017) farklı bir *Lathyrus* türünde (*Lathyrus ochrus*) Ni için BCF ve TF değerlerinin 1'in altında olduğunu bildirmiştir.

4.2.2. *Trifolium campestre* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Trifolium campestre bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.18'de sunulmuştur.

Tablo 4.18. *Trifolium campestre* bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Trifolium campestre</i>	Al	0,27	0,09	0,02	Uygun değil
	Co	0,24	0,24	0,06	Uygun değil
	Cr	0,20	38,91	7,78	Fitostabilizasyon
	Cu	0,72	3,08	2,23	Fitostabilizasyon
	Fe	0,26	0,18	0,05	Uygun değil
	Mn	0,62	0,79	0,49	Uygun değil
	Ni	0,22	2,88	0,62	Fitostabilizasyon
	Zn	0,31	8,51	2,65	Fitostabilizasyon

Trifolium campestre bitkisinde hiçbir element için $TF > 1$ bulunmamıştır fakat Cr, Cu, Ni ve Zn için $BCF_{kök} > 1$ ve Cr, Cu ve Zn için $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Wheeler ve Dodd (1995)'un 15 farklı *Trifolium* ile yaptıkları çalışmalarında Al (0,4), Cu (0,3), Fe (0,2), Mn (0,7) ve Zn (0,6) için elde edilen TF değerleri bu çalışma sonucuna benzer şekilde 1'in altında kalmıştır.

4.2.3. *Trifolium nigrescens* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Trifolium nigrescens bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.19'da sunulmuştur.

Tablo 4.19. *Trifolium nigrescens* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Trifolium nigrescens</i>	Al	2,04	0,02	0,05	Fitoekstraksiyon
	Co	1,60	0,06	0,10	Fitoekstraksiyon
	Cr	5,20	2,0	10,39	Fitoekstraksiyon
	Cu	1,13	1,29	1,46	Fitoekstraksiyon
	Fe	2,74	0,04	0,10	Fitoekstraksiyon
	Mn	2,03	0,22	0,44	Fitoekstraksiyon
	Ni	3,56	0,23	0,80	Fitoekstraksiyon
	Zn	0,57	2,75	1,56	Fitostabilizasyon

Trifolium nigrescens bitkisinde Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn ve Ni için $TF > 1$, Cr, Cu ve Zn için $BCF_{kök}$ ve $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Wheeler ve Dodd (1995)'un 15 farklı *Trifolium* ile yaptıkları çalışmalarında Al (0,4), Cu (0,3), Fe (0,2), Mn (0,7) ve Zn (0,6) için elde edilen TF değerleri 1'in altında kalmıştır. Bu çalışmada ise araştırmacıların sonucunun aksine Al, Cu, Fe ve Mn $TF > 1$ olarak bulunurken araştırmacıların sonucuna sadece Zn ile benzer TF değeri elde edilmiştir.

4.2.4. *Trifolium arvense* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Trifolium arvense bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.20'de sunulmuştur.

Tablo 4.20. *Trifolium arvense* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	$BCF_{kök}$	$BCF_{sürgün}$	Değerlendirme
<i>Trifolium arvense</i>	Al	0,20	0,07	0,01	Uygun değil
	Co	0,41	0,08	0,03	Uygun değil
	Cr	0,37	8,79	3,24	Fitostabilizasyon
	Cu	0,81	2,30	1,86	Fitostabilizasyon
	Fe	0,29	0,07	0,02	Uygun değil
	Mn	0,93	0,20	0,19	Uygun değil
	Ni	0,43	0,66	0,28	Uygun değil
	Zn	0,78	2,64	2,05	Fitostabilizasyon

Trifolium arvense bitkisinde hiçbir element için $TF > 1$ bulunmamıştır fakat Cr, Cu ve Zn için $BCF_{kök}$ ve $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Wheeler ve Dodd (1995)'un 15 farklı *Trifolium* ile yaptıkları çalışmalarında Al (0,4), Cu (0,3), Fe (0,2), Mn (0,7) ve Zn (0,6) için elde edilen TF değerleri bu çalışma sonucuna benzer şekilde 1'in altında kalmıştır.

4.2.5. *Vicia cracca* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Vicia cracca bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.21’de sunulmuştur.

Tablo 4.21. *Vicia cracca* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Vicia cracca</i>	Al	0,67	0,03	0,02	Uygun değil
	Co	0,98	0,06	0,06	Uygun değil
	Cr	1,44	2,20	3,20	Fitoekstraksiyon
	Cu	0,67	3,24	2,18	Fitostabilizasyon
	Fe	1,07	0,03	0,03	Fitoekstraksiyon
	Mn	1,04	0,19	0,20	Fitoekstraksiyon
	Ni	1,16	0,42	0,49	Fitoekstraksiyon
	Zn	1,36	2,79	3,79	Fitoekstraksiyon

Vicia cracca bitkisinde Cr, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için $TF > 1$ olarak, Cr, Cu ve Zn için $BCF_{kök}$ ve $BCF_{sürgün} > 1$ olarak hesaplanmıştır.

Saadaoui vd. (2022) çalışmalarında iki farklı *Vicia* için Cu elementinin akümülyasyonunda *Vicia faba* L. cv. Mamdouh bitkilerinde $TF_{sürgün}$ 0,32, $TF_{çiçek}$ 0,18 iken *Vicia faba* L. cv. Badii bitkilerinde $TF_{sürgün}$ 1,38, $TF_{çiçek}$ 1,48 olarak bildirmişlerdir.

4.2.6. *Lotus gebelia* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Lotus gebelia bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.22’de sunulmuştur.

Tablo 4.22. *Lotus gebelia* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Lotus gebelia</i>	Al	1,09	0,01	0,01	Fitoekstraksiyon
	Co	1,11	0,02	0,03	Fitoekstraksiyon
	Cr	1,10	1,30	1,50	Fitoekstraksiyon
	Cu	0,87	1,23	1,07	Fitostabilizasyon
	Fe	0,44	0,01	0,01	Uygun değil
	Mn	2,30	0,11	0,25	Fitoekstraksiyon
	Ni	0,93	0,30	0,28	Uygun değil
	Zn	0,96	1,74	1,68	Fitostabilizasyon

Lotus gebelia bitkisinde Al, Co, Cr ve Mn elementleri için $TF > 1$ olarak, Cr, Cu ve Zn elementleri için $BCF_{kök}$ ve $BCF_{sürgün} > 1$ olarak hesaplanmıştır.

Sujkowska-Rybkowska vd. (2020) *Lotus corniculatus* bitkisinin Co, Cr (bu çalışma sonucunun aksine) ve Ni için (bu çalışma sonucuna benzer şekilde) TF değerlerini < 1 olarak bildirmişlerdir. Wheeler ve Dodd (1995)'ün Al (0,4), Cu (0,3), Fe (0,2), Mn (0,7) ve Zn (0,6) için elde edilen TF değerleri bu çalışma sonucunda elde edilen Mn ve Al TF değerinden farklı bulunurken Fe, Cu ve Zn TF değerlerine benzer bulunmuştur.

4.2.7. *Poa bulbosa* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Poa bulbosa bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.23'te sunulmuştur.

Tablo 4.23. *Poa bulbosa* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Poa bulbosa</i>	Al	0,24	0,04	0,01	Uygun değil
	Co	0,30	0,09	0,03	Uygun değil
	Cr	0,33	17,80	6,00	Fitostabilizasyon
	Cu	1,13	1,27	1,44	Fitoekstraksiyon
	Fe	0,23	0,08	0,02	Uygun değil
	Mn	0,97	0,24	0,24	Uygun değil
	Ni	0,41	0,94	0,39	Uygun değil
	Zn	0,29	2,59	0,76	Fitostabilizasyon

Poa bulbosa bitkisinde Cu için $TF > 1$, Cr, Cu ve Zn için $BCF_{kök} > 1$ ve Cr ve Cu için $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Padmavathiamma ve Li (2010) *Poa pratensis* ile yaptığı çalışmada Mn için TF değerinin 1,16 olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada *Poa bulbosa* için hesaplanan TF değerinin ise 1'e yakın olduğu (0,96) görülmektedir.

4.2.8. *Bromus tectorum* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Bromus tectorum bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.24'te sunulmuştur.

Tablo 4.24. *Bromus tectorum* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Bromus tectorum</i>	Al	0,42	0,03	0,01	Uygun değil
	Co	0,36	0,07	0,02	Uygun değil
	Cr	1,38	3,50	4,80	Fitoekstraksiyon
	Cu	0,75	1,75	1,31	Fitostabilizasyon
	Fe	0,57	0,04	0,02	Uygun değil
	Mn	1,16	0,29	0,34	Fitoekstraksiyon
	Ni	1,27	0,22	0,28	Fitoekstraksiyon
	Zn	0,61	3,26	2,00	Fitostabilizasyon

Bromus tectorum bitkisinde Cr, Mn ve Ni için $TF > 1$, Cr, Cu ve Zn için $BCF_{kök}$ ve $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Mahdavian vd. (2017) *Bromus tectorum* bitkisinde Zn için hem BCF (bu çalışmanın aksine) hem de TF (bu çalışmaya benzer şekilde) değerlerini < 1 olarak bildirmişlerdir. Sinegani ve Dastjerdi (2009) *Bromus tectorum* bitkisi için Ni TF değerini < 1 olduğunu bildirmişlerdir. Hassani vd. (2015) *Bromus tectorum* bitkisinde Cr için TF değerini > 1 , BCF değerini < 1 , Ni için TF değerini < 1 , BCF değerini > 1 ve Zn için TF ve BCF değerini > 1 olarak hesaplamışlardır.

Bromus hordeaceus ve *Bromus rubens* bitkilerinin Cr elementi için TF değerleri sırasıyla 0,63, 0,46, Cu elementi için TF değerleri sırasıyla 2,50, 0,44 ve Fe elementi için TF değerleri sırasıyla 0,10, 0,11 olarak belirlenmiştir. *Bromus hordeaceus*, *Bromus rubens* bitkilerinin Cr elementi için BCF değerleri sırasıyla 0,04, 0,04, Cu elementi için BCF değerleri 0,33, 0,36 ve Fe elementi için BCF değerleri 2 türde de 0,001 olarak belirlenmiştir (Nouri vd. 2013).

4.2.9. *Aegilops neglecta* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Aegilops neglecta bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.25'te sunulmuştur.

Tablo 4.25. *Aegilops neglecta* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	$BCF_{kök}$	$BCF_{sürgün}$	Değerlendirme
<i>Aegilops neglecta</i>	Al	0,13	0,04	0,01	Uygun değil
	Co	0,23	0,11	0,03	Uygun değil
	Cr	0,36	22,9	8,20	Fitostabilizasyon
	Cu	0,86	1,02	0,87	Fitostabilizasyon
	Fe	0,15	0,09	0,01	Uygun değil
	Mn	1,08	0,39	0,42	Fitoekstraksiyon
	Ni	0,31	1,42	0,44	Fitostabilizasyon
	Zn	0,56	1,78	0,99	Fitostabilizasyon

Aegilops neglecta bitkisinde yalnızca Mn için $TF > 1$, Cr, Cu, Ni ve Zn için $BCF_{kök} > 1$ ve Cr için $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Hesami vd. (2018) çalışmalarında *Aegilops columnaris* bitkisinde Zn elementi için $BCF_{sürgün}$ değerini 0,36 olarak bildirilmişlerdir.

4.2.10. *Calamagrostis pseudophragmites* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Calamagrostis pseudophragmites bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.26’da sunulmuştur.

Tablo 4.26. *Calamagrostis pseudophragmites* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	$BCF_{kök}$	$BCF_{sürgün}$	Değerlendirme
<i>Calamagrostis pseudophragmites</i>	Al	0,30	0,03	0,01	Uygun değil
	Co	0,42	0,05	0,02	Uygun değil
	Cr	0,86	6,30	5,40	Fitostabilizasyon
	Cu	0,68	6,61	4,51	Fitostabilizasyon
	Fe	0,63	0,03	0,02	Uygun değil
	Mn	3,25	0,28	0,93	Fitoekstraksiyon
	Ni	0,89	0,57	0,51	Uygun değil
	Zn	0,65	5,52	3,58	Fitostabilizasyon

Calamagrostis pseudophragmites bitkisinde yalnızca Mn için $TF > 1$, Cr, Cu ve Zn için $BCF_{kök}$ ve $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Sun vd. (2015) *Calamagrostis pseudophragmites* bitkilerinde Cr, Cu, Ni ve Zn elementleri için TF (bu çalışmaya benzer şekilde) ve BCF değerlerini < 1 olarak bildirmişlerdir. Tiodar vd. (2024) *Calamagrostis epigejos* bitkilerinin %40’ında Cu için $BCF > 1$, %33’ünde Zn için $BCF > 1$ ve %13’ünde Mn için $BCF > 1$ olarak hesaplanmıştır. Bitkilerin TF değerleri her üç element içinde $TF_{Cu, Zn ve Mn} < 1$ olarak bildirilmiştir. Randelović vd. (2018) *Calamagrostis epigejos* bitkilerinde BCF; Fe: 0,05-1, Mn: 0,05-1,61, Zn: 0,24-2,06, Cu: 0,35-0,63 ve TF; Fe:0,16-0,58, Mn:0,9-1,43, Zn:0,15 0,26 ve Cu: 0,29-0,72 olarak hesaplamışlardır.

4.2.11. *Stipa capensis* Bitkisine Ait TF ve BCF Değerleri

Stipa capensis bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.27’de sunulmuştur.

Tablo 4.27. *Stipa capensis* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Stipa capensis</i>	Al	0,28	0,04	0,01	Uygun değil
	Co	0,42	0,10	0,04	Uygun değil
	Cr	0,62	21,3	13,2	Fitostabilizasyon
	Cu	1,09	1,50	1,63	Fitoekstraksiyon
	Fe	0,35	0,08	0,03	Uygun değil
	Mn	0,91	0,27	0,25	Uygun değil
	Ni	0,52	1,30	0,68	Fitostabilizasyon
	Zn	0,66	2,50	1,64	Fitostabilizasyon

Stipa capensis bitkisinde yalnızca Cu için $TF > 1$, Cr, Cu, Ni ve Zn için $BCF_{kök} > 1$ ve Cr, Cu ve Zn için $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Hasnaoui vd. (2020) *Stipa tenacissima* bitkisinde Cu için BCF 1,55 (bu çalışma sonucuna benzer şekilde), TF 0,12, Ni için BCF 0,40, TF 0,59 (bu çalışma sonucuna benzer şekilde) ve Zn için BCF 0,01, TF 0,50 (bu çalışma sonucuna benzer şekilde) olarak bildirmişlerdir.

Stipa arabica bitkisinde Co için TF 2,13, BCF 0,33, Cr için TF 3,34, BCF 0,18 ve Zn için TF 1,17, BCF 0,54 olarak belirlenmiştir (Hosseinniaee vd. 2022).

4.2.12. *Sanguisorba minor* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

Sanguisorba minor bitkisinin Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için TF ve BCF değerleri kök ve sürgün olarak Tablo 4.28’de sunulmuştur.

Tablo 4.28. *Sanguisorba minor* bitkisine ait TF ve BCF değerleri

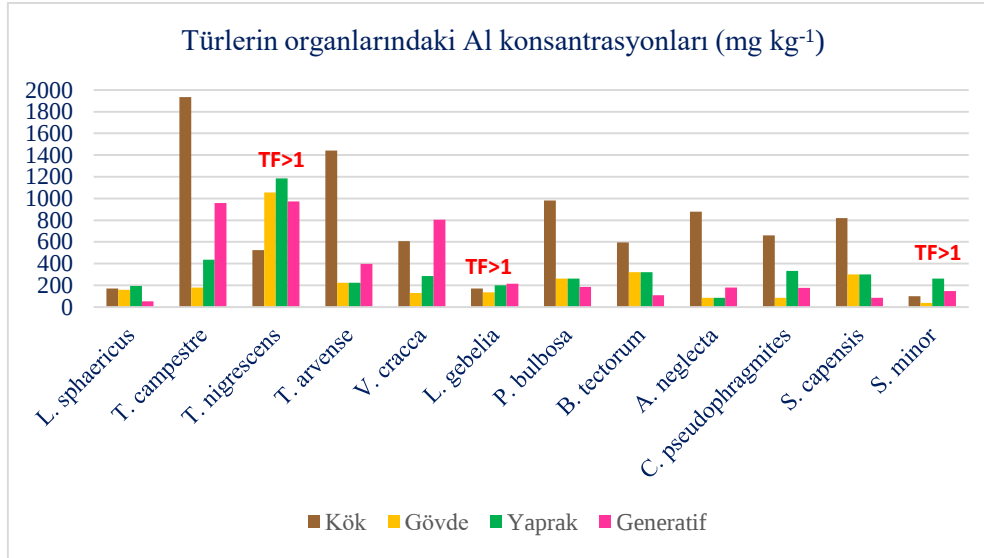
Tür	Elementler	TF	BCF _{kök}	BCF _{sürgün}	Değerlendirme
<i>Sanguisorba minor</i>	Al	1,48	0,00	0,01	Fitoekstraksiyon
	Co	2,48	0,01	0,03	Fitoekstraksiyon
	Cr	2,49	1,10	2,70	Fitoekstraksiyon
	Cu	1,93	1,16	2,25	Fitoekstraksiyon
	Fe	2,59	0,01	0,02	Fitoekstraksiyon
	Mn	6,63	0,06	0,41	Fitoekstraksiyon
	Ni	1,87	0,19	0,35	Fitoekstraksiyon
	Zn	5,05	0,48	2,45	Fitoekstraksiyon

Sanguisorba minor bitkisinin incelenen tüm Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri için $TF > 1$ olarak hesaplanmıştır. BCF değerleri ise Cr ve Cu için $BCF_{kök}$ ve $BCF_{sürgün} > 1$ olarak Zn için $BCF_{sürgün} > 1$ olarak belirlenmiştir.

Djelic vd. (2023) *Sanguisorba minör* bitkisinde Mn için $BCF < 1$, $TF < 1$; Ni için $BCF < 1$, $TF > 1$; Fe için $BCF < 1$, $TF < 1$; Zn için $BCF < 1$, $TF < 1$; Cr için için $BCF < 1$, $TF < 1$; Cu için $BCF < 1$, $TF > 1$ olarak hesaplamışlardır. Araştırmacıların Ni ve Cu için elde ettikleri TF değerleri bu çalışma ile benzerlik içindedir.

4.3. Translokasyon Faktör (TF) Değerlerinin İncelenen Elementler için Grafikselsel Gösterimi

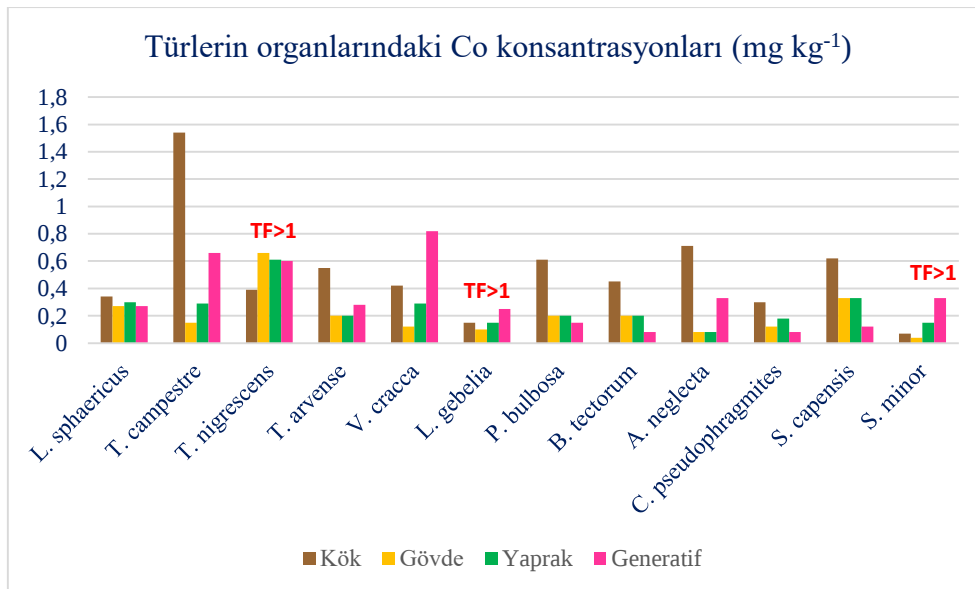
İncelenen tüm türlerin bütün organlarındaki Al konsantrasyonları Şekil 4.33'te sunulmuştur.



Şekil 4.33. Türlerin organlarındaki Al konsantrasyonlarına ait grafik

Şekil 4.33 incelendiğinde tüm organlarında rakamsal olarak en fazla Al içeren tür *Trifolium nigrescens* iken en az Al içeren tür *Sanguisorba minör* olmuştur. Ayrıca fitoremediasyonda kullanılabilme ihtimali olan bitkiler *T. Nigrescens*, *L. gebelia* ve *S. minor* türleridir.

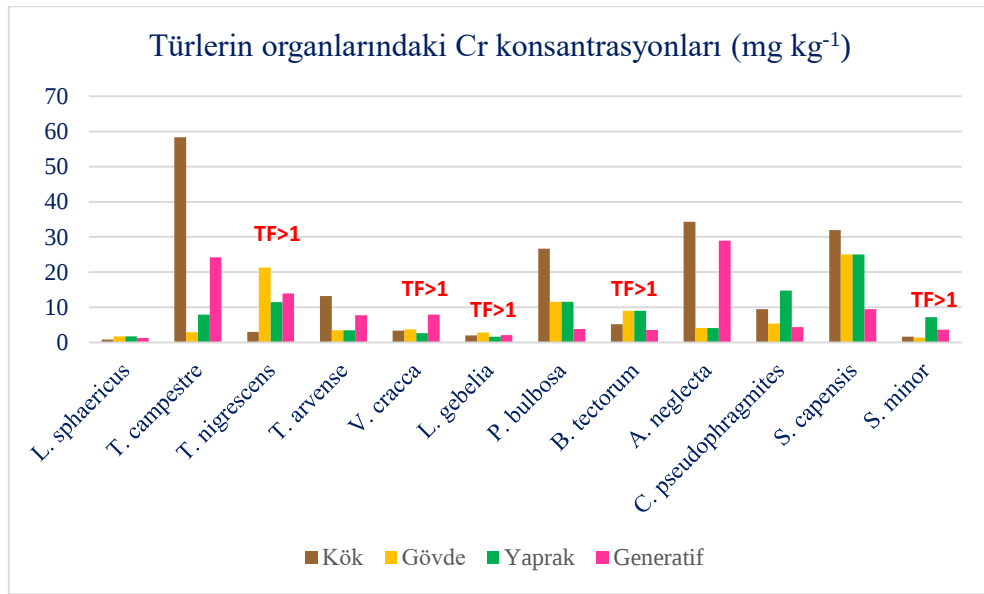
İncelenen tüm türlerin bütün organlarındaki Co konsantrasyonları Şekil 4.34'te sunulmuştur.



Şekil 4.34. Türlerin organlarındaki Co konsantrasyonlarına ait grafik

Şekil 4.34 incelendiğinde tüm organlarında rakamsal olarak en fazla Co içeren tür *Trifolium campestre* iken tüm organlarında en az Co içeren tür *Sanguisorba minor* olmuştur. Ayrıca fitoremediasyonda kullanılabilme ihtimali olan bitkiler *T. Nigrescens*, *L. gebelia* ve *S. minor* türleridir.

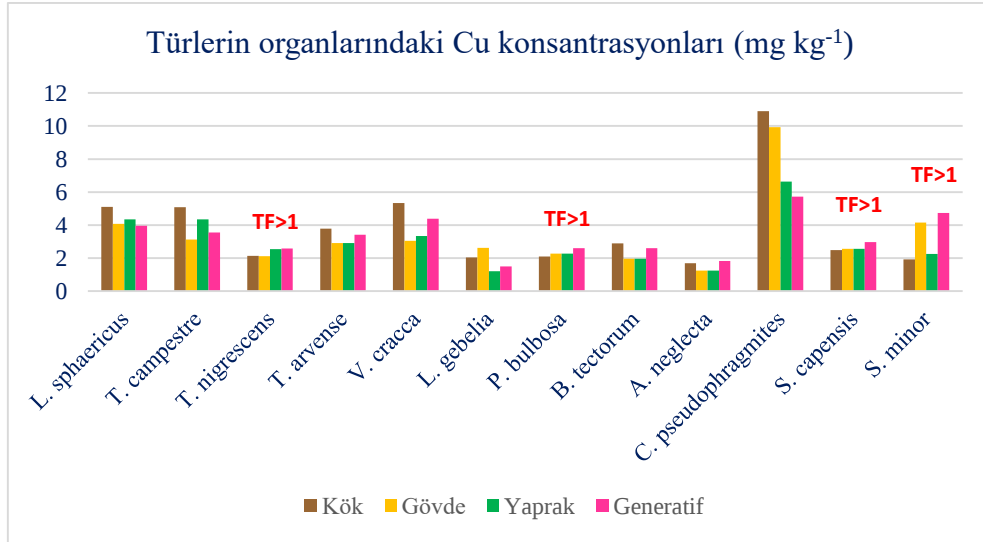
İncelenen tüm türlerin bütün organlarındaki Cr konsantrasyonları Şekil 4.35'te sunulmuştur.



Şekil 4.35. Türlerin organlarındaki Cr konsantrasyonlarına ait grafik

Şekil 4.35 incelendiğinde tüm organlarında rakamsal olarak en fazla Cr içeren tür *Trifolium campestre* iken tüm organlarında en az Cr içeren tür *Lathyrus sphaericus* olmuştur. Ayrıca fitoremediasyonda kullanılabilme ihtimali olan bitkiler *T. Nigrescens*, *V. cracca*, *L. gebelia*, *B. tectorum* ve *S. minor* türleridir.

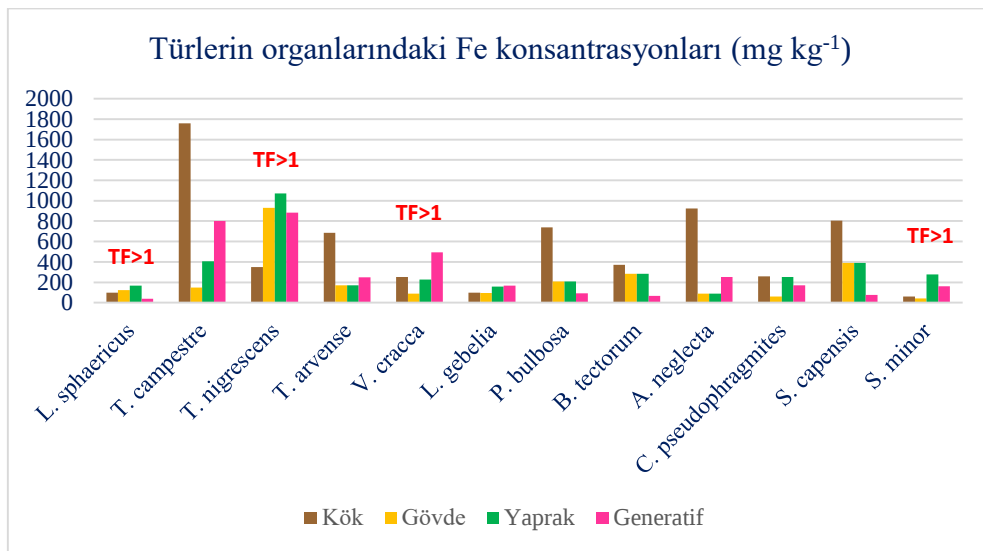
İncelenen tüm türlerin bütün organlarındaki Cu konsantrasyonları Şekil 4.36'da sunulmuştur.



Şekil 4.36. Türlerin organlarındaki Cu konsantrasyonlarına ait grafik

Şekil 4.36 incelendiğinde tüm organlarında rakamsal olarak en fazla Cu içeren tür *Calamagrostis pseudophragmites* iken en az Cu içeren tür *Aegilops neglecta* olmuştur. Ayrıca fitoremediasyonda kullanılabilme ihtimali olan bitkiler *T. Nigrescens*, *P.bulbosa*, *S.capensis* ve *S. minor* türleridir.

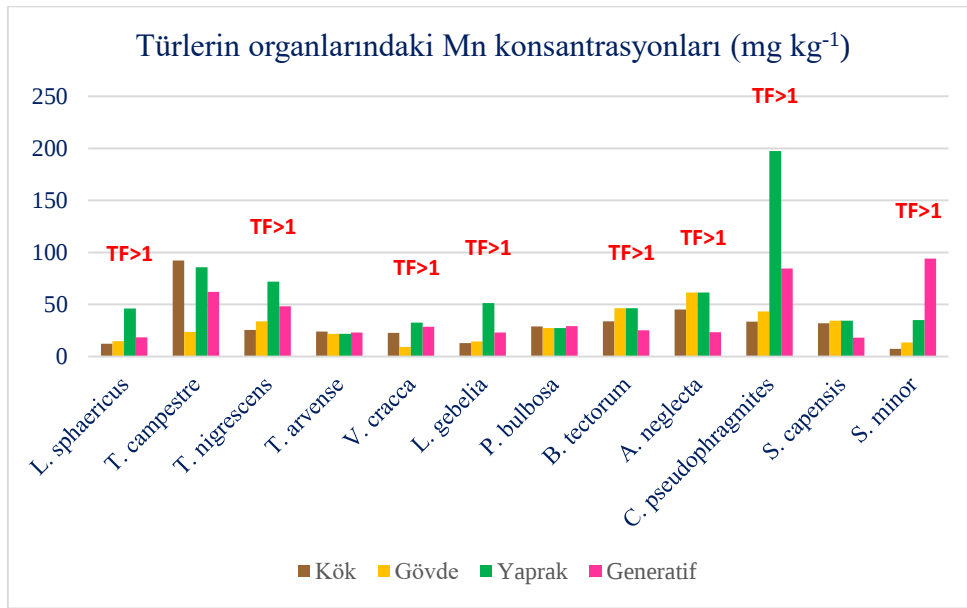
İncelenen tüm türlerin bütün organlarındaki Fe konsantrasyonları Şekil 4.37’de sunulmuştur.



Şekil 4.37. Türlerin organlarındaki Fe konsantrasyonları

Şekil 4.37 incelendiğinde tüm organlarında rakamsal olarak en fazla Fe içeren tür *Trifolium nigrescens* iken en az Fe içeren tür *Lathyrus sphaericus* olmuştur. Ayrıca fitoremediasyonda kullanılabilme ihtimali olan bitkiler *L. sphaericus*, *T. Nigrescens*, *V. cracca*, ve *S. minor* türleridir.

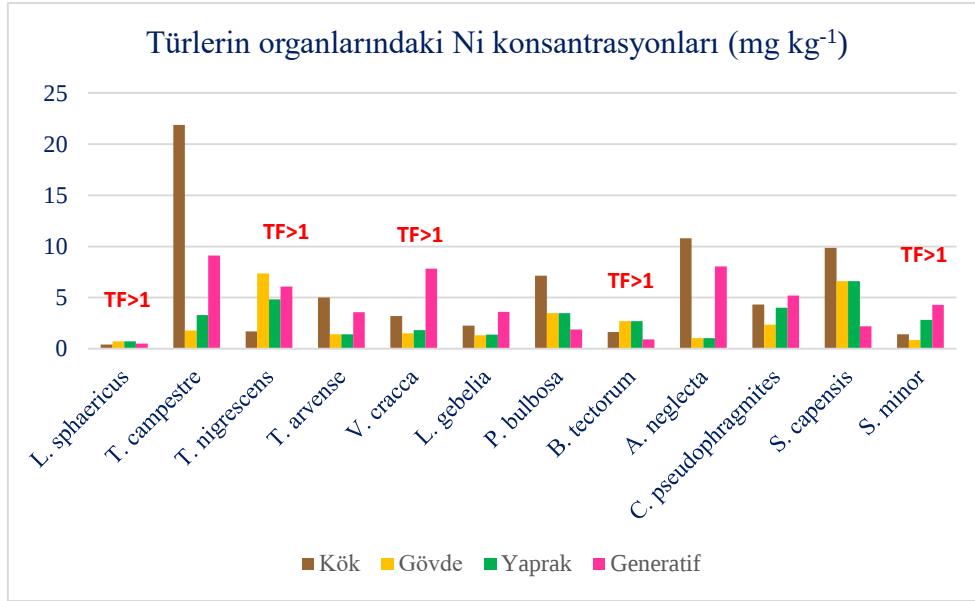
İncelenen tüm türlerin bütün organlarındaki Mn konsantrasyonları Şekil 4.38’de sunulmuştur.



Şekil 4.38. Türlerin organlarındaki Mn konsantrasyonlarına ait grafik

Şekil 4.38 incelendiğinde tüm organlarında rakamsal olarak en fazla Mn içeren tür *Calamagrostis pseudophragmites* iken en az Mn içeren tür *Trifolium arvense* olmuştur. Ayrıca fitoremediasyonda kullanılabilme ihtimali olan bitkiler *L. sphaericus*, *T. Nigrescens*, *V. cracca*, *L. gebelia*, *B. tectorum*, *A. neglecta*, *C. pseudophragmite* ve *S. minor* türleridir.

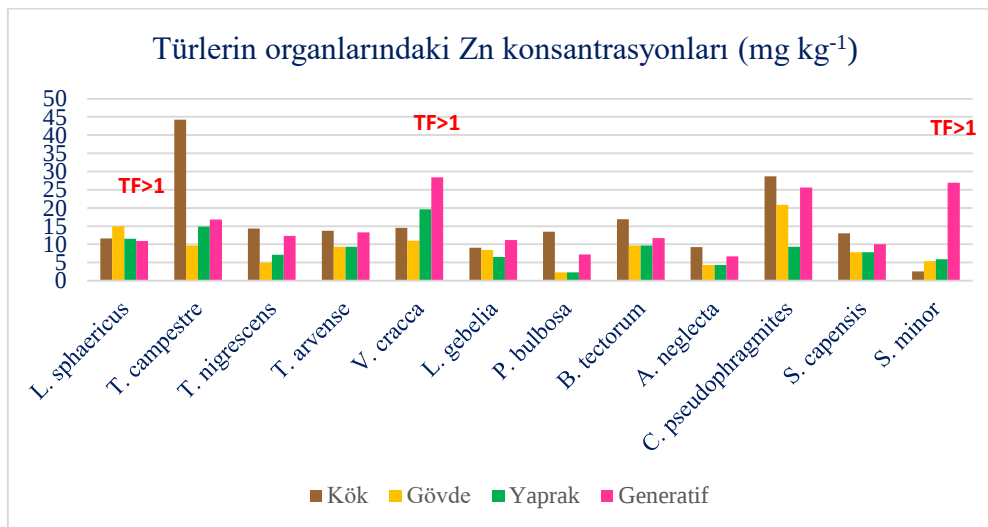
İncelenen tüm türlerin bütün organlarındaki Ni konsantrasyonları Şekil 4.39’da sunulmuştur.



Şekil 4.39. Türlerin organlarındaki Ni konsantrasyonları

Şekil 4.39 incelendiğinde tüm organlarında rakamsal olarak en fazla Ni içeren tür *Trifolium campestre* iken en az Ni içeren tür *Lathyrus sphaericus* olmuştur. Ayrıca fitoremediasyonda kullanılabilmek ihtimali olan bitkiler *L. sphaericus*, *T. Nigrescens*, *V. cracca*, *B.tectorum* ve *S. minor* türleridir.

İncelenen tüm türlerin bütün organlarındaki Zn konsantrasyonları Şekil 4.40'ta sunulmuştur.



Şekil 4.40. Türlerin organlarındaki Zn konsantrasyonları

Şekil 4.40 incelendiğinde tüm organlarında rakamsal olarak en fazla Zn içeren tür *Trifolium campestre* iken en az Zn içeren tür *Aegilops neglecta* olmuştur. Ayrıca fitoremediasyonda kullanılabilme ihtimali olan bitkiler *L. sphaericus*, *V. cracca* ve *S. minor* türleridir.

Yukarıda yer alan grafiklerde hem türlerin incelenen elementler için organlarındaki konsantrasyonlar gösterilmiş hem de Bölüm 4.2’de hesaplanan TF değerleri işaretlenmiştir. $TF > 1$ olması, fitoremediasyon için bitki türlerinin sınıflandırılmasında belirleyici bir faktördür (Chanu ve Gupta, 2016). Fitoekstraksiyon, metalleri yeraltında tutan fitostabilizasyonun aksine, ağır metallerin uzaklaştırılması için kalıcı bir çözüm olarak kabul edilmektedir (Yan vd. 2020). Grafiklerde baklagillerin buğdaygillere göre daha fazla element için $TF > 1$ değerine sahip olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalar sonucunda 400’e yakın bitki türü hiperakümülatör olarak belirlenmiştir bunlardan bazıları Brassicaceae, Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae gibi çift çeneklilere ait familyalardır (Ortakçı, 2020).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Bingöl ili, Genç ilçesinde bulunan Avnik demir madeninin çevresindeki doğal alanlarda yayılış gösteren yem bitkisi türlerinin ağır metal içerikleri araştırılmış ve fitoremediasyon kapasiteleri değerlendirilmiştir.

Çalışma alanına ait topraklar için, bitkilerde ve topraklarda izin verilen toksik metal sınır değerleri (WHO/FAO, 2007; Sönmez ve Kılıç, 2021) incelendiğinde Al ve Co için bir sınır değer gösterilmemiş, topraklarda Cd tespit edilememiş, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları izin verilen sınır değerleri aşmamıştır, yalnızca Mn konsantrasyonu izin verilen sınır değerden yüksek ölçülmüştür. Toplanan bitki türlerinin toprak üstü organlarında belirlenen değerlere bakıldığında ise yine Al ve Co için kıyaslama yapılabilecek bir sınır değer gösterilmemiş, Cd ve Pb elementleri bitkilerde tespit edilememiş, Cu, Mn, Ni ve Zn izin verilen sınır değerleri aşmamış yalnızca Fe ve Cr konsantrasyonları bazı türlerde izin verilen toksik metal konsantrasyonunu aşmıştır.

L. sphaericus ve *V. cracca*'da $TF_{Cr, Fe, Mn, Ni, Zn} > 1$, *T. nigrescens*'te $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni} > 1$, *L. gebelia*'da $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Mn} > 1$, *P. bulbosa* ve *S. capensis*'te $TF_{Cu} > 1$, *B. tectorum*'da $TF_{Cr, Mn, Ni} > 1$, *A. neglecta* ve *C. pseudophragmites*'te $TF_{Mn} > 1$ ve *S. minor*'da $TF_{Al, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn} > 1$ olarak belirlendiği için bu türlerin fitoekstraksiyon potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Özellikle Cr elementi için $BCF_{kök}$ değerleri *T. campestre* (38,91), *P. bulbosa* (17,80), *A. neglecta* (22,9) ve *S. capensis* (21,30) türlerinde oldukça yüksek çıkarak bu türlerin Cr için fitostabilizasyonda kullanılma durumlarını güçlendirmektedir. Maden sahasından toplanan bu türlerden bazılarının fitoremediasyon için umut verici olduğu düşünülmele birlikte saksı denemelerinde tek element toksitesi ile yapılacak çalışmalar türlerin fitoekstraktör ya da fitostabilizatör olmaları konusunda daha net bilgiler sunacaktır. Ayrıca maden alanı çevresinde örneklenen topraklar ve doğal olarak yayılış gösteren bu yem bitkisi türleri için tehlikeli bir kirliliğin söz konusu olmadığı düşünülmele birlikte bazı türlerin toprak üstü organlarındaki element konsantrasyonlarının yüksek olması sebebi ile bu alanlarda hayvanların otlatılması önerilmemektedir.

KAYNAKLAR

Adarve, M. J., Hernández, A. J., Gil, A. and Pastor, J. (1998). Boron, zinc, iron, and manganese content in four grassland species. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. Vol. 27, No. 6, p. 1286-1293.

Ahmad, M. S. A. and Ashraf, M. (2011). Essential roles and hazardous effects of nickel in plants. Reviews of environmental contamination and toxicology, 125-167.

Akbalik, H. G. (2012). Diyarbakır çevresindeki farklı alanlarda doğal olarak yetişen bazı baklagil yem bitkilerinin besin elementi içeriklerinin incelenmesi, Yüksek lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akeel, A. and Jahan, A. (2020). Role of cobalt in plants: its stress and alleviation. In Contaminants in agriculture: sources, impacts and management. Springer International Publishing, 339-357.

Akyol, H. and Kuzu, M. (2017). In vitro effects of some heavy metal ions on cytosolic thioredoxin reductase purified from rainbow trout gill tissues. Fresenius Environmental Bulletin, 26, 4677-4683.

Alaribe, F. and Agamuthu, P. (2015). Pb etkilenen topraktaki *Lantana camara*'nın organik atık katkı maddeleri ile bitki ıslatma potansiyellerinin değerlendirilmesi. Ekolojik Mühendislik Dergisi, 83, 513-520.

Allison, L. E. and Moodie, C. D. (1965). Carbonate. In A. G. Norman (Ed). Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, 1379-1396. doi:10.2134/agronmonogr9.2.c40

Andersson, M. E. and Brunet, J. (1993). Sensitivity to H-and Al ions limiting growth and distribution of the woodland grass *Bromus benekenii*. Plant and Soil, 153, 243-254.

Annan, K., Dickson, R. A., Amponsah, I. K. and Nooni, I. K. (2013). The heavy metal contents of some selected medicinal plants sampled from different geographical locations. Pharmacognosy research, 5(2), 103.

Anonim (2023a). <https://dimin.com.tr/isletmeler/1/Avnik-Demir-Isletmesi>

Anonim (2025). <https://kocaelibitkileri.com/calamagrostis-pseudophragmites/>

Anonim(2023,b).https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/Bingol_Madenler.pdf

Antonkiewicz, J. (2010). Assessment of Chemical Composition of Bushgrass (*Calamagrostis epigejos* L.) Occurring on the Landfill Site of the Furnace Waste and Carbide Residue Lime. Part 2. Content of Iron, Cobalt Manganese, Aluminium and Silicon. Ecological Chemistry and Engineering. A, 17(4-5), 359-368.

Arslan, M. (2017). Variation of some seed trace element contents in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes from Turkey. Fresenius Environ. Bull, 26(5), 3676-3684.

Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z. A., Ashraf, S. and Asghar, H. N. (2019). Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Ecotoxicology and environmental safety, 174, 714-727.

Awokunmi, E. E., Asaolu, S. S. and Ipinmoroti, K. O. (2010). Effect of leaching on heavy metals concentration of soil in some dumpsites. African Journal of Environmental Science and Technology, 4(8), 495-499.

Azooz, M. M., Abou-Elhamd, M. F. and Al-Fredan, M. A. (2012). Biphasic effect of copper on growth, proline, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of wheat (*Triticum aestivum*'cv. Hasaawi) at early growing stage. Australian Journal of Crop Science, 6(4), 688-694.

Baker, A. J. (1981). Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of Plant Nutrition, 3(1-4), 643-654.

Banowetz, G. M., Griffith, S. M. and El-Nashaar, H. M. (2009). Mineral content of grasses grown for seed in low rainfall areas of the Pacific Northwest and analysis of ash from gasification of bluegrass (*Poa pratensis* L.) straw. Energy and Fuels, 23(1), 502-506.

Bhalerao, S. A. and Prabhu, D. V. (2013). Aluminium toxicity in plants—a review. Journal of Applicable Chemistry, 2(3), 447-474.

Bhalerao, S. A., Sharma, A. S. and Poojari, A. C. (2015). Toxicity of nickel in plants. Int. J. Pure Appl. Biosci, 3(2), 345-355.

Chamba-Eras, I., Griffith, D. M., Kalinhoff, C., Ramírez, J. and Gázquez, M. J. (2022). Native hyperaccumulator plants with differential phytoremediation potential in an artisanal gold mine of the Ecuadorian Amazon. Plants, 11(9), 1186.

Chanu, L. B. and Gupta, A. (2016). Phytoremediation of lead using *Ipomoea aquatica* Forsk. in hydroponic solution. Chemosphere, 156, 407-411.

Cheng, X., Drozdova, J., Danek, T., Huang, Q., Qi, W., Yang, S., et al. (2018). Pollution assessment of trace elements in agricultural soils around copper mining area. *Sustainability*, 10(12), 4533.

Clemens, S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, 88(11), 1707-1719.

Çarşamba, E. (2020). Fitoremediasyon yöntemi ile kadmiyum akümülayonunun giderimi: Lavanta (*Lavandula angustifolia*) örneği, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Djelic, G., Pavlović, M., Branković, S., Brković, D., Simić, Z. and Velickovic, V. (2023). Contribution to the knowledge of the antioxidant power, phenolic and mineral composition of *sanguisorba minor scop.* 1st International Symposium On Biotechnology 305-314. doi: 10.46793/sbt28.305dj

Dellavalle, N. B. (1992). Determination of specific conductance in supernatant 1: 2 soil: water solution. Handbook on reference methods for soil analysis. Soil and Plant Analysis Council, Inc. Athens, GA, 44-50.

do Carmo, F. F., Kamino, L. H. Y., Junior, R. T., de Campos, I. C., do Carmo, F. F., Silvino, G., et al, C. E. F. (2017). Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. *Perspectives in ecology and conservation*, 15(3), 145-151.

Ek, H., Çelebi, Ş. Z. ve Ağırağaç, Z. (2021). Arıtma Tesisi Atık Suyu ile Sulamanın Ak Üçgül (*Trifolium repens* L.)+ Çayır Salkım Otu (*Poa pratensis* L.) Bitkilerinden Oluşan Karışımın Gelişimi, Bazı Metal ve Metaloid İçeriği Üzerine Kısa Vadeli Etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 352-361.

Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F. and Xie, Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *The Scientific World Journal*, 2015(1), 756120.

Eraslan, Ş. (2014). Mermer ocaklarının faaliyet sonrası peyzaj onarımı ve geliştirme planlaması yaklaşımı (Doctoral dissertation, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Evliya, H. (1964). Kültür Bitkilerinin Beslenmesi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Fargasova, A. (2004). Toxicity comparison of some possible toxic metals (Cd, Cu, Pb, Se, Zn) on young seedlings of *Sinapis alba* L. *Plant Soil and Environment*, 50(1), 33-38.

Fashola, M. O., Ngole-Jeme, V. M. and Babalola, O. O. (2016). Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance. *International journal of environmental research and public health*, 13(11), 1047.

Favas, P., Pratas, J., Varun, M., Souza, R. and Paul., M. Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. In *Environmental Risk Assessment of Soil Contaminatio*. IntechOpen: London, UK, 2014, 485–517.

Fitz, W. J. and Wenzel, W. W. (2002). Arsenic transformations in the soil–rhizosphere–plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Journal of biotechnology*, 99(3), 259-278.

Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411.

Ghori, N. H., Ghori, T., Hayat, M. Q., Imadi, S. R., Gul, A., Altay, V. and Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International journal of environmental science and technology*, 16, 1807-1828.

González-Terreros, E., Ruíz-Valdiviezo, V. M., Galván-Velázquez, A., Franco-Hernández, M. O., Luna-Guido, M. and Dendooven, L. (2018). Heavy metals in mine-tailing soil mixtures cultivated with *Ricinus communis* L. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(5).

Gounden, T., Moodley, R. and Jonnalagadda, S. B. (2018). Elemental analysis and nutritional value of edible *Trifolium* (clover) species. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 53(8), 487-492.

Gupta, A. K. and Sinha, S. (2006). Chemical fractionation and heavy metal accumulation in the plant of *Sesamum indicum* (L.) var. T55 grown on soil amended with tannery sludge: Selection of single extractants. *Chemosphere*, 64(1), 161-173.

Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. ve Babaç, M.T. (edlr.). (2012). *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul.

Hasnaoui, S. E., Fahr, M., Keller, C., Levard, C., Angeletti, B., Chaurand, P., et al. (2020). Screening of native plants growing on a Pb/Zn mining area in eastern Morocco: Perspectives for phytoremediation. *Plants*, 9(11), 1458.

Hassani, A., Nouri, J., Mehregan, I., Moattar, F. and Sadeghi Benis, M. (2015). Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals resulting from acidic sludge of Eshtehard Industrial Town using native pasture plants. *J Environ Earth Sci*, 5(2), 87-93.

Hesami, R., Salimi, A. and Ghaderian, S. M. (2018). Lead, zinc, and cadmium uptake, accumulation, and phytoremediation by plants growing around Tang-e Douzan lead–zinc mine, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 8701-8714.

Hosseinniaee, S., Jafari, M., Tavili, A., Zare, S., Cappai, G. and De Giudici, G. (2022). Perspectives for phytoremediation capability of native plants growing on Angouran Pb–Zn mining complex in northwest of Iran. *Journal of Environmental Management*, 315, 115184.

IARC, International Agency for Research on Cancer, and International Agency for Research on Cancer. (1987). Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC Monographs volumes Lyon, France: Iarc 1 to 42, p. 53.

Ben Jeddou K., Vogiatzi C., Stamatakis A., Grigorakis S. and Lydakı Sımantırıs N. (2017). Heavy Metals Accumulation in Plant Tissues of *Satureja Cretica* and *Lathyrus Ochrus* Grown in Contaminated Soils. 15th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 31 August to 2 September 2017.

Kabata-Pendias, A. and Szteke, B. (2015). Trace elements in abiotic and biotic environments, Taylor and Francis p. 468.

Kacar, B. (2009). Toprak analizleri. Ankara, Nobel Yayın Dağıtım, p. 467.

Karatassiou, M., Giannakoula, A., Tsiotos, D. and Stefanou, S. (2021). Response of three Greek populations of *Aegilops Triuncialis* (Crop Wild Relative) to serpentine soil. *Plants*, 10(3), 516.

Karayer, A. (2013). Kırka (Eskişehir) ve çevresindeki bazı tarım alanlarındaki topraklarda ve bitkilerde ağır metal içeriklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Kaur, H. and Garg, N. (2021). Zinc toxicity in plants: a review. *Planta*, 253(6), 129.

Kaynak, G., Daşkın, R., ve Yılmaz, Ö. (2005). Bursa Bitkileri, TC Uludağ Üniversitesi, Kent Tarihi ve Araştırmaları Merkezi.

Khan, M. N., Ali, S., Akram, H., Jan, F., ul Haq, I., Shah, S. M., et al. (2019). 31. Elemental analysis of five selected grasses of sub family Pooideae from University of Peshawar Campus, KP, Pakistan. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 8(2), 1296-1306.

Kidd, P. S. and Proctor, J. (2000). Effects of aluminium on the growth and mineral composition of *Betula pendula* Roth. *Journal of Experimental Botany*, 51(347), 1057-1066.

Kodirova, S., Amanov, B., Muminov, K. H., Abdiyev, F., Buronov, A., Tursunova, N. and Kurbanbayev, I. (2024). Physiological and biochemical parameters of the exotic species of grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 56(4), 1513-1523.

Koide, R. T., Huenneke, L. F. and Mooney, H. A. (1987). Gopher mound soil reduces growth and affects ion uptake of two annual grassland species. *Oecologia*, 72, 284-290.

Kolesnichenko, L. G., Shepeleva, L. F., Rabtsevich, E. S., Ledeneva, E. A., Teslinova, M. S., Rozhkova-Timina, I. O. and Kirpotin, S. N. (2018, November). Elemental chemical composition of some meadow plants in the Middle Ob basin. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 201, (1), 012009.

Ladislav, S., El-Mufleh, A., Gérente, C., Chazarenc, F., Andrès, Y. and Béchet, B. (2012). Potential of aquatic macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in urban stormwater runoff. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223, 877-888.

Lapaz, A. D. M., Yoshida, C. H. P., Gorni, P. H., Freitas-Silva, L. D., Araújo, T. D. O. and Ribeiro, C. (2022). Iron toxicity: effects on the plants and detoxification strategies. *Acta Botanica Brasilica*, 36, e2021abb0131.

Liu, J., Piñeros, M. A. and Kochian, L. V. (2014). The role of aluminum sensing and signaling in plant aluminum resistance. *Journal of Integrative Plant Biology*, 56(3), 221-230.

Lombardi, L. and Sebastiani, L. (2005). Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants. *Plant science*, 168(3), 797-802.

Ma, J. F., Ryan, P. R. and Delhaize, E. (2001). Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in plant science*, 6(6), 273-278.

Mahdavian, K., Ghaderian, S. M. and Torkzadeh-Mahani, M. (2017). Accumulation and phytoremediation of Pb, Zn, and Ag by plants growing on Koshk lead–zinc mining area, Iran. *Journal of soils and sediments*, 17, 1310-1320.

Maslennikov, P., Golovina, E. and Artemenko, A. (2020). Ecological and Geochemical Conditions for the Accumulation of Antioxidants in the Leaves of *Lathyrus maritimus* (L.) Bigel. *Plants*, 9(6), 746.

Miller, R. O. (2019). Microwave digestion of plant tissue in a closed vessel. In *Handbook of reference methods for plant analysis* CRC press p. 69-73.

Mingorance, M. D., Franco, I. and Rossini-Oliva, S. (2017). Application of different soil conditioners to restore mine tailings with native (*Cistus ladanifer* L.) and non-native species (*Medicago sativa* L.). *Journal of Geochemical Exploration*, 174, 35-45.

Mitrović, M., Pavlović, P., Lakušić, D., Djurdjević, L., Stevanović, B., Kostić, O. and Gajić, G. (2008). The potential of *Festuca rubra* and *Calamagrostis epigejos* for the revegetation of fly ash deposits. *Science of the total environment*, 407(1), 338-347.

Naila, A., Meerdink, G., Jayasena, V., Sulaiman, A. Z., Ajit, A. B. and Berta, G. (2019). A review on global metal accumulators—mechanism, enhancement, commercial application, and research trend. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26449-26471.

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In D. L. Sparks (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*, Madison. doi:10.2136/sssabookser5.3.c34.

Nicholls, A. M. and Mal, T. K. (2003). Effects of lead and copper exposure on growth of an invasive weed, *Lythrum salicaria* L. (Purple Loosestrife). *Ohio Journal of Science* 103 (5), 129-133, 2003.

Nouri, M., Gonçalves, F., Sousa, J. P., Römbke, J. J., Ksibi, M., Pereira, R. and Haddioui, A. (2013). Metal and Phosphorus Uptake by Spontaneous Vegetation in an abandoned iron mine from a Semiarid Area in Center Morocco: Implications for Phytoextraction. *Environmental Research, Engineering and Management*, 64(2), 59-71.

Olsen, S. R. and Sommers, E. L. (1982). Phosphorus soluble in sodium bicarbonate. *Methods of soil analysis, part 2*, 404-430.

Ortakçı, G. (2020). Elazığ (Maden)'da işletmesi devam eden ve Amasya (Gümüşhacıköy)'da işletmesi bitmiş olan maden sahalarındaki bazı bitkilerde ağır metal bioakümüasyonları Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi.

Padmavathiamma, P. K. and Li, L. Y. (2010). Phytoavailability and fractionation of lead and manganese in a contaminated soil after application of three amendments. *Bioresource Technology*, 101(14), 5667-5676.

Påhlsson, A. M. B. (1990). Influence of aluminium on biomass, nutrients, soluble carbohydrates and phenols in beech (*Fagus sylvatica*). *Physiologia Plantarum*, 78(1), 79-84.

Pajak, M., Halecki, W. and Gąsiorek, M. (2017). Accumulative response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth) to heavy metals enhanced by Pb-Zn ore mining and processing plants: Explicitly spatial considerations of ordinary kriging based on a GIS approach. *Chemosphere*, 168, 851-859.

Pandey, N. and Verma, L. (2019). Nitric oxide alleviates iron toxicity by reducing oxidative damage and growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *International Journal of Plant and Environment*, 5(01), 16-22.

Rahman, R. and Upadhyaya, H. (2021). Aluminium toxicity and its tolerance in plant: A review. *Journal of Plant Biology*, 64(2), 101-121.

Rama, K., Nishita, O., Sadiqa, A. and Sonal, B. (2021). A review on heavy metal contamination at mining sites and remedial techniques. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci, 796, 012013.

Ranđelović, D., Jakovljević, K., Mihailović, N. and Jovanović, S. (2018). Metal accumulation in populations of *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth from diverse anthropogenically degraded sites (SE Europe, Serbia). Environmental Monitoring and Assessment, 190, 1-17.

Reichman, S. M. (2002). The responses of plants to metal toxicity: A review focusing on copper, manganese and zinc Vol. 7. Melbourne: Australian Minerals and Energy Environment Foundation.

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. in: Sparks, D.L., Page, P.A., Helmke, R.H., Loeppert, P.N., Soltanpour, M. A., Tabatabai, C. T., Johnston, M. E. Sumner. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods. doi:10.2136/sssabookser5.3.c14

Richard, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Handbook US Department of Agriculture, No.60.

Saadaoui, W., Gamboa-Rosales, H., Sifuentes-Gallardo, C., Durán-Muñoz, H., Abrougui, K., Mohammadi, A. and Tarchoun, N. (2022). Effects of lead, copper and cadmium on bioaccumulation and translocation factors and biosynthesis of photosynthetic pigments in *Vicia faba* L.(broad beans) at different stages of growth. Applied Sciences, 12(18), 8941.

Sağlam, T. M. (2012). Toprak Kimyası. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi.

Salas-Moreno, M. and Marrugo-Negrete, J. (2020). Phytoremediation potential of Cd and Pb-contaminated soils by *Paspalum fasciculatum* Willd. ex Flüggé. International Journal of Phytoremediation, 22(1), 87-97.

Salinitro, M., Tassoni, A., Casolari, S., de Laurentiis, F., Zappi, A. and Melucci, D. (2019). Heavy metals bioindication potential of the common weeds *Senecio vulgaris* L., *Polygonum aviculare* L. and *Poa annua* L. Molecules, 24(15), 2813.

Saruhan, V., Gul, I., Kusvuran, A. and Aydin, F. (2012). Effects of sewage sludge used as fertilizer on heavy metal contents of bird's-foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) and soil. Asian Journal of Chemistry, 24(2), 866.

Schmidt, W., Thomine, S. and Buckhout, T. J. (2020). Iron nutrition and interactions in plants. Frontiers in plant science, 10, 1670.

Serin, Y., Tan, M., Koç, A., Zengin, H., Karaca, A., Şentürk, T., ve Özçelik, H. (2008). Türkiye'nin çayır ve mera bitkileri. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müd. Yayınları, Ankara.

Sevencan, T. A. ve Kahyaoğlu, G. B. (2022). Metal stresindeki bazı tıbbi bitkilerin fitoremediasyon potansiyelleri ve biyokütle kullanımları. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi.

Shahid, M., Shamshad, S., Rafiq, M., Khalid, S., Bibi, I., Niazi, N. K., et al. (2017). Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. Chemosphere, 178, 513-533.

Shahidi, F., Chavan, U. D., Bal, A. K. and McKenzie, D. B. (1999). Chemical composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) plant parts. Food chemistry, 64(1), 39-44.

Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. Environment international, 31(5), 739-753.

Sharma, A., Kapoor, D., Wang, J., Shahzad, B., Kumar, V., Bali, A. S., et al. (2020). Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: an overview. Plants, 9(1), 100.

Sharma, R. K. and Agrawal, M. (2005). Biological effects of heavy metals: an overview. Journal of environmental Biology, 26(2), 301-313.

Sheldon, A. R. and Menzies, N. W. (2005). The effect of copper toxicity on the growth and root morphology of Rhodes grass (*Chloris gayana* Knuth.) in resin buffered solution culture. Plant and soil, 278, 341-349.

Sinegani, A. A. S. and Dastjerdi, F. S. (2009). The accumulation of Zinc and Nickel in Irankoh indigenous plant species on a contaminated land. Soil and Sediment Contamination, 18(4), 525-534.

Sönmez, O. and Kılıç, F. N. (2021). Heavy metal pollution in soil and removal methods. Turkish Journal of Agricultural Engineering Research, 2(2), 493-507.

Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A. and Loeppert, R. H. (Eds.). (2020). Methods of soil analysis, Chemical methods. John Wiley and Sons. Part: 3.

Sujkowska-Rybikowska, M., Kasowska, D., Gediga, K., Banasiewicz, J. and Stępkowski, T. (2020). Lotus corniculatus-rhizobia symbiosis under Ni, Co and Cr stress on ultramafic soil. Plant and Soil, 451, 459-484.

Sun, Z., Mou, X., Tong, C., Wang, C., Xie, Z., Song, H., et al. (2015). Spatial variations and bioaccumulation of heavy metals in intertidal zone of the Yellow River estuary, China. Catena, 126, 43-52.

Sürmen, B., Kılıç, D. D., Kutbay, H. G. and Tuna, E. E. (2019). Doğal olarak yayılış gösteren *Lepidium draba* L. türünün fitoremediasyon yönteminde kullanılabilirliğinin araştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 491-499.

Sytar, O., Ghosh, S., Malinska, H., Zivcak, M. and Brestic, M. (2021). Physiological and molecular mechanisms of metal accumulation in hyperaccumulator plants. *Physiologia plantarum*, 173(1), 148-166.

Tiodar, E. D., Chiriac, C. M., Pošćić, F., Văcar, C. L., Balázs, Z. R., Coman, C., et al. (2024). Plant colonizers of a mercury contaminated site: trace metals and associated rhizosphere bacteria. *Plant and Soil*, 502(1), 373-396.

Uzun, O. ve Bollukcu, P. (2009). Bartın merkez ilçe sınırları içinde yer alan açık ocak işletmelerinin peyzaj onarımı-biyolojik onarım açısından değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi I. Ulusal Batı Karadeniz Ormancılık Kongresi Bildiriler Kitabı, Özel Sayı, ISSN, 1302-0943.

Ülgen, N. ve Yurtsever, N. (1974). Türkiye gübreler ve gübreleme rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Yayınlar No:28. Ankara.

Wan, X., Lei, M. and Yang, J. (2017). Two potential multi-metal hyperaccumulators found in four mining sites in Hunan Province, China. *Catena*, 148, 67-73.

Wheeler, D. M. and Dodd, M. B. (1995). Effect of aluminium on yield and plant chemical concentrations of some temperate legumes. *Plant and Soil*, 173, 133-145.

Xu, S., Lin, D., Sun, H., Yang, X. and Zhang, X. (2015). Excess iron alters the fatty acid composition of chloroplast membrane and decreases the photosynthesis rate: a study in hydroponic pea seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1-9.

Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S. and Chen, Z. (2020). Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Frontiers in plant science*, 11, 359.

Yang, S., Liang, S., Yi, L., Xu, B., Cao, J., Guo, Y. and Zhou, Y. (2014). Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine tailings. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 8, 394-404.

Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. and Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the total environment*, 368(2-3), 456-464.

Yruela, I. (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, 36(5), 409-430. doi.org/10.1071/FP08288

Zayed, A., Gowthaman, S. and Terry, N. (1998). Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 27, (3), 715-721.