

**BOR İLE KİRLENMİŞ TOPRAKLARIN
YEŞİL ISLAH (*PHYTOREMEDIATION*)
YÖNTEMİ İLE ARITILMASI**

Atifet MEMİŞOĞLU BİNGÖL

**Doktora Tezi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Avni ÇAKICI**

2008

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**BOR İLE KİRLENMİŞ ZEMİNLERİN YEŞİL ISLAH (*PHYTOREMEDIATION*)
YÖNTEMİ İLE ARITILMASI**

Atifet MEMİŞOĞLU BİNGÖL

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2008

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Avni ÇAKICI danışmanlığında, **Atifet MEMİŞOĞLU BİNGÖL** tarafından hazırlanan bu çalışma ^{26/09}2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : **Prof. Dr. Cumali KINACI**

İmza: 

Üye : **Prof. Dr. Avni ÇAKICI**

İmza: 

Üye : **Prof. Dr. Hanifi SARAÇ**

İmza: 

Üye : **Prof. Dr. Recep BONCUKÇUOĞLU**

İmza: 

Üye : **Doç.Dr. Metin TURAN**

İmza: 

Üye : **Yrd.Doç.Dr. Erdem KOCADAĞISTAN**

İmza: 

Üye : **Yrd.Doç.Dr. Yalçın Kemal BAYHAN**

İmza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ömer AKBULUT

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

BOR İLE KİRLENMİŞ TOPRAKLARIN YEŞİL ISLAH (PHYTOREMEDIATION) YÖNTEMİ İLE ARITIMASI

Atifet MEMİŞOĞLU BİNGÖL

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Avni ÇAKICI

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan pek çok ülke su, hava ve toprak kirliliğine bağlı ekonomik ve ekolojik sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Özellikle toksik elementlerle kirlenmiş topraklar, etkili ve efor gerektiren teknik çözümlere ihtiyaç duyulan büyük çevre ve insan sağlığı problemleri yaratmaktadır.

Bu çalışmada, günümüzde kullanılmakta olan arıtım teknolojilerine nazaran daha az maliyete sahip olan yeşil ıslah (phytoremediation) yönteminin bor ile kirlenmiş toprakların ıslahında kullanabilirliği ve metallerin toprak çözeltisindeki konsantrasyonlarını artırmak amacıyla sıklıkla kullanılan ajanların, toprak çözeltisindeki bor konsantrasyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, vetiver grass bitkisinin 0-40 mg/kg B (H_3BO_3) ile kirlenmiş topraklardan bor alımının, iki ajan (EDTA ve DTPA) ve bu ajanların iki uygulama zamanı (ekim öncesi ve hasat öncesi) ve üç farklı ajan konsantrasyonuna (0, 4, 8 mmol/kg) göre değişimi incelenmiştir.

Deneme sonunda, toprağa uygulanan EDTA ve DTPA'nın vetiver grass bitkisinin bor alımını kontrol bitkisine göre %50 artırdığını göstermiştir. Uygulanan ajanlar içerisinde EDTA'nın DTPA'ya göre bitkinin bor alımında daha etkin olduğu da belirlenmiştir.

2008, 133 sayfa

Anahtar Kelimeler: Toprak, Yeşil ıslah (Fitoremediasyon), Ağır metal, Bor, Vetiver grasss, EDTA, DTPA

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

PHYTOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED WITH BORON

Atifet MEMİŞOĞLU BİNGÖL

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Avni ÇAKICI

Many industrialized and nonindustrialized countries are faced with economical and ecological problems due to toxic element contaminations in air, soil and water environments. Especially, soils contaminated with toxic metals pose a major environmental and human health problem that needs an effective and affordable technological solution.

In this study, the phytoremediation of boron polluted soil and the effect of chelating agents on the boron accumulation in vetiver grass was studied. The effects of adding different concentrations (0, 4, 8 mmol/kg) and two application seasons (before sowing and before harvesting) of two agents (ethylene diamine tetra acetate (EDTA) and diethylene triamine penta acetate (DTPA)) on boron availability in the boron contaminated soils with 0-40 mg/kg B (H_3BO_3) was investigated.

Results show that treatments with EDTA and DTPA increased boron uptake by vetiver grass by 50% compared with the unamended control. Among the two chelates EDTA was the most efficient at increasing B uptake by vetiver grass.

2008, 133 pages

Keywords: Soil, Phytoremediation, Heavy metals, Boron, Vetiver grass, EDTA, DTPA

TEŞEKKÜR

Çalışmanın her aşamasında yardım, teşvik ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Avni ÇAKICI'ya ve yardımcı danışman hocam Sayın Doç. Dr. Metin TURAN'a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında malzeme desteği sağlayan Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bitki temininde yardımlarından dolayı Sayın Muhammet KILCI'ya

Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü laboratuvar imkanlarını kullanmama imkan sağlayan Toprak Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ'a

Çalışmaya fikirleri, bilgileri ve tecrübesi ile önemli katkılar sağlayan Sayın Arş. Gör. Nizamettin ATAÖĞLU'na, sera ve laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan Sayın Arş. Gör. Adem GÜNEŞ'e teşekkür ederim.

Doktora çalışmam boyunca yardımları ve desteğiyle her an yanımda olan eşim Sayın Arş. Gör. A. Ferhat BİNGÖL'e ve sera çalışması sırasında yardımcı olan Sayın Arş. Gör. Yenal VANGÖLÜ'ne teşekkür ederim.

Bu aşamaya gelinceye kadar her an benimle olan, yardım ve desteklerini üzerimden hiç çekmeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Atifet MEMİŞOĞLU BİNGÖL

Mayıs 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM	40
3.1. Materyal.....	40
3.1.1. Araştırmada kullanılan materyaller.....	40
3.2 Yöntem	40
3.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi.....	40
3.3 Toprak Analizleri.....	43
3.3.1 Toprak Tekstürü.....	43
3.3.2. Toprak Reaksiyonu (pH)	44
3.3.3. Kireç Tayini (% CaCO ₃).....	44
3.3.4 Organik Madde Miktarı (%)	44
3.3.5. Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri.....	44
3.3.6. Değişebilir Katyonlar Tayini	44
3.3.7. Fosfor Tayini.....	45
3.3.8 Elektrik İletkenlik Tayini	45
3.3.9. Bitki Tarafından Alınabilir Mikro Element Tayini.....	45
3.3.10. Bitki Tarafından Alınabilir Bor Miktarının Belirlenmesi:	45
3.3.11. Toplam B Tayini:	45
3. 4. Bitki Analiz Yöntemleri	46
3.4.1. Bitkide Bor Tayini	46
3.4.2. Bitkide Diğer Elementlerin (Fe, Mn, Zn, Cu) Tayini.....	46
3.5. Fitoremediasyon Potansiyeli Tayini.....	46
3.6. Bioakümülayon Faktörü Tayini	46

3.7. Translokasyon Faktörü Tayini.....	47
3.8. Remediasyon Verimi Tayini.....	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	49
4.1. Denemede Kullanılan Toprak Örneğinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	49
4.2. Toprağa Farklı Dozlarda Uygulanan Borun Toprakta Yarattığı Bitkiye Elverişli Bor Konsantrasyonları.....	50
4.3. Vetiver Grass Bitkisinin Toprağa Uygulanan Farklı Dozlarda Bor Konsantrasyonuna Karşı Gösterdiği Tolerans	51
4.4. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Verimi ve Verim Parametreleri Üzerine Etkisi	57
4.5. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Kök ve Gövde Aksamında Bor Birikimi Üzerine Etkisi.....	69
4.6. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisi ile Toprakta Alınan Toplam Bor Miktarına Etkisi.....	76
4.7. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Toprak pH'sı Üzerine Etkisi.....	81
4.8. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Toprak Çözeltilisindeki Bor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	83
4.9. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Bioakümüülasyon, Translokasyon Faktörü ve Remediasyon Verimi Üzerine Etkisi	86
4.9.1. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Bioakümüülasyon Faktörü Üzerine Etkisi.....	86
4.9.2. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Translokasyon Faktörü Üzerine Etkisi.....	90
4.9.3. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Remediasyon Verimi Üzerine Etkisi.....	91
4.10. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Toprakta Bulunan Besin Elementleri Alımı Üzerine Etkisi	94
4.10.1. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Toprakta Bulunan Bakır Alımı Üzerine Etkisi	94

4.10.2. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin	
Toprakta Bulunan Demir Alımı Üzerine Etkisi.....	98
4.10.3. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin	
Toprakta Bulunan Mangan Alımı Üzerine Etkisi	102
4.10.4. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin	
Toprakta Bulunan Çinko Alımı Üzerine Etkisi	106
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR.....	114
EKLER.....	121
EK 1.	121
EK 2.	122
EK 3.	123
EK 4.	125
EK 5.	126
EK 6.	128
EK 7.	130
EK 8.	132
ÖZGEÇMİŞ.....	133

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Vetiver grass bitkisinin kök bölgesi ve genel görünüşü.....	12
Şekil 3.1. Bor kirletilmesi yapılmış toprakların inkübasyonu.....	41
Şekil 3.2. Saksılara dikilmeden önce vetiver fideleri	42
Şekil 3.3. Saksılara dikilen vetiver fideleri	42
Şekil 3.4. Serada saksıların görünümü.....	43
Şekil 4.1. Toprağa uygulanan bor miktarları ile toprakta oluşturulan bitkiye yarayışlı bor konsantrasyonları	51
Şekil 4.2. Bitki büyütme kabiniinde değişik bor dozlarına karşı bitki gelişimi	52
Şekil 4.3. Bitki büyütme kabiniinde 0 mg B/kg dozu uygulanan topraklarda yetişen vetiverin gövde gelişimi.....	53
Şekil 4.4. Bitki büyütme kabiniinde 40 mg B/kg bor uygulanan toprakta yetişen vetiverin kök bölgesi gelişimi	53
Şekil 4.5. Bitki büyütme kabiniinde 60 mg B/kg bor uygulanan toprakta yetişen vetiverin gelişimi	54
Şekil 4.6. Bitki büyütme kabiniinde 1 aylık büyüme süresi sonunda sırasıyla 0 mg B/kg, 10 mg B/kg, 20 mg B/kg ve 40 mg B/kg bor uygulanmış topraklardaki vetiverlerin görünüşü	54
Şekil 4.7. Bitki büyütme kabiniinde 0 mg/kg bor uygulanan saksılarda yetişen vetiverin 1 ay sonunda topraktan çıkarılan görüntüsü.....	55
Şekil 4.8. Bitki büyütme kabiniinde 20 mg/kg bor uygulanan saksılarda yetişen vetiverin 1 ay sonunda topraktan çıkarılan görüntüsü.....	55
Şekil 4.9. Toprağa uygulanan bor konsantrasyonlarının bitki kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi	56
Şekil 4.10. Toprağa uygulanan bor konsantrasyonlarının bitki boyu üzerine etkisi	56
Şekil 4.11. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi	58
Şekil 4.12. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi	58

Şekil 4.13. Ekim öncesi uygulanan 4 mmol/kg DTPA'nın kontrol bitkisine göre vetiver gelişimi üzerine yarattığı etki	60
Şekil 4.14. Hasattan önce uygulanan 4 mmol/kg DTPA'nın kontrol bitkisine göre vetiver gelişimi üzerine yarattığı etki	61
Şekil 4.15. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi	62
Şekil 4.16. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi	62
Şekil 4.17. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi	63
Şekil 4.18. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi	63
Şekil 4.19. DTPA'nın 8 mmol/kg konsantrasyonda uygulamasının ekim öncesi ve hasat öncesi vetiver bitkisi gelişimine etkisi	64
Şekil 4.20. 35 mg B/kg bor uygulanan toprakta ajansız ve ekim öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulaması ile yetiştirilen vetiverlerin gelişimi.....	67
Şekil 4.21. 35 mg B/kg bor uygulanan toprakta ajansız ve hasat öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulaması ile yetiştirilen vetiverlerin gelişimi.....	67
Şekil 4.22. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken bor konsantrasyonu	69
Şekil 4.23. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken bor konsantrasyonu	70
Şekil 4.24. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken bor konsantrasyonu	70
Şekil 4.25. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken bor konsantrasyonu	71
Şekil 4.26. Hasat öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulamasında toprağa uygulanan bor konsantrasyonuna karşı bitki kök bor konsantrasyonu ve kök kuru madde miktarı değişimi	75
Şekil 4.27. Hasat öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulamasında toprağa uygulanan bor konsantrasyonuna karşı bitki kök bor konsantrasyonu ve kök kuru madde miktarı değişimi	75

Şekil 4.28. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam bor konsantrasyonu	77
Şekil 4.29. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam bor konsantrasyonu	77
Şekil 4.30. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam bor konsantrasyonu	78
Şekil 4.31. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam bor konsantrasyonu	78
Şekil 4.32. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprak bitkiye elverişli bor konsantrasyonu	82
Şekil 4.33. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprak bitkiye elverişli bor konsantrasyonu	82
Şekil 4.34. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprak bitkiye elverişli bor konsantrasyonu	84
Şekil 4.35. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprak bitkiye elverişli bor konsantrasyonu	84
Şekil 4.36. Hasat öncesi 4 mmol/kg konsantrasyonunda uygulanan EDTA'nın farklı bor konsantrasyonlarında elde edilen BKF' ve BKF değerleri.....	87
Şekil 4.37. 20 mg B/kg B, 0 mmol/kg ajan uygulanan toprakta yetiştirilen vetiver grass bitkisinin hasatta saksıdan çıkarıldığında kök bölgesinin görünüşü.....	93
Şekil 4.39. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Cu konsantrasyonu	95
Şekil 4.40. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Cu konsantrasyonu	95
Şekil 4.41. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Cu konsantrasyonu.....	96
Şekil 4.42. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Cu konsantrasyonu.....	96
Şekil 4.43. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Cu konsantrasyonu.....	97

Şekil 4.44. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Cu konsantrasyonu.....	97
Şekil 4.45. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Fe konsantrasyonu.....	99
Şekil 4.46. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Fe konsantrasyonu.....	99
Şekil 4.47. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Fe konsantrasyonu	100
Şekil 4.48. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Fe konsantrasyonu	100
Şekil 4.49. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Fe konsantrasyonu	101
Şekil 4.50. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Fe konsantrasyonu.....	101
Şekil 4.51. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Mn konsantrasyonu	103
Şekil 4.52. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Mn konsantrasyonu	103
Şekil 4.53. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Mn konsantrasyonu	104
Şekil 4.54. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Mn konsantrasyonu	104
Şekil 4.55. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Mn konsantrasyonu	105
Şekil 4.56. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Mn konsantrasyonu	105
Şekil 4.57. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Zn konsantrasyonu	107
Şekil 4.58. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Zn konsantrasyonu	107
Şekil 4.59. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Zn konsantrasyonu	108

Şekil 4.60. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Zn konsantrasyonu	108
Şekil 4.61. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Mn konsantrasyonu	109
Şekil 4.62. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Mn konsantrasyonu	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Denemede kullanılan toprak örneklerine ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	49
Çizelge 4.2. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın kontrol bitkisine göre bitki boyunda meydana getirdiği azalış (%)	59
Çizelge 4.3. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan DTPA'nın kontrol bitkisine göre bitki boyunda meydana getirdiği azalış (%)	60
Çizelge 4.4. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın kontrol bitkisine göre bitki meydana getirdiği azalış (%).....	65
Çizelge 4.5. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan DTPA'nın kontrol bitkisine göre bitki kök kuru ağırlığında meydana getirdiği azalış (%)	65
Çizelge 4.6. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın kontrol bitkisine göre bitki gövde kuru ağırlığında meydana getirdiği azalış (%)	66
Çizelge 4.7. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan DTPA'nın kontrol bitkisine göre bitki gövde kuru ağırlığında meydana getirdiği azalış (%)	66
Çizelge 4.8. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın ajan uygulanmayan bitkilere göre bitki kökünde biriken bor konsantrasyonunda meydana getirdiği artış (%)	72
Çizelge 4.9. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan DTPA'nın ajan uygulanmayan bitkilere göre bitki kökünde biriken bor konsantrasyonunda meydana getirdiği artış (%)	73
Çizelge 4.10. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın ajan uygulanmayan bitkilere göre bitki gövdesinde biriken bor konsantrasyonunda meydana getirdiği artış (%)	73
Çizelge 4.11. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın ajan uygulanmayan bitkilere göre bitki gövdesinde biriken bor konsantrasyonunda meydana getirdiği artış (%)	74

Çizelge 4.11. Toprakta buluna elverişli bor konsantrasyonunu 2 mg/kg değerine indirmek için EDTA uygulaması için gerekli olan hasat döngüsü sayısı	80
Çizelge 4.12. Toprakta buluna elverişli bor konsantrasyonunu 2 mg/kg değerine indirmek için DTPA uygulaması için gerekli olan hasat döngüsü sayısı	80
Çizelge 4. 13. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen BKF' değerleri	88
Çizelge 4.14. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen BKF değerleri	88
Çizelge 4.15. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen BKF' değerleri	89
Çizelge 4.16. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen BKF değerleri	89
Çizelge 4.17. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen translokasyon faktörü değerleri	90
Çizelge 4.18. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen translokasyon faktörü değerleri	91
Çizelge 4.19. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen translokasyon faktörü değerleri	92
Çizelge 4.20. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen translokasyon faktörü değerleri	92

1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın ortalarına doğru hızlı nüfus artışı ile birlikte, modern tarıma geçilmesi ve diğer alanlardaki sanayi ve teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak toprak kirliliği de artmaya başlamıştır. Topraklar, su ve havaya oranla dış etkenlere karşı tamponlama gücü yüksek olan sistemlerdir. Ancak sisteme ilave edilen kirleticiler tarafından bozulmalar meydana geldiğinde karşılaşılan sorunlar da o ölçüde karmaşık, zor ve düzeltilmesi masraflı olmaktadır. Toprak kirliliği, toprağın, insan etkinlikleri sonucu oluşan çeşitli bileşiklere bulaştırılmasını takiben, toprakta yaşayan canlılar ile yetişen ve yetiştirilen bitkilere veya bu bitkilerle beslenen canlılara toksik etkiye bulunacak ve zarar verecek düzeyde anormal fonksiyonda bulunmasını, toprağa eklenen kimyasal materyalin toprağın özümleme kapasitesinin üzerine çıkması, toprağın verim kapasitesinin düşmesi şeklinde tanımlanabilir. Toprak sistemi ilişkili olduğu su ve hava sistemlerinin içerdiği kirletici unsurlar için son depolama noktasıdır. Diğer taraftan toprak, karasal ekosistemin taşıyıcı unsurudur ve toprak kalitesindeki değişim, gerek doğal ve gerekse tarım ekosisteminin verimliliğini etkilemektedir.

Sanayileşme sonucunda ortaya çıkan atıkların kontrol dışı bertarafı sonucu, hem sucul ortamlarda hem de toprakta oldukça büyük kirlilik meydana gelmektedir. Toprak kirliliğine sebep olan en önemli etkenler;

- Yerleşim alanlarından çıkan atıklar, endüstri atıkları, egzoz gazları, tarım ilaçları ve kimyasal gübreleme,
- Evsel katı atıkların vahşi depolandığı alanlar ile kanalizasyon şebekeleri ile toplanan atık suların arıtılmadan doğrudan toprağa verilmesi,
- Egzoz gazları, ozon, karbonmonoksit, kükürtdioksit, kurşun ve kadmiyum vs. gibi zehirli maddeler rüzgarlar ile uzak mesafelere taşınarak yağışlarla yere inmesi,
- Tarımsal mücadele ilaçlarının ve suni gübrelerin bilinçsiz ve aşırı kullanımı sonucu, toksik maddelerin toprakta birikimi artması, suni gübrelerin de (Sodyum, potasyum gibi

besin maddelerini içeren) aşırı ve bilinçsiz kullanımı sonucu toprağın yapısının bozulması,

- Endüstriyel atıkların direkt olarak toprağa ve dolaylı olarak ta havaya ve suya verilmesi,
- Özellikle ormanların tahribi sonucu oluşan toprak erozyonu,
- Madencilik, metal işleme ile ilgili sanayiler,
- Kirletici madde taşını sırasında meydana gelen kazalar olarak sıralanabilir (Baraund *et al.* 1999; Baker *et al.* 1994; Lo and Yang, 1999; Reddy and Shirani, 1997).

Toprak kirliliği, hava ve su kirliliği gibi gözle görülür şekilde fark edilmediği için kirliliğin varlığı 1970'lere kadar önemsenmemiştir (Badiant *et al.* 1994). Ülkemizde gerek son yıllarda ürün miktarı ve kalitesini artırmak amacıyla artarak kullanılan gübre, pestisit, hormon ilaçları gibi kirleticiler, gerekse yanlış kentleşme ve sanayileşme gibi nedenler, gerekse de kirlenmiş suların tarımsal sulamada kullanılması sonucu kirleticiler toprak ve sediment bünyesine dolayısıyla yeraltı ve yüzeysel sulara geçmektedir.

Tehlikeli atıkların insanlar üstündeki potansiyel riskinin anlaşılmasıyla birlikte bunların giderimi, kontrolü, taşınımı ve izlenmesiyle ilgili araştırmalar yoğun olarak sürdürülmeye başlanmıştır. Son yıllarda toprak kirliliği ve dolayısıyla yeraltı suyu kirliliği problemine çözüm olabileceği düşünülen birçok yeni teknik geliştirilmiştir. Toprak kirliliğine özellikle de ağır metal kirliliği olan zeminlerin iyileştirilmesine yönelik ilk çalışmalar, kirlenmiş bölgelerin yerinden alınarak herhangi bir depolama sahasına veya daha az kirlenme riski bulunan bölgeler taşınmasıyla başlamıştır. Ancak bu yaklaşım kirlenme risklerini ortadan kaldıramaması ve taşındıkları bölgelerde de benzer kirlenme sorunlarına neden olması sebebiyle, sorunun çözümü için yeni yaklaşımlar geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Günümüzde toprak kirliliğinin önüne geçilebilmesi için üç temel yaklaşım vardır.

- Kirilenmiş zeminin bir başka bölgeye taşınması
- Kirletici hareketliliğinin kontrol altına alınması
- Kirilenmiş toprağın arıtımı (Lo and Yang, 1999).

Son yıllarda kirilenmiş zeminlerin arıtılmasına yönelik birçok teknik geliştirilmiştir. Bu teknikler esas olarak yerinde (in-situ) kirletici arıtımı ve kirleticilerin bulunduğu yerden alınıp başka bir yerde (ex-situ) arıtılmasıdır. Ancak her iki durumda da kirletici arıtımında kullanılan yöntemler gerçekte birbirinden çok farklı değildir. Toprak yıkama (soil washing), hava yardımıyla uçuculaştırma (air-sparging) gibi yöntemlerin birçoğu zeminin hava veya su iletimliliğinden yararlanmaktadır. Bu nedenle, özellikle iri taneli ve geçirimliliği yüksek zeminlerde oldukça verimli kullanılabilmektedirler. Ancak bu yöntemlerin birçoğunun ince taneli zeminlerin arıtımında kullanılması verimli olmamakta veya maliyetler çok yükselmektedir (Alshawabkeh *et al.* 1999(a); Ho *et al.* 1999). Bu tür zeminlerin düşük iletkenliklerinin yanı sıra, sahip oldukları tutma (adsorpsiyon) özellikleri veya çözünürlüğü yavaşlatan hidroksitler ve karbonatlar içermesi nedeniyle bu yöntemlerle arıtılmaları zorlaşmaktadır (Alshawabkeh *et al.*(a), 1999; Hsü *et al.*1997; Wilson, 1996; Wilson *et al.*1995). Şimdiye kadar yapılan arıtım teknikleri ve etkili oldukları kirleticiler özet olarak aşağıda verilmiştir.

- Biyolojik Arıtım (Bioremeditation): Pestisitler gibi halojenli ve halojenli olmayan uçucular ve yarı uçucuların arıtımında oldukça etkili olduğu halde ağır metallerle kirilenmiş toprakların arıtımında yeterli sonuçlar vermemiştir.
- Termal Desorpsiyon: Yakıt hidrokarbonları ve pestisitler gibi halojenli ve halojenli olmayan uçucular ve yarı uçucuların arıtımında kullanılır. Bu teknik de ağır metal giderimi üzerinde etkili değildir.
- Toprak Buharı Ekstraksiyonu: İşlenmiş ağır metallerin hacimlerini azaltmada faydalı sonuçlar vermesine rağmen bu metallerin toksiditelerini azaltamamaktadır.
- Toprak Yıkama: Toprak matriksinden ağır metallerin gideriminde potansiyel etkinlik göstermektedir.
- Soil Flushing: Laboratuvar ölçekli çalışmalara göre, ağır metal gideriminde etkili ama metallerin toksiditesini azaltmamaktadır.

- Elektrokinetik Toprak Arıtımı: Son yıllarda oldukça fazla kullanılan bir sistem olmasına rağmen, arazi uygulaması için çok yüksek maliyetlere ihtiyaç duyulmaktadır (Virkutyle *et al.* 2001).
- Yeşil Islah (Fitoremediasyon): Su ve topraktaki kirleticileri, bitkiler kullanılarak parçalamak, ekstrakte etmek, içine almak ve sabit hale getirmek için geliştirilen yeni bir tekniktir (EPA, 2000).

Toprak kirliliği kontrolünde kullanılan fiziksel ve kimyasal arıtım yöntemleri, uygulama kolaylığı ve uygulama süresi kısalığı gibi bazı avantajlara sahip olmasına rağmen, gerek arıtım masraflarının yüksek olması, gerek arıtma sonucunda oluşan ikincil kirleticilerin nihai giderim zorlukları nedeniyle arazide sınırlı olarak kullanılmaktadır.

Fitoremediasyon en genel anlamda, toprak ve su arıtımında bitkilerin kullanılması olarak tarif edilmektedir (Raskin, 1997). Ağır metalleri ve diğer bileşikleri gidermek için, metal biriktiren bitkilerin kullanılması fikri, ilk kez 1983 yılında keşfedilmiş olmasına karşın, gerçekte bu kavram atıksu deşarjlarında 300 yıldan beri uygulanmaktadır (Chaney *et al.*, 1997). Fitoremediasyon, yüksek konsantrasyonda organik bileşik içeren toprakların temizlenmesinde, bitki kökleri ile bu bitki kökleri ile ilişkili mikroorganizmaların etkileşimini içerir. Bu bakımdan, bitkiler, kendilerini çevreleyen ortamdan çeşitli elementleri ekstrakte eden ve biriktiren solar pompalar olarak nitelendirilebilirler (Garbisu and Alkorta, 2001). Bu teknik yardımıyla, metaller, radyolojik kirleticiler ve çeşitli tipte organikler, geleneksel arıtım teknolojilerine nazaran daha ucuz ve etkili bir şekilde daha az miktarda ikincil kirleticilere ve daha az çevresel etkili kirleticilere dönüştürülmektedir (Miller, 1996). Fitoremediasyon genellikle, 0-3 feet derinliğinde kirliliğe sahip olan geniş arazilerin veya düşük seviyede kirlilik içeren yüksek hacimli suların arıtımında başarı ile kullanılmaktadır (EPA, 1996). Bitkinin hasat edilebilen, metal yönünden zengin biyolojik dokusu, kompostlama, kurutma ve yakma gibi yöntemlerle kolayca ve güvenle bertaraf edilebilir hatta kül içerisinde istenilen metaller geri kazanılabilir (Raskin *et al.* 1997).

Fitoremediasyon veya bitki-destekli biyolojik arıtım ile topraklardan giderilen kirleticiler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Ağır Metaller (Cd, Cr, Pb, Co, Cu, Ni, Se, Zn)
2. Radyo aktif maddeler (Cs, Sr, Ur, ³H)
3. Klorlu Çözücüler (TCE, PCE, MTBE, karbon, tetraklorit)
4. Petrol Hidrokarbonlar (BTEX)
5. Poliklorlu Bifeniller (PCBs)
6. Polisilik Aromatik Hidrokarbonlar (PAHs)
7. Klorlu Pestisitler
8. Organofosforlu Pestisitler (e.g., parathion)
9. Patlayıcılar (TNT, DNT, TNB, RDX, HMX)
10. Nutrientler (nitrat, amonyum, fosfat)
11. Yüzey Aktif Maddeler (Miller, 1996; Schnoor, 1997; Henry, 2000; EPA, 2000)

Fitoremediasyon uygulamaları içerdiği mekanizma ile karakterize edilebilir: indirgenme, ekstraksiyon, tutulma veya bunların bir kombinasyonu. Bu mekanizmalar, topraktan ve sudan kirleticilerin ekstraksiyonu, kirleticilerin bitki dokusunda konsantre edilmesi, kirleticilerin çeşitli biyotik ve abiyotik proseslerle indirgenmesi, uçucu kirleticilerin bitkiden buharlaşma ya da terleme yoluyla atmosfere verilmesi, kök bölgesinde kirleticilerin sabitlenmesi, kirliliğin yer altı suyunun hidrolik kontrolü (plume control) ve erozyon, kaçış ve infiltrasyonun bitki örtüsü ile kontrolü şeklinde tanımlanabilir (EPA, 2000).

Fitoekstraksiyon: Fitoekstraksiyon, topraktaki metalleri, hasat edilebilen bitki kökünde ve toprak üstü materyalinde ya da yapraklarında toplayabilen metal biriktiren bitkilerin kullanımı olarak ifade edilebilir. Bu biriktirme teknolojisi ile sığ kirlilik derinliğine sahip topraklarda yüksek verimle giderim gerçekleştirilmektedir (Miller, 1996; Schnoor, 1997; EPA, 2000).

Rizofiltrasyon: Rizofiltrasyon, kök bölgesini çevreleyen çözelti içerisinde bulunan ağır metaller ve radyolojik metallerin biyotik ve abiyotik proseslerle bitki kökü tarafında

adsorpsiyonu, biriktirilmesi ve çöktürülmesi olarak açıklanabilir (Schnoor, 1997; EPA, 1998; 2000).

Fitostabilizasyon: Fitostabilizasyon prosesinde kirleticilerin, özellikle metallerin, bitkiler tarafından hareketlilikleri azaltılarak ve yer altı suyuna (leaching) veya havaya (wind transport) geçmesi ya da besin zincirine katılımı engellenerek, adsorbe edilir ve çöktürülür (Miller, 1996; Schnoor, 1997; Chaney *et al.* 1997).

Rizodegradasyon: Rizodegradasyon (bitki destekli biyolojik arıtım) kök hücresi varlığı ile iyileştirilmiş mikrobiyal aktivite ile toprakta organik maddelerin bozunmasıdır (EPA, 1998).

Fitodegradasyon: Fitodegradasyon (fitotransformasyon) kompleks organik moleküllerin daha basit moleküllere indirgenmesi ve bu indirgenmiş moleküllerin bitki dokusu içerisine alınmasıdır (Miller, 1996).

Fitovolatilizasyon: Fitovolatilizasyon, bitkinin topraktaki kirleticiyi bünyesine alıp, modifiye ederek daha az zararlı hale dönüştürmesi ve modifiye kirleticinin terleme yoluyla atmosfere verilmesi olarak tanımlanır (EPA, 1998; 2000).

Hidrolik Kontrol (Plume control): Hidrolik kontrol, kirleticilerin geçişini engellemek için bitkilerin kullanılmasıdır. (EPA, 1998; 2000).

Vejetatif Örtü (Evapotranspiration cover): Bitki örtüsü ile uzun vadede, kendi kendini idare edebilen bitki sistemi, çevresel tehdit oluşturan materyallerin içinde ya da üzerinde büyüyerek çevresel riski kabul edilebilir seviyelere indirmekte ve genellikle minimum devamlılık gerektirmektedir (EPA, 1998; 2000).

Riparian corridors (Non-point source control): Riparian corridors/buffer strips yüzeysel kaçışları kontrol etmek ve arıtmak ayrıca akarsulara doğru olan yeraltı suyu kirliliğini önlemek için dere ve nehir kıyıları boyunca uygulanır (EPA, 1998; 2000).

Fitoremediasyon, diğer fiziksel ve kimyasal arıtım teknolojilerine nazaran birçok avantaja sahip olmasına rağmen bu prosesi sınırlayan etkenler de mevcuttur. Fitoremediasyonun genel avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Raskin, 2000; Turgut *et al.* 2004)

- Düşük yatırım ve işletim masrafı vardır,
- Bitkide biriktirilen metallerin geri kazanımı ekonomik olarak fayda sağlamaktadır.
- Çevreye en az zararı verir,
- Kirli toprağın kazılıp diğer bir atılım noktasına götürülmesine gerek olmadığı için atılım sahasına ihtiyaç yoktur,
- Çevre halkı tarafından kabul edilme olasılığı çok yüksektir,
- Çok değişik türde zararlı madde arıtabilme potansiyeline sahiptir,
- Uygulama boyunca toprak işlevleri devam etmekte ve toprak içindeki yaşam tekrar aktive edilmektedir,
- Bitki hasatı ile elde edilen ikincil kirletici miktarı azdır,
- Kirli bölge üzerinde yetiştirilen bitkiler, rüzgar ve su ile oluşan toprak erozyonu ile kirleticilerin yayılımını engeller.

Fitoremediasyonun diğer tekniklere nazaran dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Diğer teknolojilere göre yavaştır,
- Prosesin işleyebilmesi mevsime bağlıdır,
- %100 giderim sağlanamamaktadır,
- Karma kirlilik bulunan ortamlarda kullanılamayabilir,
- Yüksek kirlilik konsantrasyonu toksik etki yapabilir,
- Toprak uygulaması sadece yüzeysel kirliliğe sahip topraklarda başarılı olabilir,
- Yeraltı suyu, atıksu arıtımında kullanımı geniş arazi ihtiyacına sahiptir.

Fitoremediasyon, toprak sediment ve yeraltı suyu temizliğinde kullanılmaktadır. Özellikle yüzeysel kirliliğe sahip geniş arazilerin ıslahında diğer metotların maliyeti çok fazla olduğu için tercih edilir. Yeşil ıslah derin kirlilik bulunan bölgelerin ıslahında ise son basamak olarak kullanılır. Bu yöntemin tek dezavantajı gerekli arıtım için çok uzun süreye ihtiyaç duyulmasıdır.

Fitoremediasyon, genellikle diğer tekniklere nazaran ucuz bir yöntemdir. Toprak temizliği açısından, toprak kazımı, toprak yıkama, çözücü ekstraksiyonu ve diğer arıtım metotları ile kıyaslandığında yeşil ıslah, yaklaşık 10-35 \$/ton gibi düşük bir maliyette kalmaktadır. Yer altı suyu için bu değer 2-6\$/ton değeriyle biyosorpsiyondan ucuz görünmektedir (Macek *et al.* 2004). Bu rakamlar, kirlilik çeşidi, toprak tipi, kirli bölgenin genişliği ve daha birçok faktöre göre değişmektedir. Ama özellikle geniş bölgelere yayılmış kirliliğin giderilmesinde yeşil ıslah, en ekonomik yöntem olarak görülmektedir.

Fitoremediasyonun etkinliği, kullanılan bitkinin toprak üstü aksamındaki gelişme ve bu aksamda biriktirdiği kirlilik konsantrasyonunun bir sonucudur. Fitoremediasyonda kullanılan bitkinin aşağıda verilen özelliklere sahip olması fitoremediasyon başarısı üzerinde önemli etkilere sahiptir.

- Kirleticilerin yüksek konsantrasyonunu tolere etmelidir.
- Toprak üstü aksamında yüksek miktarda kirletici biriktirebilmelidir.
- Hızlı büyümeli ve biokütlesini artırmalıdır.
- Geniş kök aksamı oluşturabilmelidir (Santos, 2006; Garbisu, 2001).

Bitki türleri, kirli topraklardan kirleticileri biriktirme yeteneği bakımından çok çeşitlilik göstermektedir. Çok az sayıda bitkinin yerel olarak maden bölgeleri civarında yetiştiği fark edildiğinde bu bitkiler üzerine araştırmalar başlamıştır. Aşırı biriktirici bitkiler (hyperaccumulator) olarak adlandırılan bu bitkiler, normal bitkilere göre fitotoksik elementleri 100 kat daha fazla biriktirebilmektedirler (Pulford, 2003). Bugün bilinen

birçok aşırı biriktirici bitki özellikle yüksek konsantrasyonda ağır metal içeren topraklarda yetişmektedirler ve büyük çoğunluğu tropikal bölgelerde bulunmaktadır (Garbisu, 2001). 1998 yılına kadar Salt tarafından belirtildiğine göre 397 çeşit aşırı biriktirici bitki türü bulunmaktadır. Bu bitkiler, bünyelerinde yüksek konsantrasyonda kirletici biriktirebilmeleri yanında, toprağa adsorbe olmuş kirleticileri çözerek toprak çözeltisi içerisine hareketliliğini de sağlamaktadırlar. Bitki kökünde aşırı metal birikiminin bitkinin kendini mantar ve böceklerle karşı savunma mekanizması olarak geliştirdiği düşünülmektedir (Pulford, 2003) . Aşırı biriktirici bitkilerin büyüme hızının yavaş olması ve düşük biokütle oluşturmaları, bu bitkilerin fitoremediasyon çalışmalarında kullanılması güçleştirmektedir (Raskin, 2000).

Fitoremediasyonda bitkinin kirleticiyi alıp gövde aksamına iletmesinin yanında, kirleticinin toprak çözeltisinde bitki tarafından biyolojik olarak alınabilir formda olması da önemlidir. Özellikle toprakta bulunan ağır metallerin topraktaki çözünürlükleri, organik madde ile kompleksleşmelerinden, kil yüzeyine ve oksitlere adsorbe olmalarından ve karbonat, hidroksit ve fosfat şeklinde çökmelerinden dolayı sınırlıdır (Neugschwandtner, 2008). Metallerin, organik kompleksleşici ajanlarla kompleksleşmesi metal çözünürlüğünde önemli bir rol oynar bu yüzden organik ajanların toprağa ilavesi metal çözünürlüğünü önemli ölçüde artırır. Organik ajanlar, metallerin bitkiler tarafından alınabilirliğini artırmakta ve hatta bitki köklerine doğru hareketlerine ve birikimlerine yardım etmektedir (Norvell, 1991). Organik ajanların fitoremediasyonda kullanımı sınırlayan etken ise toprak tarafından tutulan metallerin organik ajanlar vasıtasıyla toprak çözeltisi içine alınması ile bu metallerin yıkanma yoluyla yer altı suyuna geçebilme riskinin ortaya çıkarması ve organik ajanların biyolojik olarak yavaş bozulmalarıdır (Wu, 2004).

Türkiye dünya üzerinde bor rezervi en fazla olan ülkedir. Ülkemizde üretim, ham madde imalatı, taşınım, atıksu arıtım sistemlerinden çıkan suların sulama suyu olarak kullanılması gibi sebeplerle bor hava, su ve toprağa karışmaktadır. Bor topraklarda doğal olarak yüksek konsantrasyonda bulunabileceği gibi maden işlenmesi, gübreleme

veya kalitesiz sulama suyu kullanımı gibi sebeplerden de artış gösterebilmektedir (Nable *et al.* 1997).

Bor bitkilerin normal gelişmesi ve optimal derecede ürün verebilmesi için gerekli olan yedi mikro besin elementinden biridir (Yermiyahu, 2001; Viets, 1962). Bitkilerde noksanlık ve toksisiteye neden olan toprak bor seviyeleri arasında çok az bir fark vardır. Bu nedenle diğer besin elementlerine göre bor noksanlığı ve toksisitesi belirtileri daha dar bir aralıkta ve yaygın olarak ortaya çıkabilmektedir (Lee, 2008; Goldberg, 1997).

Bor, metallerle kıyaslandığında toprak içerisinde daha hareketli bir yapıya sahiptir. Fakat toprakta bulunan borun büyük bir çoğunluğu toprak içerisindeki kil, organik madde ve demir ve alüminyum hidroksite adsorbe olur, bu yüzden toprak çözeltisinde bitkiye elverişli bor konsantrasyonu toplam borun yaklaşık olarak sadece %5'ini teşkil edebilir (Robinson, 2007).

Borun yüksek bitkiler için mutlak gerekli bir bitki besin elementi olduğu 76 yıl önce belirlenmesine rağmen temel fonksiyonları hala tartışılan, en az anlaşılabilmiş bitki besin elementidir. Mevcut bilgilere göre bor, bitki bünyesinde karbonhidrat ve protein metabolizmasında, doku farklılaşması, oksin ve fenol metabolizmasında, membran permeabilitesinde, polen çimlenmesinde ve polen tüpü büyümesinde önemli roller üstlenmektedir (Taban, 2000).

Bitkilerde bor toksisitesi; hücre duvarı gelişiminde bozulma, ATP (Adenozin trifosfat), NADH (Nikotinamid adenin dinükleotid hidrojen) veya NADPH'a (Nikotinamid adenin dinücleotid fosfat) tutunarak metabolik bozunma, RNA'ya tutunarak hücre bölünmesi ve gelişiminde bozulma ve yapraklarda yüksek B konsantrasyonundan ötürü oluşan ozmotik dengesizlik şeklinde kendini belli eder (Reid, 2004). Bitki türleri arasında B toleransı farklılıklar göstermektedir. Hassas türler 0,3 mg B/kg bor içeren sulara bile dayanamazken, biraz daha yüksek toleranslı bitkiler 4 mg B/kg konsantrasyonuna kadar tolere edebilirler.

Normal bitki türleri boru topraktan $B(OH)_3$ ve $B(OH)_4^-$ şeklinde alırlar. $B(OH)_4^-$ 'ün kil minarelerine daha fazla tutunmasından ve köklerin daha çok $B(OH)_3$ tercihinden dolayı $B(OH)_3$ alınımlı daha fazla gerçekleşmektedir (Hu and Brown, 1997). Toprak pH'sı B alımını en fazla etkileyen faktördür. Yüksek pH'larda $B(OH)_4^-$: $B(OH)_3$ oranı arttığı için borun bitkiler tarafından alımı düşmektedir (Robinson, 2007).

Bor bitki bünyesinde immobil olduğu için hareketi sınırlıdır. Borun bitkide yukarı doğru taşınmasında transpirasyonun etkili olduğu saptanmıştır. Bitkiler tarafından bor alınmasının ve farklı organlara taşınmasının bitkinin su alımı ve ksilemdeki hareketi ile yakından ilişkili olduğu ve ayrıca bu taşınmanın bitki türleri arasında farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum borun esas itibariyle ksilemde taşındığını göstermektedir. Bor taşınmasının daha çok transpirasyona bağlı olması, yaprak uçları ve kenarlarında bor birikiminin nedenini de açıklamaktadır. Borun yapraklarda bu şekilde akümüle olması bazı hallerde toksik etkilere neden olabilmektedir (Taban ve Erdal, 2000).

'*Vetiveria zizanioides* (L.) toprak, su muhafazası ve arazi ıslahında kullanılan bir bitkidir. Şeker kamışı ve sorgum'a benzeyen bir bitki olan Vetiver Grass, tıpta ve parfüm endüstrisinde kullanılmasının yanında, son yıllarda daha çok toprak ve su muhafazası amaçlı kullanılmaktadır. Yeni araştırmalar sonucunda Vetiver Grass'ın erozyon önleme ve toprak kirliliğini giderme konusunda etkili olduğu ortaya çıkmıştır. (Anonim, 2008)

Vetiver Grass, Gramineae familyasının; Panicoidae alt familyasında, Andropogoneae grubunda yer almaktadır. 12 adet türü bulunmaktadır. Bu türler dünya üzerinde tropikal ve subtropikal iklim kuşağında yer alan ülkelerin çoğunda doğal olarak bulunmaktadır. Ortalama ömrü 40 yıldır (Anonim, 1995, Anonim, 1999).

Çalışmada ele alınan tür olan '*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash' ise, Asya, Afrika ve Güney Amerika'da yarı karasal ve tropikal alanlarda yayılış göstermektedir. Avrupa'da

Fransa, İspanya, İtalya, İngiltere, Portekiz gibi ülkelerde de yetiştirilmektedir (Anonim, 1995; Anonim, 1999; Greenfield, 1989). Ülkemizde ise ilk olarak Muhammet Kılıcı tarafından 1998 yılında İtalya'nın Sicilya Adasının Catania bölgesinden getirilerek, İzmir Karşıyaka'da üretilmeye başlanmıştır (Kılıcı, 2001).

Saz görünümlü bitkinin boyu yaklaşık 2 m, taç genişliği ise 1 m'dir. Kardeşlenme yeteneği yüksektir. Saçak köklü olup, yumak oluşturan kökleri uygun koşullarda 3m derinliğe kadar gidebilir.

Yaprakları ortalama 75 cm uzunluğunda, 8 mm genişliğinde, ince uzun görünümlü, tüysüzdür. Yaprak kenarları kesicidir. Çiçekler erguvan-bordo rengine, salkım şeklindedir ve çiçek sapının ucunda toplanmıştır. Tohumları çevresel koşullara hassas olup, çimlenme yüzdesi düşüktür. Bu nedenle üretimi, kardeşlerin ayrılması ve çeliklerin köklendirilmesi ile yapılmaktadır (Anonim, 1999; Anonim, 1993).



Şekil 1.1. Vetiver grass bitkisinin kök bölgesi ve genel görünüşü

Doğal olarak tropikal kökenli hidrofit bir bitki olmasına rağmen, subtropikal ve kurak koşullarda da başarılıdır. Bitkinin doğal yayılış alanlarındaki iklim koşulları incelendiğinde; ortalama sıcaklık 18-25°C, en düşük sıcaklık -15°C, en yüksek sıcaklık 48 °C ve ortalama en düşük sıcaklık 5°C olarak bildirilirken, gelişmeye başlayabilmesi için sıcaklığın 12°C 'nin üstünde olması gerekmektedir. Hızlı büyüyebilmesi için ise, yazın 25°C civarında sıcaklık istemektedir. Bulunduğu yerlerde toprağın uzun süre donması ölümüne neden olmaktadır. 2000 m'de yetişebilmekte, ancak düşük sıcaklık nedeniyle zorlanmaktadır. Yıllık toplam yağışın 700 mm ve üstünde olması tercih edilmektedir. Ancak geniş bir yağış rejimine (200–600 mm) de uyum sağlamaktadır (Anonim, 1995).

Kurak koşullarda yaşayabilmesine rağmen, normal gelişim süresi için de en az 3 aylık yağışlı bir sezona ihtiyaç duymaktadır. Fakat en ideal olan yağışların bütün bir yıla düzenli olarak yayılmasıdır. Yüksek nispi nem koşullarında en iyi gelişmeyi gösterirken, nispi nemin düşük olduğu koşullarda da yetişebilmektedir. Gölge alanlarda gelişmesi zayıftır. Ayrıca bitkinin tamamı 3 ay süreyle su altında kalmaya dayanıklıdır (Anonim, 1999).

Toprağın farklı özelliklerine uyumu incelendiğinde; en iyi gelişmeyi derin kumlu-balçık topraklarda yapmakta, bununla birlikte ince-kaba bünyeye sahip birçok toprakta yetişmektedir. Ayrıca, sıg topraklar ve molozlar üzerinde de yetişebilmektedir. Toprak reaksiyonu bakımından toleranslı olup, geniş bir aralığa (pH=3–11) uyum sağlamaktadır. Toprakta bulunan alüminyum ve manganın toksik konsantrasyonlarına (550 ppm) toleranslıdır. Tuzlu alanlarda 8 mS cm⁻¹'lik elektrik iletkenlik değerine kadar normal gelişimini sürdürürken, bu değer 20 mS cm⁻¹'e ulaştığında üründe %50'lik bir kayıp meydana gelmektedir (Troung and Baker, 1996).

Bu bitkiyi ekstrem alanlarda etkili kılan özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Anonim, 1995):

- Tuzluluk, pH, verimlilik, çakıllı ve kumlu topraklar konusunda seçici olmadığı için, her tip toprakta yetişebilmektedir,
- Kuraklığa, uzun süre su altında kalmaya ve sellere dayanıklıdır,
- Her türlü koşula dayanıklı olduğu için, diğer birkirler çevresel olaylarda etkilenseler bile Vetiver grass etkilenmemektedir,
- Toprakta Al, Mn, As, Cd, Ni, Cr, Cu, Pb, Hg, Se ve Zn'a yüksek tolerans göstermektedir,
- Suda çözünmüş N,P, Hg, Cd, Pb'u adsorbe etmede yüksek etkinlik göstermektedir,
- Kuvvetli kök sistemi ile toprağın 3 m derinliklerine kadar inmekte ve tutunabilmektedir,
- Toprak altında küme oluşturması sebebiyle yangın ve otlatmaya karşı dayanıklıdır.
- Çok yıllık, az bakım gerektirir,
- Yaprakları ve kökleri pek çok hastalığa dayanıklıdır,
- Gövde boğumlarından çıkan yeni köklerle kuvvetli bir tutunma meydana getirmektedir,
- Tarım ilaçlarına karşı yüksek tolerans göstermektedir,
- Geniş bir iklim rejiminde (-10 °C ile 48 °C sıcaklık derecelerinde ve 200-600 mm yıllık yağış rejimlerinde) yetişebilmektedir,
- Doğru olarak tesis edildiğinde kalıcı ve yoğun bir şekil almaktadır,
- Tesisi kolay ve ucuzdur,
- Esas ürün ile rekabete girmez, çit oluşturulduğunda verim üzerinde olumsuz etkisi olmaz.

Bu çalışmanın amacı, günümüzde kullanılmakta olan toprak arıtım teknolojilerine nazaran daha az maliyete sahip olan yeşil ıslah yönteminin bor ile kirlenmiş toprakların ıslahında kullanılabilirliğini incelemektir. Literatürde ağır metal ile kirlenmiş zeminlerin ıslahı ile ilgili çeşitli yöntemler bulunmasına rağmen bor kirliliği bulunan topraklar için herhangi bir yöntem bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, bor ile kirlenmiş toprakların vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) ile ıslahı ve ağır metal fitoremediasyonunda sıklıkla metallerin toprak çözeltisindeki çözünürlüklerini artırmak, böylece de bitki tarafından alımını kolaylaştırmak amacıyla kullanılan ajanların (EDTA ve DTPA) bor giderimine olan etkisi araştırılmıştır. Kullanılacak ajanların ve farklı uygulama zamanlarının bitki büyümesi ve topraktan bor alımı etkisi de incelenmiştir.

Çalışma sonunda elde edilen veriler yardımıyla öncelikle bölgemizde bulunan tarım potansiyeline sahip, ancak atık sulama suları, madencilik ve çoraklık sonucu kirlenen alanların yeşil ıslah yöntemi ile geri kazanılması sağlanacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde yeşil ıslah, ajan destekli yeşil ıslah ve vetiver grass ile yeşil ıslah konularında daha önceden yapılmış olan çalışmalar özetlenerek tarih sırasına göre sunulmuştur.

Kumar *et al.* (1995), lahana (*Brassica*) kökenli 6 çeşit bitki (*B. nigra*, *B. oleracea*, *B. campestris*, *B. carinata*, *B. juncea*, *B. napus*) ile topraklardan Pb giderimi üzerine çalışmışlardır. 0, 6, 22, 47, 94 ve 188 mg Pb/kg konsantrasyonlarındaki topraklarda 0, 4, 8 ve 14 günlük denemeler sonucunda test edilen tüm lahana türlerinin bitki birikimi yaptığını, en güçlü dayanım gösteren ve kökten gövdeye metal geçişini en fazla sağlayanın ise *B. juncea* türü olduğunu belirlemişlerdir. (köklerde 108,3 mg Pb/g DW, gövdede 34,5 mg Pb/g DW). *B. juncea*'nın aynı zamanda gübreli topraktan Cr^{6+} , Cd, Ni, Zn ve Cu'ı sırasıyla 58, 52, 31, 17 ve 7 kat daha fazla giderdiklerini ifade etmişlerdir.

Blaylock *et al.* (1997), bitki büyütme kabininde gerçekleştirdikleri çalışmada hint hardalı (*B. juncea*) ile topraktan Pb giderimi üzerine çalışmışlardır. 600, 900, 1200 ve 1800 mg Pb/kg kirliliğe sahip topraklarda bitki ekiminden 3 hafta sonra bitki gövdesinde sadece <100 mg Pb/kg birikim sağlandığı gözlenmiştir. Ajan uygulamasının Pb birikimi üzerine etkisini görebilmek için de 5 farklı ajanın (EDTA, DTPA, CDTA, EGTA ve sitrik asit) 4 farklı konsantrasyonu (0, 0,1, 1,0, 5,0, 10,0 mmol/kg) denenmiştir. 4 haftalık deneme sonunda bitki gövdesinde en farklı birikim EDTA'nın 1-5 mmol/kg uygulanmasında elde edilmiştir. EDTA ve DTPA'nın her ikisi de 10 mmol/kg dozajında uygulandığında topraktan yaklaşık 470 mg Pb/kg çözmekte olduğunu ancak EDTA ile bitki gövdesinde %1,6 Pb gözlenirken DTPA ile bu değer %1'e düştüğünü belirtmişlerdir. CDTA ile DTPA uygulaması ile yaklaşık sonuçlar elde edildiği ama EGTA ve sitrik asitte çok fazla artış gözlenmediğini vurgulamışlardır. Bitki büyümesinin ajan konsantrasyonu ile ilişkisini incelediklerinde, ajan uygulanmayan veya 0,1 mmol/kg dozajında ajan uygulanan bitkilerin daha yüksek konsantrasyonda ajan uygulanan bitkilere göre 2 kat daha fazla geliştiklerini fakat 10

mmol/kg ajan uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine göre on bin kat daha fazla metal birikimin sağlandığını belirtmişlerdir.

Huang *et al.* (1997), topraklarda fitoremediasyon ile Pb gideriminde şelat ilavesinin bitkilerde Pb akümülayonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Bitki büyütme kabinde sürdürülen denemede, dört farklı bitki (mısır, bezelye, altın başak, ayçiçeği) ve beş farklı ajan (EDTA, DTPA, EGTA, HEDTA, EDDHA) ile 2500 mg/kg Pb kirliliğine sahip topraklarda Pb giderimi incelenmiştir. Mısır ve bezelye için 2 haftalık deneme süresinin sonunda bitki gövdesindeki Pb konsantrasyonu 500 mg/kg'ın altından 10000 mg/kg'ın üzerine çıkmıştır. Bitkilerdeki bu Pb artışının, toprağa ilave edilen şelatlar sebebiyle toprak çözeltisindeki konsantrasyonunun artmasıyla ilişkili olduğunu vurgulamışlardır. Test edilen şelatlar için Pb'nin topraktan desorpsiyonunda etki derecelerine göre EDTA>HEDTA>DTPA>EGTA>EDDHA şeklinde sıralamışlardır. Ayrıca EDTA'nın Pb'nin köklerden gövdeye iletimini de önemli ölçüde artırdığını göstermişlerdir. 1g/kg toprak EDTA ilavesinden 24 saat sonra mısır bitkisinin odunsu dokusunda kontrol bitkilerine göre 140 kat, kökten gövdeye Pb transferinde ise 120 kat daha fazla Pb gözlenmiştir.

Ebbs *et al.* (1998), fitoremediasyonda bitki seçiminin önemini vurgulamak için yulaf, arpa ve hint hardalı da içeren 22 çeşit bitki ile Zn giderimi üzerine çalışmışlardır. Ajan olarak EDTA kullanarak gerçekleştirdikleri hidroponik (ilaçlı suda bitki yetiştirme) denemede bitkilerin çözeltide bulunan yüksek oranda Cu, Cd ve Zn konsantrasyonuna tolerans gösterdiği ve hatta bitki gövdesinde bu metalleri yüksek oranda biriktirdiği sonucuna ulaşmışlardır. Fitoremediasyon çalışmalarında sık sık kullanılan hint hardalı ile arpa ve yulafı karşılaştırmışlar ve hint hardalının gövdesinde daha fazla Zn biriktirmesine rağmen diğer iki bitkinin yüksek Zn konsantrasyonlara karşı daha fazla tolerans gösterdiklerini ifade etmişlerdir. Daha sonra gerçekleştirdikleri Zn ile kirlenmiş topraklı saksı denemesinde ise EDTA ilavesinin hint hardalında Zn akümülayonunu ciddi oranda artırdığını ancak arpa ve yulafta etkili olmadığı, arpanın EDTA uygulamasında bitki başına 2 mg'dan fazla Zn birikimi yaptığını ve bu değer hint hardalı ile elde edilen değerlerin 2-4 katı daha fazla olduğunu vurgulamışlardır.

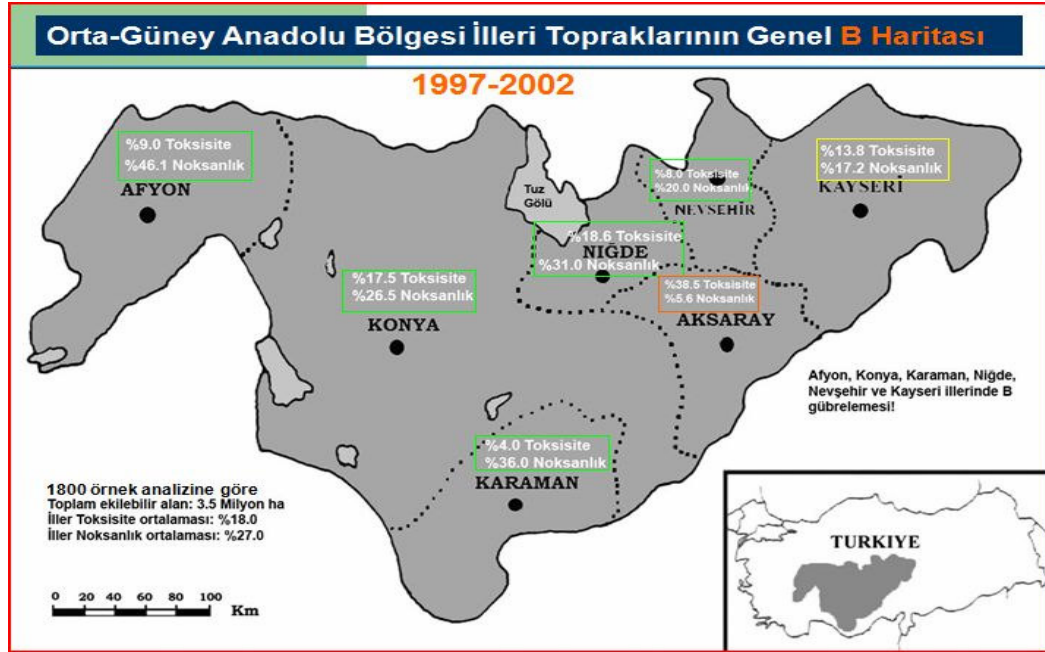
Fitoremediasyonda arpanın da hint hardalı kadar etkili sonuçlar doğurabileceği sonucuna varmışlardır.

Wu *et al.* (1999), sera çalışması ile ajan yardımıyla topraktan mısır (*Zea mays.*) Pb giderimi incelemişlerdir. EDTA, HEDTA, DTPA VE HBED kullandıkları çalışmada Pb'nin topraktaki çözünürlüğünün en yüksek seviyesine EDTA ile ulaşıldığını belirtmişlerdir. Fakat kök veya gövdede Pb birikimi EDTA, HEDTA ve DTPA uygulamalarında fazla farklılık gözlenmediğini, diğer 3 ajanla kıyaslandığında kökte Pb birikiminin en fazla HBED uygulamasında elde edildiğini belirtmiştir. Buna rağmen, kökten gövdeye metal transferinde HBED ile diğerlerine nazaran daha düşük verim elde edilmiştir.

Kulli *et al.* (1999), marul ve İtalyan karaçayı ile topraklardan Cd, Cu ve Zn gideriminde nitrilitriasetat (NTA) ve ürenin etkisini incelemek için serada saksı denemesi yapmışlardır. Toprakların başlangıçtaki nitrik asitte ekstrakte olabilen kirlilik miktarları 2 mg Cd, 530 mg Cu ve 700 mg Zn olarak verilmiştir. 3 farklı NTA (0,5, 1,8, 5,3 mol/m²) 2 farklı üre dozu (0,25 ve 0,9 mol/m²) kontrol bitkileri ile karşılaştırılmıştır. NTA ve ürenin her üç metalinde nitrik asitte ekstrakte olabilen toprak konsantrasyonlarını arttırdığını belirtmişlerdir. En yüksek NTA dozunda, bitkinin toprak üstü bölümünde kontrol bitkisine göre (gövde, yaprak) 4-24 kat daha fazla metal birikimi gözlenmiştir. NTA bitkide metal birikimini artırmasına rağmen bitki materyalini olumsuz yönde etkilediği vurgulanmış ve düşük dozlarda bu etkinin azaldığı belirtilmiştir. En yüksek NTA dozunda bitki büyümesinin nerdeyse tamamen inhibe olduğuna ve ciddi semptomlar gözlemlendiğine dikkat çekilmiştir. Toplam metal alımı, en düşük veya orta seviyedeki NTA uygulamasında en yüksek doza göre daha fazla elde edilmiştir. Üre uygulamasında ise bitki büyümesinde artış gözlenmiş ve toplam metal alımında üreye göre NTA uygulamasında çok küçük bir artış olduğu belirtilmiştir. Kontrol bitkisi ile kıyaslandığında ise ne NTA ile ne de üre ile toplam metal birikiminin 3 kattan fazla olmadığı vurgulanmıştır.

Chen *et al.* (2000), Cd ile kirlenmiş kırmızı toprakta, bataklık pirinci (*Oryza sativa* L.), Çin lahanası (*Brassica sinica*) ve buğday (*Triticum aestivum* L.) ile bitkilerinin büyüme Cd alımı üzerine kimyasal iyileştiricilerin, kalsiyum karbonat (CC), çelik çamuru (SS), ocak cürufunun (FS) etkisini incelemişler ve ağır metal ile kirlenmiş topraklarda vetiver (*Vetiveria zizanioides*) ile arazide çalışmışlardır. Deneme sonunda uygulanan tüm kimyasal iyileştiricilerin, her üç bitkinin de büyümesini olumlu yönde etkilediği, bitkilerin tohum ve saman kısımlarının kontrol bitkisine göre büyüme gösterdiğini, uygulanan iyileştiriciler içinde de en büyük verimin ocak cürufu ile elde edildiğini belirtmişlerdir. Bitkilerin Cd alımının da kimyasal iyileştiricilerle ciddi oranda düştüğü, pirinçte bu düşüşün kontrol bitkisine göre %33,0-96,3, çin lahanasında % 73,4-81,3 ve buğday için %23-56 olduğu tespit edilmiştir. Vetiver ile yapılan arazi çalışmasında ise vetiverin Cd, Cu, Pb ve Zn ile kirlenmiş topraklarda yetişebildiği ve 0,33 mg/kg Cd kirliliğine sahip toprakta, toprak üstü aksamında tek hasatta 218 g/ha Cd birikim yaptığı, 4 kere hasat edildiğinde 0,99 mg/kg olan Cd miktarının 0,006 mg/kg değerine düşürebileceğini vurgulamışlardır.

Babaoğlu, (2000-2003), tarafından gerçekleştirilen DPT projesi ile Orta Güney Anadolu'da 7 ilde toprak, bitki ve suda bor haritası çıkarılmış, noksan, toksik ve normal seviyeler haritalanmıştır. Orta Güney Anadolu tarım topraklarından alınan 1154 adet toprak örneğinin analiz sonuçlarına göre bölge topraklarının bitkiye elverişli bor miktarının 0,01 mg B/kg-63,9 mg B/kg arasında değiştiği sonucuna varmışlardır. Söz konusu bölge topraklarının %19,7'si yetersiz ($<0.5 \text{ mg B kg}^{-1}$), bora hassas bitkiler ve tahıllar için %12,7'sinin toksik ($>3 \text{ mg B kg}^{-1}$), bora toleranslı bitkiler için %6,4'ü toksik ($>10 \text{ mg B kg}^{-1}$), ve %67,6'sı ise yeterli ($0.5-3 \text{ mg B kg}^{-1}$) düzeyde bor ihtiva ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 2.1. Orta Güney Anadolu İlleri Topraklarının Genel Bor Haritası

Lombi *et al.* (2001), yaptıkları saksı denemesinde doğal aşırı birikim ve kimyasal olarak iyileştirilmiş fitoekstraksiyon üzerine çalışmışlardır. Bunun için endüstriyel olarak kirlenmiş ve atık çamuru ile kirlenmiş tarla toprağı üzerinde aşırı birikim için *Thlaspi caerulescens*, fitoekstraksiyon için mısır kullanmışlardır. 3 fide *T. Caerulescens* ile 391 gün sonunda endüstriyel olarak kirlenmiş topraktan 8 mg/kg Cd ve 200 mg/kg Zn uzaklaştırmışlardır. Bu değerler toprağın sahip olduğu metal konsantrasyonunun sırasıyla %43 ve %7'sini ifade etmektedir. Cu'nun yüksek konsantrasyonun ise tam tersi olarak tarım toprağında *T. Caerulescens* gelişimi ciddi oranda etkilediğini bu sebeple de fitoekstraksiyonu sınırladığını belirtmişlerdir. EDTA uygulamasının her iki toprakta da metallerin çözünürlüğünü büyük oranda artırdığını ancak bunun metallerin mısır gövdesinde ciddi bir artış göstermediğini vurgulamışlardır. Endüstriyel olarak kirlenmiş toprakta mısır+EDTA uygulaması ile Cd ve Zn fitoekstraksiyonunun *T. Caerulescens* ile elde edilenden çok daha küçük olduğunu, tarla toprağında ise Cd için daha az, Zn için ise yaklaşık sonuçlar elde edildiğini göstermişlerdir.

Shen *et al.* (2002), yaptıkları sera çalışmasında lahana, yeşil fasulye ve buğday ile topraklardan ajan varlığında Pb giderimi üzerine çalışmışlardır. Bitki ekiminden 31 gün sonra şelat uygulaması yapılmış ve şelat uygulamasından 7 ve 14 gün sonra deneme sonlandırılmıştır. EDTA uygulamasının (3.0 mmol EDTA/kg toprak), tüm bitkilerin kök ve gövdesindeki Pb konsantrasyonunu ciddi oranda artırdığı gözlenmiştir. EDTA uygulaması ile lahananın gövdesinde Pb konsantrasyonu 7 ve 14 gün sonunda sırasıyla 5010 ve 4620 mg/kg kuru madde değerine ulaşmıştır. Diğer şelatlar içerisinde (DTPA, HEDTA, NTA ve sitrik asit), toprağa bağlı Pb'nin çözünürlüğü ve bitkide birikimi en yüksek oranda artıran şelatın EDTA olduğu vurgulanmıştır. Özellikle lahanada çözünürlük ve birikim miktarı şelatlar göre EDTA>HEDTA>DTPA>NTA>sitrik asit şeklinde sıralanmıştır. EDTA uygulamasının üç ayrı aşamada yapılmasının da tek veya ikili uygulamaya göre lahana gövdesinde Pb birikimini önemli ölçüde artırdığını ve Pb'nin topraktaki hareketliliğini azalttığını böylece de çözünmüş Pb'nin topraktan yeraltı suyuna geçişinin engellenebileceğini belirtmişlerdir.

Römkens *et al.* (2002), yaptıkları sera ve lizimetre çalışmasında, EGDA ve sitrik asitin fitoremediasyon potansiyelini ve topraktaki mikroorganizma faaliyeti ve Cu, Pb, Zn ve Cd sızıntısı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çimen, acı bakla ve sarı hardal kullanarak 2 mg/kg Cd ve 200 mg/kg Zn içeren kısmen kirli, asidik (pH 4,5) kumlu toprakta çalışmışlardır. Sitrik asitin ilave edildikten birkaç gün sonra biyolojik olarak parçalandığını bu parçalanmanın da, uzun süren arıtım çalışmalarında sınırlayıcı bir etken olduğunu vurgulamışlardır. EGDA'nın metal çözünürlüğünü artırdığını fakat buna bağlı olarak bitkinin metal alımının artmadığını belirtmişlerdir. EGDA ilavesi ile gövde/kök metal oranı artmasına rağmen, hem acı baklada hem de sarı hardalda gövde ve kök biokütle ürününü azaltmıştır. Sitrik asit ve EGDA ilave edilen saksılarda bakteriyel biokütlenin yüksek olduğunu fakat bakteriyel aktivitenin etkisiz kaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca EDGA uygulamasının lizimetre çalışmasında metal sızıntısını artırdığını, bunun da yeraltı suyu kirliliğine neden olabileceği belirtilmiştir.

Hammer *et al.* (2002), büyütme kabinde yaptıkları deneyde, üç çeşit bitki (*S. viminalis*, *Thlaspi caerulescens*, *Thlaspi arvense* L.), üç çeşit ajan (NaNO_3 , DTPA,

EDTA) ve iki çeşit toprak (kalkerli ve asidik) ile Cd, Cu ve Zn giderimini incelemişlerdir. 90 günlük deneme sonunda, kontrol saksıları ile kıyaslandığında Cd için en etkili giderim asidik toprakta *Thlaspi caerulescens* ile sırasıyla NaNO₃, DTPA ve EDTA uygulamasından elde edilmiştir. Zn'nin zaten topraktaki konsantrasyonunun yüksekliğinden dolayı, Cd ye kıyasla, daha az giderim elde edilmiştir. Cu için ise herhangi bir düşüş gözlenmemiştir.

Madrid *et al.* (2003), yeşil ıslahla toprak arıtımı yapılırken kullanılan ajanların toprağın alt tabakalarına metal sızıntısı yaratıp yaratmadığını araştırmışlardır. Bunun için toprak kolonları (76 cm yükseklik, 17 cm çap) kullanarak arpa (*Hordeum vulgare*) ile EDTA uygulaması altında topraktan Cd, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gidermeye çalışmışlardır. Bitki kullanımının etkisini belirlemek için kolonlara bitkili ve bitkisiz olarak aynı işlemler uygulanmıştır. Arpalar ekildikten 3 hafta sonra tüm kolonlar 0,5 g/kg EDTA disodyum tuzu verilmiştir. Drenaj suyu, toprak ve bitkilerde ağır metal (Cd, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) analizi yapılmıştır. Deneylerin sonucunda, tüm kolonlarda toplam ağır metal konsantrasyonunun genellikle kolonların üstten 30 cm'lik kısımda EDTA uygulanan topraklarda uygulanmaya göre daha az olduğu gözlenmiştir. Ajan, filizlerdeki ağır metal konsantrasyonunu arttırmıştır. Bitkili ve bitkisiz kolonlarda EDTA, metalleri (Cd, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) hareket ettirmiş ve drenaj suyuna karışmalarını sağlamıştır. EDTA uygulanmayan kolonlardan elde edilen drenaj suyunda bu ağır metallerin sınır değerler içerisinde bulunduğu belirtilmiştir. Sadece Cu EDTA uygulamasında da drenaj suyuna karışmamaktadır. Sonuç olarak da, bitki kökleri, EDTA uygulanan topraklarda Cd, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn hareketini geciktirse de, kolonlardan elde edilen drenaj sularında Cd, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonunun içme suyu standartlarından sırasıyla 1,3, 500, 620 ve 8,6 kat daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Yang *et al.* (2003), kurşun/çinko maden atıklarının bulunduğu bir bölgede arazi yeşil ıslah çalışması gerçekleştirmişlerdir. Kurşun/çinko atıklarının yüksek konsantrasyonda ağır metal (toplam Pb, Zn, Cu ve Cd sırasıyla 4164, 4377, 35 ve 32 mg/kg konsantrasyonunda), düşük miktarda temel besin maddeleri (N,P ve K) ve organik madde ihtiva ettiğini vurgulayarak vetiver grass ve iki farklı baklagil türünün (*Sesbania*

rostrata ve *Sesbania sesban*) evsel atık ve/veya gübre ile iyileştirilmiş maden bölgesinde büyümesini ve metal birikimini arazi çalışmasında incelemişlerdir. Deneme sonucunda sadece evsel atık ve evsel atıl suni gübre kombinasyonu uygulanmasının bitki yaşamasını ve büyümesini ciddi oranda artırdığını fakat sadece gübre uygulamasının herhangi bir iyileşme göstermediğini belirtmişlerdir. Bu bitkilerin hemen hepsinin kökleri eşit seviyede ağır metal biriktirmesine karşın iki baklagil türünün (*Sesbania rostrata* ve *Sesbania sesban*) gövdelerinde vetiver grassa göre 3-4 kat daha fazla Pb, Zn, Cu ve Cd birikimi gözlemlenmiştir.

Greman *et al.* (2003) yaptıkları kolon denemelerinde Çin lahanası ile topraktan Pb, Zn ve Cd gideriminde EDTA ve EDDS'nin tekil ve haftalık ilavelerinin etkisini incelemişlerdir. Ayrıca metallerin toprak profiline süzülmesi üzerine de çalışmışlardır. 28 günlük deneme periyodu boyunca belirli zamanlarda sızıntı suyunda ve bitki kök ve gövdesinde metal analizi yapılmıştır. Deneyler sonucunda her iki ajanında metallerin, özellikle Pb'nin, bitki gövdesinde konsantrasyonunu arttırdığı gözlenmiştir. En etkili ajan uygulaması EDTA ve EDDS'nin tek doz olarak 10 mmol/kg olarak uygulanmasında elde edilmiştir. Bu uygulamada bitki gövdesinde, kontrol bitkisine göre EDTA ile 94,2 ve EDDS ile 102,3 kat daha fazla Pb birikimi gözlenmiştir. Aynı dozda EDTA yapraklarda Zn ve Cd birikimini 4,3 ve 3,8 kat EDDS ise 4,7 ve 3,5 kat artırmıştır. Ajanların haftalık düşük konsantrasyonda uygulanmasında Pb alımında EDTA, EDDS'ye göre daha etkili olmuştur. 10 mmol/kg EDTA'nın haftalık uygulanmasında Pb, Zn ve Cd'nin başlangıç konsantrasyonlarının ortalama %22,7, 7,0 ve 39,8'i topraktan sızmıştır. Aynı dozda uygulanan EDDS ile Pb ve Cd metallerinde EDTA'ya göre daha düşük sızıntılar elde edilmiştir (%0,8, 1,5). Zn de ise %6,4 ile yaklaşık değerler elde edilmiştir.

Mattina *et al.* (2003), klor ve ağır metaller (Pb, Cd, As ve Zn) ile kirlenmiş topraklarda ıspanak, marul, domates, kabak, bakla, salatalık, Kanada dikenli ve sakız kabağı ile fitoremediasyon yapmışlardır. Deneme sonunda tüm bitkiler için kök ve gövde biokonsantrasyon faktörü (BCF ve BCF') ve translokasyon faktörü (TF) hesaplanmıştır. Sakız kabağı ve ıspanağın çinko, kadmiyum ve klordan uzaklaştırmaya etkili olduğu,

marul, ıspanak, devedikeni, domates ve sakız kabağının bir veya daha fazla kirletici için TF değerlerinin 1'den büyük çıktığını belirtmişlerdir.

Marchiol *et al.* (2004), 100 yıldan fazla kalitesiz sulama suyu ile sulanan bit tarım arazisi topraklarında kanola (*Brassica napus*) ve turp (*Raphanus sativus*) ile çalışmışlardır. Deneme toprakları başlangıçta 38,6 mg/kg Cd, 165 mg/kg Cr, 286 mg/kg Cu, 46,9 Ni, 884 mg/kg Pb ve 6685 mg/kg Zn içermektedir. Bitkilerin normal koşullardaki özelliklerinin belirlenmesi için de temiz bir tarım toprağı kullanılmıştır. 60 günlük deneme sonunda bitki toprak üstü biokütlesinde her iki bitki için de %30'luk bir azalma gözlemlenmiştir. % kuru ağırlıklarda ise *B. napus* kontrol bitkisine göre %47 azalma gösterirken *R. Sativus* sadece %32,5 azalma göstermiştir. Toplam bitki biokütlesinde ise *R. Sativus* %35,8, *B. napus* %45,8 düşüş göstermiştir. Toprak üstü aksamında Cd, Ni ve Pb birikiminde turpta, kanolaya göre daha yüksek konsantrasyonlar elde edilmiş, translokasyon faktörü ise her iki bitki için de Zn ve Cd için büyük, Pb ve Cr için orta, Cu ve Ni için düşük elde edilmiştir.

Wu *et al.* (2004), yaptıkları sera saksı ve laboratuvar sızıntı kolon denemesinde, ajanların ağır metallerin hareketliliğinde ve hint hardalı (*Brassica juncea*) ile fitoekstraksiyonunda meydana getirdiği iyileşmeyi ve metallerin sızma potansiyelini incelemişlerdir. Deneylerde geçmiş dönemlerden bakır kirliliğine (≈ 169 mg/kg) sahip ve sentetik olarak Zn, Pb ve Cd (518, 492, 45,7 mg/kg) ile kirletilmiş topraklar kullanılmıştır. EDTA tüm saksılara 3 mmol/kg dozunda uygulanmıştır. Toprakta Cu ve Pb hareketliliğini belirgin şekilde artırmasına rağmen Zn ve Cd hareketliliğinde bir etkisi gözlenmemiştir. Hint hardalı gövdesinde ki Cu ve Pb konsantrasyonu artmasına rağmen sonuç ürünlerinin düşük olduğu ve toprağı arıtmak için bu bitkiden 200 tane olması gerektiğini belirtmişlerdir. 3 mmol/kg oksalik, sitrik ve malik asit ilavesi ise hint hardalı tarafından metal alımında hiçbir etki göstermemiştir. Kolon denemelerinde ise, EDTA konsantrasyonunu arttırdıkça (0-12 mmol/kg), sızıntıda ki Cu, Zn, Pb ve Cd konsantrasyonunun da doğrusal olarak arttığını ifade edilmiştir. EDTA ilavesiyle aynı zamanda toprak makro elementleri ve Fe kayıpları gözlenmiştir.

Chen *et al.* (2004), 10 farklı türde, 6 iki çenekli ve 4 tek çenekli mısır (*Zea mays* L.), sorgum (*Sorghum bicolor* L.), mung fasulye [*Vigna radiat* (L.) R. Wilczek var. *radiata* cv.], ayçiçeği (*Helianthus annuus* L. cv.), karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench. cv. Pingqiao), lahana [*Brassica rapa* L. subsp. *chinensis* (L.)], Çin hardalı (*Brassica juncea* L.), bezelye (*Pisum sativum* L.), buğday (*Triticum aestivum* L.), ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) kullanarak EDTA varlığında kirli topraklardan Pb uzaklaştırmaya çalışmışlardır. Mung fasulyesi ve karabuğday EDTA uygulanmış topraklara en fazla hassasiyeti göstermiştir. 2,5 ve 5,0 mmol/kg EDTA uygulamasında, çift çenekli bitkilerin filizlerindeki Pb konsantrasyonu tek çeneklilere göre daha yüksek bulunmuştur (100-3000 mg/kg). Fitoekstrakte edilen en yüksek Pb miktarı (2,9 mg Pb/saksı), filizlerindeki yüksek Pb konsantrasyonu ve geniş biokütleden dolayı ayçiçeğinde daha sonra da mısır (1,8 mg Pb/saksı) ve bezelyede (1,1 mg Pb/saksı) elde edilmiştir. Ağır metallerin EDTA uygulaması altında ki davranışlarını, kısa toprak kolonlarından (9 cm çap, 20 cm uzunluk) elde edilen suni yağmur suyu süzöntülerinde incelemişlerdir. 5,0 mmol/kg EDTA uygulandıktan sonra topraktaki Pb, Cu, Zn ve Cd miktarlarının sırasıyla %3,5, %15,8, %13,7 ve %20,6 sının drenaj suyu ile birlikte sızdığını belirtmişlerdir.

Evangelou *et al.* (2004), sentetik ajanlara alternatif olarak hümitik asit ile saksı çalışması yapmışlardır. Suni olarak 5, 10, 15 mg/kg Cd ile kirletilen toprağa bir gün sonra 0, 10, 20 g/kg hümitik asit verilmiş ve 4 hafta süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Bu süre sonunda tütün (*Nicotiana tabacum* SR-1) ekilmiş ve 4 hafta sonra hasat edilmiştir. Deney sonucunda topraktaki toplam biyolojik olarak alınabilir Cd ölçülmüş ve toprağa ilave edilen 2g/kg hümitik asitin, filizde ki Cd miktarını 30,9 mg/kg'dan 39,9 mg/kg' a çıkardığı, Cd'nin biyolojik alınabilirliği ise neredeyse %65 oranında artırdığı gözlenmiştir. Bunun yanında, hümitik asitin, EDTA gibi bitki büyümesi üzerinde olumsuz etki göstermediğini belirtmişlerdir. Fakat hümitik asitlerin elde edilmesinin zorluğu sebebiyle fitoremediasyonda sentetik ajanlar yerine kullanılmasında ekonomik olmadığını da vurgulamışlardır.

Turgut *et al.* (2004), iki farklı ayçiçeği türü (*Helianthus annuus*) ile topraklardan Cd, Cr ve Ni giderimi üzerinde ajanların (EDTA, CA) etkisini incelemişlerdir. Ajan kullanımı ile ilgili olarak yaptıkları ilk çalışmalarda, toprağa EDTA'yı 0,5, 1,0, 3,0 g/kg toprak konsantrasyonunda verdiklerinde metal artırımı oldukça fazla olmasına rağmen bitkilerin nerdeyse sadece yarısının yaşadığını fark ettikleri için dozajı 0,1, 0,3 g/kg değerine düşürmüşlerdir. Sitrik asit konsantrasyonunu da 0,1-0,3 g/kg uygulamışlar fakat bu defa da kontrol topraklarıyla kıyaslandığında metal alımında herhangi bir artış olmadığını fark etmişlerdir. Bunun sebebi olarak da düşük konsantrasyonda ilave edilen CA'nın, toprak bakterileri tarafından hızlıca parçalanması sonucu etkinliğini kaybetmesi olarak göstermişlerdir. Toprağa ilave edilen CA konsantrasyonunu 1,0 ve 3,0 g/kg olarak değiştirmişlerdir. 1,0 g/kg CA uygulamasında en yüksek metal alımı sadece 0,65 mg olarak ölçülmüştür. CA konsantrasyonunun artırılması sonucunda ise her iki türde de fitotoksosite gözlenmiştir (büyüme geriliği ve metal alımında azalma). CA konsantrasyonunun 0,1 ve 0,3 g/kg'a düşürülmesi ile kontrol bitkisinden istatistiksel olarak çok da fazla bir giderim elde edilmemiştir. EDTA, 0,1 g/kg ilave edildiğinde elde edilen toplam metal alımı 0,73 mg, 0,3 g/kg ilave edildiğinde ise 0,40 mg olarak belirlenmiştir.

Lai *et al.* (2004), suni olarak kadmiyum (20 mg/kg), çinko (8500 mg/kg) ve kurşun (100 mg/kg) ile kirletilmiş topraklarla saksı denemeleri yapmışlardır. EDTA'nın ağır metalle kirli toprakların çin karanfili ile fitoekstraksiyonu ve vetiver grass ile fitostabilizasyonu üzerindeki etkisini görebilmek için de üç farklı konsantrasyonda (0, 5 ve 10 mmol/kg toprak) Na₂-EDTA çözeltisi toprağa eklenmiştir. Sonuçlar EDTA ilavesi ile çin karanfili toprağı çözeltisinde Cd, Zn ve Pb konsantrasyonunun belirgin şekilde arttığını göstermiştir. Çin karanfili filizlerinde ki Cd ve Pb konsantrasyonu da EDTA uygulaması ile belirgin bir şekilde artmış fakat Zn için kayda değer artış bulunmamıştır. EDTA uygulaması gövdede toplam Pb alımını ciddi oranda artırmış, fakat Cd ve Zn alımını belirgin şekilde etkilememiştir. Çin karanfili filizlerindeki Pb ve Zn konsantrasyonları büyük ölçüde toprak çözeltisindekilerle ilişkilidir, fakat vetiver grass konsantrasyonlarında herhangi bir bağlantı oluşmamıştır. Vetiver grassın kendi çalışmalarında olduğu gibi yüksek oranda farklı kirleticili topraklarda metal

toksitesinden etkilenmeden gelişmekte olduğunu da vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada en önemli sonuç olarak çin karanfilinin metallerle kirlenmiş topraklardan Cd ve Zn uzaklaştırmada potansiyel bir fitoekstraksiyon bitkisi, vetiver grassın ise özellikle karma metal kirliliğine sahip topraklarda potansiyel bir fitostabilizasyon bitkisi olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Chen *et al.* (2004), ağır metal ile kirlenmiş topraklarda, vetiver grassın (*Vetiveria zizanioides*) yeşil ıslah için kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Yapılan saksı deneylerinde, Pb ile kirlenmiş topraklardan vetiver vasıtasıyla EDTA uygulaması altında Pb giderimi ve hareketi incelenmiştir. Deney sonuçları vetiverin toprakta yüksek Pb konsantrasyonunu tolere edebilme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. EDTA uygulaması ile birlikte, kurşunun vetiver köklerinden filizlere transferinde önemli bir artış olmuştur. Toprağa 5 mmol EDTA uygulandıktan 14 gün sonra vetiver filizindeki Pb konsantrasyonu sırasıyla 500, 2500, 5000 mg Pb/kg kirliliğe sahip topraklarda, kuru ağırlıkta 42, 160, 243 mg/kg ve köklerde Pb konsantrasyonu ise kuru ağırlıkta 266, 951, 2280 mg/kg değerine ulaşmıştır. Ayrıca yaptıkları kolon çalışması ile uygulanan EDTA'nın yeraltı suyuna karışması ve daha ileri çevre kirliliğine sebep olduğunu kontrol etmek istemişlerdir. Kısa toprak filtreleme kolonu (9 cm çap, 20 cm yükseklik) deneyinde, 5 mmol EDTA/kg uygulandıktan ve yaklaşık 126 mm yağmur suyu sulamasından sonra toprakta bulunan Pb, Cu, Zn ve Cd'nin yaklaşık % 3,3, %15,6, %14,3 ve %22,2 'si suni olarak kirletilmiş topraktan süzölmüştür. Uzun toprak filtreleme kolonu (9 cm çap, 60 cm yükseklik) deneyinde kolonlar, kirli üst zeminin altında kalan alt toprağı temsilen kirletilmemiş toprak ile doldurularak vetiver ekilmiştir. Kısa kolon deneyinde toplanan süzöntü suyu uzun kolonlara verilmiş ve nihai süzöntü suyu toprak kolonlarının altından alınmıştır. Sonuçlar vetiver ekili toprak matriksinin, başlangıçta uygulanan Pb, Cu, Zn ve Cd'nin sırasıyla %98, %54, %41 ve %88'inin tekrar tuttuğunu, böylece de ağır metallerin daha aşağı zeminlere inerek yeraltı suyuna karışma riskini azalttığını göstermiştir.

Komarek *et al.* (2004), maden bölgesinden alınan iki tür toprakta EDTA ve EDDS yardımıyla mısır ve kavak ile Pb fitoremediasyonu üzerine sera çalışması yapmışlardır. Deneyler sonunda EDTA'nın EDDS'ye göre çok daha fazla miktarda (%60) kurşunu topraktan çözdüğü belirtilmiştir. Mısırın maden filizi yakınındaki asidik (pH~4), daha kirli olan topraklardan, kavağın ise nötr pH'ya sahip (pH~6) topraklardan Pb ekstraksiyonunda daha verimli olduğunu göstermişlerdir. EDTA'nın köklerden hasat edilebilir gövde kısmına metal geçişinde çok daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır.

Walker *et al.* (2004), piritik maden ocağı atıklarının toplandığı bir arazi topraklarından ağır metal gideriminde, kompost ve gübre kullanımının toprak pH'sı ve metal çözünürlüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bunun için *Chenopodium album* L. bitkisi ile kirli arazide ve arazinin üst 20 cm'lik kısmından alınan topraklardan saksı denemesi ile metal giderimi üzerine çalışmışlardır. Bitki büyütme kabiniinde saksılarda, inek gübresi ve zeytin yapraklarından ve zeytinyağı fabrikası atık sularından elde edilen kompost uygulanmış topraklarda *C. album* ile yaptıkları 119 günlük çalışma sonunda, gübrelenmiş ve kompost uygulanmış topraklarda bitki tarafından alınabilir Cu, Zn ve Mn konsantrasyonunda ve toprak asiditesinde artış olduğu belirtilmiştir. Gübre uygulanan topraklarda ise bitki büyümesinin arttığı, fakat bitki gövdesinde biriken Cu, Zn ve Mn konsantrasyonunun ve bu metallerin toprakta bitki tarafından alınabilir konsantrasyonlarının azaldığı vurgulanmıştır. Sonuç olarak da, gübre uygulamasının maden ocağı atıkları ile kirlenmiş arazilerde, topraktaki asitliği önlediği ve böylece de metallerin bitki tarafından alınabilirliğini azaltarak arazinin tekrar bitki büyümesi açısından kullanılabilir duruma getirilebileceğini göstermişlerdir.

Lai *et al.* (2005), yaptıkları çalışmada, metalle kirlenmiş zeminlerde bünyesinde yüksek konsantrasyonda Cd biriktirebilen bir fitoekstraksiyon bitkisi olan çin karanfili (*Dianthus chinensis*) kullanarak yeşil ıslah çalışması gerçekleştirmişleridir. Deneyde suni olarak kirletilmiş 8 farklı toprak türü kullanılmıştır ((1)CK: orijinal toprak, (2) Cd ile kirletilmiş toprak: 10 mg Cd/kg, (3) Zn ile kirletilmiş toprak: 100 mg Zn/kg, (4) Pb ile kirletilmiş toprak: 1000 mg Pb/kg: (5) Cd-Zn ile kirletilmiş toprak: 10 mg Cd/kg ve

100 mg Zn/kg, (6) Cd-Pb ile kirletilmiş toprak: 10 mg Cd/kg ve 1000 mg Pb/kg, (7) Zn-Pb ile kirletilmiş toprak: 100 mg Zn/kg ve 1000 mg Pb/kg, (8) Cd-Zn-Pb ile kirletilmiş toprak: 10 mg Cd/kg, 100 mg Zn/kg ve 1000 mg Pb/kg). 3 farklı konsantrasyonda (0, 2, 5 mmol/kg) EDTA'nın tek ve çoklu kirletici ile kirlenmiş topraklarda çim karanfilinin metal alımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçları değişik metal uygulanmış toprak çözeltilerindeki Cd, Zn, Pb, Fe ve Mn konsantrasyonlarının 5 mmol/kg EDTA uygulamasından sonra belirgin olarak arttığını göstermiştir.

Luo *et al.* (2005), mısır (*Zea mays* L.) ile yaptıkları saksı denemesinde EDTA ve EDDS'nin tekil ve çoklu uygulamasının Cu, Pb, Zn ve Cd alımındaki etkisini araştırmışlardır. 1:1, 1:2 ve 2:1 (EDTA/EDDS) uygulamaları içerisinde 2:1 EDTA:EDDS oranının filizdeki Cu, Pb, Zn ve Cd konsantrasyonunu en fazla arttırdığı gözlenmiştir. 3,33 mmol/kg EDTA + 1,67 mmol/kg EDDS filizde 650 mg/kg Pb birikimine sebep olmuştur. Bu değer tek başına 5 mmol/kg EDTA ve EDDS uygulamasında elde edilen sonuçtan 2,4 ve 5,9 kat daha büyük bir değerdir. Toplam bor fitoekstraksiyonu ise 1710 µg/kg olarak elde edilmiştir. Bu değer EDTA ve EDDS'nin tek başına 5 mmol/kg eklenmesi sonucu elde edilen değerlerden 2,1 ve 6,1 kat daha büyük bir değerdir. EDTA ve EDDS'nin birlikte uygulanmasının aynı zamanda Pb'nin köklerden gövdeye iletimini de büyük ölçüde artırdığını belirtmişlerdir.

Luo *et al.* (2005) yaptıkları saksı denemesinde mısır (*Zea mays* L. Cv.Nongda 108) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. Beyaz fasulye) ile topraklardan Cu, Cd, Pb ve Zn uzaklaştırmada EDTA, EDDS ve sitrik asit etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçları, EDDS'nin mısır ve fasulyede Cu konsantrasyonunu artırmada EDTA'dan daha etkili olduğunu göstermiştir. Toprağa ilave edilen 5 mmol/kg toprak konsantrasyonunda EDDS, mısır ve fasulye filizlerindeki Cu konsantrasyonunu kuru ağırlıkta maksimum değere (2060 ve 5130 mg/kg) çıkmasını sağlamıştır. Elde edilen bu değerler toprağa herhangi bir ajan ilave edilmeyen kontrol bitkilerinden elde edilen değerlerin mısırdaki 45, fasulyede 135 katına eşittir. Filizlerdeki Zn konsantrasyonu da EDDS ilave edilen topraklarda EDTA ilave edilenlere göre çok daha yüksek bulunmuştur. Pb ve Cd için EDDS'nin, EDTA'dan daha az etkili olduğu belirtilmiştir. Maksimum Cd

fitoekstraksiyonuna EDDS uygulaması ile ulaşılmıştır. Ayrıca EDTA ve EDDS ilavesi her iki bitkide de Cu, Cd, Pb ve Zn konsantrasyonunun gövde/kök oranını da artırdığı gözlemlenmiştir. Deney sonuçları EDDS'nin Cu ve Zn, EDTA'nın da Pb ve Cd çözünürlüğünü artırdığını göstermiştir.

Wilde *et al.* (2005), 50 yıldır aktif atış poligonu olarak kullanılan bir bölge toprakları üzerinde vetiver grass yardımıyla Pb, Zn, Cu ve Fe gibi metalleri gidermeye çalışmışlardır. 300-4500 ppm/kg Pb kirliliği bulunan topraklar toplanarak kurutulmuş, gübrelenmiş ve serada vetiver grass ekimi için saksılara yerleştirilmiştir. Bitkilerin metal birikimleri, değişik türde gübreler ve hasat öncesi ajan uygulamaları altında gerçekleştirilmiştir. Tüm saksılarda metal konsantrasyonu bitki ekiminden önce ve hasattan sonra ölçülmüştür. Osmocote gübresi ile gübrelenen bitkiler 10-10-10 (NPK) ile gübrelenen bitkilerden çok daha iyi gelişim göstermişlerdir. Hasattan bir hafta önce uygulanan EDTA fitoekstrakte edilen Pb miktarını belirgin şekilde artırmıştır. Bitki dokularında 1390-1450 ppm/kg konsantrasyonuna kadar Pb gözlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak da, vetiver grassın ajanlarla birlikte kullanılmasıyla atış poligonları gibi Pb ile kirlenmiş zeminlerin ıslahında rahatlıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Chiu *et al.* (2005) yaptıkları sera çalışmasında, vetiver grass ve mısırın arsenik, çinko ve bakır ile kirlenmiş toprakların ıslahında kullanılabilişliğini araştırmışlardır. Bu bitkilerin metal alımında ajanların etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Farklı muamele koşullarında vetiver grassın mısır göre çok daha iyi gelişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Değişik türde ajanların As, Zn ve Cu'ın topraktan toprak çözeltisine ekstraksiyonuna etkisini de çalışmışlardır. Bunun için 8 farklı ajanı (CDTA, EDTA, EGTA, HEDTA, HEIDA, NTA, sitrik asit, malik asit) 7 farklı konsantrasyonda (0, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20 mmol/kg toprak) denemişlerdir. Kullanılan 8 farklı ajan içerisinde toprak çözeltisinde 20 mmol NTA' nın As ve Zn'nin ve 20 mmol HEIDA'nın ise Cu'ın biyolojik olarak alınabilirliğini artırdığını belirtmişlerdir. Genel olarak, metalle kirlenmiş zeminlerde metallerin fitoekstraksiyonunda, vetiver grassın mısır göre daha uygun bir bitki türü olduğu sonucuna varmışlardır. As ile kirlenmiş topraklara NTA ve Cu ile kirlenmiş

topraklara HEIDA'nın 20 mmol/kg oranında uygulanması, her iki bitki gövdesinde de As ve Cu birikimini 3-4 kat, Zn giderimini ise vetiverde 37, mısırdı 1,5 kat artırmıştır.

Banuelos *et al.* (2005), çeşitli enzimlerle gen kodları değiştirilmiş (transjenik) hint hardalı (*B. juncea*) ile selenyum ve bor ile kirlenmiş tuzlu topraklardan Se giderimi üzerine arazi çalışması yapmışlardır. Değiştirilen enzim isimleri ile adlandırılan bitkiler (APS, ECS, GS) ve doğal hint hardalı ile gerçekleştirilen 6 haftalık deneme sonunda, APS, ECS, GS transjenik bitkilerin yapraklarında doğal hint hardalı yapraklarına oranla sırasıyla 4,3, 2,8 ve 2,3 kat daha fazla Se birikimi gözlenmiştir. GS transjenik bitkinin doğal bitkiye oranla kirli topraklara daha yüksek tolerans gösterdiği, kirli toprakta temiz toprakta yetişirken elde edilen biokütlenin %80'ine ulaştığı, doğal bitkinin ise sadece %50 büyüme gösterdiğini belirtmişlerdir.

Boonyapookana *et al.* (2005), 2 çift çenekli (*Helianthus annuus*, *Nicotiana tabacum*) ve bir tek çenekli (*Vetiveria zizanioides*) ile EDTA ve DTPA yardımıyla Pb giderimi üzerine çalışmışlardır. 0,25 ve 2,5 mM Pb ve 1:1 oranında şelat içeren hidroponik çözeltide 4 hafta süre ile haftalık olarak bitkilerin biokütle ve Pb birikimlerini ve besin çözeltisinin Pb konsantrasyonunu incelemişlerdir. Deneme sonunda, hem Pb konsantrasyonunun artmasının hem de ajan uygulamasının her üç bitkinin de biokütlesinde önemli düşüslere neden olduğu, özellikle DTPA'nın EDTA'ya göre çok daha toksik etki yaptığı belirtilmiştir. Kontrol bitkisi ile kıyaslandığında 2,5 mM Pb-DTPA uygulaması ile bitki biokütlesi *Helianthus annuus*, *Nicotiana tabacum* ve *Vetiveria zizanioides* için sırasıyla %90, 76, 65 düşüş göstermiştir. İlk hafta boyunca *H. Annuus*, *N. Tabacum* ve *V. Zizanioides* ile uzaklaştırılan Pb yüzdesi, Pb konsantrasyonu 0,25 mM'dan 2,5 mM'a yükseltildiğinde sırasıyla %20, 40 ve 20 düşüş göstermiştir. Bunun sebebi olarak da bitki biokütlesinde ki azalış gösterilmiştir. Deneme sonucunda çift çenekli *H. Annuus*'un tek çenekli *V. Zizanioides*'e göre daha etkili giderim yaptığı vurgulanmıştır.

Martinez *et al.* (2006), üç farklı maden toprağı ve gen transferi yapılmış ve yapılmamış *Thalaspia caerulescens* ile topraktan Cu, Zn, Pb, Cd, Ni ve B giderimi üzerine

çalışmışlardır. Cu (42 mg/kg), Zn (2600 mg/kg) ve Pb (1500 mg/kg) kirliliğine sahip topraklarda yetiştirilen bitkilerde diğer metallere kıyasla daha fazla Zn ve Pb birikimi elde edilmiştir. Transjenik bitki ile doğal bitkiye oranla Cd ve Pb birikiminde sulu çözeltide 9 ve 36 kat, toprakta ise 3 ve 6 kat daha fazla birikim sağlanmıştır. Ayrıca gen transferi yapılmış bitkide kirli topraklarda yetişirken biokütle azalmasının çok düşük olduğunu ve bu bitkinin yetişirken şelatlarla, gübreye, besin çözeltisine ve suya çok az ihtiyaç duyduğu ve kısa sürede geliştiğini belirtmişlerdir.

Evangelou *et al.* (2006), sentetik ajanlara alternatif olarak doğal düşük moleküler ağırlıklı organik asitler (sitrik asit, oksalik asit ve tartarik asit) ile topraklardan Cu ve Pb giderme denemışlerdir. Topraklar 225 ve 450 mg/kg Cu, 300 ve 600 mg/kg Pb içerecek şekilde sentetik olarak kirletilmiştir. Doğal düşük moleküler ağırlıklı organik asitler 62,5, 125, 250 mmol/kg; EDTA ise 0,125, 0,25, 62,5, 125 ve 250 mmol/kg konsantrasyonlarında toprağa uygulanmıştır. Cu alımında, EDTA uygulamasına (42 mg/kg) kıyasla sadece sitrik asit (67 mg/kg) uygulamasında gözle görülür bir artış kaydedilmiştir. Doğal düşük moleküler ağırlıklı organik asit uygulamasının kurşun ıslahında herhangi bir etki göstermediği belirtilmiş, bunun nedeninin ise doğal düşük moleküler ağırlıklı organik asitlerin bozunma hızı olduğu gösterilmiştir. Bozunma hızının düşük hareketliliğe ve biyolojik parçalanmaya sahip Pb gibi metaller için çok hızlı olabileceği üzerinde durulmuştur. Doğal düşük moleküler ağırlıklı organik asitlerin toprağa uygulanan miktarlarının da çok yüksek olduğu (62,5 mmol/kg) buna rağmen etkisiz kaldıkları gözlemlendiği için çok düşük miktarlarda bile (0,125 mmol/kg) etkili sonuçlar veren EDTA'nın fitoremediasyonda daha uygun bir seçim olacağı vurgulanmıştır.

Santos *et al.* (2006), *B. ducebans* ile gerçekleştirdikleri çalışmada EDTA ve EDDS'nin bitkinin metal ekstraksiyonuna etkisini incelemişlerdir. EDTA'nın genelde toprak metal çözünürlüğünde etkili olmasına rağmen çevreye daha az zararlı olan EDDS'nin *B. ducebans* filizlerinde EDTA'dan daha fazla metal birikimine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Kısmen metal kirliliği olan topraklarda EDDS kullanımının, bitki gövdesinde kontrol bitkilerine göre 2,54, 2,74 ve 4,30 kat daha fazla Cd, Pb ve Zn

birikimine neden olduğunu göstermişlerdir. Aynı topraklarda EDTA'nın bitki gövdesinde kontrol bitkilerine göre 1,77, 1,11 ve 1,87 kat daha fazla Cd, Pb ve Zn birikimine neden olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca metallerin bitki kökünden gövdesie iletiminde EDDS'nin daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. B. *ducenbens* bitkisinin de herhangi bir toksisite göstermeden metal kirliliği bulunan topraklarda yaşayabilmesinin metal toleransının yüksekliğinden kaynaklandığını belirterek yeşil ıslah yönteminde kolaylıkla kullanılabilirliği üzerinde durmuşlardır.

Williams *et al.* (2006) yaptıkları çalışmada sentetik ajanlarla doğal yollarla oluşan düşük moleküler ağırlıklı organik asitlerin yeşil ıslah üzerine etkilerini karşılaştırmışlardır. Bunun için, yapay olarak Cd (50 mg/kg), Pb(500 mg/kg) , Zn(300 mg/kg), Cu(200 mg/kg) ve Ni(200 mg/kg) ile kirletilmiş topraklarda, 10 mmol/kg ajan (EDTA, DTPA, oksalik asit, sitrik asit, vanilik asit ve gallik asit) uygulaması altında hint hardalının karma kirliliğe sahip topraklardan fitoekstraksiyonunu incelemişlerdir. Deney sonuçları, karma kirliliğe sahip topraklarda doğal ve biyolojik olarak kolay parçalanabilir organik asitlerin (sitrik asit, gallik asit) kullanımıyla da Cd, Zn, Cu ve Ni gideriminde etkili sonuçlar elde edilebildiğini böylece de metallerin yeraltı suyuna sızma riskinin azaltılabileceğini göstermektedir. Hint hardalı ile bu metallerin toplam giderimi hesaplandığında, doğal yollarla oluşan düşük moleküler ağırlıklı organik asitlerin fitoekstraksiyon teknolojisinde sentetik ajanlar kadar etkili olduğu belirtilmiştir.

Brandt *et al.* (2006), yürüttükleri sera çalışmasında, ham petrol ile kirlenmiş Venezüella topraklarında vetiverin (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) dayanıklılığı ve petrol hidrokarbonlarının biyolojik olarak parçalanması üzerine vetiverin ve değişik gübre uygulamalarının etkisini araştırmışlardır. 6 ay süren denemede ayda bir toprak, bitki kök ve gövdesinde toplam yağ ve gres analizi yapılmıştır. Toplam biokütle artışı kirletilmiş topraklarda kirletilmemiş topraklara oranla düşüş göstermiş, özellikle 2. ay sonunda düşük gübre uygulaması ile yüksek gübre uygulamasına göre çok daha fazla biokütle elde dirmiştir. Deneme sonunda düşük gübre uygulamasında 1602,4 cm/g, 0,78 mm, yüksek gübre uygulamasında 1571,4 cm/g, 0,87 mm ve kirletilmemiş toprakta 3979,7

cm/g, 0,46 mm kök uzunluğu ve kök çapı elde edilmiştir. Tüm denemelerde, topraktaki toplam yağ ve gres konsantrasyonu azalmış fakat kontrollerle kıyaslandığında vetiver ile ileri bir biyolojik arıtım elde edilmediği belirlenmiş, bu yüzden de vetiverin hafif petrol atık kirliliğine sahip topraklarda, toprak ıslahında ve erozyonu engellemede kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Penalosa *et al.* (2007), beyaz bakla ile yaptıkları saksı denemelerinde, asidik pirit çamuru ile çoklu kirliliğe sahip topraklardan 4 farklı kompleks yapıcı ajanın (sitrik asit, malik asit, nitrilotriasetik asit (NTA ve EDTA) ve farklı konsantrasyonlarının (0, 0.05, 0.1, 0.5 ve 1mM) fitoremediasyon üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deney sonucunda, EDTA ve NTA'nın, metallerin (Fe, Mn, Cu, Zn, Cd) çözünürlüğünde birbirleriyle hemen hemen aynı sonuçları verdiğini ancak sitrik asit ve malik asitten daha etkili olduklarını göstermişlerdir. NTA uygulanmasının, toksik metallerin çamurdan toprağa hareketini sağladığını, bu yüzden de bitkide metal konsantrasyonlarının (Mn, Cu, Zn, As, Cd) artmasına neden olduğunu, buna rağmen NTA uygulamasının aynı zamanda sızıntı suyunda toksik elementlerin, özellikle As, Cd, Pb, konsantrasyonunun maksimum izin verilebilen değerlerinin üzerine çıktığını belirterek, ajan seçiminde çok dikkatli davranılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Zhang *et al.* (2007), bir maden kaplama fabrikası yakınındaki bir gölde ve saksı çalışması ile *Leersia hexandra* Swartz (Gramineae) ile krom gidermeye çalışmışlardır. Yaptıkları arazi çalışmasında bu bitki türünün çok yüksek miktarda krom birikimi yaptığını, krom konsantrasyonunun kuru yaprak kütlesinde 2987 mg/kg' a kadar çıktığını belirtmişlerdir. Bitki yapraklarında göl sedimentine oranla 18,86, göl suyuna oranla da 297,41 kat daha fazla krom konsantrasyonu gözlenmiştir. Besin çözeltisi kültüründe yapılan çalışmada ise *Leersia hexandra* yüksek oranda Cr(III) ve Cr(VI) konsantrasyonuna karşı tolerans gösterdiğini ve birikim yaptığını belirtmişlerdir. 60 mg/l Cr(III) ve 10 mg/l Cr(VI) konsantrasyonunda *L. Hexandra* yaprak biokütlesinde önemli bir düşüş görülmemiştir. Yapraklarda maksimum bioakümülyasyon katsayısı Cr(III) ve Cr(VI) için sırasıyla 486,8 ve 72,1 olarak bulunmuştur. *L. Hexandra* bitkisinde Cr(III) birikimi Cr(VI) birikimine göre çok daha yüksek olmuştur. 10 mg/l

konsantrasyona sahip çözeltilerde yapraklarda Cr(III) birikimi 4864 mg/kg olurken aynı konsantrasyonda Cr(VI) birikimi 597 mg/kg olarak bulunmuştur.

Marin *et al.* (2007), su mercimeğinin (*Lemna gibba*) 0,3-10 mg B/L B içeren besin çözeltisi içerisinde adaptasyonunu ve B giderimi üzerine etkisini incelemişlerdir. 12 gün süren deneme boyunca bitki materyalinin büyümesi üzerinde 10 mg B/L konsantrasyonuna kadar B etkisi gözlenmemiştir. B konsantrasyonunun 2 mg/L altında olduğu durumlarda su mercimeğinin bor giderimi ve bioakümüasyon katsayısının yüksek elde edildiği, B konsantrasyonu arttıkça bu değerin düştüğü ifade edilmiştir. Deneme sonunda bitki bünyesinde biriken B miktarları kuru ağırlıkta 930 -1900 mg/kg olarak verilmiş ve diğer bataklık bitkileri ile kıyaslanabilir sonuçlar elde edildiği, böylece de 2 mg/L'den az B konsantrasyonu içeren suların iyileştirilmesinde alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Robinson *et al.* (2007), melez kavak türleri ile kereste atıklarının toplandığı bir sahada bor giderimi üzerine çalışmışlardır. Yapılan lizimetre deneyi ve saha çalışmasıyla, kavak yardımıyla borun buharlaşmasının arttığı ve böylece de sızıntı suyuna karışmasının azaldığı belirtilmiş, borun ağacın hava ile temas eden kısımlarında biriktiğini vurgulanmıştır. 30 mg/L B içeren bir alanda beslenen kavakların yapraklarında 845 mg/kg, gövde kısmında ise 21 mg/kg bor konsantrasyonu gözlenmiştir. Yaprığın B konsantrasyonunun yaprağın yaşı ile doğrusal olarak arttığı belirtilmiştir. Yaptıkları ayrışma deneyi ile de kış aylarında dökülen yaprakların bünyelerindeki borun % 14'ünü serbest bıraktığını, gübre uygulamasının yapraklardaki B konsantrasyonunu düşürmeden bitki büyümesinde artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Ağacın budanarak biriken borun uzaklaştırılabileceği, bu bitki atıklarından bioenerji elde edilebileceği, stok yem olarak ve B eksikliği bulunan toprakların iyileştirilmesinde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Singer *et al.* (2007), *Alyssum lesbiacum* bitkisi ve kimyasal şelatlar yardımıyla iki çeşit polisilik aromatik hidrokarbon(PAH), penentran ve kristin ile kirlenmiş topraklardan Ni uzaklaştırmayı denemişlerdir. Kimyasal şelat olarak, PAH'ların biyolojik olarak

parçalanmasını kolaylaştıran sürfektan (sorbitan trioleate) ve salisilik asit ve Ni'in fitoekstraksiyonunu artırmak için de histidin kullanılmıştır. Yapılan 14 haftalık saksı denemesi sonunda, bitki büyümesinin PAH'ların varlığından olumsuz olarak etkilenmediği fakat bitki gövde materyalinin birim ağırlığında biriken Ni miktarını da önemli ölçüde değiştirmedeği gözlenmiştir. Salisilik asit-sorbitan trioleare-histidin uygulanan topraklardan, salisilik asit-sorbitan trioleare-histidin-PAH uygulanan topraklara göre bitki kökünde %600 daha fazla Ni birikimi gözlemlendiğini bunun da bitkinin PAH toksisitesi yüzünden meydana gelmiş olabileceği belirtilmiştir.

Lou *et al.* (2007), As, Cu, Pb ve Zn ile kirlenmiş topraklarda *Petiris vittata L.*, *Vetiveria zizanioides* ve *Sesbanis rostrata L.* bitkileri ile ajanların (EDTA, HEDTA, OA, NTA) metal birikimi etkisini araştırmışlardır. Maden bölgesinden toplanan topraklarla serada saksılarla gerçekleştirdikleri çalışmada, 0, 0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10,0 g/kg dozlarında uygulanan ajanların bitki biokütlesi ve metal birikimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 4 haftalık deneme sonunda, toprak suyunda çözünmüş As miktarını oksalik asit, Cu ve Pb miktarını EDTA, Zn miktarını da HEDTA uygulamasının arttırdığı sonucuna varmışlardır. Ajan uygulamasının, özellikle de OA uygulamasının, her üç bitkinin de biokütle üretimini olumsuz yönde etkilediği, EDTA'nın *P. vittata* ve *S. rostrata* gelişimini ciddi oranda etkilediği ancak HEDTA uygulaması ile vetiver biokütlesinde büyük oranda artış olduğu belirtilmiştir. EDTA ve HEDTA'nın her üç bitkide de Cu, Zn ve Pb birikimini artırırken As birikimi azalttığı, OA'nın ise As'in vetiverin toprak üstü bölümünde birikimini ciddi miktarda arttırdığını vurgulamışlardır. EDTA konsantrasyonunun artışının metallerin bitkinin gövdesinde toplanma miktarını da arttırdığı, kullanılan üç bitki içerisinde ise ağır metallerle kirlenmiş zeminlerin fitoremediasyonunda *Petiris vittata L.* bitkisinin en verimli olacağı sonucuna varmışlardır.

Turan ve Esringü (2007), hint hardalı ve kanola ile topraklardan ağır metal gideriminde (Cd, Cu, Pb, Zn), EDTA'nın, metallerin biyolojik olarak alınabilirliği ve kökten gövdeye iletimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Bunun için arazinin üst 0-15 cm'lik kısmından alınan topraklara 50 mg/kg dozunda Cd (CdCl_2), Cu (CuSO_4), Pb ($\text{Pb(NO}_3)_2$)

ve Zn (ZnSO_4) uygulanarak suni olarak kirletilmiş toprak elde edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda topraklara 0, 3, 6 ve 12 mmol/kg dozlarında EDTA uygulanmış ve bitkiler ekilerek 96 gün boyunca tarla kapasitesinin %70'i miktarında sulanmıştır. Deneme sonunda, EDTA uygulamasının her iki bitkinin de kök ve kuru ağırlığında düşüşe neden olduğu fakat topraktaki bitkiye elverişli ağır metal konsantrasyonunu arttırdığını belirtmişlerdir. 12 mmol/kg EDTA uygulandığında, kanola ve hint hardalında NH_4NO_3 de ekstrakte olabilen Cu, Cd, Pb ve Zn konsantrasyonu kontrol bitkisine oranla sırayla %126, 233, 138, 200 ve %102, 225, 140, 211 kat arttığı gözlenmiştir. Her iki bitkide de köklerdeki metal konsantrasyonunun gövde konsantrasyonundan yaklaşık 4-6 kat daha fazla olduğu ve hint hardalında maksimum kök/gövde oranının (T_F) 6 mmol/kg EDTA uygulamasında elde edildiği vurgulanmıştır.

Neugschwandtner *et al.* (2008), mısır (*Zea mays*) bitkisi ile maden ocağı ve maden eritme tesislerinin bulunduğu bir bölgede Pb ve Cd ile kirlenmiş topraklarda arazi ve saksı uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma ile EDTA'nın değişik türde uygulamalarının (tek doz, 3, 6, 9 mmol/kg; parçalı doz, 3x1, 3x2, 3x3 mmol/kg) topraktan metal giderimi üzerine etkisini ve EDTA'nın olası bir yer altı suyu kirliliğine sebep olup olmadığını araştırmışlardır. 58 günlük deneme sonunda saksı uygulamasında, EDTA'nın Pb ve Cd çözünürlüğünü önemli derece artırdığını, tek dozda uygulanan EDTA ile parçalı uygulanan dozlara göre daha yüksek çözünürlük elde edildiği sonucuna varmışlardır. Tarlada yaptıkları çalışmada, EDTA uygulamasının metal çözünürlüğünü özellikle toprağın üst kısmında (0-5 cm) önemli derecede artırdığı, toprak derinliği arttıkça kademeli olarak azaldığı sonucuna varmışlardır. 9 mmol/kg EDTA dozunda, toprağın üst kısmında (0-5 cm) kontrol uygulamasına göre Pb de 326, Cd de 105 kat daha fazla çözünürlük elde etmişlerdir. EDTA'nın tüm dozlardaki uygulamasının, bitkilerin büyümesini olumsuz yönde etkilediği, özellikle 9 mmol/kg dozunda uygulanan EDTA'nın kontrol bitkisi ile kıyaslandığında, bitki kuru madde miktarının saksı denemelerinde %43, tarla denemesinde ise %77 azalmaya sebep olduğu gözlenmiştir. Bitki tarafından alınan Pb miktarı, 9 mmol/kg EDTA uygulandığında en yüksek verimde (saksı denemesinde kontrol bitkisine göre 23,2, tarla denemesinde ise 6 kat daha fazla) elde edilmiştir. Bitkilerin Cd içeriği ise EDTA dozu

arttıkça doğrusal olarak artmış, 9 mmol/kg EDTA dozunda Cd miktarı saksı denemisinde 3,1, tarla denemisinde ise 1,7 kat artmıştır.

Sun *et al.* (2008), yaptıkları saksı denemesinde bünyesinde yüksek oranda Cd biriktirebilen *Solanum nigrum* L. ile Cd uzaklaştırmada, karma kirliliğe sahip (Cd-As) toprakların etkisini incelemişlerdir. 3 farklı Cd (10, 25, 50 mg/kg) ve As (0, 50, 250 mg/kg) ve bunların kombine (Cd-10As-50, Cd-10As-250, Cd-25As-50, Cd-25As-250, Cd-50As-50, Cd-50As-250) dozları uygulanan topraklarda 70 günlük deneme sonunda, 10 mg/kg Cd dozunda bitki büyümesinde herhangi azalma olmadığı fakat 25 mg/kg dozunda bitki materyalinin hem kökte hem de gövdede azalma gösterdiği, 50 mg/kg Cd dozunda ise bitki boyunun ve materyalinin önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir. Bitki boyunun ise Cd-10As50 uygulaması hariç tüm uygulamalarda ve Cd'nin sabit konsantrasyonunda ise As miktarı arttıkça özellikle 250 mg/kg As dozunda ciddi biçimde düştüğü belirtilmiştir. Tek başına Cd uygulanan topraklarda(10, 25, 50 mg/kg), bitki kuru ağırlığında Cd konsantrasyonu 122, 208 ve 387 mg/kg olarak hesaplanmış ve bitki gövdesindeki birikimin kökteki birikimden fazla olduğunu vurgulamışlardır. *Solanum nigrum* L için BF (bioakümülyasyon faktörü) ve TF (Translokasyon faktörü) sırasıyla 25 mg/kg Cd dozu için 8,33 ve 1,66 olarak hesaplanmıştır. As dozu 250 mg/kg için gövdedeki Cd konsantrasyonu As uygulanmayan topraklara oranla %16,5, %49,4 ve %73.6 düşüş göstermiştir. Bunun sebebi olarak da As'ın yüksek konsantrasyonlarının bitkinin Cd alımında toksik etki yapması gösterilmiştir. Buna rağmen, 10 mg/kg Cd ve 50 mg/kg As uygulamasında ise tek başına 10 mg/kg Cd uygulamasına göre bitki bünyesinde %38,9 daha fazla Cd birikimi gözlenmiştir.

Lin *et al.* (2008), yaptıkları saksı denemesi ile Cu ve piren ile kirlenmiş toprakların mısır (*Zea mays* L.) ile fitoremediasyonunda, Cu alımının piren ile etkileşimini incelemişlerdir. 0, 200, 400 mg Cu/kg ve 0, 50, 100, 500 mg piren/kg konsantrasyonunda kirleticie sahip topraklarda 4 haftalık büyüme periyodu sonunda mısırlar hasat edilmiş ve bitki materyali, Cu ve piren konsantrasyonları incelenmiştir. Kontrol bitkileriyle kıyaslandığında, Cu ile kirlenmiş saksılardaki mısırların kök kuru ağırlıklarında belirgin, gövde kuru ağırlıklarında önemsiz azalmalar gözlemlendiği, fakat

piren ilavesi ile kuru madde miktarının arttığı belirtilmiştir. Bunun gerekçesi olarak pirenin, Cu inhibisyonunu hafifletmesi gösterilmiştir. Deneme sonunda, piren konsantrasyonunda, bitkili topraklarda %9-14, bitkisiz topraklarda %16-18 azalma gözlemlendiği Cu konsantrasyonunun artmasıyla da toprakta arta kalan piren miktarının özellikle bitkili topraklarda artış gösterdiği belirtilmiştir. Toprakta Cu fitoekstraksiyonunu da yüksek konsantrasyonda piren varlığından olumsuz yönde etkilendiği, sadece 400 mg/kg Cu uygulanan topraktan ekstrakte edilen Cu miktarının, 400 mg/kg Cu ve 500 mg/kg piren ihtiva eden topraktan ekstrakte edilene göre 2 kat daha fazla olduğu vurgulanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmada kullanılan materyaller

Araştırma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, İşletme Müdürlüğü'ne ait araziden 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri üzerinde yürütülmüştür. Denemede bitki materyali olarak vetiver grass (*Vetiveria zizanioides (L.) Nash'*), toprak kirletici olarak bor, ajan olarak da etilendiamintetraasetikasit (EDTA) ve dietilentriaminpentaasetikasit (DTPA) kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi İşletme Müdürlüğü'ne ait (39° 55' N, 41° 61 E) deneme sahasının 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri havada kurutulup 2 mm'lik elekten elenmiştir.

Vetiver bitkisinin bora karşı toleransını belirlemek amacıyla bitki büyütme kabininde yürütülen çalışmada, topraklara 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400 mg B/kg konsantrasyonlarında H₃BO₃'den B uygulaması yapılmıştır. Bor çözeltisi ilave edilen topraklar 1 aylık inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon süresini takiben dikilen bitkiler 30 gün sonunda hasat edilmişlerdir. İlave edilen 40 mg B/kg dozunun üstünde bitki ölümleri gerçekleştiği için ana çalışmada kullanılacak maksimum bor dozu 40 mg B/kg olarak belirlenmiştir.

Ön denemelerden elde edilen veriler ışığında, çalışmada 20 cm çapında plastik saksılara 2000 g/saksı olacak şekilde toprak numunesi yerleştirilmiştir. Saksılara konulan toprak örneğinden alt örnek alınarak toprağın fiziksel ve kimyasal analizleri yanında elverişli bor analizleri yapılmıştır. Deneme sera koşullarında tam şansa bağlı deneme desenine göre; 1 bitki, vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash')), 8 farklı bor konsantrasyonu (0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 mg B/kg toprak), 2 farklı ajan (EDTA, DTPA), 3 farklı ajan dozu (0,4, 8 mmol/kg), 2 farklı ajan uygulama zamanı (Ekimden bir hafta önce ve hasattan 15 gün önce) ve her değişken için 3 tekrar olmak üzere toplam 216 saksıda yürütülmüştür. Saksılara B, gerekli konsantrasyonu sağlayacak şekilde B içeren saf suda çözünmüş H_3BO_3 çözeltisinin toprağa tarla kapasitesinin %100 kadar uygulanmasıyla sağlanmıştır. Saksılara ilave edilen B'un toprak tarafından adsorpsiyonu için 1 ay süreyle bitki büyütme kabininde inkübasyona bırakılmış ve inkübasyonu takiben her saksıdan alınan numunelerde B analizi yapılmıştır.



Şekil 3.1. Bor kirletilmesi yapılmış toprakların inkübasyonu

İnkübasyon süresi sonunda bitki ekiminden önce bitkilerin normal faaliyetini yürütebilmesi için gerekli olan N, P ve K ihtiyaçları, toprakta bulunan elverişli miktarları dikkate alınarak amonyum nitrat (120 kg N/ha), triple süperfosfat (100 kg

P_2O_5 /ha), ve potasyum sülfat (100 kg K_2O /ha) gübrelerinden sağlanmıştır. Toprakta bulunan B'un bitki tarafından alımını kolaylaştırmak amacıyla kullanılan ajanlar (EDTA, DTPA), 0, 4, 8 mmol/kg dozlarında bitki ekiminden 15 gün önce ve bitki hasatından 15 gün önce olmak üzere 2 kademede saksılara uygulanmıştır. Her saksıya kök ve gövde uzunluğu eşit olacak şekilde 1 adet bitki dikilmiştir.



Şekil 3.2. Saksılara dikilmeden önce vetiver fideleri



Şekil 3.3. Saksılara dikilen vetiver fideleri

Bitkilerin büyüme periyodu içinde su ihtiyaçları, iki günde bir saksılar tartılarak buharlaşma yoluyla kaybolan suyun saf su ile tarla kapasitesinin %70 nem düzeyinde ilave edilmesi ile sağlanmıştır. Bitki büyütme kabiniinde adaptasyona bırakılan saksılar ekimden 4 hafta sonra seraya taşınmıştır. Bitkiler 12 haftalık büyüme periyodu sonucunda hasat edilerek kök ve gövde aksamı saf su ile yıkandıktan sonra yaş ağırlıkları tartılmış, daha sonra 68°C etüvde 24 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Kuru ağırlıkları tespit edilen bitki örnekleri porselen havanda ezilerek kök-gövde aksamalarında makro ve mikro element analizleri yapılmıştır. Ayrıca her saksıdan alınan toprak örneklerinde de makro, mikro element ve pH tayinleri yapılmıştır.



Şekil 3.4. Serada saksıların görünümü

3.3 Toprak Analizleri

3.3.1 Toprak tekstürü

Toprakların tekstürleri Bouyoucus hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir (Gee and Bauder 1986).

3.3.2. Toprak reaksiyonu (pH)

Toprakların pH'ları 1:2.5'luk toprak-su süspansiyonunda potansiyometrik olarak cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür (McLean 1982).

3.3.3. Kireç tayini (% CaCO_3)

Toprakların kireç içerikleri Scheibler kalsimetresi ile volümetrik olarak saptanmıştır (Nelson 1982).

3.3.4 Organik madde miktarı (%)

Toprakların organik madde içerikleri Smith-Weldon yöntemiyle belirlenmiştir (Nelson and Sommers 1982).

3.3.5. Katyon değişim kapasitesi değerleri

Toprakların katyon değişim kapasiteleri, örneklerde sodyum asetatla (1 N, pH=8.2) sodyum adsorpsiyonu sağlandıktan sonra, amonyum asetatla (1 N, pH=7.0) ekstrakte edilen solüsyonlarda alev fotometresiyle Na okuması yapılarak saptanmıştır (Rhoades 1982a).

3.3.6. Değişebilir katyonlar tayini

Toprakların değişebilir katyonları amonyum asetatla (1 N, pH=7.0) çalkalanıp ekstrakte edildikten sonra Na, K, Ca ve Mg atomik adsorpsiyon spektrofotometresinde okunmak suretiyle belirlenmiştir (Rhoades 1982b).

3.3.7. Fosfor tayini

Molibdofosforik mavi renk yöntemine göre oluşturulan mavi renkli çözeltinin ışık absorpsiyonu 660 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede okunarak belirlenmiştir (Olsen and Summers 1982).

3.3.8 Elektrik iletkenlik tayini

Hazırlanan saturasyon macunlarından elde edilen ekstraksiyon çözeltilerinde elektrik kondüktivite aleti ile mmhos/cm olarak belirlenmiştir (Demiralay 1993). Daha sonra tabloda % tuz olarak verilmiştir.

3.3.9. Bitki tarafından alınabilir mikro element tayini

Elverişli Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd miktarları DTPA ile ekstrakte edilen süzüklerde atomik adsorpsiyon spektrofotometresinde okunmak suretiyle belirlenmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978).

3.3.10. Bitki tarafından alınabilir bor miktarının belirlenmesi:

Toprak ekstraktındaki B miktarı, azometin-H ile oluşturulan kompleksin renk yoğunluğuna dayanılarak 420 nm dalga boyunda spektrofotometrede belirlenmiştir (Kacar, B.2003).

3.3.11. Toplam B tayini:

Na_2CO_3 ile ergitilen ve H_2SO_4 de çözülen toprak örneğinde, ester şeklinde alkol yardımıyla ayrılan B miktarı azometin-H ile oluşturulan kompleksin renk yoğunluğuna dayanılarak spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Kacar, B.2003) .

3. 4. Bitki Analiz Yöntemleri

3.4.1. Bitkide bor tayini

Bitkide ki B miktarı, azometin-H ile oluşturulan kompleksin renk yoğunluğuna dayanılarak spektrofotometrede belirlenmiştir (Kacar, B.2003).

3.4.2. Bitkide diğer elementlerin (Fe, Mn, Zn, Cu) tayini

Bitki örneklerinin Fe, Mn, Zn, Cu, Pb içerikleri nitrik perklorik asit karışımı ile yaş yakmaya tabi tutulduktan sonra fosfor vanadomolibdat sarı renk yöntemiyle, Fe, Mn, Zn, Cu atomik absorpsiyon spektrofotometresinde okunmak suretiyle belirlenmiştir (AOAC 2005).

3.5. Fitoremediasyon Potansiyeli Tayini

Fitoekstraksiyon potansiyeli (FP) , bir hasat döngüsü boyunca bitki tarafından alınan toplam kirletici miktarını ifade etmektedir(Neugschwandtner, 2008).

$$FP = B_{Bitki} \times M_{Bitki}$$

B_{Bitki} : Bitki bor konsantrasyonu (mg/kg)

M_{Bitki} : Bitki kuru ağırlığı (mg)

3.6. Bioakümülyasyon Faktörü Tayini

Bioakümülyasyon faktörü (BKF) bitki kökünde biriken kirletici konsantrasyonunun, toprak çözeltisi içerisinde bulunan kirletici konsantrasyonuna oranıdır. BKF' ise bitki

gövdesinde biriken kirletici konsantrasyonunun, toprak çözeltisi içerisinde bulunan kirletici konsantrasyonuna oranıdır (Marin, 2007).

$$BKF = \frac{B_{Bitki\ Kök}}{B_{Toprak}}$$

$B_{Bitki\ Kök}$: Bitki kök bor konsantrasyonu (mg/kg)

B_{Toprak} : Toprak bor konsantrasyonu (mg/kg)

$$BKF' = \frac{B_{BitkiGövde}}{B_{Toprak}}$$

$B_{Bitki\ Gövde}$: Bitki gövde bor konsantrasyonu (mg/kg)

B_{Toprak} : Toprak bor konsantrasyonu (mg/kg)

3.7. Translokasyon Faktörü Tayini

Translokasyon faktörü (TF), kirleticinin gövde konsantrasyonunun kök konsantrasyonuna oranı olarak ifade edilmektedir.

$$TF = \frac{B_{BitkiGövde}}{B_{BitkiKök}}$$

$B_{Bitki\ Gövde}$: Bitki gövde bor konsantrasyonu (mg/kg)

$B_{Bitki\ Kök}$: Bitki kök bor konsantrasyonu (mg/kg)

3.8. Remediasyon Verimi Tayini

Remediasyon verimi (RV), uzaklaştırılmak istenen kirleticinin, kullanılan bitki toprak üstü aksamı tarafından bir hasat döneminde alınan toplam miktarının remediasyon

yapılan toprağın kirlilik konsantrasyonu ve toprak miktarına oranının yüzdesel ifadesidir (Neugschwandtner, 2008).

$$RV = \frac{B_{Bitki} \times M_{Bitki}}{B_{Toprak} \times M_{Toprak}} \times 100$$

B_{Bitki} : Bitki bor konsantrasyonu (mg/kg)

M_{Bitki} : Bitki kuru ağırlığı (mg)

B_{Toprak} : Toprak bor konsantrasyonu (mg/kg)

M_{Toprak} : Saksıdaki toprak miktarı (mg)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Denemede Kullanılan Toprak Örneğinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Denemede kullanılan toprak örneklerine ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

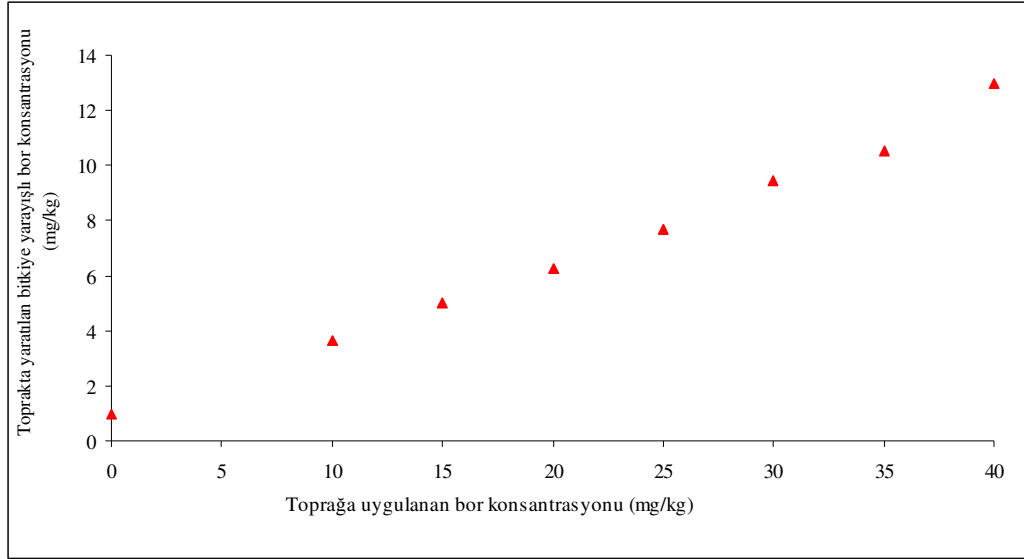
Toprak Özellikleri	Elde Edilen Değerler
pH (1:2.5)	7.31
Organik M., %	1.20
Kireç, %	0.60
N, %	0.115
P, kg P ₂ O ₅ /da	3.10
Değişebilir Katyonlar	
K, cmol / kg	2.20
Ca, cmol/ kg	11.50
Mg, cmol/ kg	2.25
Na, cmol/kg	0.25
Bitkiye Elverişli	
Fe, mg/kg	3.80
Zn, mg/kg	2.30
Cu, mg/kg	1.00
Mn, mg/kg	8.00
Pb, mg/kg	0.78
Cd, mg/kg	0.13
B, mg/kg	0,92
Toplam	
Zn, mg/kg	32.2
Cu, mg/kg	18.6
Pb, mg/kg	8.65
Cd, mg/kg	10.51
B, mg/kg	12,6
Top.Tuzluluğu,%	0.11
Kum, %	30.70
Silt, %	35.90
Kil, %	33.40

Çizelge 4.1'den görüldüğü gibi toprak tekstür sınıfı tın, pH'sı nötr, organik madde içeriği az sınıfına girmektedir. Kireç yönünden az, K ve Ca içeriği bakımından fazla, Mg yeter ve fazla, P bakımından yetersiz, toplam azot bakımından yeterli, elverişli Fe içeriği yönünden orta, Mn, Zn ve Cu içeriği yönünden yeterli sınıfına girmektedir (Anonim 1980; FAO 1990; TOVEP 1991).

4.2. Toprağa Farklı Dozlarda Uygulanan Borun Toprakta Yarattığı Bitkiye Elverişli Bor Konsantrasyonları

Vetiver grass bitkisinin B alım kapasitesini belirlemek amacıyla, toprakta B kirliliği oluşturmak için deneme topraklarına farklı konsantrasyonlarda (0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 mg B/ kg) H_3BO_3 kaynağı kullanılarak B minerali uygulanmıştır. Uygulanan B konsantrasyonlarının topraklarda yarattığı elverişli bor miktarlarının belirlenmesi için 1 aylık inkübasyon dönemine maruz bırakılmıştır. İnkübasyon sonun da bitkiler ekilmeden önce her saksıdan toprak numunesi alınarak kirlilik oluşturmak için uygulanan B dozlarına göre toprak çözeltisinde oluşturulan bitkiye yarayışlı B düzeyleri belirlenmiştir ve sonuçlar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Toprağa H_3BO_3 'ten uygulanan B konsantrasyonları ile toprakta oluşturulan bitkiye yarayışlı B konsantrasyonları farklılık göstermektedir. Bitkiye yarayışlı B miktarı toprak çözeltisi içerisinde bulunan bitkinin istifade edebileceği B miktarını ifade etmektedir. Borun çözünebilirliği ve sorpsiyonu toprak pH' si, kil mineralinin miktar ve tipi, Al ve Fe hidroksit içeriği, organik madde, tekstür ve kireç içeriği gibi toprak özelliklerine bağlıdır (Robinson, 2007). Bitkiler tarafından B'un alınabilmesi için borun biyolojik olarak alınabilir formda toprak çözeltisi içerisinde bulunabilmesi gerekir. Toprak çözeltisi içerisindeki B miktarını ise toprak içeriğinin bora olan eğilimi belirler. Organik madde içeriği yüksek olan topraklarda B organik madde tarafından tutulduğu için toprak çözeltisindeki konsantrasyonu azalmakta ve böylece de B noksanlığı gözlemlenmektedir (Yermiyahu, 2001).



Şekil 4.1. Toprağa uygulanan bor miktarları ile toprakta oluşturulan bitkiye yarıyışlı bor konsantrasyonları

4.3. Vetiver Grass Bitkisinin Toprağa Uygulanan Farklı Dozlarda Bor Konsantrasyonuna Karşı Gösterdiği Tolerans

Kurulacak temel çalışma öncesi vetiver grassın toprakta bulunan bora karşı tolerans sınırını belirlemek üzere, H_3BO_3 ile 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400 mg B/kg düzeylerinde bor uygulanması yapılarak 30 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonucunda topraklarda bitkiler bitki büyütme kabinde 30 gün süreyle büyütülerek bor konsantrasyonuna karşı gösterdiği tolerans belirlenmeye çalışılmıştır. Bor konsantrasyonu arttıkça bitki gelişimi yavaşlamış, uygulanan 40 mg B/kg dozundan (toprak çözeltisinde bitkiye elverişli konsantrasyonu 12,95 mg B/kg) sonra ise bitki ölümleri gerçekleşmiştir.

Toprağa uygulanan bor konsantrasyonu artışı bitki büyümesini olumsuz yönde etkilemiş, bitki boy ve ağırlıklarında önemli kayıplar gözlenmiştir. Uygulanan bor konsantrasyonu arttıkça bitkide büyüme yavaşlamış (Şekil 4.2), yaprak kısımlarında uçlara doğru sararmalar, kök boğumu üstündeki yeşil aksamda morarmalar gözlenmiştir (Şekil 4.3, Şekil 4.4). 40 mg/kg bor konsantrasyonunu üzerinde bitkilerde büyüme

gözlenmemiştir (Şekil 4.5, Şekil 4.6). Bu yüzden serada gerçekleştirilen çalışmada toprağa uygulanan 40 mg/kg bor dozu kritik maksimum B konsantrasyonu olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Bitki büyütme kabinde değişik bor dozlarına karşı bitki gelişimi

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de 30 günlük büyüme süresi sonunda sırasıyla 0 mg/kg ve 20 mg/kg bor uygulanan saksılardan çıkarılan vetiver grass bitkilerinin görünüşü verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi bor konsantrasyonunun artması bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemiştir. Vetiver grass bitkisi kök gövdesindeki gelişim ile kendini diğer bitkilerden ayıran bir bitkidir. Bor uygulaması yapılmamış toprakta yetişen vetiver grassın kökleri içinde bulunduğu kabın her tarafına yayılım gösterirken, bor konsantrasyonunun 20 mg/kg’a çıkmasıyla kök dağılımı ve köklerin kalınlıkları azalmıştır. Gövde aksamında da görüldüğü gibi azalma medyana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.3. Bitki büyütme kabininde 0 mg B/kg dozu uygulanan topraklarda yetişen vetiverin gövde gelişimi



Şekil 4.4. Bitki büyütme kabininde 40 mg B/kg bor uygulanan toprakta yetişen vetiverin kök bölgesi gelişimi



Şekil 4.5. Bitki büyütme kabinde 60 mg B/kg bor uygulanan toprakta yetişen vetiverin gelişimi



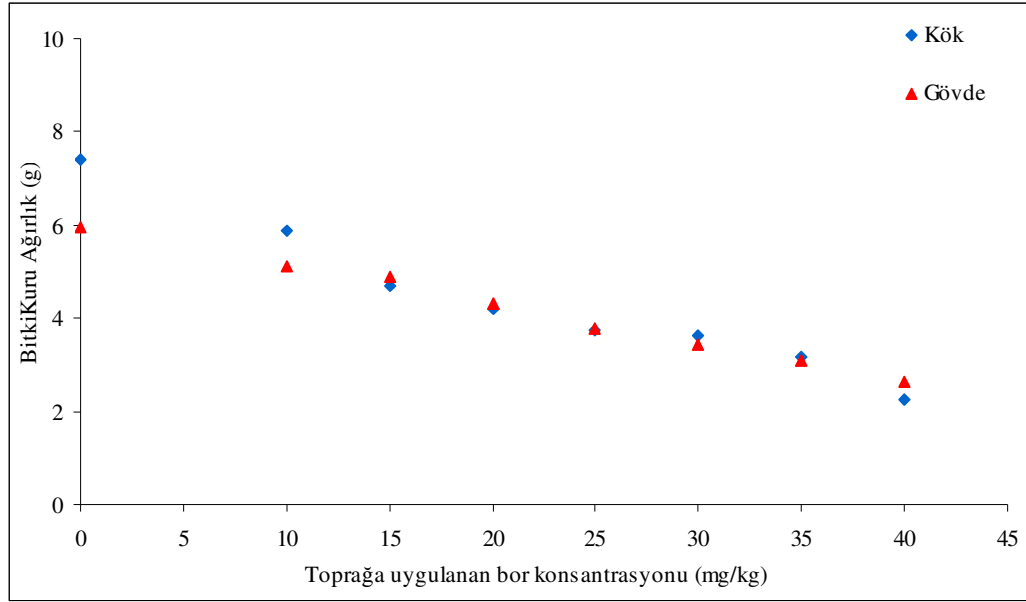
Şekil 4.6. Bitki büyütme kabinde 1 aylık büyüme süresi sonunda sırasıyla 0 mg B/kg, 10 mg B/kg, 20 mg B/kg ve 40 mg B/kg bor uygulanmış topraklardaki vetiverlerin görünüşü



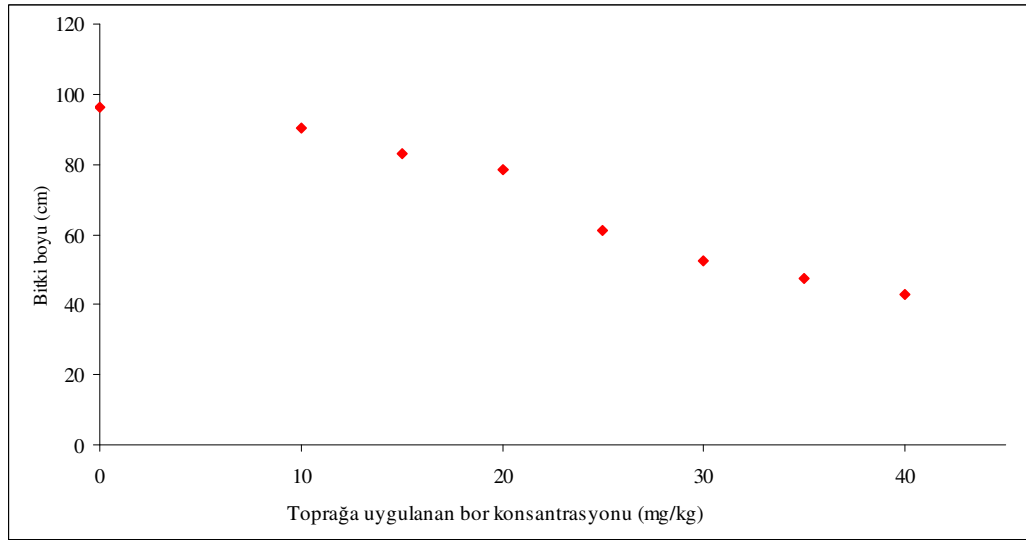
Şekil 4.7. Bitki büyütme kabiniinde 0 mg/kg bor uygulanan saksılarda yetişen vetiverin 1 ay sonunda topraktan çıkarılan görüntüsü



Şekil 4.8. Bitki büyütme kabiniinde 20 mg/kg bor uygulanan saksılarda yetişen vetiverin 1 ay sonunda topraktan çıkarılan görüntüsü



Şekil 4.9. Toprağa uygulanan bor konsantrasyonlarının bitki kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi



Şekil 4.10. Toprağa uygulanan bor konsantrasyonlarının bitki boyu üzerine etkisi

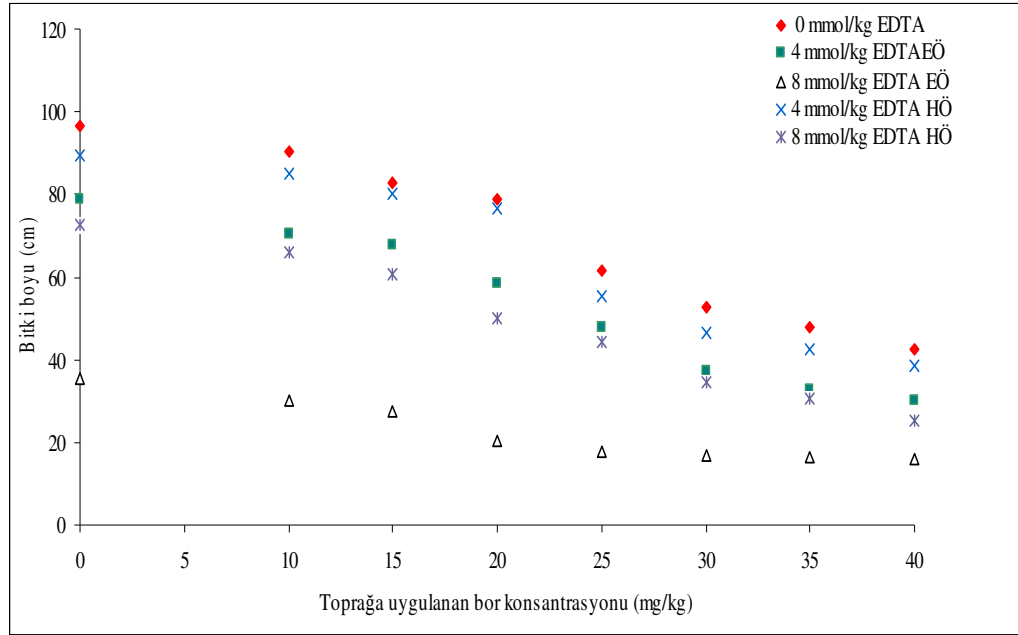
Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da da görüldüğü gibi toprağa uygulanan bor miktarı arttıkça bitki kök ve gövde kuru ağırlığı ve bitki boyu azalmıştır. Bitki boyu, uygulanan bor

konsantrasyonu 0mg/kg'dan 40 mg/kg'a (bitkiye elverişli 12,95 mg B/kg) çıkarıldığında %55 oranında azalış gösterirken, kök ve gövdenin kuru ağırlığı ise sırasıyla %70 ve %55 oranlarında azalmıştır. Bor bitkilerin normal gelişmesi ve optimum ürün vermeleri için gerekli bir elementtir. Gerek duyulan borun çok az da olsa fazlası, bor noksanlığında olduğu gibi bitkinin gelişmesi üzerine olumsuz etki yapmaktadır ve gelişme çoğu zaman durmaktadır (Gupta, 1985). Keren ve Bingham (1985) toprakta bitkiye elverişli bor miktarlarının sınır değerlerini; normal gelişim için 0,5 mg/kg yeterli, bora hassas bitkiler ve tahıllar için >3 mg/kg toksik, bora toleranslı bitkiler için ise >10 mg/kg olarak vermişlerdir.

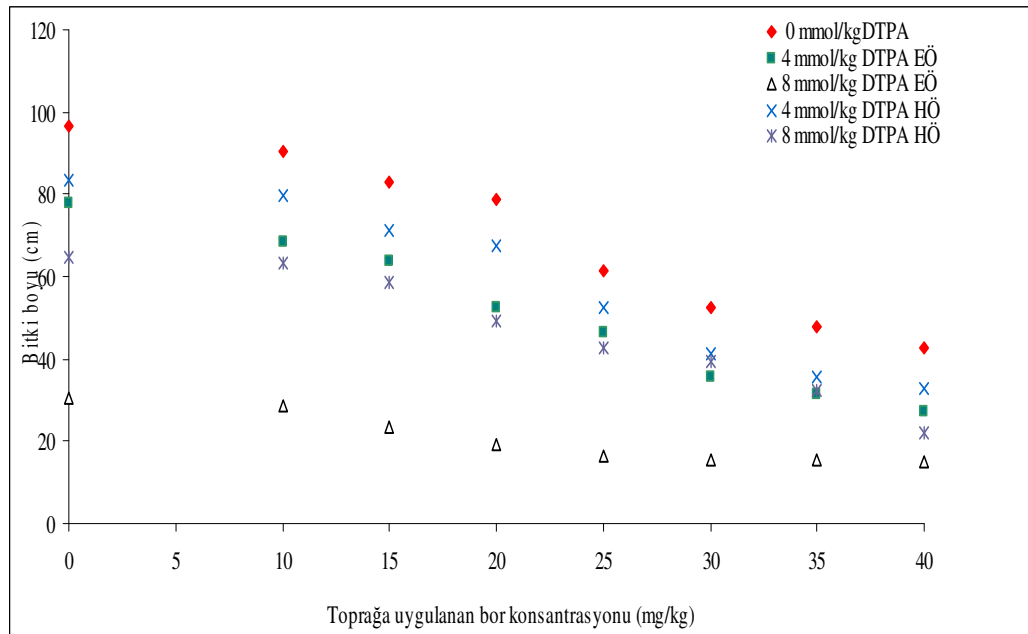
4.4. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Verimi ve Verim Parametreleri Üzerine Etkisi

Toprakta bulunan bitkiye elverişli borun, toprak çözeltisindeki konsantrasyonunu artırarak bitki tarafından alımını kolaylaştırmak için toprağa uygulanan EDTA ve DTPA ajanlarının, borun topraktaki ve bitkideki konsantrasyonlarını artırması kadar bitki büyümesi ve bitki biokütlesi üzerinde yaptığı etki de önemlidir.

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin verim parametreleri üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir uygulamaya ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin boyu, kök kuru ve yaş ağırlığı ile gövde kuru ve yaş ağırlığı ölçülmüştür.



Şekil 4.11. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi



Şekil 4.12. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 'de 12 haftalık deneme sonunda EDTA ve DTPA'nın ekim öncesi (EÖ) ve hasat öncesi (HÖ) uygulamalarının bitki boyu üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de görüleceği gibi, uygulanan her iki ajan da bitki büyümesini olumsuz yönde etkilemiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ($p \leq 0,01$) ve sonuçlar EK 1'de verilmiştir. Ajan konsantrasyonunun 4 mmol/kg'dan 8 mmol/kg'a çıkmasıyla bitki boyu önemli ölçüde azalmıştır. Ekim öncesi uygulanan EDTA ve DTPA, hasat öncesine göre bitki kök ve gövde kuru madde içeriği bakımından daha düşük verimler elde edilmesine neden olmuştur.

40 mg B/kg bor ve ekim öncesi 0, 4, 8 mmol/kg EDTA uygulanan topraklarda yetişen bitkilerin boyu kontrol bitkisinin (0 mg/kg B, 0 mmol/kg ajan, bor ajan uygulaması yapılmamış toprakta yetişen) boyuna göre sırasıyla %55, %68, %83 azalma göstermiştir. Bu değerler hasat öncesi uygulanan 0, 4, 8 mmol/kg EDTA için ise %55, %59, %73 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). 0, 4, 8 mmol/kg konsantrasyonlarında uygulanan DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi için bitki boyu azalma miktarı sırasıyla %55, %71, %84 ve %55, %65, %77 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.2. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın kontrol bitkisine göre bitki boyunda meydana getirdiği azalma (%)

Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Bitki Boyu Azalma (%)					
	EDTA					
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
	0 ppm	4 ppm	8 ppm	0 ppm	4 ppm	8 ppm
0	-	18,33	63,32	-	7,27	24,56
10	6,23	26,99	68,51	6,23	11,76	31,66
15	13,84	29,75	71,28	13,84	16,61	37,02
20	18,33	39,45	78,90	18,33	20,41	47,86
25	36,33	50,51	81,66	36,33	42,67	53,98
30	45,32	61,25	82,69	45,32	51,90	64,36
35	50,51	66,09	83,05	50,51	56,06	68,41
40	55,70	68,86	83,39	55,70	59,83	73,70

Çizelge 4.3. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan DTPA'nın kontrol bitkisine göre bitki boyunda meydana getirdiği azalma (%)

Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Bitki Boyu Azalma (%)					
	DTPA					
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
	0 ppm	4 ppm	8 ppm	0 ppm	4 ppm	8 ppm
0	-	19,37	68,41	-	13,50	32,87
10	6,23	29,07	70,24	6,23	17,29	34,26
15	13,84	33,90	75,78	13,84	25,95	39,09
20	18,33	45,68	79,93	18,33	30,10	48,79
25	36,33	51,90	83,05	36,33	45,32	55,70
30	45,32	62,97	83,73	45,32	57,10	59,17
35	50,51	67,37	84,09	50,51	62,97	66,44
40	55,70	71,63	84,43	55,70	65,74	77,16

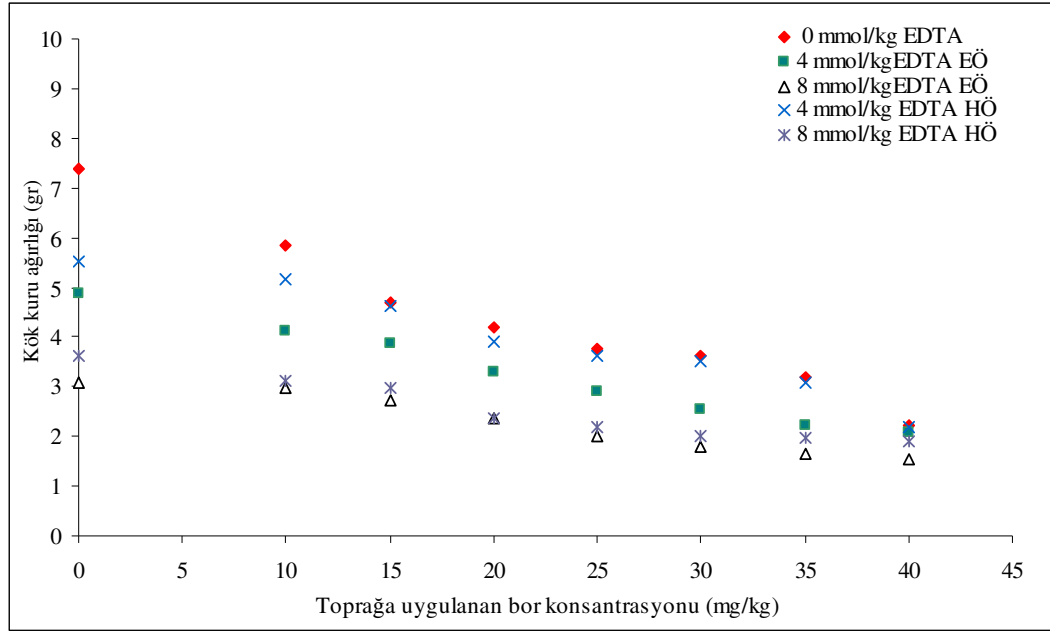


Şekil 4.13. Ekim öncesi uygulanan 4 mmol/kg DTPA'nın kontrol bitkisine göre vetiver gelişimi üzerine yaptığı etki

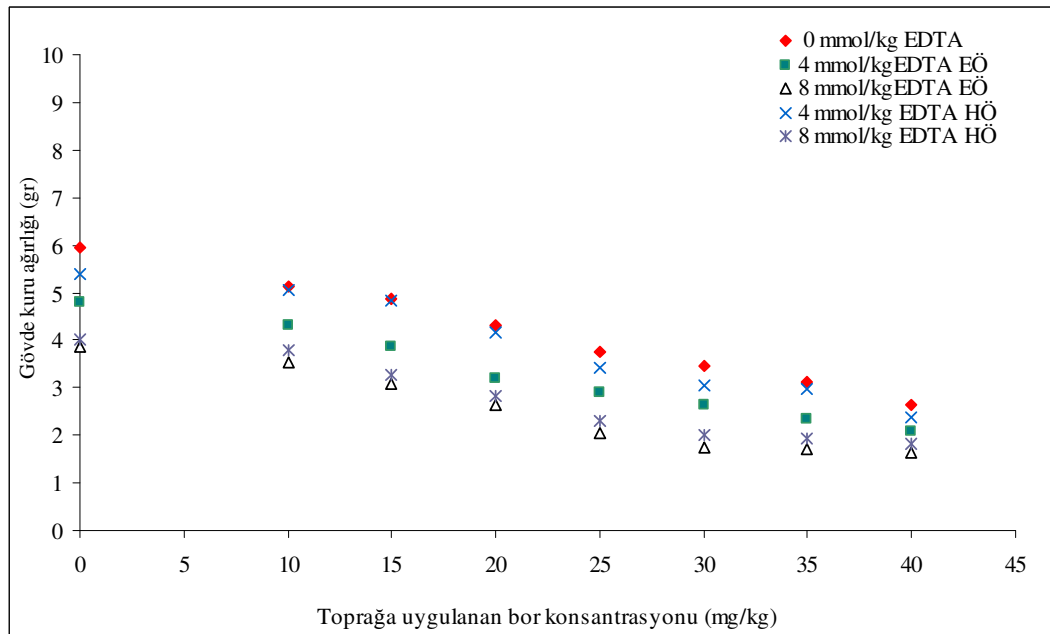


Şekil 4.14. Hasattan önce uygulanan 4 mmol/kg DTPA'nın kontrol bitkisine göre vetiver gelişimi üzerine yaptığı etki

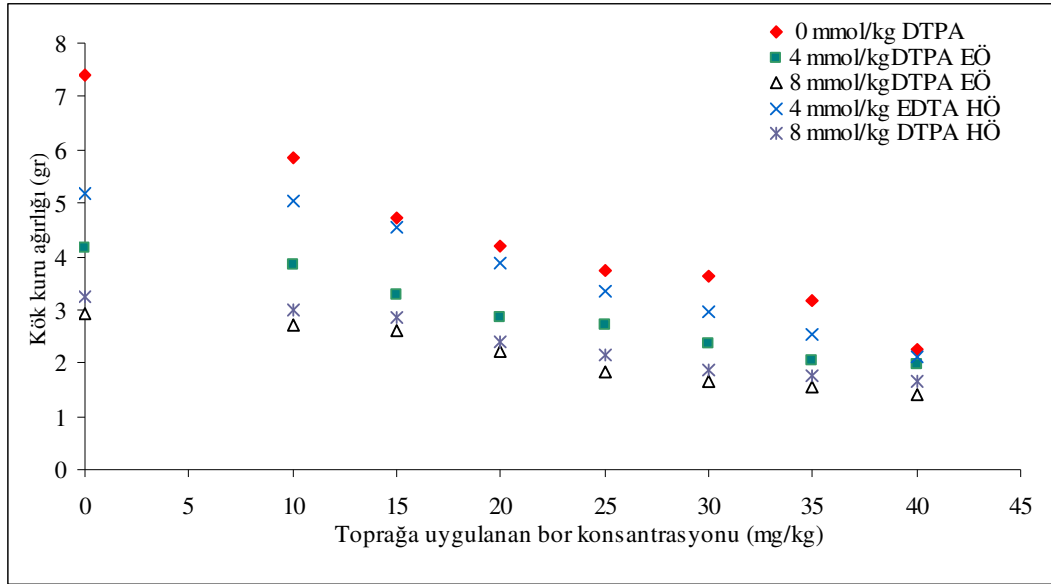
30 mg/kg bor uygulaması yapılmış saksılarda DTPA'nın iki farklı uygulama zamanına göre bitki büyümesinde gösterdiği etki Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de, EDTA ve DTPA'nın iki farklı uygulama zamanı ve üç farklı konsantrasyonunun bitki kök ve gövde kuru ağırlıklarında gösterdiği değişimler Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18'de verilmiştir.



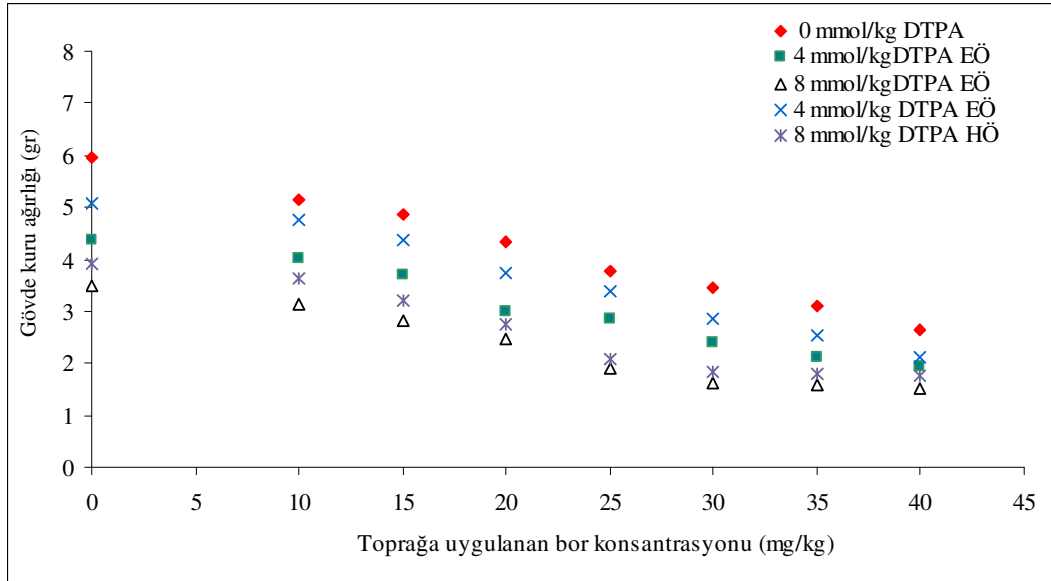
Şekil 4.15. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi



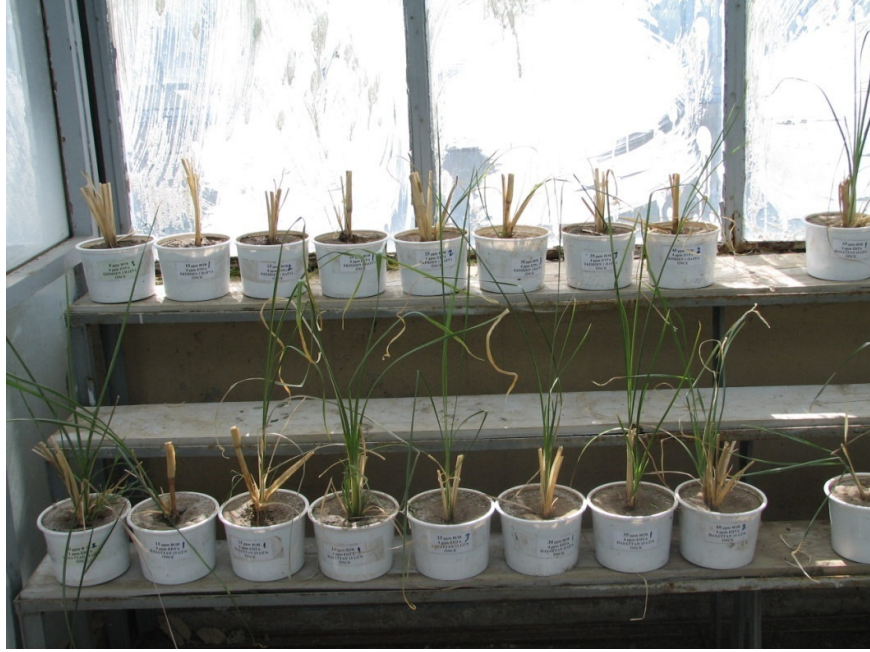
Şekil 4.16. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi



Şekil 4.17. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi



Şekil 4.18. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarının gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi



Şekil 4.19. DTPA'nın 8 mmol/kg konsantrasyonda uygulamasının ekim öncesi ve hasat öncesi vetiver bitkisi gelişimine etkisi

Uygulanan ajanlar ve uygulama zamanlarına göre bitki kuru ağırlığında önemli değişimler gözlenmiştir. Deneme sonunda ajanların ekimden önce uygulanmasının bitki üzerinde toksik etki yaptığı, hatta 8 mmol/kg ajan uygulamasında çoğu bitkinin öldüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4.19). Şekil 4.15-4.18'den de görüleceği üzere DTPA, EDTA'ya göre daha fazla toksik etki yapmış ve kuru madde miktarını EDTA'ya göre daha da fazla düşürmüştür. Kontrol bitkisi kök ve gövde kuru ağırlıklar ile kıyaslandığında EDTA'nın ekim öncesi uygulaması ile elde edilen kök ve gövde kuru ağırlıkları, özellikle 25 mgB/kg ve üzeri dozlarda (elverişli bor 7,7-12,95 mgB/kg) bor kirliliği uygulanmış saksılarda yaklaşık %48 düşüş göstermektedir (Çizelge 4.4, Çizelge 4.5). Bu değer DTPA için ise yaklaşık %52 olmaktadır. Hasat öncesi için ise bitki kuru ağırlığındaki azalma, EDTA için %42, DTPA için %44 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6, Çizelge 4.7). Sonuçlar istatistiksel olarak incelendiğinde ise kök kuru madde ağırlığındaki azalma çok önemli ($p \leq 0,01$), gövde kuru madde ağırlığındaki azalma ise önemli ($p \leq 0,05$) bulunmuştur (EK 2).

Çizelge 4.4. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın kontrol bitkisine göre kök kuru ağırlığında meydana getirdiği azalma (%)

Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Kök Kuru Ağırlığındaki Azalma (%)					
	EDTA					
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
	O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
0	-	33,92	58,38	-	25,41	50,95
10	20,81	44,19	60,00	20,81	30,27	57,84
15	36,35	47,70	63,11	36,35	37,43	59,86
20	43,51	55,27	68,11	43,51	47,16	68,11
25	49,32	60,54	72,84	49,32	51,22	70,68
30	50,95	65,81	75,81	50,95	52,43	72,84
35	57,03	70,14	77,70	57,03	58,38	73,38
40	69,73	71,89	79,32	69,73	70,41	74,46

Çizelge 4.5. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan DTPA'nın kontrol bitkisine göre kök kuru ağırlığında meydana getirdiği azalma (%)

Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Kök Kuru Ağırlığındaki Azalma (%)					
	DTPA					
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
	O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
0	-	43,65	60,41	-	30,00	56,22
10	20,81	48,11	63,24	20,81	32,03	59,32
15	36,35	55,95	64,73	36,35	38,78	61,22
20	43,51	61,35	70,14	43,51	47,70	67,43
25	49,32	63,38	75,27	49,32	54,59	70,95
30	50,95	68,11	77,57	50,95	60,14	74,73
35	57,03	72,57	79,19	57,03	65,54	76,22
40	69,73	73,51	81,08	69,73	71,35	77,70

Çizelge 4.6. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan EDTA'nın kontrol bitkisine göre bitki gövde kuru ağırlığında meydana getirdiği azalma (%)

Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Gövde Kuru Ağırlığındaki Azalma (%)					
	EDTA					
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
	O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
0	-	19,50	35,13	-	9,58	32,27
10	13,78	27,56	40,50	13,78	14,96	35,97
15	18,15	35,13	48,40	18,15	18,82	45,21
20	27,39	46,05	55,46	27,39	30,25	52,44
25	36,81	51,26	65,88	36,81	42,69	61,18
30	42,02	55,80	70,92	42,02	49,08	66,05
35	47,73	60,34	71,43	47,73	50,08	67,56
40	55,63	65,21	72,77	55,63	60,17	69,08

Çizelge 4.7. Ekim öncesi ve hasat öncesi olarak uygulanan DTPA'nın kontrol bitkisine göre bitki gövde kuru ağırlığında meydana getirdiği azalış (%)

Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Gövde Kuru Ağırlığı Azalma (%)					
	DTPA					
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
	O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
0	0,00	26,55	41,18	0,00	14,62	34,29
10	13,78	32,44	47,56	13,78	20,00	38,99
15	18,15	37,65	52,44	18,15	26,72	46,05
20	27,39	49,41	58,49	27,39	36,97	53,61
25	36,81	52,10	67,90	36,81	42,86	65,21
30	42,02	59,50	72,61	42,02	51,76	68,91
35	47,73	64,54	73,61	47,73	57,31	69,92
40	55,63	67,56	74,62	55,63	64,20	70,42



Şekil 4.20. 35 mg B/kg bor uygulanan toprakta ajansız ve ekim öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulaması ile yetiştirilen vetiverlerin gelişimi



Şekil 4.21. 35 mg B/kg bor uygulanan toprakta ajansız ve hasat öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulaması ile yetiştirilen vetiverlerin gelişimi

Bu konuda daha önce değişik bitki türleri ile yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Neugschwandtner *et al.* (2008) mısır ile Pb ve Cd uzaklaştırmada EDTA dozunu 0-9 mmol/kg arasında kullanmış ve bitki materyalinde en fazla verim kaybının 9 mmol/kg'da elde edildiğini belirtmişlerdir. Lou *et al.* (2007) ise vetiver kullandıkları denemede 10 gr/kg EDTA kullandıklarında bitki biokütlesinin ciddi oranda düştüğünü vurgulamışlardır.

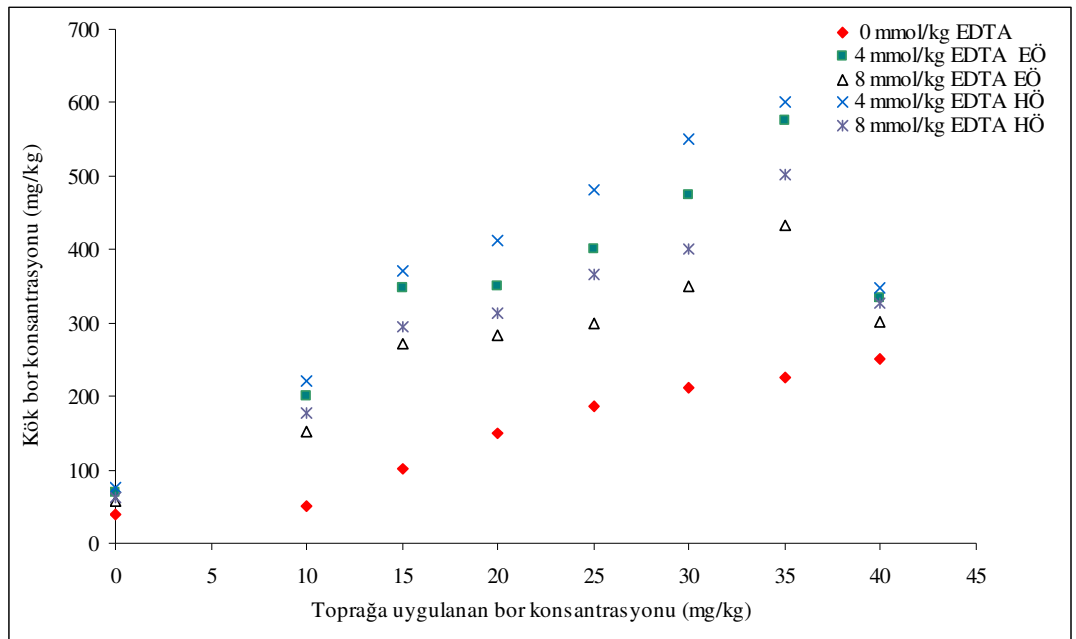
Ancak, ajan konsantrasyonu seçilirken sadece biyokütle üzerinde yaptığı etki değil, hasat süresine kadar bitki tarafından alınan hedef kirletici miktarı da önem kazanmaktadır. Huang and Cunningham (1996), şelat uygulanmadan önce bitki yeterli biyokütle oluşumu sağlamışsa, hasattan önce gerçekleşen bitki ölümlerinin Pb fitoremediasyonun başarısını engellemeyeceğini belirtmişlerdir. Chen *et al.* (2004), Pb gideriminde vetiveri 5 mmol/kg EDTA dozunda kullanmışlar ve bitki biyokütlesinde azalma meydana gelirken, bitki bünyesinde metal birikiminde yüksek sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Deneme sonunda DTPA'nın bitki büyümesi üzerinde EDTA'ya göre daha toksik olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. Boonyapakana *et al.* (2005) EDTA ve DTPA varlığında vetiver ile kurşun uzaklaştırmada 2.5 mM ajan konsantrasyonunda DTPA'nın bitki gelişimini EDTA'ya göre daha fazla azalttığını belirtmişlerdir.

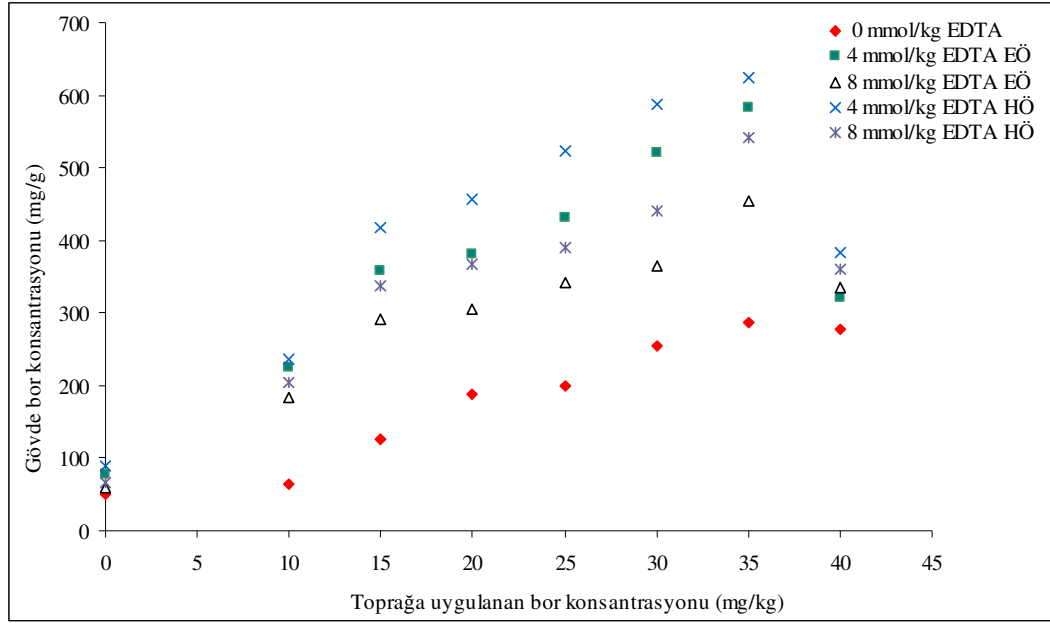
Bu çalışma ile toprakta bulunan bitkiye elverişli borun, toprak çözeltisindeki konsantrasyonunu artırarak bitki tarafından alımını kolaylaştırmak için toprağa uygulanan EDTA ve DTPA ajanlarının, borun topraktaki ve bitkideki konsantrasyonlarını artırırken, söz konusu ajanların belli bir konsantrasyonun üzerinde toprağa uygulanmasının bitki gelişimini olumsuz yönde etkilediğı belirlenmiştir. Bu nedenle toprakta elverişliliğı düşük düzeyde bulunan bor elementinin elverişliliğini artırmak amacıyla kullanılan ajanların cinsi ve konsantrasyon dozu seçimi önem kazanmaktadır.

4.5. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Kök ve Gövde Aksamında Bor Birikimi Üzerine Etkisi

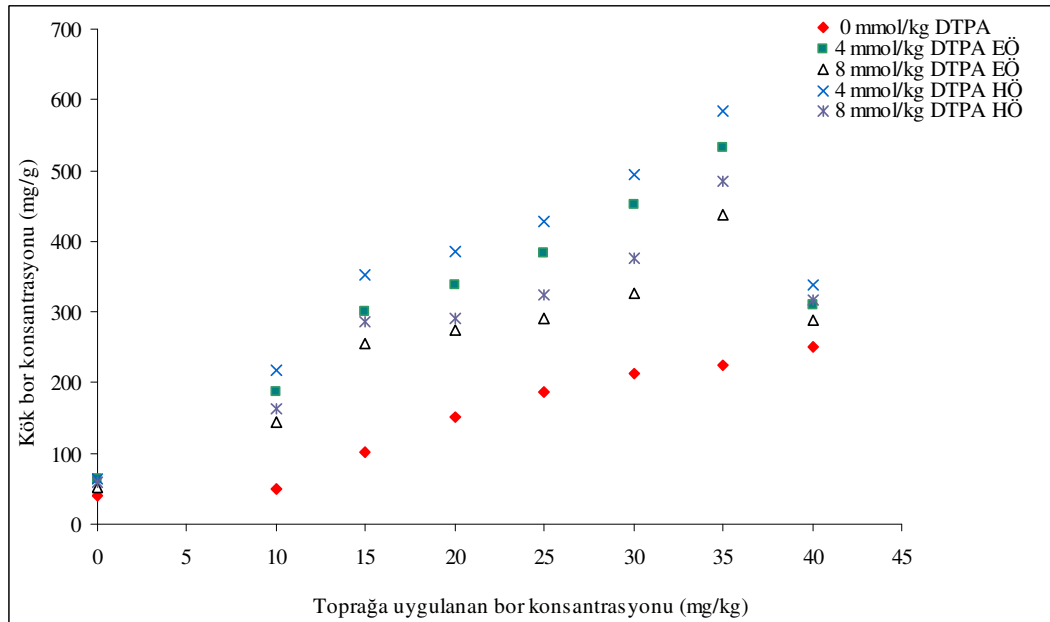
Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin kök ve gövdesinde biriken bor miktarları üzerine etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir uygulamaya ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök ve gövde bor konsantrasyonları belirlenmiştir.



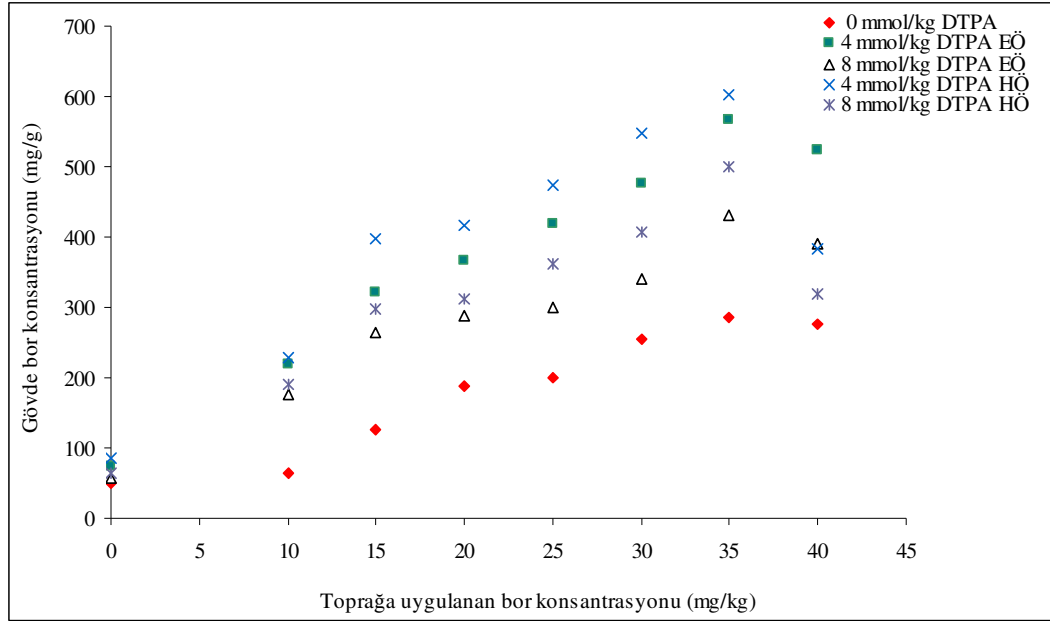
Şekil 4.22. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken bor konsantrasyonu



Şekil 4.23. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken bor konsantrasyonu



Şekil 4.24. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken bor konsantrasyonu



Şekil 4.25. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken bor konsantrasyonu

Şekil 4.22-4.25'de görüleceği gibi EDTA ve DTPA borun bitkiler tarafından alınımını arttırmıştır. EDTA'nın DTPA'ya göre bitki kök ve gövdesindeki B konsantrasyonunu artırmada daha etkin olduğu da görülmektedir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde hem kök hem gövde bor konsantrasyonu değişimi çok önemli ($p \leq 0,01$) bulunmuştur ve sonuçlar EK 3'de verilmiştir. Herhangi bir ajan uygulanmadığında, 40 mg B/kg B uygulamasında, %64 toplam kuru madde azalması gösteren vetiver ile kök ve gövde de toplam 520 mg/kg B birikimi gerçekleştirmiştir. Toprakta oluşturulan tüm bor dozları için vetiver kök ve gövdesinde normal beslenen bitkilere oranla çok yüksek miktarlarda bor birikimi gerçekleşmiştir. Toprakta oluşturulan tüm bor konsantrasyonları için kök ve gövde toplamında 150 mg/kg'ın üzerinde B birikimi elde edilmiştir. Bu değer toprağa 35 mg B/kg B uygulandığında 1200 mg/kg değerine kadar çıkmaktadır. Normal beslenen bitkiler bünyelerinde 25–100 mg/kg arasında bor içerirler ve bitki kuru maddesinde 20 mg/kg bor dozu kritik düzey olarak kabul edilmektedir (Taban ve Erdal, 2000). Aşırı biriktirici bitkiler olarak kabul edilen kavak ile yapılan çalışmalarda, Banuelos (1999), 3 mg/L B içeren suyla sulanan kavakların yapraklarında 543 mg/kg, Robinson (2007), 40 mg/kg B içeren topraklarda

yetişen kavakların yapraklarında 1200 mg/kg birikim olduğunu belirtmişlerdir. Su bitkileri ile bor içeren sularda gerçekleştirilen fitoremediasyonlarda ise, Marin (2007), <2 mg/L bor içeren sularda yetiştirdikleri *Lemma gibba* kuru materyalinde bor konsantrasyonunun 930–1900 m/kg, Qian (1999), 1 mg/L B içeren sularda yetiştirdikleri *Hippuris vulgaris* kuru materyalinde 1132 mg/kg B birikimi olduğunu belirtmişlerdir.

Toprakta oluşturulan bor konsantrasyonu düşük (<15 mg B/kg) olduğu zaman ajan uygulamalarının bitkinin B alımı üzerine etkisi daha da önem kazanmaktadır. 10 mg B/kg bor konsantrasyonunda, EDTA ve DTPA'nın her iki uygulama zamanı ve konsantrasyonu için bitki kök ve gövdesindeki B konsantrasyonu, ajan kullanılmayan topraklara nazaran %75'den, 15 mg B/kg bor dozu için ise %70'den daha fazla artış gösterdiği belirlenmiştir. Birikim miktarı, topraktaki B kirliliği arttıkça azalmasına rağmen uygulanan tüm B konsantrasyonları için ajan kullanılmayan topraklara göre yaklaşık %50'nin üzerinde artış göstermiştir. Bu da her iki ajanında toprakta bitkiye elverişli B konsantrasyonunu arttırdığını göstermektedir.

Çizelge 4.8. Ekim öncesi ve hasat öncesi uygulanan EDTA'nın ajan uygulanmayan bitkilere göre bitki kökünde biriken bor konsantrasyonunda meydana getirdiği artış (%)

Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Bitki kök bor konsantrasyonu artış (%)			
	EDTA			
	Ekim Öncesi		Hasat Öncesi	
	4 ppm	8 ppm	4 ppm	8 ppm
0	69,86	42,38	88,20	53,73
10	299,12	199,11	339,62	250,48
15	245,28	169,98	269,56	193,63
20	133,03	88,37	173,85	108,44
25	114,29	60,63	157,01	95,47
30	122,42	64,54	158,49	88,30
35	155,29	91,96	166,41	122,17
40	33,32	19,97	38,58	29,99

Çizelge 4.9. Ekim öncesi ve hasat öncesi uygulanan DTPA'nın ajan uygulanmayan bitkilere göre bitki kökünde biriken bor konsantrasyonunda meydana getirdiği artış (%)

Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Bitki kök bor konsantrasyonu artış (%)			
	DTPA			
	Ekim Öncesi		Hasat Öncesi	
	4 ppm	8 ppm	4 ppm	8 ppm
0	59,96	32,23	57,47	49,68
10	272,14	183,39	331,72	222,92
15	199,48	153,73	251,38	185,16
20	124,46	82,15	156,26	93,87
25	105,08	55,85	128,69	73,08
30	112,12	52,90	131,82	76,52
35	136,25	93,95	158,52	114,56
40	23,94	14,80	35,24	26,28

Çizelge 4.10. Ekim öncesi ve hasat öncesi uygulanan EDTA'nın ajan uygulanmayan bitkilere göre bitki gövdesinde biriken bor konsantrasyonunda meydana getirdiği artış (%)

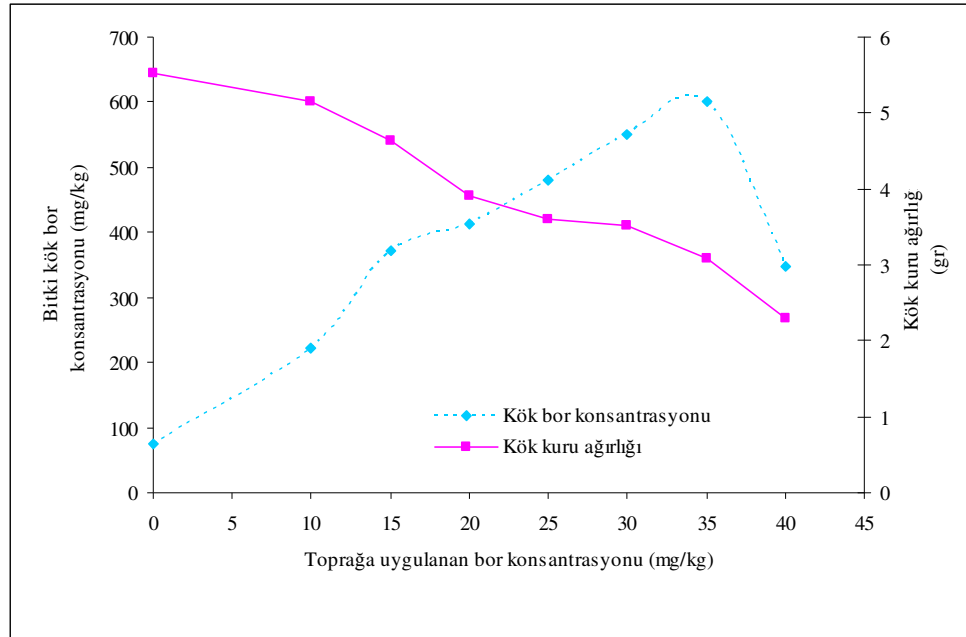
Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Bitki gövde bor konsantrasyonu artış (%)			
	EDTA			
	Ekim Öncesi		Hasat Öncesi	
	4 ppm	8 ppm	4 ppm	8 ppm
0	54,35	19,13	78,10	32,50
10	243,32	180,26	260,57	210,83
15	184,92	132,33	233,54	168,51
20	103,55	63,37	143,33	96,34
25	115,28	70,03	160,94	94,53
30	104,86	43,66	131,30	73,39
35	103,55	58,27	117,86	89,08
40	16,04	17,25	38,44	23,18

Çizelge 4.11. Ekim öncesi ve hasat öncesi uygulanan EDTA'nın ajan uygulanmayan bitkilere göre bitki gövdesinde biriken bor konsantrasyonunda meydana getirdiği artış (%)

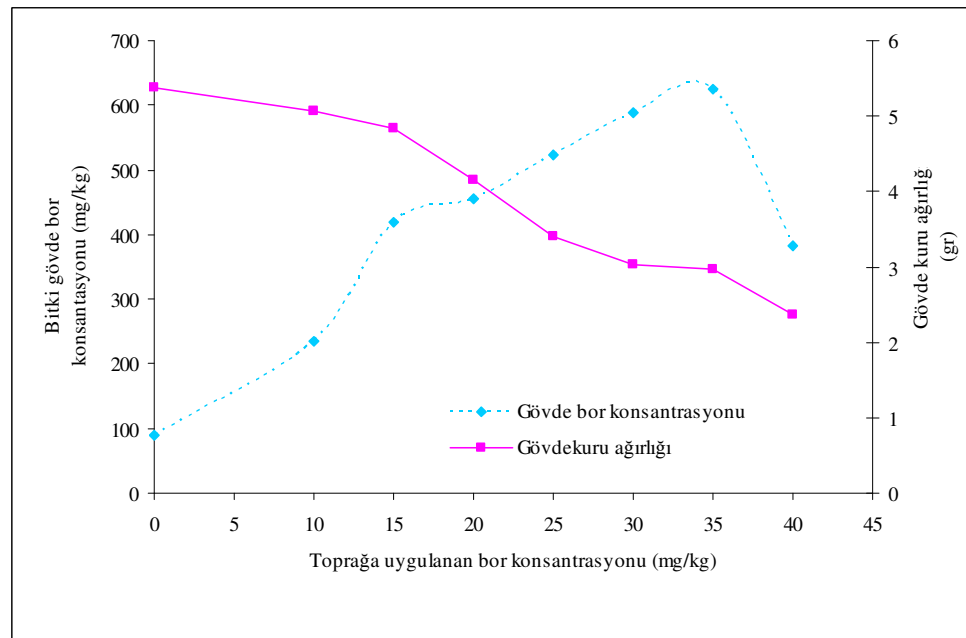
Toprağa Uygulanan Bor konsantrasyonu mg B/kg	Bitki gövde bor konsantrasyonu artış (%)			
	DTPA			
	Ekim Öncesi		Hasat Öncesi	
	4 ppm	8 ppm	4 ppm	8 ppm
0	45,11	14,73	70,72	26,79
10	235,65	170,02	249,15	192,44
15	156,76	110,18	216,23	137,29
20	95,75	53,65	122,77	67,08
25	109,34	49,68	135,72	80,09
30	86,76	34,12	115,15	60,12
35	97,82	50,52	110,06	74,58
40	89,65	29,30	38,39	13,20

Ekim öncesinde uygulanan ajanların bitki büyümesini olumsuz yönde etkilemesine rağmen, bitki bünyesine alınan B miktarının arttırdığı gözlenmektedir. Ekim öncesi döneminde toprağın B elverişliliğini artırarak bitki tarafından alımını kolaylaştırmak amacıyla uygulanan EDTA veya DTPA gibi ajanlar, bitkinin kılcal kök oluşumun başlangıç dönemine denk gelmesi nedeniyle bitkinin söz konusu toprak ortamında adaptasyonunu olumsuz yönde etkilemesi yanında toprak çözeltisi B konsantrasyonunda sağladığı ani artış bitki kök bölgesine ve dolayısıyla bitki gelişimine olumsuz yönde etki edebilmektedir.

Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 hasat öncesi 4 mmol/kg konsantrasyonunda uygulanan EDTA'nın vetiver grass bitkisinin kök ve gövde aksamının kuru ağırlığı ve bu aksamalarda biriken bor konsantrasyonunu göstermektedir. Bitki kuru ağırlığındaki azalma ve bor birikiminde ki artış toprağa uygulanan bor konsantrasyonu ~25 mg/kg olduğunda maksimum değere çıkmaktadır. Vetiver grass bitkisi ile bor ıslahında toprağa uygulanan optimum bor dozu olarak 25 mg/kg bor konsantrasyonu seçilmelidir. Bu sonuçlara göre, vetiver grass bitkisi ile ıslah edilmek istenen alanı bitkiye yararışlı bor içeriği ~8 mg/kg dozundan yüksek olduğunda, arıtım veriminin düşeceği ancak bu konsantrasyonun altında başarı ile uygulanabileceğini görülmektedir.



Şekil 4.26. Hasat öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulamasında toprağa uygulanan bor konsantrasyonuna karşı bitki kök bor konsantrasyonu ve kök kuru madde miktarı değişimi



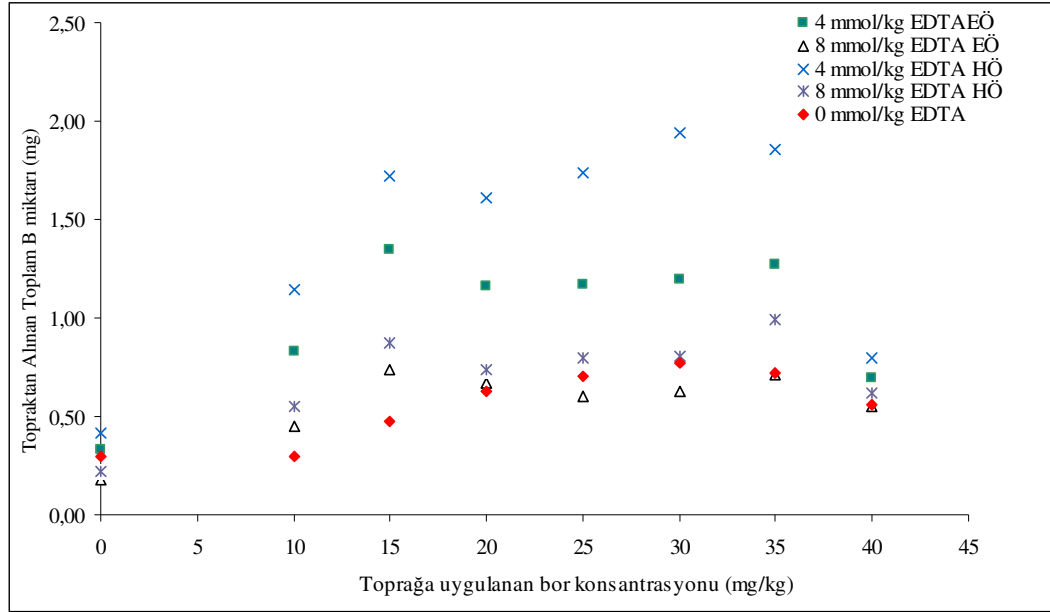
Şekil 4.27. Hasat öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulamasında toprağa uygulanan bor konsantrasyonuna karşı bitki gövde bor konsantrasyonu ve kök kuru madde miktarı değişimi

4.6. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisi ile Toprakdan Alınan Toplam Bor Miktarına Etkisi

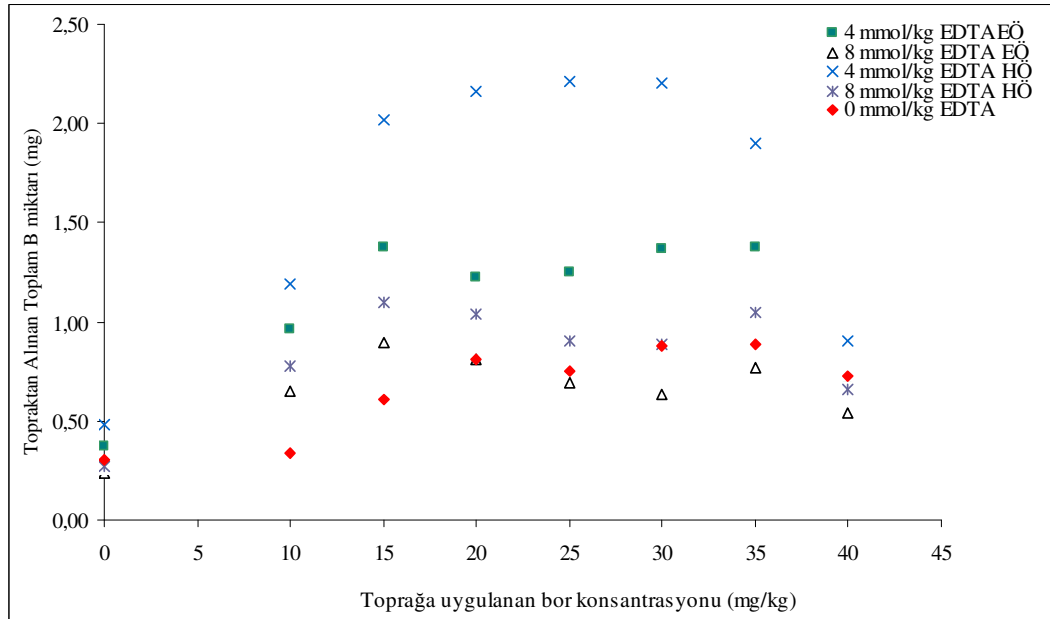
Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin topraktan alınan toplam bor miktarı üzerine etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök ve gövdesinde biriken toplam bor miktarları belirlenmiştir.

Kök ve gövde için topraktan alınan toplam bor, bitki kökünün veya gövdesinin birim ağırlığında biriken bor konsantrasyonunun toplam kök veya gövde ağırlığı ile çarpılmasından elde edilmektedir. Fitoekstraksiyon potansiyeli (FP) olarak da adlandırılan bu değer, tek bir fitoekstraksiyon döngüsünde topraktan alınarak kök veya gövdede biriktirilen kirletici miktarını ifade etmektedir. Fitoremediasyonda amaç kirleticiyi toprak üstü aksamında biriktirmek olduğu için gövde için elde edilen FP değerinin kök için elde edilen FP değerinden daha yüksek olması istenir.

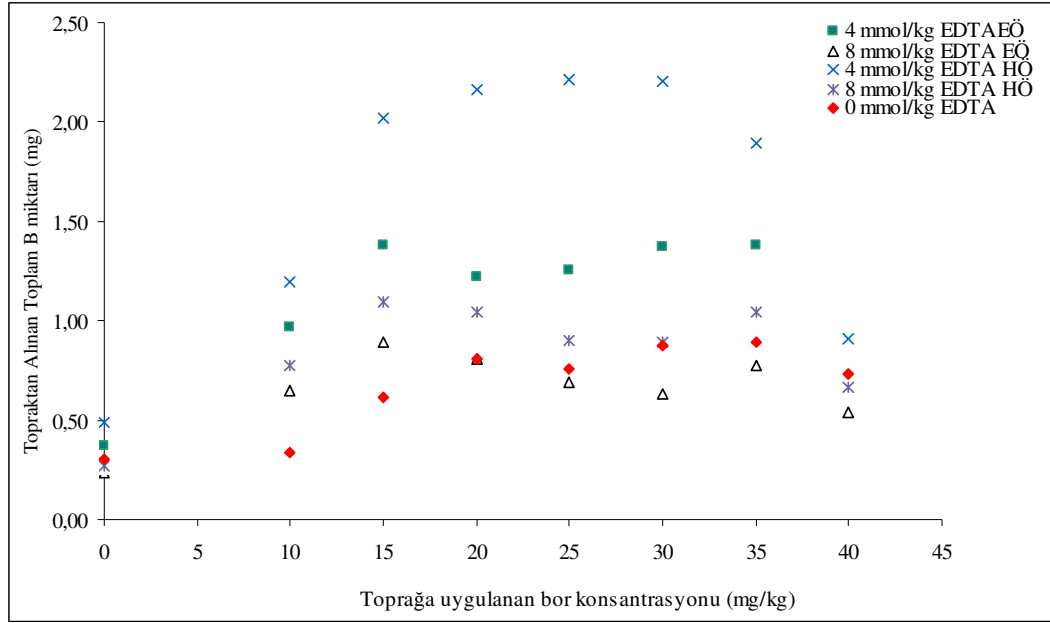
Ekim öncesi ve hasat öncesi 0, 4, 8 mmol/kg dozunda uygulanan EDTA ve DTPA'nın bitki kök ve gövdesi tarafından alınan toplam bor miktarları üzerine etkisi Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de verilmiştir.



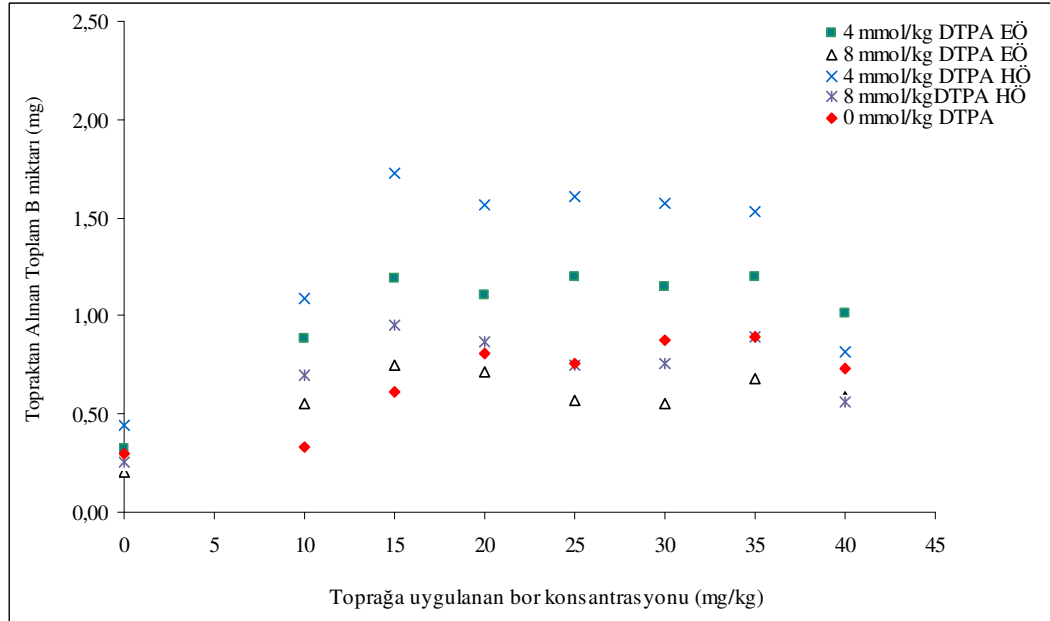
Şekil 4.28. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam bor konsantrasyonu



Şekil 4.29. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam bor konsantrasyonu



Şekil 4.30. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam bor konsantrasyonu



Şekil 4.31. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam bor konsantrasyonu

Şekil 4.29’da görüldüğü gibi, gövdedeki toplam bor birikiminde EDTA’nın hasattan önce 4 mmol/kg konsantrasyonunda uygulanması ile tüm uygulanan bor dozları için en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Özellikle 15 mg B/kg ile 30 mg B/kg arasında bor uygulanan topraklarda fitoekstraksiyon potansiyelinin 2’nin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ekimden önce EDTA uygulamasının bitki biokütlesinde sebep olduğu belirgin azalma fitoekstraksiyon potansiyelinin de önemli ölçüde düşmesine neden olmuştur. 8 mmol/kg ajan uygulaması da benzer şekilde bitki üzerinde toksik etki yaptığı ve bitki biokütlesinde ve bor alımında azalmalara neden olduğu için fitoekstraksiyon potansiyelini olumsuz yönde etkilemiştir.

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de ise DTPA’nın toprağa uygulanan bor konsantrasyonlarına karşı ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamasının kök ve gövde fitoekstraksiyon potansiyeli üzerine etkisi verilmektedir. DTPA için en yüksek fitoekstraksiyon değeri hem kök hem gövde için hasat öncesi 4 mmol/kg uygulamasında 15 mg B/kg bor konsantrasyonunda elde edilmiştir. Bu değerden daha yüksek bor konsantrasyonlarında FP değeri azalma göstermiştir.

Deneme sonunda EDTA’nın DTPA’ya göre vetiver grass bitkisinin fitoremediasyon potansiyelini özellikle yüksek bor uygulamalarında (20- 35 mg B/kg) %25’in üzerinde artırdığı belirlenmiştir. Bu ise vetiver grass ile gerçekleştirilecek fitoremediasyon çalışmalarında EDTA ile DTPA’ya göre düşük ajan konsantrasyonunda (4 mmol/kg) daha verimli sonuçlar elde edileceğini göstermektedir.

Fitoekstraksiyon potansiyeli (FP), tek bir fitoekstraksiyon döngüsünde topraktan alınarak kök veya gövdede biriktirilen kirletici miktarını ifade etmektedir. Fitoremediasyonda amaç kirletici toprak üstü aksamında biriktirip, toprak üstü aksamın hasat edilerek kirleticilerin topraktan uzaklaştırılmasıdır. Yapılan bu çalışma ile elde edilen fitoekstraksiyon potansiyeli değerleri ile toprakta bulunan bor konsantrasyonunu, iyileştirilme yapılan toprağın daha sonra hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak toprakta bulunması istenen bor değerine indirmek için kaç hasat döngüsüne ihtiyaç olacağını ortaya koymada önemli bir kriterdir.

Toprakta elverişli bor miktarının 0,5–3,0 mg B/kg düzeylerinde bulunması kültür bitkileri yetiştiriciliğinde bir sorun teşkil etmediği için toprakta kirlilik kriter değeri olarak kabul edilebilir (Keren ve Bingham). Ekim öncesi ve hasat öncesi, 0, 4, 8 mol/kg EDTA ve DTPA uygulamaları için 1,12-12,95 mg B/kg elverişli bor konsantrasyonu içeren toprakların kültür bitkilerinin yetişmesine imkan sağlayan elverişli bor konsantrasyonu için kritik değer olan 2 mg B/kg değerine indirmek için gerekli olan hasat döngüsü miktarı Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Toprakta buluna elverişli bor konsantrasyonunu 2 mg/kg değerine indirmek için EDTA uygulaması için gerekli olan hasat döngüsü sayısı

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Elverişli Bor Konsantrasyonu mg B/kg	Hasat Döngüsü Sayısı,					
		EDTA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	4,96	1,72	2,56	4,96	1,39	2,15
15	4,992	4,90	2,17	3,35	4,90	1,48	2,73
20	6,269	5,27	3,49	5,26	5,27	1,97	4,10
25	7,70	7,55	4,55	8,23	7,55	2,57	6,32
30	9,42	8,45	5,41	11,74	8,45	3,36	8,33
35	10,52	9,56	6,19	14,05	9,56	4,49	8,15
40	12,95	14,99	16,48	18,53	14,99	12,06	16,53

Çizelge 4.12. Toprakta buluna elverişli bor konsantrasyonunu 2 mg/kg değerine indirmek için DTPA uygulaması için gerekli olan hasat döngüsü sayısı

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Elverişli Bor Konsantrasyonu mg B/kg	Hasat Döngüsü Sayısı					
		DTPA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	4,96	1,89	3,02	4,96	1,53	2,40
15	4,992	4,90	2,51	4,01	4,90	1,73	3,13
20	6,269	5,27	3,87	6,00	5,27	2,73	4,94
25	7,70	7,55	4,76	9,93	7,55	3,54	7,62
30	9,42	8,45	6,48	13,34	8,45	4,72	8,25
35	10,52	9,56	7,12	14,58	9,56	5,57	9,52
40	12,95	14,99	17,81	20,22	14,99	13,43	19,52

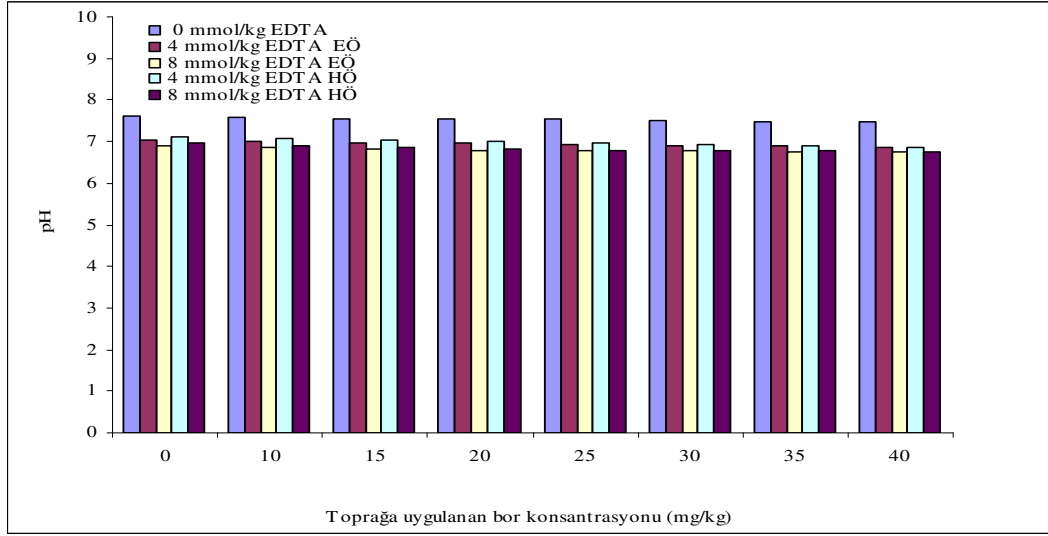
Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi bitkiye elverişli 6,269 mg B/kg bor içeren bir toprağın bor konsantrasyonunu 2 mg B/kg değerine indirebilmek için ajan kullanılmazsa 5,27≈6 hasat döngüsü yani 72 haftalık (1 döngü 12 hafta) bir süreye ihtiyaç duyulurken EDTA hasat öncesinde 4 mmol/kg uygulanmasında 1,97 ≈ 2 hasat döngüsü toplam süre olarak 24 haftaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değer DTPA’nın hasat öncesi 4 mmol/kg konsantrasyonunda uygulanmasında 2,73≈ 3 hasat döngüsü, 36 haftaya çıkmaktadır. Hasat döngüsü sayıları hesaplanırken vetiver grassın her hasatta ilk ürün gibi ürün verdiği kabul edilmektedir. Kullanılan vetiver grass bitkisi çok yıllık bir bitki olduğundan toprak üstü aksamı hasat edildikten sonra aynı kökten tekrar yeni filizler çıktığı için tek yıllık bitkilere göre daha avantajlı olmaktadır. Tek yıllık bir bitki kullanılması durumunda her hasattan sonra yeni bitki dikimi gereklidir.

Chen (2004), 0,33 mg/kg Cd içeren toprağın vetiver grass ile fitoremediasyonun sonucunda, vetiverin toprak üstü aksamında 218 g/ha Cd birikimi elde edildiğini ve bu toprağın Cd sınır değeri olan 0,006 mg Cd/kg değerine indirilebilmesi için 4 hasat dönemine ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir.

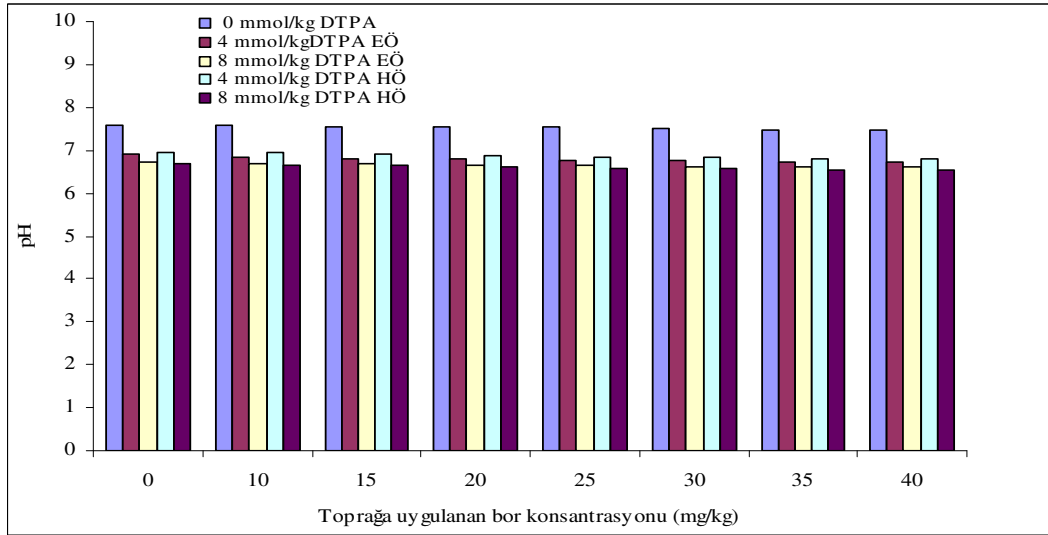
4.7. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Toprak pH’sı Üzerine Etkisi

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının toprak pH’sı üzerine etkisini belirlemek için, büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen rizosfer toprak numunelerinde pH belirlenmiştir.

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de EDTA ve DTPA’nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı rizosfer toprağı pH değerleri verilmiştir. Toprağa farklı konsantrasyonlarda uygulanan bor miktarlarının toprak pH’sında değişikliklere neden olmuşsa da bu değişiklikler istatistiksel olarak önemli olmamıştır ($p>0,05$) (EK 4).



Şekil 4.32. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı rizosfer toprağı pH değerleri



Şekil 4.33. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı rizosfer toprağı pH değerleri

Ekim öncesi ile hasat öncesi ajan uygulamasının toprak pH'sındaki azalma bakımından çok fazla etkilemediği ancak ajan konsantrasyonundaki artışın pH'nın azalma miktarını artırdığı belirlenmiştir. Normal bitki türleri boru toprak çözeltisinden $B(OH)_3$ ve $B(OH)_4^-$ şeklinde alırlar. $B(OH)_4^-$ 'ün kil minarelerine daha fazla tutunmasından ve

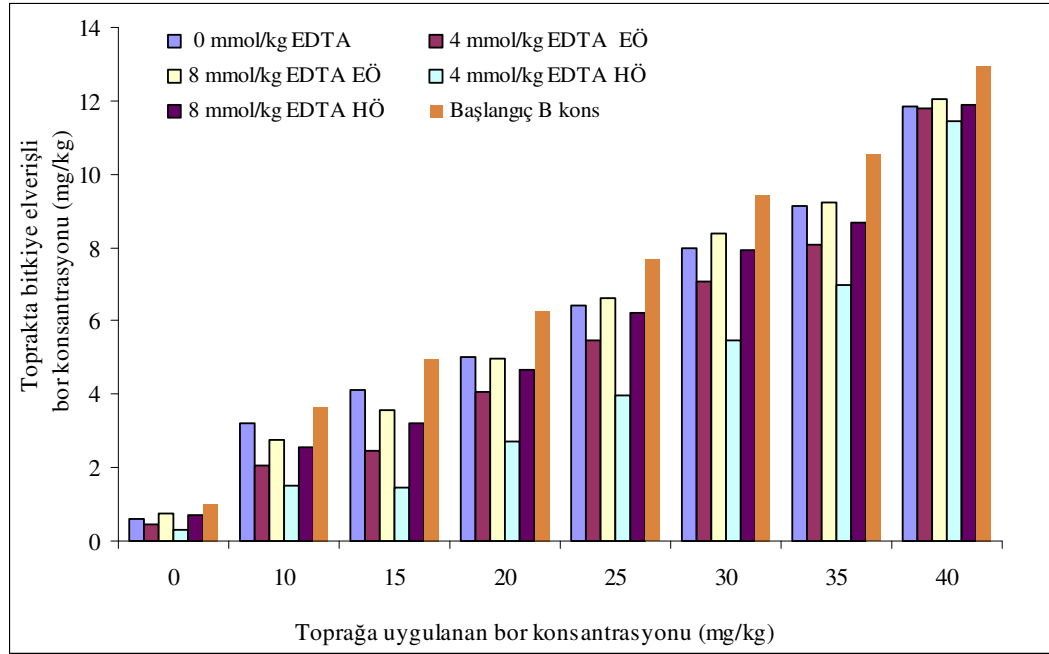
köklerin daha çok $B(OH)_3$ tercihinden dolayı $B(OH)_3$ alınımı daha fazla gerçekleşmektedir (Hu and Brown, 1997). Toprak pH'sı bitki B alımını en fazla etkileyen faktördür. Yüksek pH'larda $B(OH)_4^-$: $B(OH)_3$ oranı arttığı için borun bitkiler tarafından alımı düşmektedir (Robinson, 2007). Ajan uygulaması ile bitkiler tarafından alınan B konsantrasyonunda ki artışın pH'daki azalmadan dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir.

4.8. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Toprak Çözeltisindeki Bor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

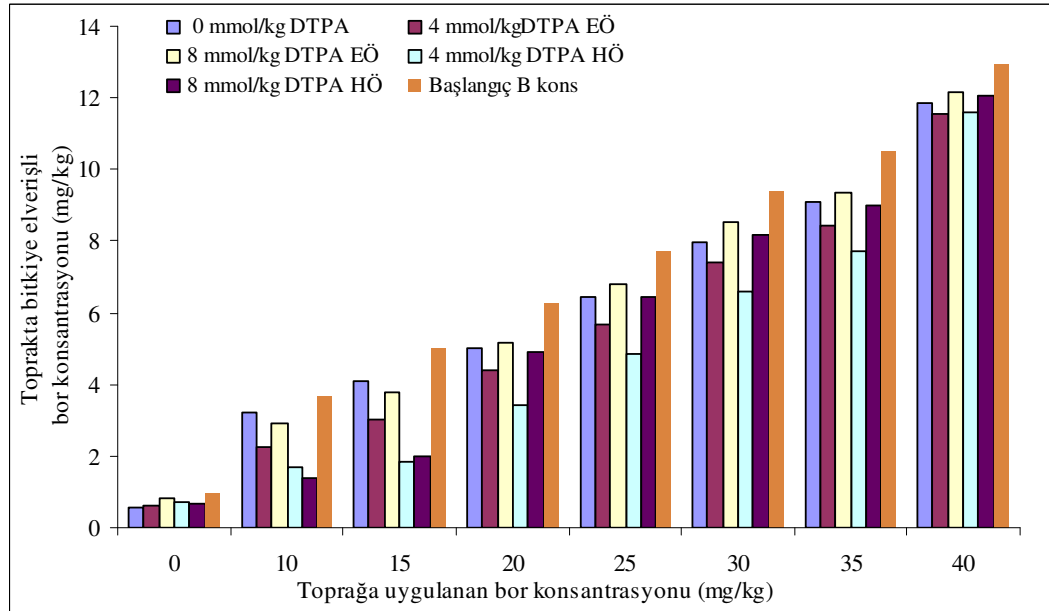
Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının toprak çözeltisindeki bor konsantrasyonu üzerine etkisini belirlemek için, büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen toprak numunelerinde bor miktarları belirlenmiştir.

Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de EDTA ve DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta oluşan bitkiye elverişli bor konsantrasyonları gösterilmiştir. Topraktaki bitkiye elverişli bor konsantrasyonu uygulanan bor dozu, ajan çeşidi ve konsantrasyonuna ve ajanların uygulama zamanlarına göre değişiklikler göstermiştir ve bu değişiklikler istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ($p \leq 0,05$) (EK3).

Başlangıç bor konsantrasyonuna göre 12 haftalık büyüme periyodu sonunda topraklardan elde edilen bitkiye elverişli bor konsantrasyonları hem ajan uygulanan hem de uygulanmayan topraklarda azalma göstermiştir. Topraklarda borun azalması, bitki tarafından toprakta bulunan borun alınması ile açıklanabilir. Toprakta bulunan borun en önemli kaynağının sulama suyu olduğu düşünülürse, saf su ile sulanan topraklarda ilave bor gelmemesi sonucunda toprak çözeltisinde bulunan borun azalması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.34. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta bitkiye elverişli bor konsantrasyonu



Şekil 4.35. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta bitkiye elverişli bor konsantrasyonu

Borun toprak çözeltisindeki konsantrasyonunu artırmak amacıyla uygulanan ajanların deneme sonunda toprak çözeltisinde bitkiye elverişli bor konsantrasyonunda meydana getirdiği değişimler farklılık göstermektedir. Toprak çözeltisinde 12 haftalık denemede EDTA ve DTPA uygulamaları sonunda elde edilen bitkiye elverişli bor konsantrasyonları ile bitki kök ve gövdesi tarafından alınan bor konsantrasyonları benzerlik göstermektedir. Bitki kök ve gövdesi tarafından topraktan alınan bor konsantrasyon değişimi Bölüm 4.5.'de açıklanmıştır. Bitki tarafından alınan bor konsantrasyonu arttıkça toprak çözeltisindeki bor konsantrasyonu düşmektedir. Bitki tarafından alınan bor konsantrasyonu EDTA ve DTPA'nın hasat öncesi uygulamasında maksimum değerlere çıkmıştır. Bunun sonucu olarak da diğer uygulamalara göre toprak çözeltisindeki bor konsantrasyonunun en düşük değerleri EDTA ve DTPA'nın hasat öncesi uygulaması sonunda elde edilmiştir. Yine Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de görüldüğü üzere EDTA uygulaması sonunda DTPA'ya göre toprak çözeltisinde daha düşük bor konsantrasyonu bulunmaktadır. Bunu nedeni de bitkiler tarafından en yüksek bor alımının EDTA'nın hasat öncesi uygulamasında elde edilmiş olmasıdır.

Uygulama sonunda toprak çözeltisinde elde edilen düşük bor konsantrasyonları, uygulanan EDTA ve DTPA'nın toprak içinde bulunan kil, organik madde ve Fe ve Al hidroksite adsorbe olan boru çözerek bitkiye elverişli B konsantrasyonunu artırmada etkili olmadığını göstermektedir. Bor, metallerle kıyaslandığında toprak içerisinde daha hareketli bir yapıya sahiptir. Uygulanan ajan ile toprak çözeltisine giren borun yıkanma yoluyla da topraktan uzaklaşmış olma ihtimali vardır. Bu da topraktan yıkanan borun yeraltı suyuna karışarak ikinci bir kirliliğe sebep olması anlamına gelebilir. Bitki bünyesinde elde edilen bor konsantrasyonu artışının sadece pH'daki düşmeye bağlı olarak $B(OH)_4^-$: $B(OH)_3$ oranındaki azalma ile gerçekleştiği düşünülmektedir. Ayrıca toprak içerisinde bulunan Ca miktarına bağlı olarak da borun elverişliliği değişebilmektedir. Uygulanan ajanların toprak Ca ile bağlanması sonucunda toprak içerisinde bulunan kalsiyum borat şeklinde çökmüş bileşikten Ca'ı bağlayarak boratın toprak çözeltisi içerisinde serbest kalmasını sağlayarak da bitki tarafından alınan bor miktarını artırdığı düşünülebilir.

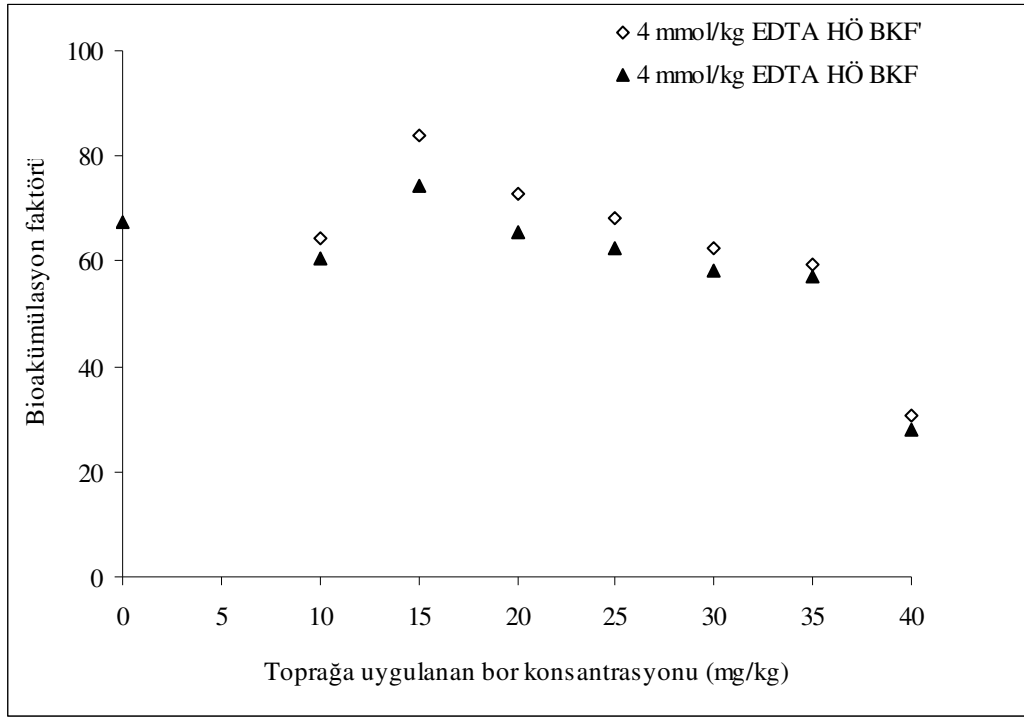
4.9. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Bioakümülyasyon, Translokasyon Faktörü ve Remediasyon Verimi Üzerine Etkisi

4.9.1. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Bioakümülyasyon Faktörü Üzerine Etkisi

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin bioakümülyasyon faktörü etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök ve gövde bor konsantrasyonları belirlenmiştir.

Bioakümülyasyon faktörü (BKF) , bitkilerin özellikle aşırı biriktirici bitkilerin iz ya da metalleri uzaklaştırma başarısının bir göstergesi olarak ifade edilmektedir (Marin, 2007). Aşırı biriktirici bitkiler BKF değeri birden büyük bitkiler olarak tarif edilmektedir. BKF bitki kökünde biriken kirletici konsantrasyonunun, toprak çözeltisi içerisinde bulunan kirletici konsantrasyonuna oranıdır. BKF' ise bitki gövdesinde biriken kirletici konsantrasyonunun, toprak çözeltisi içerisinde bulunan kirletici konsantrasyonuna oranıdır.

Yapılan çalışmada toplam bor gideriminde uygulanan tüm bor dozları için en yüksek verim EDTA'nın hasattan önce 4 mmol/kg konsantrasyonunda elde edilmiştir. Hasat öncesi 4 mmol/kg konsantrasyonunda uygulanan EDTA'nın farklı bor konsantrasyonlarında elde edilen BKF' ve BKF değeri Şekil 4.36'da verilmiştir. Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da ise EDTA ve DTPA'nın iki farklı konsantrasyon ve uygulama zamanına göre elde edilen BKF' ve BKF değeri verilmiştir.



Şekil 4.36. Hasat öncesi 4 mmol/kg konsantrasyonunda uygulanana EDTA'nın farklı bor konsantrasyonlarında elde edilen BKF' ve BKF değerleri

Kök ve gövde için elde edilen BKF ve BKF' değerleri için en yüksek değer 15 mg B/kg bor uygulamasında elde edilmiştir. Bunun temel nedeni, 15 mg B/kg bor uygulamasından sonra bitki kuru materyalinde hem kök hem de gövde için önemli azalmaların meydana gelmesidir. Uygulanan bor konsantrasyonu arttıkça bitkide bor birikimi artmasına rağmen kuru madde de meydana gelen azalmalar toplam alınan bor miktarını da azaltmaktadır.

Çizelge 4. 13. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen BKF' değerleri

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Toprakta elverişli bor konsantrasyonu mg B/kg	BKF'					
		EDTA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		Oppm	4 ppm	8 ppm	Oppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	17,84	61,25	50,00	17,84	64,33	55,46
15	4,992	25,11	71,55	58,34	25,11	83,76	67,43
20	6,269	29,89	60,83	48,82	29,89	72,7	58,68
25	7,70	26,07	56,12	44,32	26,07	68,02	50,71
30	9,42	27,01	55,33	38,80	27,01	62,47	46,83
35	10,52	27,24	55,44	43,1	27,24	59,33	51,50
40	12,95	22,13	25,68	26,74	22,13	30,64	28,81

Çizelge 4.14. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen BKF değerleri

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Toprakta elverişli bor konsantrasyonu mg B/kg	BKF					
		EDTA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	13,79	54,83	41,25	13,79	60,38	48,34
15	4,992	20,14	69,55	54,39	20,14	74,45	59,15
20	6,269	23,98	55,89	45,18	23,98	65,68	49,99
25	7,70	24,27	52,01	38,98	24,27	62,37	47,47
30	9,42	22,60	50,26	37,18	22,60	58,41	42,55
35	10,52	21,45	54,77	41,18	21,45	57,15	47,66
40	12,95	20,06	26,74	24,06	20,06	27,79	26,07

Çizelge 4.15. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen BKF' değerleri

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Toprakta elverişli bor konsantrasyonu mg B/kg	BKF'					
		DTPA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	17,84	59,88	48,17	17,84	62,29	52,17
15	4,992	25,11	64,48	52,78	25,11	79,41	59,59
20	6,269	29,89	58,50	45,92	29,89	66,58	49,93
25	7,70	26,07	54,57	39,02	26,07	61,45	46,95
30	9,42	27,01	50,44	36,22	27,01	58,11	43,24
35	10,52	27,24	53,88	40,99	27,24	57,21	47,55
40	12,95	22,13	41,97	31,30	22,13	30,63	25,50

Çizelge 4.16. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen BKF değerleri

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Toprakta elverişli bor konsantrasyonu mg B/kg	BKF					
		DTPA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
0	1,123	35,88	57,38	47,44	35,88	56,49	53,70
10	3,663	13,79	51,13	39,09	13,79	59,30	44,54
15	4,992	20,14	60,33	51,11	20,14	70,78	57,44
20	6,269	23,98	53,83	43,69	23,98	61,46	46,50
25	7,70	24,27	49,77	37,82	24,27	55,50	42,00
30	9,42	22,60	47,93	34,55	22,60	52,39	39,89
35	10,52	21,45	50,68	41,61	21,45	55,46	46,03
40	12,95	20,06	24,86	23,02	20,06	27,12	25,33

Chen (2004), vetiver ile yaptığı metal fitoremediasyonunda BKF değerlerini Cd, Cu, Pb ve Zn için sırasıyla 5, 0,16, 0,001, 0,12 olarak hesaplamıştır. Marin (2007), *Lemma gibba* ile sudan bor uzaklaştırmada 0,3 mg B/ L de BKF değerini 1100, 1 mg B/L konsantrasyonu için 2400, 2,5 mg B/L için 500, >5 mg B/L için 300 olarak belirlemiştir. Sudaki bor konsantrasyonunun artmasıyla bioakümüasyon faktörü değerinin düşmesi de bor toksisitesi sonucu bitki biokütlesinde görülen azalma ile açıklanmıştır.

4.9.2. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Translokasyon Faktörü Üzerine Etkisi

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin translokasyon faktörü etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök ve gövde bor konsantrasyonları belirlenmiştir.

Translokasyon faktörü, kullanılan bitkinin fitoremediasyon verimini ifade etmekte kullanılan diğer bir parametredir. Translokasyon faktörü, gövde kirletici konsantrasyonunun kök konsantrasyonuna oranı olarak ifade edilmektedir. Hesaplanan translokasyon faktörü, bitkinin kökleri vasıtasıyla aldığı kirleticiyi gövdesine transfer etme başarısını gösterir. Fitoremediasyonda amaç kirleticiyi toprak üstü aksamda biriktirerek, söz konusu aksamın hasat edilmesiyle kirleticinin topraktan uzaklaştırılmasıdır olduğundan, translokasyon sabitinin 1'in üzerinde olması istenir. Aşırı biriktirici bitkiler translokasyon sabiti 1'in üzerinde olan bitkiler olarak tanımlanmaktadırlar.

Çizelge 4.17. EDTA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen translokasyon faktörü değerleri

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Toprakta elverişli bor konsantrasyonu mg B/kg	Translokasyon Faktörü (TF)					
		EDTA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	1,294	1,117	1,212	1,294	1,065	1,147
15	4,992	1,247	1,029	1,073	1,247	1,125	1,140
20	6,269	1,246	1,088	1,081	1,246	1,107	1,174
25	7,70	1,074	1,079	1,137	1,074	1,091	1,069
30	9,42	1,195	1,101	1,043	1,195	1,069	1,100
35	10,52	1,270	1,012	1,047	1,270	1,038	1,080
40	12,95	1,103	0,960	1,112	1,103	1,102	1,105

Çizelge 4.18. DTPA'nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen translokasyon faktörü değerleri

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Toprakta elverişli bor konsantrasyonu mg B/kg	Translokasyon Faktörü (TF)					
		DTPA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		O ppm	4 ppm	8 ppm	O ppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	1,294	1,171	1,233	1,294	1,050	1,171
15	4,992	1,247	1,069	1,033	1,247	1,122	1,037
20	6,269	1,246	1,087	1,051	1,246	1,083	1,074
25	7,70	1,074	1,096	1,032	1,074	1,107	1,118
30	9,42	1,195	1,052	1,048	1,195	1,109	1,084
35	10,52	1,270	1,063	0,985	1,270	1,032	1,033
40	12,95	1,103	1,689	1,360	1,103	1,129	1,007

Vetiver grass bitkisi için hemen hemen uygulanan tüm bor konsantrasyonları, ajan çeşidi ve konsantrasyonu için translokasyon faktörünün 1'in üzerinde çıktığı görülmektedir (Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18). Bu da vetiver grassın bor için bir aşırı biriktirici bitki olduğunu göstermektedir.

4.9.3. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Remediasyon Verimi Üzerine Etkisi

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin remediasyon verimi etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök ve gövde bor konsantrasyonları ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

Remediasyon verimi, uzaklaştırılmak istenen kirleticinin, bitkinin toprak üstü aksamı tarafından bir hasat döneminde alınan toplam miktarının remediasyon yapılan toprağın kirlilik konsantrasyonu ve toprak miktarına oranının yüzdesel ifadesidir (Neugschwandtner, 2008).

Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de EDTA ve DTPA’nın ekim öncesi hasat öncesi uygulamaları sonucu elde edilen remediasyon verimleri verilmektedir.

Çizelge 4.19. EDTA’nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen remediasyon verimi değerleri

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Toprakta elverişli bor konsantrasyonu mg B/kg	Remediasyon Verimi (%100) (RV)					
		EDTA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		0ppm	4 ppm	8 ppm	0ppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	4,576	13,199	8,850	4,576	16,275	10,564
15	4,992	6,115	13,809	8,956	6,115	20,228	10,991
20	6,269	6,455	9,764	6,469	6,455	15,089	8,303
25	7,70	4,901	8,137	4,499	4,901	11,597	5,857
30	9,42	4,659	7,275	3,356	4,659	9,464	4,730
35	10,52	4,235	6,541	3,164	4,235	8,811	4,269
40	12,95	2,820	2,566	2,091	2,820	3,504	2,558

Çizelge 4.20. DTPA’nın ekim öncesi ve hasat öncesi uygulamalarında elde edilen remediasyon verimi değerleri

Toprağa uygulanan Bor Konsantrasyonu mg/kg	Toprakta elverişli bor konsantrasyonu mg B/kg	Remediasyon Verimi (%100) (RV)					
		DTPA					
		Ekim Öncesi			Hasat Öncesi		
		0ppm	4 ppm	8 ppm	0ppm	4 ppm	8 ppm
10	3,663	4,576	12,036	7,515	4,576	14,825	9,469
15	4,992	6,115	11,961	7,468	6,115	17,312	9,564
20	6,269	6,455	8,804	5,671	6,455	12,483	6,891
25	7,70	4,901	7,776	3,726	4,901	10,446	4,859
30	9,42	4,659	6,078	2,952	4,659	8,338	4,000
35	10,52	4,235	5,684	2,218	4,235	7,265	3,255
40	12,95	2,820	3,909	2,281	2,820	3,148	2,166

Remediasyon faktörü bitki kuru ağırlığı, toprak üstü aksamın bor konsantrasyonu ve toprak çözeltisi içerisinde bulunan bor konsantrasyonunun bir ifadesidir ve denemede elde edilen sonuçlara göre kuru ağırlık ile bitkinin bor konsantrasyonu arasında negatif, topraktaki bor konsantrasyonu ile bitkideki bor konsantrasyonu arasında ise pozitif bir etkileşim oluşu belirlenmiştir. Bitki toprak üstü materyalinde biriken toplam bor miktarının topraktaki toplam bor miktarına oranı olarak da belirtilebilir.

Vetiver grass ile gerçekleştirilen deneme sonunda elde edilen remediasyon sabitleri, 2 kg toprak ihtiva eden saksılar için hesaplanmıştır. 12 haftalık büyüme periyodu sonunda saksıdan çıkarılan vetiver grassların köklerinin tüm saksıyı sardığı görülmüştür.



şekil 4.37. 20 mg B/kg B, 0 mmol/kg ajan uygulanan toprakta yetiştirilen vetiver grass bitkisinin hasatta saksıdan çıkarıldığında kök bölgesinin görünüşü

Fitoremediasyon yöntemi arazi uygulamalarında saksı uygulamalarında elde edilen remediasyon veriminden daha düşük verimler elde edilmektedir. Bunun nedeni olarak da saksıda uygulanan remediasyonda bitki köklerinin saksının her yerini sarıp (şekil 4.3) saksı hacmindeki toprak kütlesini artırırken, arazide bitkinin karşı karşıya kaldığı toprak hacminin artması sonucu remediasyon veriminin düşmesi olduğu düşünülebilir.

Neugschwandtner, (2008), 544 mg/kg Pb ve 4,99 mg/kg Cd içeren topraklarda, mısır ile gerçekleştirdiği çalışmada fitoremediasyon verimlerini arazi uygulaması ve saksı uygulaması için hesaplamışlardır. Pb için verim; saksı çalışması için 0,30, arazide ise ise 0,0049; Cd için sırasıyla 0,51 ve 0,0094 olarak hesaplanmıştır.

4.10. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Toprakta Bulunan Besin Elementleri Alımı Üzerine Etkisi

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin kök ve gövdesinde biriken besin elementleri (Cu, Fe, Mn, Zn) miktarları üzerine etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök, gövde ve toprak besin elementi konsantrasyonları belirlenmiştir.

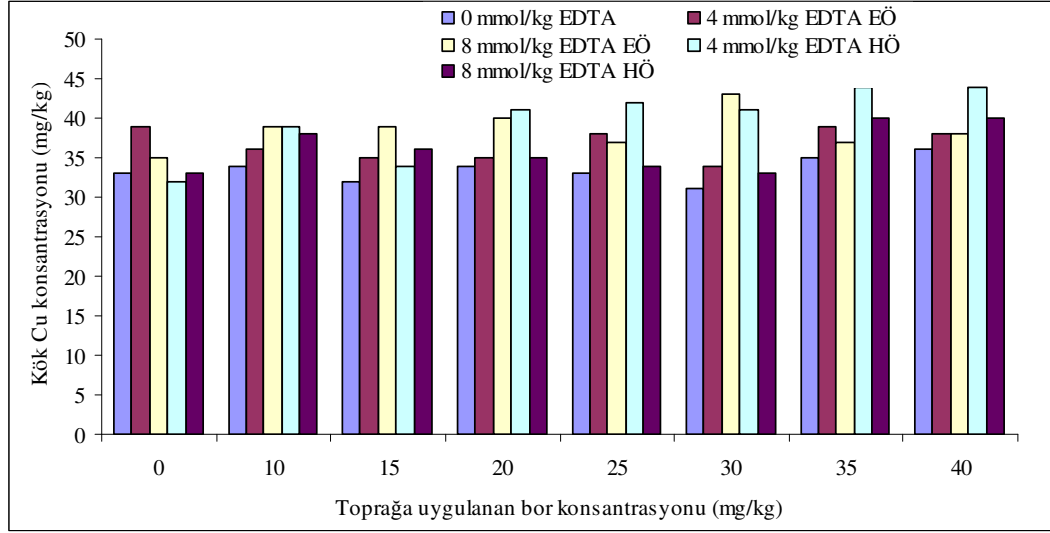
4.10.1. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Toprakta Bulunan Bakır Alımı Üzerine Etkisi

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin kök ve gövdesinde biriken Cu miktarına etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök, gövde ve toprak besin elementi konsantrasyonları belirlenmiştir.

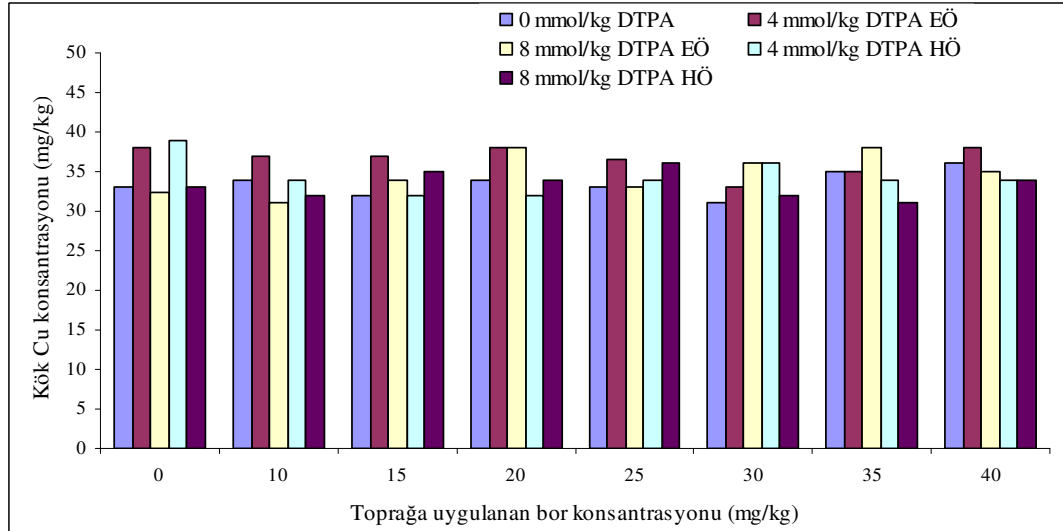
Şekil 4.39. ve Şekil 4. 40'da EDTA ve DTPA uygulaması sonucu bitki kökündeki Cu konsantrasyonu değişimi, Şekil 4. 41 ve Şekil 4.42'de EDTA ve DTPA uygulaması sonucu bitki gövdesindeki Cu konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.43 ve Şekil 4. 44'de ise EDTA ve DTPA uygulaması sonucu toprak Cu konsantrasyonu değişimi verilmiştir.

Vetiver grass bitkisinin yetiştirildiği toprak ortamında bitkinin ihtiyaç duyduğu Cu konsantrasyonu yeterli seviyede bulunduğu için, besin elementlerinin elverişliliğini artıran EDTA ve DTPA uygulamalarının etkisi kontrole göre farklılıklar göstermiştir. Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da görüldüğü gibi kök bölgesinde toplanan Cu konsantrasyonları uygulanan tüm bor dozlarında kontrol bitkisine göre istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0,01$) artışlara neden olmuştur (EK 5). Kontrol bitkisine göre en yüksek kök Cu konsantrasyonu artışı hasat öncesi 4 mmol/kg EDTA uygulamasında %32 olarak elde edilmiştir. 8 mmol/kg DTPA konsantrasyonunun hem ekim öncesi hem

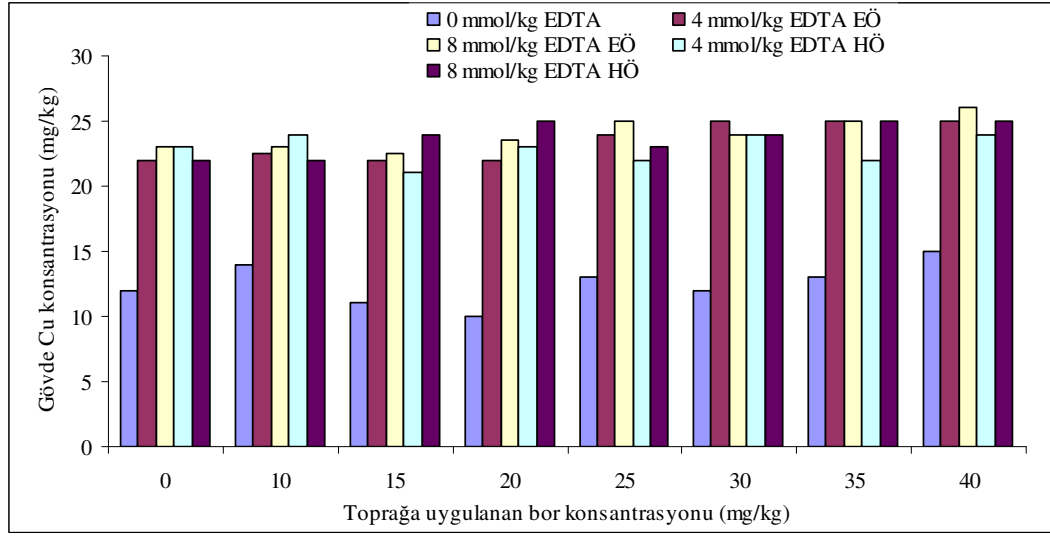
hasat öncesi uygulamasında ise kontrol bitkisine göre kök Cu konsantrasyonunda artış gözlenmemiştir.



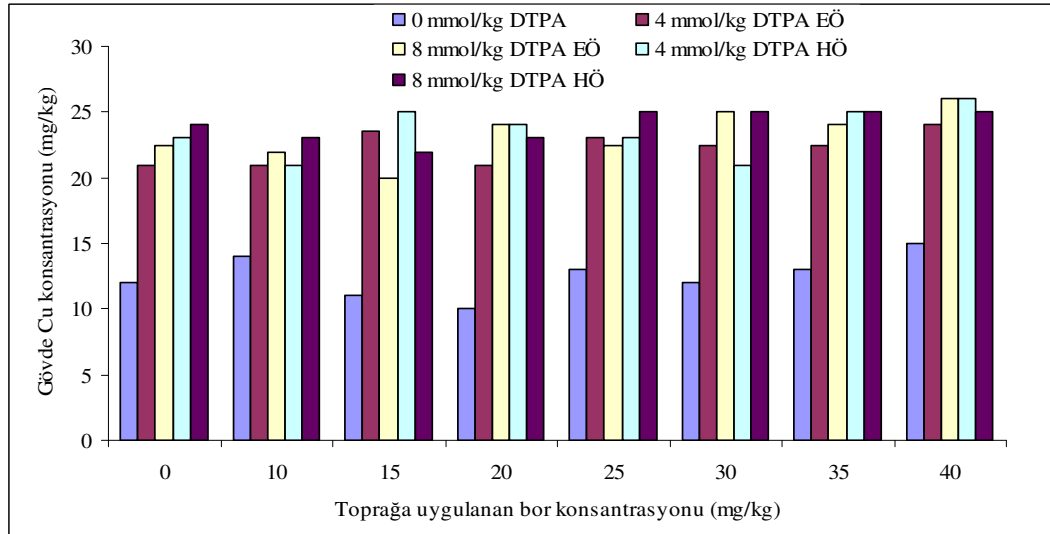
Şekil 4.39. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Cu konsantrasyonu



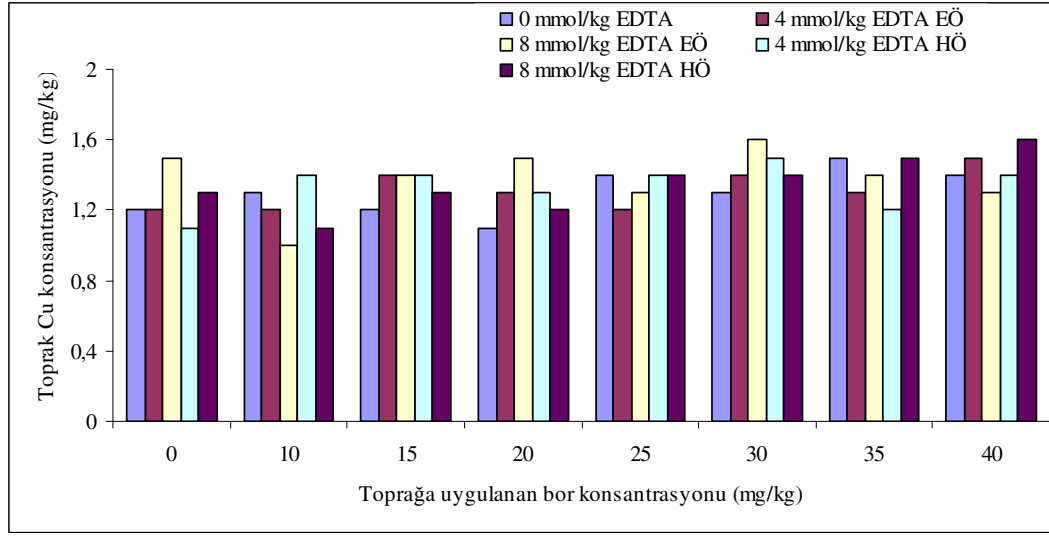
Şekil 4.40. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Cu konsantrasyonu



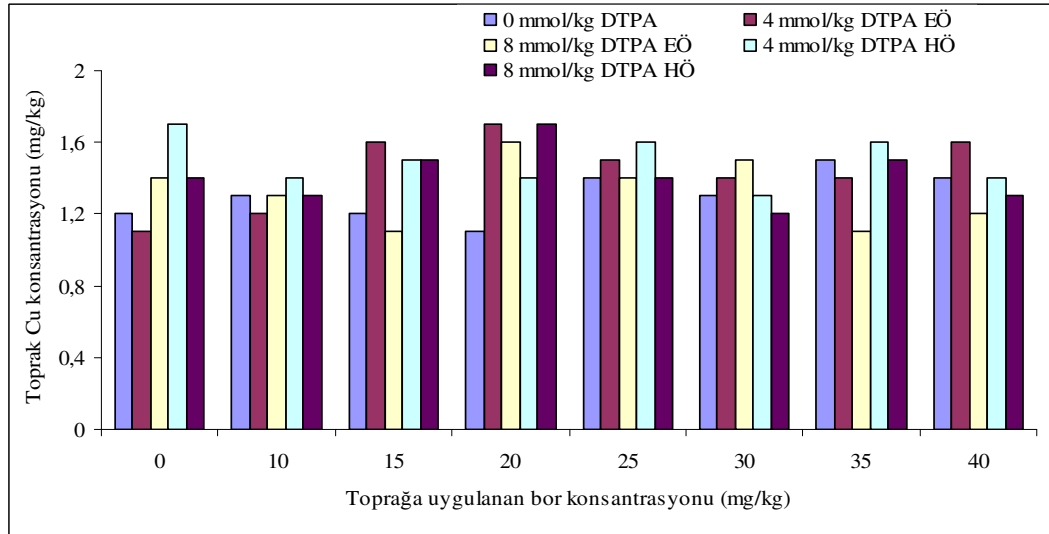
Şekil 4.41. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Cu konsantrasyonu



Şekil 4.42. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Cu konsantrasyonu



Şekil 4.43. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Cu konsantrasyonu



Şekil 4.44. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Cu konsantrasyonu

Toprağa uygulanan ajanlar kök bölgesinde Cu birikimini en fazla %32 artırırken, gövdedeki Cu konsantrasyonunda kontrol bitkisine göre uygulanan tüm B konsantrasyonları için %80'in üzerinde artış gözlenmiştir. Gövde Cu

konsantrasyonunda en yüksek artış ekim öncesi 8 mmol/kg EDTA uygulaması sonucu %94 olarak elde edilmiştir.

Uygulanan her iki ajanda kontrol bitkisine göre bakırın kökten gövdeye transferinde etkili olmasına rağmen kök Cu konsantrasyonunun gövde konsantrasyonundan fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak da Cu için vetiver grass bitkisinin translokasyon sabiti tüm ajan uygulamaları için 1'den küçük hesaplanmıştır.

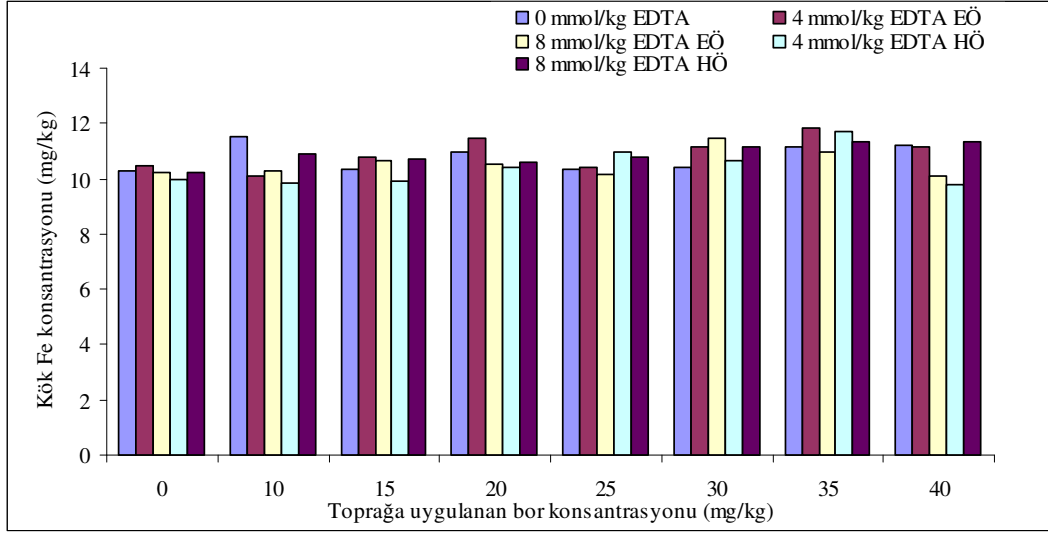
Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'de deneme sonunda saksı topraklarında ajan uygulamasına bağlı olarak toprak çözeltisindeki Cu konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli artışlar ($p \leq 0,01$) olduğu görülmektedir (EK 5). Toprak çözeltisinde Cu konsantrasyonu artışı en fazla 8 mmol/kg DTPA uygulamasında %54 olarak elde edilmiştir. Tüm bor dozları ve ajan uygulamaları için ortalama artış miktarı %10 olarak belirlenmiştir. Kök bölgesinde Cu konsantrasyonu EDTA uygulamasında DTPA uygulamasına göre daha yüksek elde edilmiştir. Bunu aksine toprak çözeltisinde DTPA'nın EDTA'ya göre bitkiye elverişli Cu konsantrasyonu artırmada daha etkin olduğu görülmektedir. DTPA ilavesine bağlı olarak bitkinin kuru madde içeriğindeki azalış DTPA'nın bitki üzerinde EDTA'ya göre daha toksik olmasından kaynaklanmaktadır ve bunun sonucu olarak da bitkinin besin elementi alışı azalmaktadır.

4.10.2. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Toprakta Bulunan Demir Alımı Üzerine Etkisi

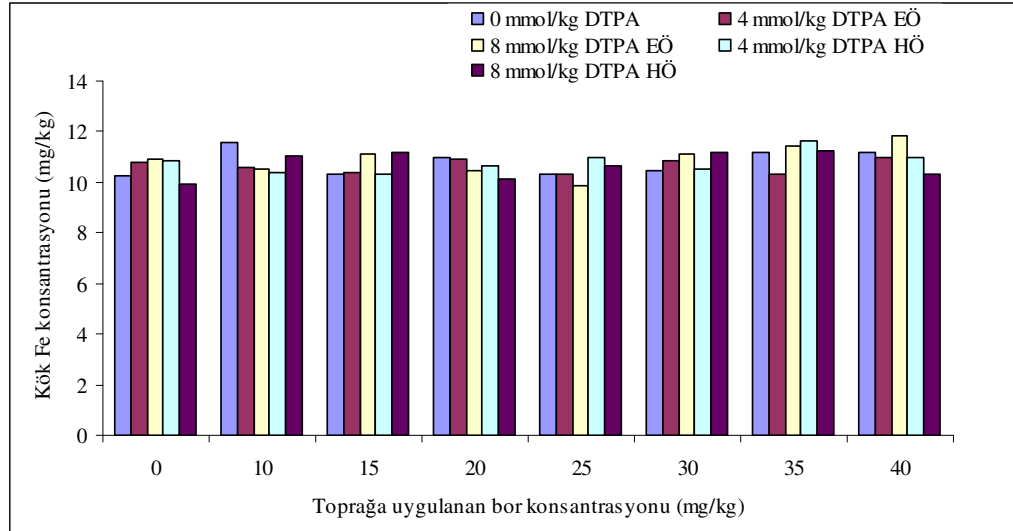
Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin kök ve gövdesinde biriken Fe miktarına etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök, gövde ve toprak Fe konsantrasyonları belirlenmiştir.

Şekil 4.45. ve Şekil 4. 46'de EDTA ve DTPA uygulaması sonucu bitki kökündeki Fe konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.47. ve Şekil 4. 48'da EDTA ve DTPA uygulaması

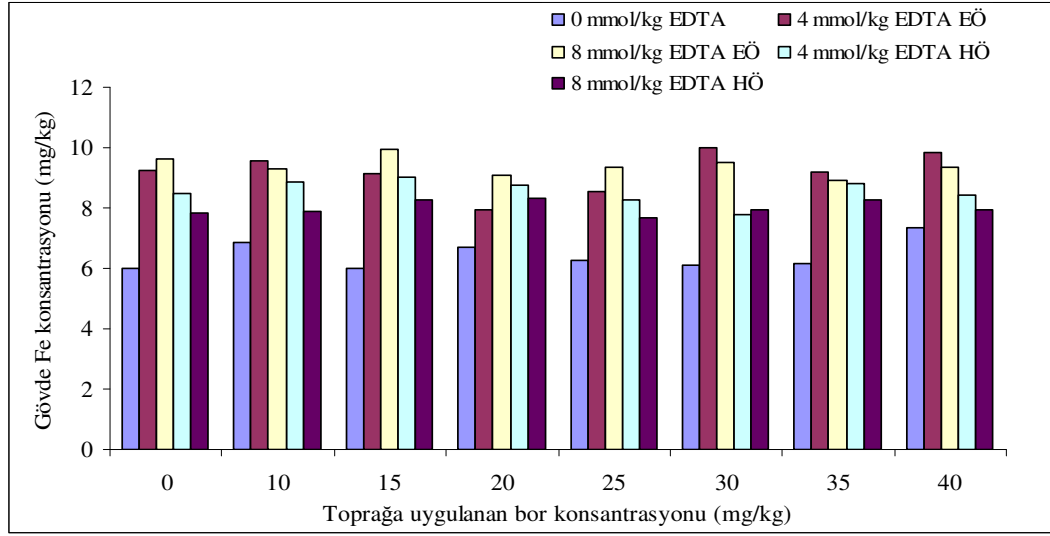
sonucu bitki gövdesindeki Fe konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50 'de ise EDTA ve DTPA uygulaması sonucu toprak Fe konsantrasyonu değişimi verilmiştir.



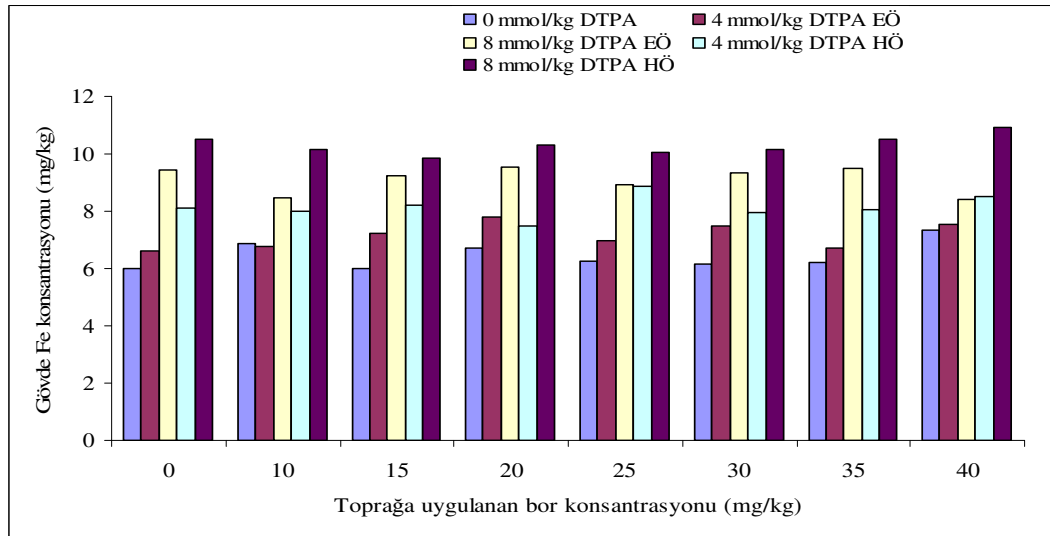
Şekil 4.45. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Fe konsantrasyonu



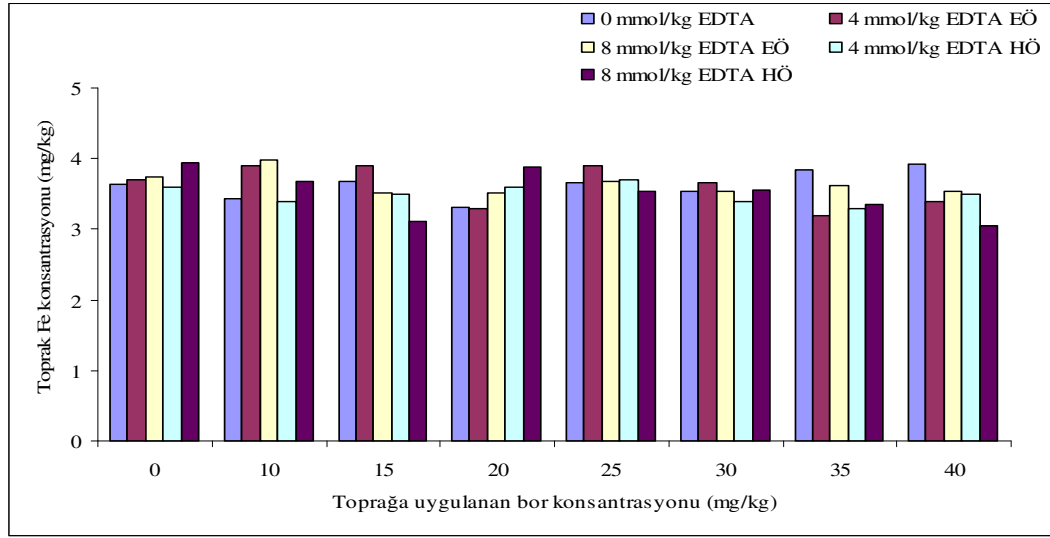
Şekil 4.46. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Fe konsantrasyonu



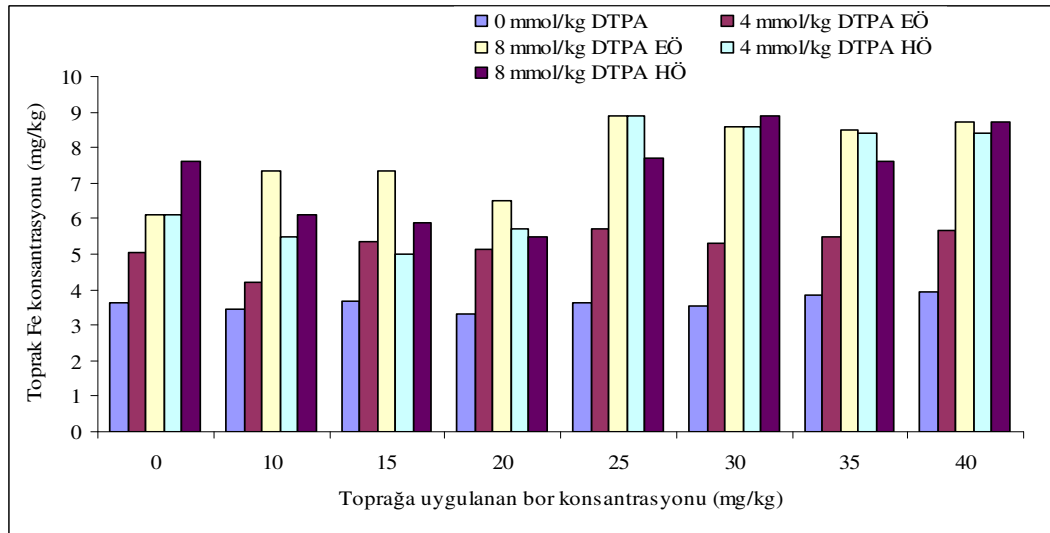
Şekil 4.47. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Fe konsantrasyonu



Şekil 4.48. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Fe konsantrasyonu



Şekil 4.49. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Fe konsantrasyonu



Şekil 4.50. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Fe konsantrasyonu

Toprağa uygulanan bor konsantrasyonu artışının bitkinin kök ve gövde aksamındaki Fe konsantrasyonu üzerindeki etkisi Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de görülmektedir. Vetiver grass bitkisinin yetiştirildiği toprak ortamında bitkinin ihtiyaç duyduğu Fe konsantrasyonu yeterli seviyede bulunduğu için, besin elementlerinin

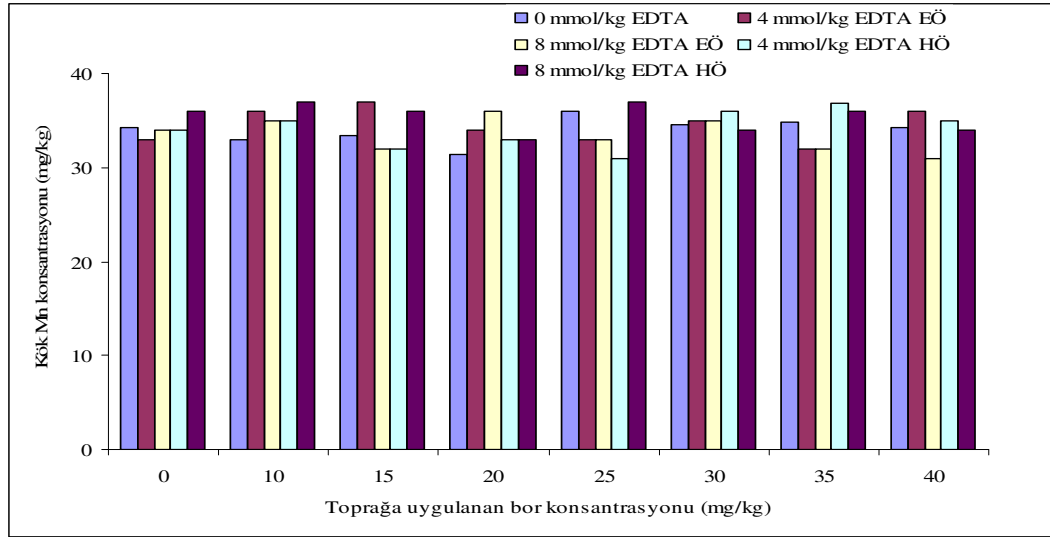
elverişliliğini artıran EDTA ve DTPA uygulamalarının etkisi kontrole göre istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) etkiler göstermiştir (EK 6). Uygulanan EDTA ve DTPA kök bölgesi Fe konsantrasyonunda kontrol bitkisine göre en fazla %1'lik değişim gösterirken, gövde aksamındaki Fe konsantrasyonu ajan çeşidine ve uygulama zamanına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Gövde Fe konsantrasyonu artışı en fazla 8 mmol/kg DTPA uygulamasında %60 olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de deneme sonunda saksı topraklarında ajan uygulamasına bağlı olarak toprak çözeltisindeki Fe konsantrasyonlarında EDTA için önemsiz ($p>0,05$), DTPA için önemli ($p\leq 0,05$) değişimler olduğu görülmektedir (EK 6). Kök ve gövde aksamındaki Fe konsantrasyonu EDTA ve DTPA için benzer sonuçlar göstermesine rağmen (Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48), toprak çözeltisindeki Fe miktarının DTPA uygulamasında daha yüksek elde edildiği belirlenmiştir. Toprak çözeltisindeki bu artışa paralel olarak bitkinin gövde Fe konsantrasyonu da artış göstermiştir.

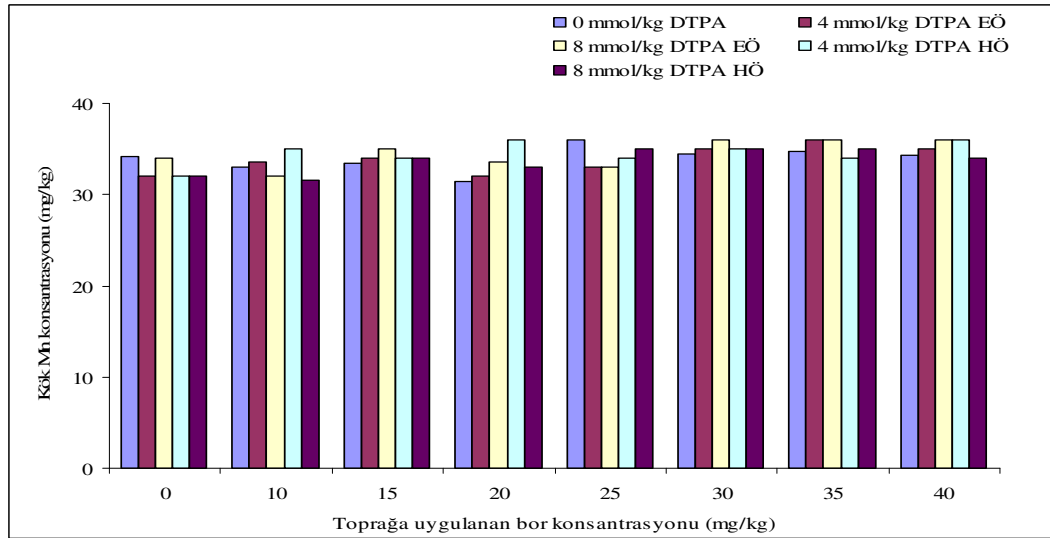
4.10.3. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Toprakta Bulunan Mangan Alımı Üzerine Etkisi

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin kök ve gövdesinde biriken Mn miktarına etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir uygulamaya ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök, gövde ve toprak Mn konsantrasyonları belirlenmiştir.

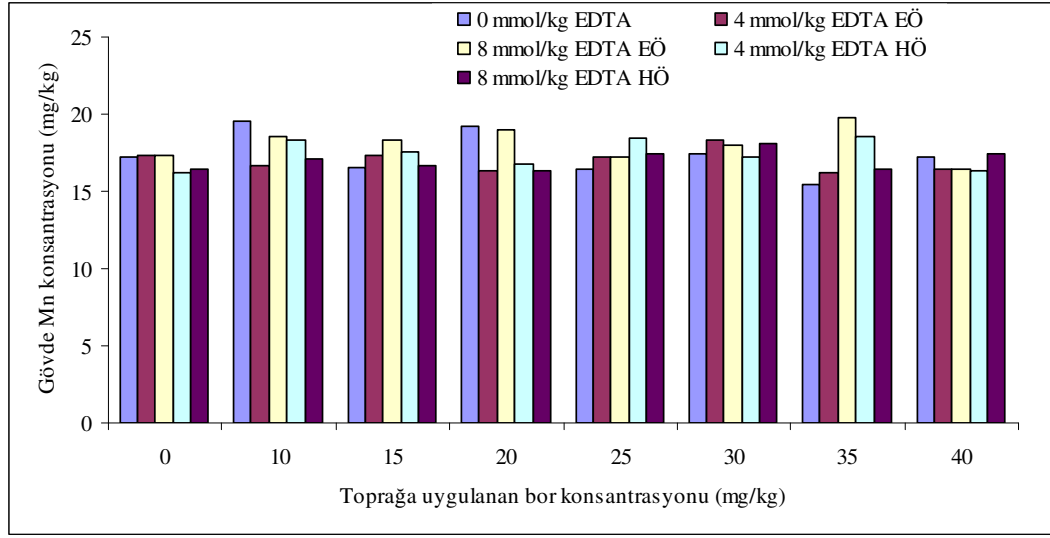
Şekil 4.51 ve Şekil 4. 52'de EDTA ve DTPA uygulaması sonucu bitki kökündeki Mn konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.53. ve Şekil 4. 54'de EDTA ve DTPA uygulaması sonucu bitki gövdesindeki Mn konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56 'de ise EDTA ve DTPA uygulaması sonucu toprak Mn konsantrasyonu değişimi verilmiştir.



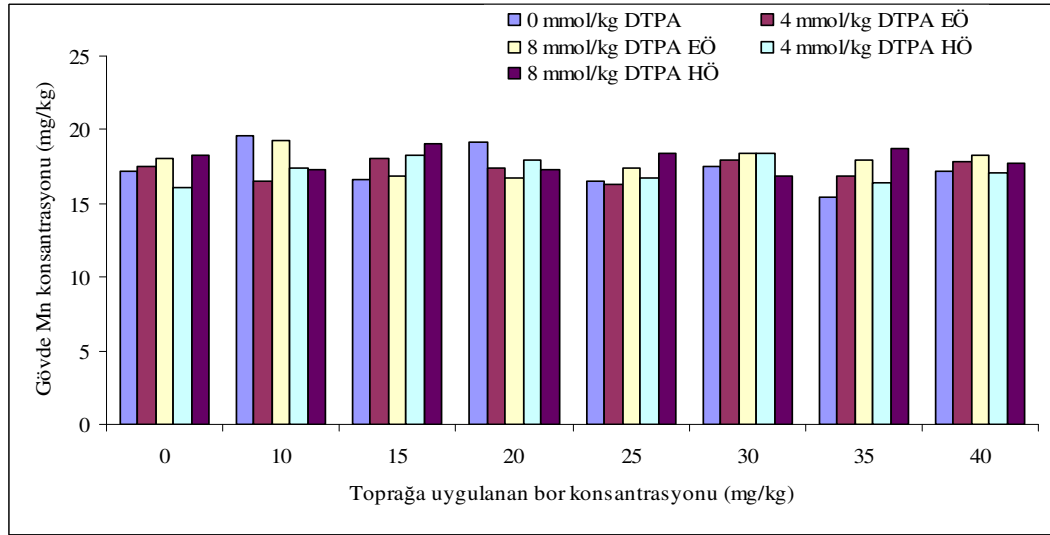
Şekil 4.51. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Mn konsantrasyonu



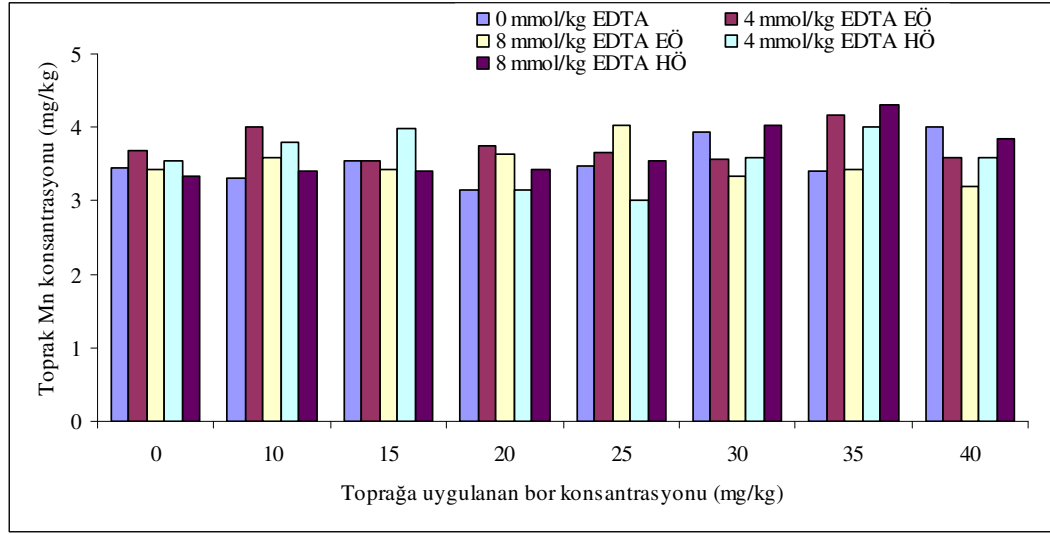
Şekil 4.52. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Mn konsantrasyonu



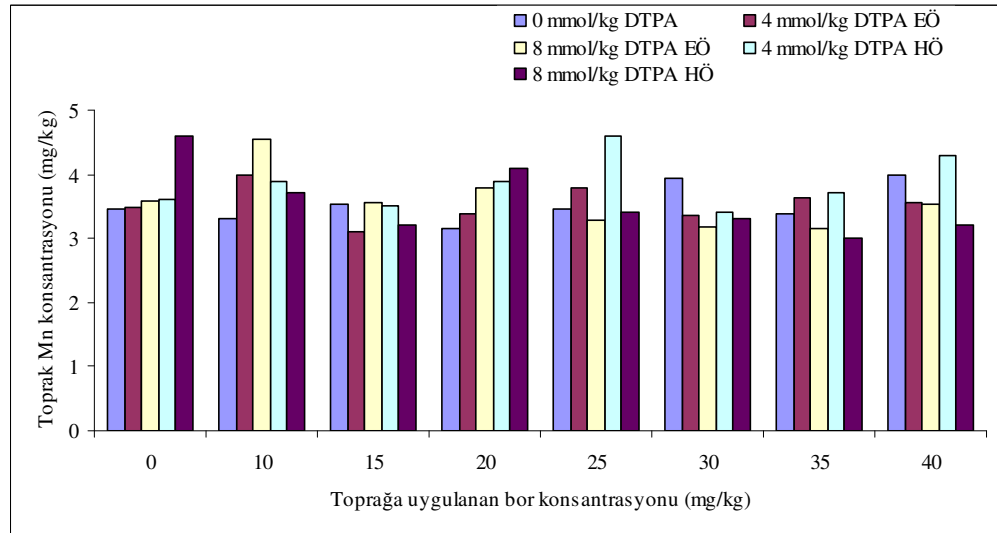
Şekil 4.53. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Mn konsantrasyonu



Şekil 4.54. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Mn konsantrasyonu



Şekil 4.55. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Mn konsantrasyonu



Şekil 4.56. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Mn konsantrasyonu

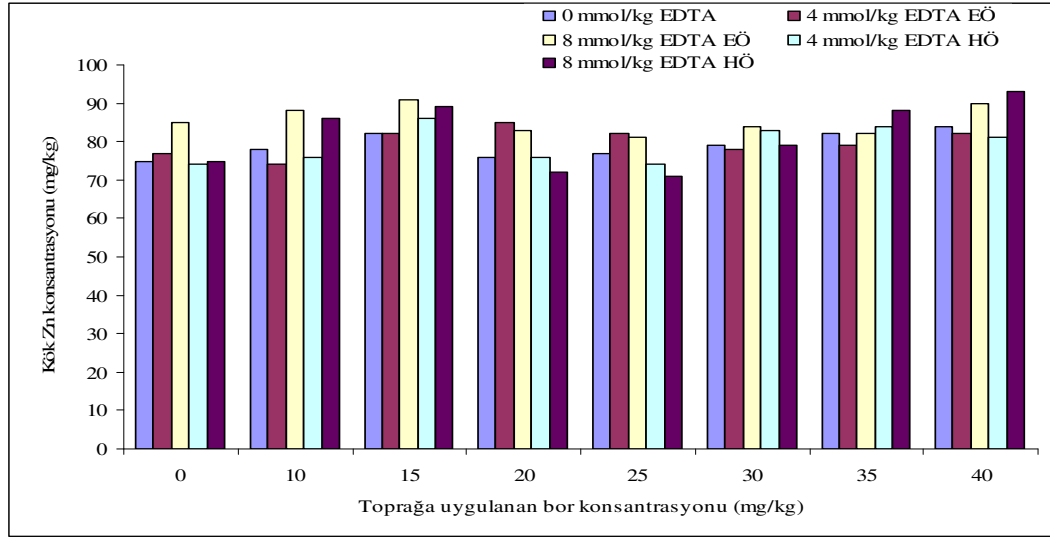
Toprağa uygulanan bor konsantrasyonu artışının bitkinin kök ve gövde aksamındaki Mn konsantrasyonu üzerinde olumsuz etki yapmadığı Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54'de görülmektedir. Vetiver grass bitkisinin yetiştirildiği toprak ortamında bitkinin ihtiyaç duyduğu Mn konsantrasyonu yeterli seviyede bulunmaktadır ve besin

elementlerinin elverişliliğini artıran EDTA ve DTPA uygulamalarının etkisi kontrole göre istatistiksel olarak çok önemli ($p \leq 0,01$) farklılıklar göstermiştir (EK 7). Tüm uygulamalar içerisinde, kök Mn konsantrasyon artışı en yüksek EDTA ve DTPA'nın hasat öncesi 4 mmol/kg konsantrasyonunda uygulaması ile yaklaşık %15 olarak elde edilmiştir. Buna paralel olarak gövde Mn konsantrasyonu kontrol bitkisine göre EDTA'nın hasat öncesi 4 mmol/kg uygulamasında en yüksek artışı %21 olarak gösterirken, aynı konsantrasyonda DTPA için artış % 6 olarak hesaplanmıştır. Toprak Mn konsantrasyonunda, uygulanan tüm bor ve ajanlar için istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0,05$) değişimler elde edilmiştir (EK 7).

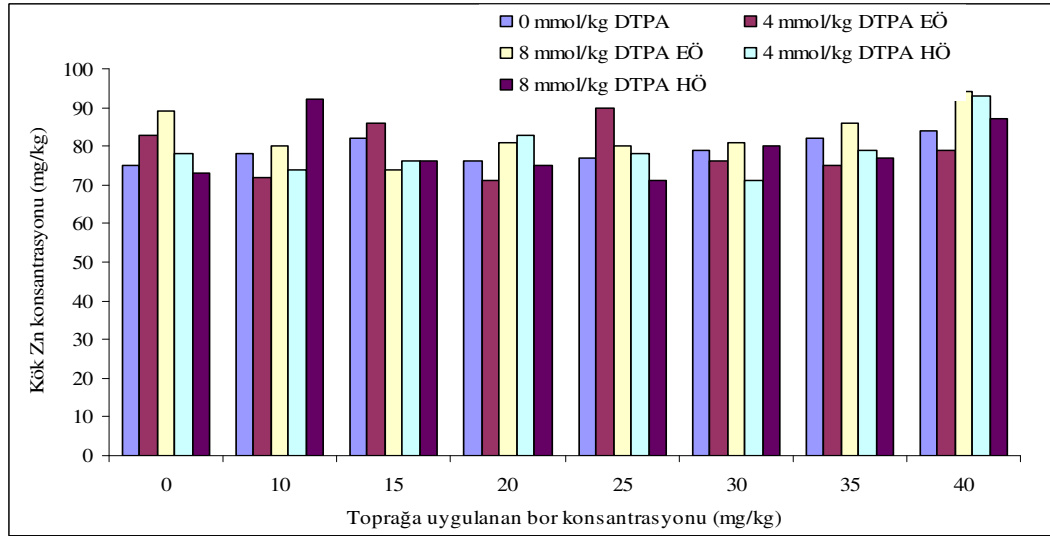
4.10.4. Farklı Doz ve Zamanlarda Uygulanan Ajanların Vetiver Grass Bitkisinin Toprakta Bulunan Çinko Alımı Üzerine Etkisi

Toprağa uygulanan EDTA ve DTPA dozlarının ve uygulama zamanlarının vetiver grass bitkisinin kök ve gövdesinde biriken Zn miktarına etkisini belirlemek amacıyla 12 haftalık büyüme periyodu sonunda her bir muameleye ait saksılardan elde edilen vetiver grass bitkisinin kök, gövde ve toprak Zn konsantrasyonları belirlenmiştir.

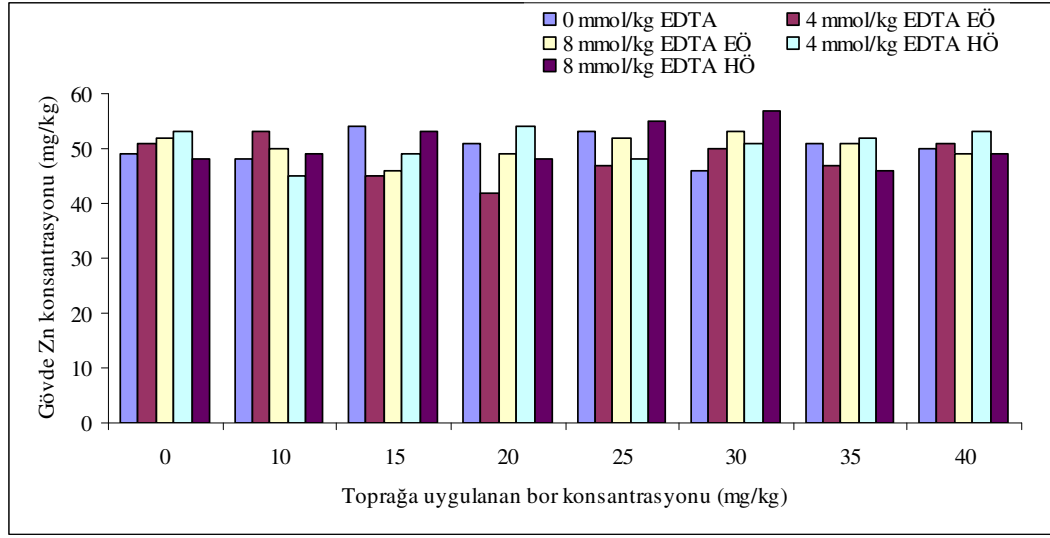
Şekil 4.57 ve Şekil 4. 58'de EDTA ve DTPA uygulaması sonucu bitki kökündeki Zn konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.59. ve Şekil 4. 60'da EDTA ve DTPA uygulaması sonucu bitki gövdesindeki Zn konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62 'de ise EDTA ve DTPA uygulaması sonucu toprak Zn konsantrasyonu değişimi verilmiştir.



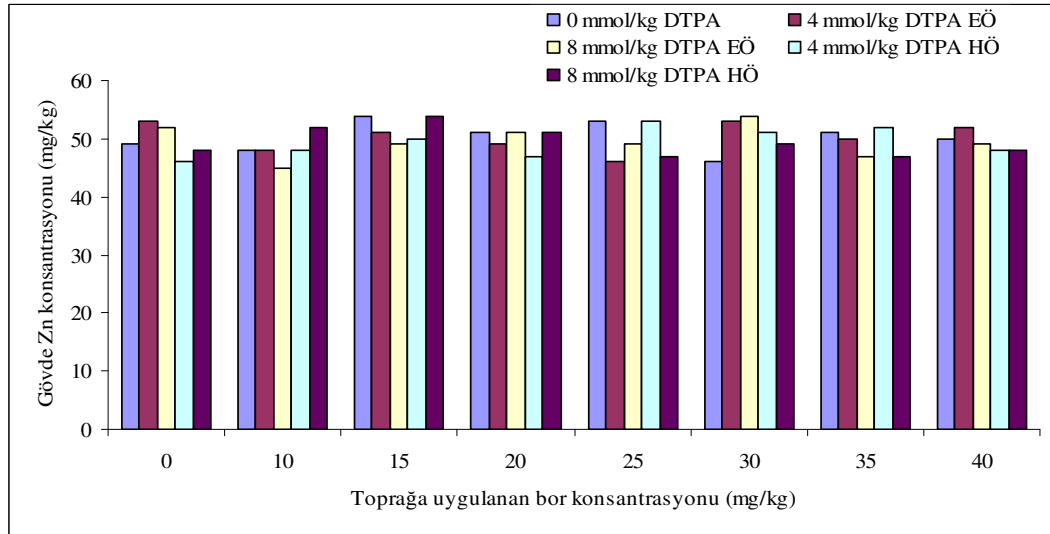
Şekil 4.57. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Zn konsantrasyonu



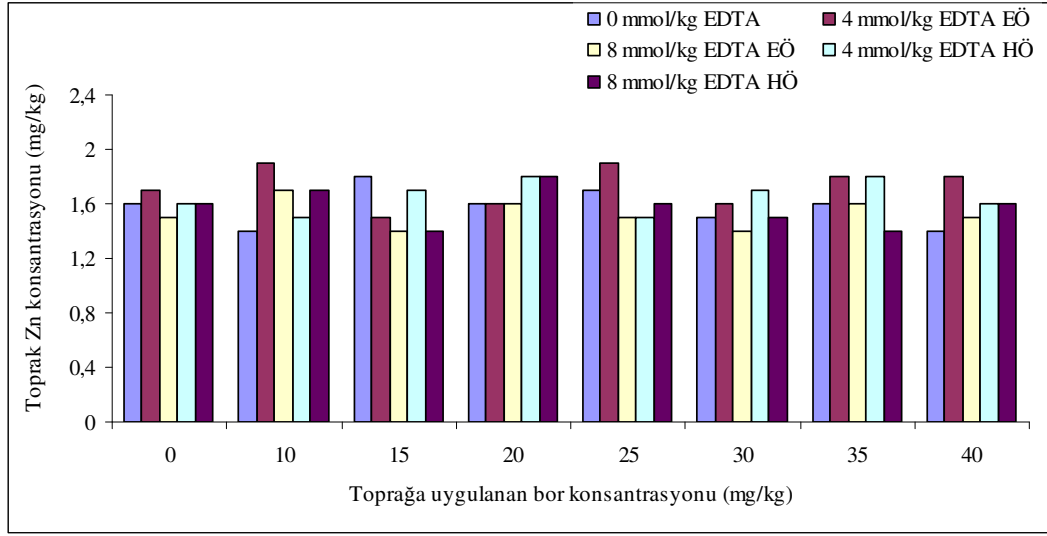
Şekil 4.58. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki kökünde biriken toplam Zn konsantrasyonu



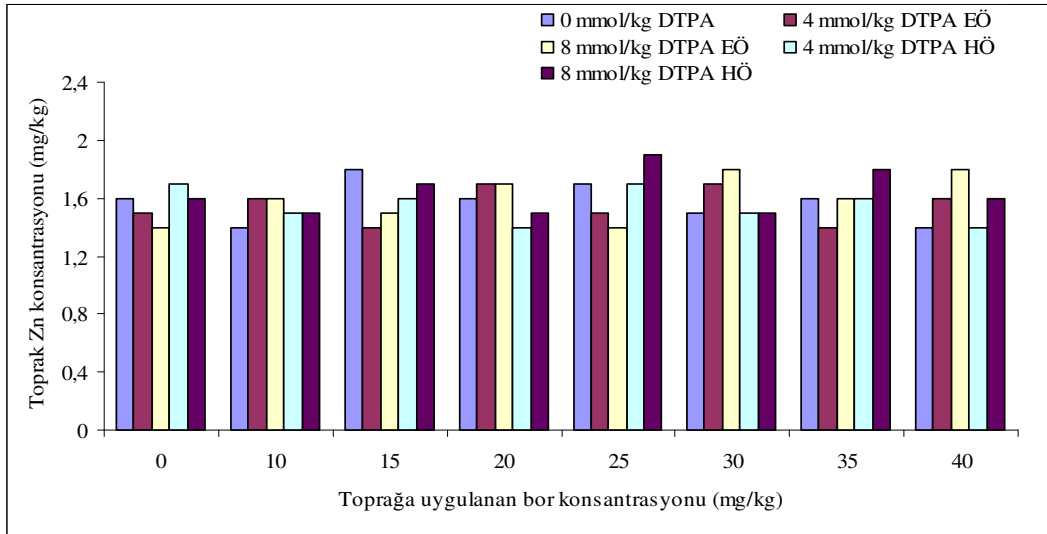
Şekil 4.59. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Zn konsantrasyonu



Şekil 4.60. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı bitki gövdesinde biriken toplam Zn konsantrasyonu



Şekil 4.61. EDTA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Mn konsantrasyonu



Şekil 4.62. DTPA'nın farklı uygulama zamanı ve farklı konsantrasyonlarına karşı toprakta Mn konsantrasyonu

Toprağa uygulanan bor konsantrasyonu artışının bitkinin kök ve gövde aksamındaki Zn konsantrasyonu üzerinde olumsuz etki yapmadığı Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'da görülmektedir. Vetiver grass bitkisinin yetiştirildiği toprak ortamında

bitkinin ihtiyaç duyduğu Zn konsantrasyonu yeterli seviyede bulunmaktadır ve besin elementlerinin elverişliliğini artıran EDTA ve DTPA uygulamalarının etkisi kontrole göre istatistiksel olarak çok önemli farklılıklar göstermiştir (EK 8). Uygulanan EDTA ve DTPA'nın farklı konsantrasyonları ve uygulama zamanları için bitki kök ve gövdesinde ve toprak zetisinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, bor ile kirlenmiş toprakların vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) ile ıslahı ve ağır metal fitoremediasyonunda sıklıkla metallerin toprak çözeltisindeki çözünürlüklerini artırmak, böylece de bitki tarafından alımını kolaylaştırmak amacıyla kullanılan ajanların (EDTA ve DTPA) bor giderimine olan etkisi araştırılmıştır. Kullanılacak ajanların ve farklı uygulama zamanlarının bitki büyümesi ve topraktan bor alımı etkisi de incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1.0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400 mg B/kg düzeylerinde bor uygulanan topraklarda yapılan çalışmada, toprağa uygulanan bor konsantrasyonu artışı bitki büyümesini olumsuz yönde etkilenmiş, bitki boy ve ağırlıklarında önemli kayıplar gözlenmiştir. Uygulanan bor konsantrasyonu arttıkça bitkide büyüme yavaşlamış, yaprak kısımlarında uçlara doğru sararmalar, kök boğumu üstündeki yeşil aksamda morarmalar gözlenmiştir. 40 mg/kg bor konsantrasyonunu üzerinde bitkilerde büyüme gözlenmemiştir.

2.Toprağa uygulanan bor miktarı arttıkça bitki kök ve gövde kuru ağırlığı ve bitki boyu düşüş göstermiştir. Bitki boyu, uygulanan bor konsantrasyonu 0mg/kg'dan 40 mg/kg'a (bitkiye elverişli 12,95 mg B/kg) çıkarıldığında %55 oranında azalış gösterirken, kök ve gövdenin kuru ağırlığı ise sırasıyla %70 ve % 55 oranlarında azalmıştır.

3.Toprakta bulunan bitkiye elverişli borun, toprak çözeltisindeki konsantrasyonunu artırarak bitki tarafından alımını kolaylaştırmak için toprağa uygulanan EDTA ve DTPA ajanları bitki büyümesini olumsuz yönde etkilemiştir. Ajan konsantrasyonun 4 mmol/kg'dan 8 mmol/kg'a çıkmasıyla bitki boyu önemli ölçüde düşüş göstermiştir. Ekim öncesi uygulanan EDTA ve DTPA, hasat öncesine göre daha düşük verimler elde edilmesine neden olmuşlardır.

4.Uygulanan ajanlar ve uygulama zamanlarına göre bitki kuru ağırlığında önemli değişimler gözlenmiştir. Deneme sonunda ajanların ekimden önce uygulanmasının bitki üzerinde toksik etki yaptığı, hatta 8 mmol/kg ajan uygulamasında çoğu bitkinin öldüğü gözlemlenmiştir. Kontrol bitkisi kök ve gövde kuru ağırlıklar ile kıyaslandığında EDTA'nın ekim öncesi uygulaması ile elde edilen kök ve gövde kuru ağırlıkları, özellikle 25 mgB/kg ve üzeri dozlarda (elverişli bor 7,7-12,95 mgB/kg) bor kiriliği uygulanmış saksılarda ortalama %48'e yakın düşüş göstermektedir. Bu değer DTPA için ise yaklaşık %52 olmaktadır. Hasat öncesi için ise bitki kuru ağırlığındaki azalma , EDTA için %42, DTPA için %44 olmaktadır .

5.Deneme sonunda, EDTA ve DTPA borun bitkiler tarafından alınımını arttırdığı belirlenmiştir. EDTA'nın DTPA'ya göre bitki kök ve gövdesindeki bor konsantrasyonunu artırmada daha etkin olduğu da görülmektedir. Herhangi bir ajan uygulanmadığında, 40 mg B/kg bor uygulamasında, %64 toplam kuru madde azalması gösteren vetiver ile kök ve gövde de toplam 520 mg/kg bor birikimi gerçekleştirmiştir. Toprakta oluşturulan tüm bor dozları için vetiver kök ve gövdesinde normal beslenen bitkilere oranla çok yüksek miktarlarda bor birikimi gerçekleşmiştir. Toprakta oluşturulan tüm bor konsantrasyonları için kök ve gövde toplamında 150 mg/kg'ın üzerinde B birikimi elde edilmiştir. Bu değer toprağa 35 mg B/kg B uygulandığında 1200 mg/kg değerine kadar çıkmaktadır.

6.Toprakta oluşturulan bor konsantrasyonu düşük (<15 mg B/kg) olduğu zaman ajan uygulamalarının bitkinin B alımı üzerine etkisi daha da önem kazanmaktadır. 10 mg B/kg bor konsantrasyonunda, EDTA ve DTPA'nın her iki uygulama zamanı ve konsantrasyonu için bitki kök ve gövdesindeki bor konsantrasyonu, ajan kullanılmayan topraklara nazaran %75'den, 15 mg B/kg bor dozu için ise %70'den daha fazla artış gösterdiği belirlenmiştir. Birikim miktarı, topraktaki bor kirliliği arttıkça azalmasına rağmen uygulanan tüm bor konsantrasyonları için ajan kullanılmayan topraklara göre yaklaşık %50'nin üzerinde artış göstermiştir. Bu da her iki ajanında toprakta bitkiye elverişli bor konsantrasyonunu artırdığını göstermektedir.

Toprak çözültisi içindeki bitkiye elverişli bor konsantrasyonu toprağın birçok fiziksel kimyasal özelliğinden etkilenmektedir. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak fitoremediasyon çalışmalarında farklı özelliklere sahip toprakların kullanılması bor fitoremediasyonunda toprak özelliklerinin etkisinin belirlenmesi açısından faydalı olacaktır.

Fitoremediasyon başarısını etkileyen faktörlerden birisi de bitki seçimidir. Aynı tür bitkilerin bile bor toleransı farklılıklar gösterdiği için değişik tür bitkilerin fitoremediasyon etkisinin incelenmesinde yarar bulunmaktadır.

Toprakta bulunan borun bitkiler tarafından alımını artırmak için uygulanacak ajan seçimi fitoremediasyon başarısını etkileyen diğer bir faktördür. Değişik tür ajanlar kullanılarak gerçekleştirilecek fitoremediasyon çalışmaları da biokütle kaybı gerçekleşmeden bor alımının artırılması bakımından önem kazanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alshawabkeh, A. N., Yeung, A. T., E., Bricka, R. M., 1999(a). Practical Aspects of In-situ Electrokinetic Extraction, Journal of Environmental Engineering, Vol. 125(1), 27-35.
- Anonim, 1980. Soil Testing and Plant Analysis. Bull. 38/1. Food Agriculture Organization. Rome-Italy
- Anonim, Vetiver Grass for Soil and Water Conversation, 1995. Land Rehabilitation and Stabilization. Ed: Grimshaw, G.r., Helfer, L. World Bank Technical Paper Number 273, Washington, D.C., 281pp
- Anonim, Vetiver Grass Technical Specifications. 1999. The Southern Africa Vetiver Network, <http://www.inr.unp.ac.za/vetiver/information/vetiver.html>
- Anonim, Vetiver Grass, 1993. The Hedge Against Erosion. Grimshaw, R.G., The World Bank Washington, 78 pp.
- AOAC 1990. In: Helrich, K (Ed.), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Badiant, P.B., Rifai, H.S., Newell, C.J., (1994). Ground Water Contamination Transport and Remediation. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Baker, A. J. M., McGrath, S. P., Sidoli, C. M. D., Reeves, R. D., 1994. The Possibility of In-situ Heavy Metal Decontamination of Polluted Soils Using Crops of Metal-Accumulating Plants, Resources, Conversation and Recycling, Vol. 11, 41-49.
- Baker, D.E., ve M.C. Amacher, 1982. Nickel, Copper, zinc and cadmium. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No:9:323-336. ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Banuelos, G., Terry, N., Leduc, D.L., Pilon, E.A.H., Mackey, B., 2005. Field trial of transgenic indian mustard plants shows enhanced phytoremediation of selenium-contaminated sediment. Environmental Science and Technology, Vol 39, 1771-1777.
- Baraud, F., Tellier, S., Astruc, M., 1999. Temperature Effect on Ionic Transport During Soil Electrokinetic Treatment at Constant pH, Journal of Hazardous Materials, Vol. 64, 263-281.
- Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., Raskin, I., 1997. Enhanced accumulation of Pb in indian mustard by soil-applied chelating agents. Environmental Science and Technology, Vol 31, 860-865.
- Boonyapookana, B., Parkpian, P., Techapinyawat, S., DeLaune, R.D., Jugsujinda, A., 2005. Phytoaccumulation of lead by sunflower (*Helianthus annuus*), Tobacco (*Nicotiana Tabacum*), and Vetiver (*V. Zizanioides*). Journal of Environmental Science and Health, A40, 117-137.
- Brandt, R., Merkl, N., Schultze-Kraft, R., Infante, C., Broll, G., 2006. Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. nash) for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils in Venezuela. International Journal of Phytoremediation, 8, 273-284.

- Bremner, J. M., ve . C.S. Mulvaney, 1982. Nitrogen Total. Methods of Soil Analysis Part2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. Agronomy. No: 9 Part 2 . Edition P: 597-622.
- Chaney, R.L., Malik, M., Li, Y.M., Brown, S.L., Brewer, E.P., Angle, J.S. and Baker, A.J.M., 1997. Phytoremediation of soil metals. Current Opinions in Biotechnology 8:279-284.
- Chen, H.M., Zheng, C.R., Tu, C., Shen, Z.G., 2000. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. Chemosphere, 41, 229-234.
- Chen, Y., Li, X., Shen, Z., 2004. Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process. Chemosphere Vol. 57;187–196.
- Chen, Y., Shen, X., Li, X., 2004. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. Applied Geochemistry, Vol 19, 1553-1565.
- Chiu, K.K., Ye, Z.H., Wong, M.H., 2005. Enhanced uptake of As, Zn, and Cu by *Vetiveria zizanioides* and *Zea mays* using chelating agents. Chemosphere, Vol 60, 1365-1375.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üni. Yayınları No: 143. Erzurum.s:90-95.
- Ebbs, S.D., Kochian, L.V., 1998. Phytoextraction of zinc by oat (*Avena sativa*), barley (*Hordeum vulgare*), and indian mustard (*Brassica juncea*). Environmental Science and Technology, Vol 32, 802-806.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1998. A Citizen's Guide to Phytoremediation. Office of Solid Waste and Emergency Response (5102G), EPA 542-F-98-011, August 1998.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2000. Introduction to Phytoremediation. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, EPA/600/R-99/107, February 2000.
- Evangelou, M.W.H., Dagdan, H., Schaeffer, A., (2004). The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere*, Vol 57, 207-213.
- Evangelou, M.W.H., Ebel, M., Schaeffer, A., (2006). Evaluation of the effect of small organic acids on phytoextraction of Cu and Pb from soil with tobacco *Nicotiana tabacum*. *Chemosphere*, Vol 63, 996-1004.
- FAO, 1990. Micronutrient. Assessment at the country leaves an international study. FAO Soils Bulletin 63. Rome.
- Garbisu, C., Alkorta, I., 2001. Phytoextraction: a cost effective plant based technology for the removal of metals from the environment. Bioresource technology, 77, 229-236.
- Gee, G. W., and Bauder J.W., 1986. Particle- Size Analysis. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods Second Edition. Agronomy No: 9. 2. Edition P: 383-441.
- Goldberg, S., 1997. Reactions of boron with soils. Plant and soil, 193, 35-48.
- Greenfield, J.C., 1989. Vetiver Grass (*Vetiveria* spp.) The Ideal Plant for vegetative Soil and Moisture Conservation, Pp 32-33

- Greman, H., Vodnik, D., Velikonja-Bolta S., Lestan, D., 2003. Ethylenediamine disuccinate as a new chelate for environmentally safe enhanced lead phytoextraction. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 32, 500-5.
- Gupta, U.C., Jame, Y.W., Campbell, C.A., Leyshon, A.J., Micholaichuk, W., 1985. Boron toxicity and deficiency. A Review. *Canadian Journal of Soil Science*, 65, 381-409.
- Huang, J.W., Cunningham, J.D., 1996. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytologist*, 134, 75-84.
- Hammer, D., Keller, C., 2002. Changes in the rhizosphere of metal accumulated plants evidenced by chemical extractants. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 31, 1561-1569.
- Henry, J.R., 2000. An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, May-August 2000.
- Ho, S. V., Athmer, C., Sheridan, P. W., Hughes, B. M., Orth, R., McKenzie, D., Brodsky, P. H., Shapiro, A. M., Sivavec, T. M., Salvo, J., Schulz, D., Landis, R., Griffith, R., Shoemaker, S., 1999. The Lasagna Technology for In-situ Soil Remediation, *Environmental Sciences and Technology*, Vol 33, 1092-1099.
- Hsü, C. N., 1997. Electrokinetic Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils, Phd Dissertation, Texas A and M University, Texas.
- Hu, H., Brown, P.H., 1997. Adsorption of boron by plant roots. *Plant and Soil*, 193, 49-58.
- Huang, J.W., Chen, J., Berti, W. R., Cunningham, S.D., 1997. Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science and Technology*, Vol 31, 800-805.
- Kacar, B., Toprak Analizleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Gelişme Vakfı Yayınları No:3, Ankara.
- Keren R., Bingham, F.T., 1985. Boron matter, soil and plants. *Advanced Soil and Science*, 1, 229-276.
- Kılıcı, M., 2001. Erozyonla Mücadelede Vetiver Grass. Orman Bakanlığı Yay. No:130. İzmir Orman toprak Laboratuvarı Müdürlüğü Yayınları No:10. s.3-15. İzmir
- Kılıcı, M., 2004. *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash'ın Ege Bölgesi Koşullarında Adaptasyonunun Belirlenmesi. Orman Bakanlığı Yay. No:218. İzmir Orman toprak Laboratuvarı Müdürlüğü Yayınları No:18. s.13-5. İzmir
- Komarek, M., Tlustos, P., Szakova, P., Chrastny, V., Ettler, V., (2007). The use of maize and poplar in chelant-enhanced phytoextraction of lead from contaminated agricultural soils. *Chemosphere*, Vol 67, 640-651.
- Kulli, B., Balmer, M., Krebs, R., Lothenbach, B., Geiger, G., Schulin, R., (1999). The influence of nitrilotriacetate on heavy metal uptake of lettuce and ryegrass. *Journal of Environmental Quality*, Vol 28, 1699-1705.
- Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, I., 1995. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science and Technology*, Vol 29, 1232-1238.
- Lai, H.Y., Chen, Z.S., (2005). The EDTA effect on phytoextraction of single and combined metals-contaminated soils using rainbow pink (*Dianthus chinensis*). *Chemosphere*, Vol 60, 1062-1071.

- Lai, H.Y., Chen, Z.S., (2004). Effects of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass. *Chemosphere*, Vol 55, 421-430.
- Lindsay, W.L. ve W.A. Norwell, 1969. Development of DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Vol: 33, p:49-54.
- Lee, S.B., lee, T.B., Lee, C.H., Hong, C.O., Kim, P.J., Yu, C., 2008. Characteristics of boron accumulation by fly ash application in paddy soil. *Bioresource Technology*, 99, 5928-5932.
- Lo, I. M. C., Yang, X. Y., 1999. EDTA Extractions of Heavy Metals from Different Soil Fractions and Synthetic Soils, *Water, air and Soil Pollution*, Vol 109, 219-236
- Lombi, E., Zhao, F.J., Dunham, S.J., McGrath, S.P., 2001. Phytoremediation of metal-contaminated soils: Natural hyperaccumulation versus chemically enhanced phytoextraction. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 30, 1919-1926.
- Luo, C., Shen, Z., Li, X., (2005). Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. *Chemosphere*, Vol 59, 1-11.
- Lou, L., Ye, Z.H., Wong, M.H., 2007. Solubility and accumulation of metals in Chinese brake fern, vetiver and rostrate sesbania using chelating agents. *International Journal of Phytoremediation*, 9, 325-343.
- Macek, T., Francova, K., Kachankova., Lovecka, P., rylava, E., rezeck, J., Sura, M., Triska, J., Demmerova. K., Mackova, M., 2004. Phytoremediation: Biological Cleaning of a Polluted Environment, *Reviews on Environmental Health*, Vol 19, 63-82.
- Madrid, F., Liphadzi, M.S., Kirkham, M.B., 2003. Heavy metal displacement in chelate-irrigated soil during phytoremediation. *Journal of Hydrology*, Vol 272, 107-119.
- Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., Zerbi, G., 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental pollution*, 132, 21-27.
- Marin C.M.D.C., Oron, G., 2007. Boron removal by the duckweed *Lemna gibba*: A potential method for the removal of boron-polluted waters. *Water Research*, 41, 4579-4584.
- Martinez, M., Bernal, P., Almela, C., Valez, D., Agustin, P.G., Serrano, R., Avino, J.N., 2006. An engineerde plant that accumulates higher levels of heavy metals then *Thlaspi caerulescens*, with yields of 100 times more biomass in mine soils. *Chemosphere*, Vol 64, 478-485.
- Mclean, E. O., 1982. Soil pH and Lime Requirement. *Methods of Soil Analysis Part2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition*. Agronomy. No: 9 Part 2. Edition P: 199-224
- Miller, R.R., 1996. Phytoremediation. *Ground-Water Remediation Technology Analysis Center, Technology Overview Report, TO-96-03*, October 1996.
- Nable, O.R., Banuelos, G.S., Paull, J.G., 1197. Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193, 181-198.
- Nelson, D. W., ve Sommers ; L. E., 1982. Organic Matter. *Methods of Soil Analysis Part2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition*. Agronomy. No: 9 Part 2. Edition P: 574-579.

- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and Gypsum. . Methods of Soil Analysis Part2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. Agronomy. No: 9 Part 2 . Edition P: 191-197.
- Neugschwandtner, R.W., Tlustos, P., Komerek, M., Szakova, J.,2008. Phytoextraction of Pb and Cd from a contaminated agricultural soil using different EDTA applications regimes: Laboratory versus field scale measures of efficiency. *Geoderma*, 144, 446-454.
- Olsen, S. R.,ve Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. Methods of Soil Analysis Part2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. Agronomy. No: 9 Part 2 . Edition P: 403-427.
- Peñalosa, J.M., Carpena, R.O., Vázquez, S., Agha,R., Granado,A., Sarro, M.J., Esteban, E., (2007). Chelate-assisted phytoextraction of heavy metals in a soil contaminated with a pyritic sludge. *Science of The Total Environment*, Vol 378, 199-204.
- Qian, J.H.,Zayed, A., Zhu, Y.L., Yu, M.Y.,Terry, N.,1999. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants:III.Uptake ang accumulation of ten trace elementsby twelve plant species. *Journal of Environmental Qality*, 28, 1448-1455.
- Raskin, I., Smith, R.D., Salt, D.E., 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutantas from the environment. *Current Opinion in Biotechnology*, 8, 221-226.
- Reddy, K. R., Shirani, A. B., 1997. Electrokinetic Remedition of Metal Contaminated Glacial Tills, *Geotechnicaland Geological Engineering*, Vol 15, 3-29.
- Reid, R.J., Hayes, J.E., Post, A., Stangoulis, J.C.R., Graham, R.D., 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell and Environment*, 25, 1405-1414.
- Rhoades, J.D., 1982a. Cation Exchange Capacity . Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. Agronomy. No: 9 Part 2 . Edition P: 149-157.
- Rhoades, J.D., 1982b. Exchangeable Cations. Methods of Soil Analysis Part2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. Agronomy. No: 9 Part 2 . Edition P: 159-164
- Robinson, B.H., Green, S.R., Chancerel, B., Mills, T.M., Clothier, B.E., 2007. Poplar for the phytomanegement of boron contaminated sites. *Environmental Pollution*, 150, 225-233.
- Römkens, P., Bouwman, L., Japenga,J., Draaisma, C., 2006. Potentials and drawbacks of chelate-enhanced phytoremediation of soils. *Environmental Pollution*, Vol 116, 109–121.
- Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I., 1998. Phytoremediaton. *Annual Review of Plant Physiology*, 49, 643-668.
- Santos,F.S.,Allica,J.H., Becerril,J.M.,Sobrinho, N.A., Mazur, N., Garbisu, C., (2006). Chelate-induced phytoextraction of metal polluted soils with *Brachiaria decumbens*. *Chemosphere*, Vol 65, Pages 43-50.
- Schnoor, J.L., 1997. Phytoremediatian. *Ground-Water Remediation Technology Analysis Center, Technology Evaluation Report*, TE-98-01, October 1997.
- Shen, Z.G., Li, X.D., Wnng, C.C., Chen, H.m., Chua, H., 2002. Lead phytoextraction from contaminated soil with high-biomass plant species. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 31,1893-1900.

- Sun, Y., Zhou, Q., Diao, C., 2008. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresource Technology*, 99, 1103-1110.
- TOVEP, 1991. Türkiye Toprakları Verimlilik Envanteri. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Troung, P.V.N., Baker, D.E., 1996. Affect of Some Adverse Soil Conditions on the Growth of *Vetiveria zizanioides* (L.). *Newsletter of Vetiver Network*. Number 15, April. Pp, 12-13.
- Turan, M., Esringü, A., (2007). Phytoremediation based on canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) planted on spiked soil by aliquot amount of Cd, Cu, Pb, and Zn. *Plant soil environment*, Vol 1, 7-15.
- Turan, T., Erdal, İ., 2000. Bor uygulamasının değişik buğday çeşitlerinde gelişme ve toprak üstü aksamda bor dağılımı üzerine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24, 255-22.
- Turgut, C., Pepe, M.K., Cutright, T. J., 2004. The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr, and Ni from soil using *Helianthus annuus*. *Environmental Pollution*, Vol 131, 147-154.
- Viets, F.G., 1962. Chemistry and availability of micronutrients in soils. *Agricultural and Food Chemistry*, 10, 174-178.
- Virkutyte, J., Sillanpää, M., Latostenmaa, P., 2002. Electrokinetic Soil Remediation, *The Science of The Total Environment*, Vol 289, 97-121.
- Wilde, E.W., Brigmon, R.L., Dunn, D.L., Heitkamp, M.A., Dagnan, D.C., 2005. Phytoextraction of lead from firing range soil by *Vetiver* grass. *Chemosphere*, Vol 61, 1451-1457.
- Williams, C., Nascimento, A., Amarasinghwardena, D., Xing, B., (2006). Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. *Environmental Pollution*, Vol 140, Pages 114-123.
- Wilson, D. J., 1996. Electrokinetic Remediation, *Separation Science and Technology*, Vol 30, 3111-3128.
- Wilson, D. J., Marato, J. M., Lahoz, C. G., 1995. Electrokinetic Remediation, *Separation Science and Technology*, Vol 31, 435-451.
- Wu, J., Hsu, F.C., Cunningham, S.D., 1999. Chelate-assisted Pb phytoextraction: Pb availability, uptake and translocation constraints. *Environmental Science and Technology*, Vol 33, 1898-1904.
- Wu, L. H., Luo, Y. M., Xing, X. R., Christie, P., 2004. EDTA-enhanced phytoremediation of heavy metal contaminated soil with Indian mustard and associated potential leaching risk. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol 102, 307-318.
- Yang, B., Shu, W.S., Ye, Z.H., Lan, C.Y., Wong, M.H., 2003. Growth and metal accumulation in vetiver and two *Sesbania* species on lead/zinc mine tailings. *Chemosphere*, Vol 52, 1593-1600.
- Yermiyahu, U., Keren, R., Chen, Y., 2001. Effects of composted organic matter on boron uptake by plants. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 1436-1441.
- <http://www.biyoteknoloji.gen.tr/element.htm>

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Bitki Boyu													
	EDTA						DTPA							Ortalama
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi				
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**		
0**	96,33aA	78,67dA	35,33ga	96,33aA	89,33bA	72,67eA	96,33aA	77,67dA	30,43hA	96,33aA	83,33cA	64,67fA	76,45	
10**	90,33aB	70,33dB	30,33hb	90,33aB	85,00bB	65,83fB	90,33aB	68,33eB	28,67hB	90,33aB	79,67cb	63,33gB	71,07	
15**	83aC	67,67dC	27,67hC	83aC	80,33bC	60,67fC	83aC	63,67eC	23,33iC	83aC	71,33cc	58,67gC	65,45	
20**	78,67aD	58,33dD	20,33gD	78,67aD	76,67bD	50,23fD	78,67aD	52,33eD	19,33gD	78,67aD	67,33cd	49,33fD	59,05	
25**	61,33aE	47,67dE	17,67fE	61,33aE	55,23bE	44,33eE	61,33aE	46,33dE	16,33fE	61,33aE	52,67ce	42,67eE	47,35	
30**	52,67aF	37,33eF	16,67gE	52,67aF	46,33bF	34,33fF	52,67aF	35,67efF	15,67gE	52,67aF	41,33cF	39,33dF	39,78	
35**	47,67aG	32,67dG	16,33fE	47,67aG	42,33bG	30,43eG	47,67aG	31,43deG	15,33fE	47,67aG	35,67cG	32,33dG	35,60	
40**	42,67aH	30dH	16hE	42,67aH	38,70bH	25,33fH	42,67aH	27,33eH	15hE	42,67aH	33,00cH	22,00gH	31,50	
Ortalama	69,08	52,83	22,54	69,08	50,35	64,24	69,08	50,35	20,51	69,08	58,04	46,54		

Aynı harfler ile takip eden satırlar ve sütunlar istatistiksel olarak önemsizdir.

* İstatistiksel olarak önemlidir. ($p \leq 0,05$)

** İstatistiksel olarak çok önemlidir. ($p < 0,01$)

ød İstatistiksel olarak önemli değildir. ($p > 0,05$)

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Kök Kuru Ağırlık												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ortalama
	0 ppm**	4 ppm*	8 ppm ^ö	0 ppm**	4 ppm*	8 ppm ^ö	0 ppm**	4 ppm ^ö	8 ppm ^ö	0 ppm**	4 ppm*	8 ppm ^ö	
0**	7,4aA	4,89bcdA	3,08eA	7,4aA	5,52bA	3,63cdeA	7,4aA	4,17bcdA	2,93eA	7,4aA	5,18bcA	3,24deA	5,19
10**	5,86aAB	4,13abcAB	2,96cA	5,86aAB	5,16abAB	3,12cA	5,86aAB	3,84bcAB	2,72cA	5,86aAB	5,03abA	3,01cA	4,45
15*	4,71aBC	3,87abcABC	2,73bcA	4,71aBC	4,63abABC	2,97abcA	4,71aBC	3,26aAB	2,61cA	4,71aBC	4,53abAB	2,87abcA	3,86
20 ^ö	4,18aBC	3,31aABC	2,36aA	4,18aBC	3,91aABCD	2,36aA	4,18aBC	2,86aAB	2,21aA	4,18aBC	3,87aBC	2,41aA	3,33
25 ^ö	3,75aCD	2,92aBC	2,01aA	3,75aCD	3,61aBCD	2,17aA	3,75aCD	2,71aAB	1,83aA	3,75aCD	3,36aBC	2,15aA	2,96
30 ^ö	3,63aCD	2,53aBC	1,79aA	3,63aCD	3,52aBCD	2,01aA	3,63aCD	2,36aAB	1,66aA	3,63aCD	2,95aBC	1,87aA	2,77
35 ^ö	3,18aCD	2,21aBC	1,65aA	3,18aCD	3,08aCD	1,97aA	3,18aCD	2,03aB	1,54aA	3,18aCD	2,55aC	1,76aA	2,46
40 ^ö	2,24aD	2,08aC	1,53aA	2,24aD	2,19aD	1,89aA	2,24aD	1,96aB	1,4aA	2,24aD	2,12aC	1,65aA	1,98
Ortalama	4,37	3,24	2,64	4,37	3,95	2,52	4,37	2,90	2,11	4,37	3,70	2,37	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Gövde Kuru Ağırlık												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ortalama
	0 ppm*	4 ppm*	8 ppm ^ö	0 ppm*	4 ppm*	8 ppm ^ö	0 ppm*	4 ppm ^ö	8 ppm ^ö	0 ppm*	4 ppm*	8 ppm ^ö	
0*	5,95 aA	4,79abA	3,86bA	5,95 aA	5,38abA	4,03abA	5,95 aA	4,37abA	3,5aB	5,95 aA	5,08abA	3,91aB	4,89
10 ^ö	5,13 aAB	4,31abAB	3,54abAB	5,13 aAB	5,06aAB	3,81abAB	5,13 aAB	4,02abAB	3,12abAB	5,13 aAB	4,76abAB	3,63abAB	4,39
15 ^ö	4,87aABC	3,86abAB	3,07abAB	4,87aABC	4,83aABC	3,26abABC	4,87aABC	3,71abABC	2,83abAB	4,87aABC	4,36abABC	3,21abAB	4,05
20 ^ö	4,32aABC	3,21aABC	2,65aAB	4,32aABC	4,15aABCD	2,83aABC	4,32aABC	3,01aABC	2,47aAB	4,32aABC	3,75aABCD	2,76aAB	3,51
25 ^ö	3,76aBC	2,9aABC	2,03aAB	3,76aBC	3,41aBCD	2,31aABC	3,76aBC	2,85aABC	1,91aAB	3,76aBC	3,4aABCD	2,07aAB	2,99
30 ^ö	3,45aBC	2,63aBC	1,73aB	3,45aBC	3,03aCD	2,02aBC	3,45aBC	2,41aBC	1,63aAB	3,45aBC	2,87aBCD	1,85aB	2,66
35 ^ö	3,11aCD	2,36aC	1,7aB	3,11aCD	2,97aCD	1,93aBC	3,11aCD	2,11aBC	1,57aAB	3,11aCD	2,54aCD	1,79aB	2,45
40 ^ö	2,64aD	2,07aC	1,62aB	2,64aD	2,37aD	1,84aC	2,64aD	1,93aC	1,51aB	2,64aD	2,13aD	1,76aB	2,15
Ortalama	4,15	3,27	2,53	4,15	3,90	2,75	4,15	3,05	2,32	4,15	3,61	2,62	

Aynı harfler ile takip eden satırlar ve sütunlar istatistiksel olarak önemsizdir.

* İstatistiksel olarak önemlidir. ($p \leq 0,05$)

** İstatistiksel olarak çok önemlidir. ($p < 0,01$)

^ö İstatistiksel olarak önemli değildir. ($p > 0,05$)

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Kök Bor Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	Ortalama
0**	40,18hH	68,25bH	57,21fG	40,18hH	75,62aH	61,77deH	40,18hH	64,27cH	53,13gH	40,18hH	63,27cdG	60,14eH	55,37
10**	50,52iG	200,83cG	151,11gF	50,52iG	221,18aG	177,06eG	50,52iG	187,27dG	143,17hG	50,52iG	217,21bF	163,14fG	138,59
15**	100,56iF	347,21cE	271,49gE	100,56iF	371,63aE	295,27eF	100,56iF	301,16dF	255,15hF	100,56iF	353,35bE	286,76fF	240,36
20**	150,35iE	350,36cD	283,21gD	150,35iE	411,73aD	313,39eE	150,35iE	337,47dD	273,87hE	150,35iE	385,28bD	291,48fE	270,68
25**	186,87iD	400,44cC	300,17gC	186,87iD	480,28aC	365,28eC	186,87iD	383,23dC	291,23hC	186,87iD	427,36bC	323,43fC	309,91
30**	212,87iC	473,46cB	350,25gB	212,87iC	550,25aB	400,83eB	212,87iC	451,54dB	325,48hB	212,87iC	493,48bB	375,75fB	356,04
35**	225,68iB	576,14cA	433,21gA	225,68iB	601,23aA	501,4eA	225,68iB	533,18dA	437,71hA	225,68iB	583,43bA	484,22fA	421,10
40**	250,69iA	334,21cF	300,75gC	250,69iA	347,4aF	325,86dD	250,69iA	310,7fE	287,8hD	250,69iA	339,04bD	316,58eD	297,09
Ortalama	152,22	343,86	268,43	152,22	382,42	305,11	152,22	321,10	258,44	152,22	357,80	287,69	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Gövde Bor Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	Ortalama
0**	50,65iH	78,18cH	60,34gH	50,65iH	90,21aH	67,11eH	50,65iH	73,5dH	58,11hH	50,65iH	86,47bH	64,22fH	65,06
10**	65,35iG	224,36cG	183,15gG	65,35iG	235,63aG	203,13eG	65,35iG	219,35dG	176,46hG	65,35iG	228,17bG	191,11fG	160,23
15**	125,36iF	357,17cE	291,25gF	125,36iF	418,13aE	336,6dF	125,36iF	321,88eF	263,48hF	125,36iF	396,43bE	297,47fF	265,32
20**	187,35iE	381,36cD	306,07gE	187,35iE	455,87aD	367,85dD	187,35iE	366,73eE	287,87hE	187,35iE	417,36bD	313,03fE	303,80
25**	200,72iD	432,12cC	341,28gC	200,72iD	523,75aC	390,47eC	200,72iD	420,18dD	300,43hD	200,72iD	473,13bC	361,48fC	337,14
30**	254,41iC	521,18cB	365,48gB	254,41iC	588,45aB	441,11eB	254,41iC	475,13dC	341,21hC	254,41iC	547,36bB	407,36fB	392,08
35**	286,51iA	583,18cA	453,47gA	286,51iA	624,18aA	541,73eA	286,51iA	566,76dA	431,26hA	286,51iA	601,83bA	500,18fA	454,05
40**	276,62iB	321gF	334,3fD	276,62iB	382,96cF	360,08eE	276,62iB	524,62aB	391,28bB	276,62iB	382,81dF	318,69hD	343,52
Ortalama	180,87	362,32	291,92	180,87	414,70	338,51	180,87	371,02	281,26	180,87	391,70	306,70	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Toprak Bor Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	Ortalama
0**	0,58bcH	0,47cH	0,77abH	0,58bcH	0,28dH	0,69abH	0,58bcH	0,59bcH	0,82aH	0,58bcH	0,72abH	0,65abcH	0,61
10**	3,23aG	2,07eG	2,77bG	3,23aG	1,53fgG	2,54cG	3,23aG	2,26dG	2,92bG	3,23aG	1,68fG	1,38gG	2,51
15**	4,11aF	2,47fF	3,56cF	4,11aF	1,45hF	3,22dF	4,11aF	3,02eF	3,78bF	4,11aF	1,86gF	1,98gF	3,15
20**	5,03abE	4,09eE	4,99abE	5,03abE	2,69hE	4,69cE	5,03abE	4,40dE	5,15aE	5,03abE	3,41fE	4,90bE	4,54
25**	6,44bD	5,48eD	6,60bD	6,44bD	3,95gD	6,21cD	6,44bD	5,66dD	6,79aD	6,44bD	4,86fC	6,46bD	5,98
30**	7,97cC	7,05eC	8,36aC	7,97cC	5,48gC	7,92cC	7,97cC	7,41dC	8,52aC	7,97cC	6,59fC	8,16bC	7,62
35**	9,11bB	8,07dB	9,23abB	9,11bB	6,97hB	8,69eB	9,11bB	8,44fB	9,37aB	9,11bB	7,70gB	8,97dB	8,66
40**	11,86bA	11,79bA	12,06aA	11,86bA	11,45cA	11,87bA	11,86bA	11,53cA	12,16aA	11,86bA	11,62cA	12,07aA	11,83
Ortalama	6,04	5,19	6,04	6,04	4,23	5,73	6,04	5,41	6,19	6,04	4,81	5,57	

Aynı harfler ile takip eden satırlar ve sütunlar istatistiksel olarak önemsizdir.

* İstatistiksel olarak önemlidir. ($p \leq 0,05$)

** İstatistiksel olarak çok önemlidir. ($p < 0,01$)

ød İstatistiksel olarak önemli değildir. ($p > 0,05$)

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Toprak pH												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	Ortalama
0 ^{öd}	7,6	7,04	6,91	7,6	7,1	6,95	7,6	6,9	6,73	7,6	6,97	6,69	7,14
10 ^{öd}	7,58	7,01	6,87	7,58	7,07	6,9	7,58	6,85	6,7	7,58	6,94	6,65	7,11
15 ^{öd}	7,56	6,97	6,84	7,56	7,03	6,87	7,56	6,81	6,68	7,56	6,9	6,64	7,08
20 ^{öd}	7,55	6,95	6,8	7,55	7	6,82	7,55	6,79	6,66	7,55	6,88	6,61	7,06
25 ^{öd}	7,53	6,94	6,79	7,53	6,97	6,8	7,53	6,77	6,65	7,53	6,85	6,59	7,04
30 ^{öd}	7,51	6,91	6,77	7,51	6,93	6,78	7,51	6,76	6,63	7,51	6,84	6,57	7,02
35 ^{öd}	7,49	6,9	6,76	7,49	6,88	6,77	7,49	6,74	6,62	7,49	6,82	6,56	7,00
40 ^{öd}	7,48	6,87	6,74	7,48	6,86	6,76	7,48	6,73	6,6	7,48	6,8	6,55	6,99
Ortalama	7,54	6,95	6,81	7,54	6,98	6,83	7,54	6,79	6,66	7,54	6,61	6,88	

Aynı harfler ile takip eden satırlar ve sütunlar istatistiksel olarak önemsizdir.

* İstatistiksel olarak önemlidir. ($p \leq 0,05$)

** İstatistiksel olarak çok önemlidir. ($p < 0,01$)

^{öd} İstatistiksel olarak önemli değildir. ($p > 0,05$)

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Kök Bakır Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ortalama
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	
0**	33cCD	39aA	35bB	33cCD	32cE	33cE	33cCD	38aA	32,5cDE	33cCD	39aA	33cCD	34,46
10**	34dBC	36cB	39aAB	34dBC	39aC	38abB	34dBC	37bCA	31eE	34dBC	34dC	32eDE	35,17
15**	32eDE	35cBD	39aAB	32eDE	34dD	36bcC	32eDE	37bA	34dBC	32eDE	32eD	35cAB	34,17
20**	34cBC	35dBD	40aA	34cBC	41aAB	35cDC	34cBC	38bA	38bA	34cBC	32dD	34dBC	35,75
25**	33dCD	38bA	37bcC	33dCD	42aA	34dED	33dCD	36,5bcAB	33dD	33dCD	34dC	36cA	35,21
30**	31eE	34cD	40aA	31eE	41aAB	33cdE	31eE	33cdC	36bB	31eE	36bB	32deDE	34,08
35**	35eAB	39bcA	37dC	35eAB	41aAB	40abA	35eAB	35eB	38cdA	35eAB	34cC	31fE	36,25
40**	36cA	38bA	38bBC	36cA	40aBC	40aA	36cA	38bA	35cdBC	36cA	34dC	34dBC	36,75
Ortalama	33,50	36,75	38,13	33,50	38,75	36,13	33,50	36,56	34,69	33,50	34,38	33,38	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Gövde Bakır Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ortalama
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	
0**	12dDC	22bcC	23abC	12dDC	23abAB	22bcC	12dDC	21cB	22,5abcCD	12dDC	23abC	24aAB	19,04
10**	14dBA	22,5abCBc	23abC	14dBA	24aA	22bcC	14dBA	21cB	22bcD	14dBA	21cD	23abBC	19,54
15**	11fED	22cdC	22,5bcdC	11fED	21deC	24abAB	11fED	23,5abcA	20eE	11fED	25aAB	22cdC	18,67
20**	10eE	22cdC	23,5abcCB	10eE	23bcAB	25aA	10eE	21dB	24abBC	10eE	24abBC	23bcBC	18,79
25**	13dCB	24abBA	25aBA	13dCB	22cBC	23bcBC	13dCB	23bcA	22,5bcCD	13dCB	23bcC	25aA	19,96
30**	12dDC	25aA	24abCB	12dDC	24abA	24abAB	12dDC	22,5bcAB	25aAB	12dDC	21cD	25aA	19,88
35**	13dCB	25aA	25aBA	13dCB	22cBC	25aA	13dCB	22,5bcAB	24abBC	13dCB	25aAB	25aA	20,46
40**	15cA	25abA	26aA	15cA	24bA	25abA	15cA	24bA	26aA	15cA	26aA	25abA	21,75
Ortalama	12,50	23,44	24,00	12,50	22,88	23,75	12,50	22,31	23,25	12,50	23,50	24,00	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Toprak Bakır Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm**	4 ppm*	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	Ortalama
0**	1,2deCD	1,2deC	1,5bAB	1,2deCD	1,1eD	1,3cdCD	1,2deCD	1,1eD	1,4bcBC	1,2deCD	1,7aA	1,4bcBC	1,29
10**	1,3abBC	1,2bcC	1dD	1,3abBC	1,4aAB	1,1cdE	1,3abBC	1,2bcD	1,3abCD	1,3abBC	1,4aCD	1,3abCD	1,26
15**	1,2deCD	1,4bcAB	1,4bcBC	1,2deCD	1,4bcAB	1,3cdCD	1,2deCD	1,6aAB	1,1eE	1,2deCD	1,5abBC	1,5abB	1,33
20**	1,1fD	1,3deBC	1,5bcAB	1,1fD	1,3deBC	1,2efDE	1,1fD	1,7aA	1,6abA	1,1fD	1,4cdCD	1,7aA	1,34
25**	1,4bcAB	1,2dC	1,3cdC	1,4bcAB	1,4bcAB	1,4bcBC	1,4bcAB	1,5abBC	1,4bcBC	1,4bcAB	1,6aAB	1,4bcBC	1,40
30**	1,3cdBC	1,4bcAB	1,6acA	1,3cdBC	1,5abA	1,4bcBC	1,3cdBC	1,4bcC	1,5abAB	1,3cdBC	1,3cdD	1,2dD	1,38
35**	1,5abA	1,3bcdBC	1,4bcBC	1,5abA	1,2deCD	1,5abAB	1,5abA	1,4bcC	1,1eE	1,5abA	1,6aAB	1,5abB	1,42
40**	1,4bcAB	1,5abA	1,3cdC	1,4bcAB	1,4bcAB	1,6aA	1,4bcAB	1,6aAB	1,2dDE	1,4bcAB	1,4bcCD	1,3cdCD	1,41
Ortalama	1,30	1,32	1,38	1,30	1,34	1,35	1,30	1,44	1,33	1,30	1,49	1,41	

Aynı harfler ile takip eden satırlar ve sütunlar istatistiksel olarak önemsizdir.

* İstatistiksel olarak önemlidir. ($p \leq 0,05$)

** İstatistiksel olarak çok önemlidir. ($p < 0,01$)

ød İstatistiksel olarak önemli değildir. ($p > 0,05$)

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Kök Demir Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	Ortalama
0 ^{öd}	10,27a	10,5a	10,24a	10,27a	9,99a	10,22a	10,27a	10,78a	10,9a	10,27a	10,85a	9,94a	10,42
10 ^{öd}	11,55a	10,08a	10,29a	11,55a	9,82a	10,92a	11,55a	10,57a	10,5a	11,55a	10,38a	11,06a	10,73
15 ^{öd}	10,32a	10,78a	10,64a	10,32a	9,94a	10,71a	10,32a	10,38a	11,13a	10,32a	10,29a	11,2a	10,63
20 ^{öd}	10,99a	11,48a	10,53a	10,99a	10,43a	10,57a	10,99a	10,89a	10,43a	10,99a	10,64a	10,15a	10,58
25 ^{öd}	10,32ab	10,43ab	10,15ab	10,32ab	10,99a	10,78a	10,32ab	10,32ab	9,87b	10,32ab	10,99a	10,64a	10,193
30 ^{öd}	10,43a	11,13a	11,48a	10,43a	10,64a	11,13a	10,43a	10,85a	11,13a	10,43a	10,5a	11,2a	10,80
35 ^{öd}	11,18a	11,83a	10,99a	11,18a	11,69a	11,34a	11,18a	10,29a	11,43a	11,18a	11,62a	11,27a	11,29
40 ^{öd}	11,2ab	11,13ab	10,08ab	11,2ab	9,81b	11,31ab	11,2ab	10,99ab	11,81ab	11,2ab	10,99ab	10,29ab	10,93
Ortalama	10,78	10,92	10,55	10,78	10,41	10,87	10,783	10,63	10,92	10,783	10,783	10,719	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Gövde Demir Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	Ortalama
0**	6,02dA	9,24abAB	9,6abA	6,02dA	8,49bA	7,85bcdA	6,02dA	6,63cdA	9,45abA	6,02dA	8,12bcA	10,5aA	7,83
10**	6,86ccA	9,58abAB	9,31abA	6,86ccA	8,89abA	7,91bcA	6,86ccA	6,79cA	8,47abcA	6,86ccA	8,02bcA	10,15aA	8,08
15**	5,99dA	9,16aAB	9,95aA	5,99dA	9,03abA	8,28abA	5,99dA	7,23bcA	9,25aA	5,99dA	8,19bA	9,87aA	7,91
20**	6,72dA	7,95bcB	9,08abcA	6,72dA	8,78abcA	8,32bcdA	6,72dA	7,77bcdA	9,54abA	6,72dA	7,48cdA	10,29aA	8,01
25**	6,28dA	8,54abcAB	9,33abA	6,28dA	8,25abcA	7,69bcdA	6,28dA	6,95cdA	8,93abA	6,28dA	8,85abA	10,05aA	7,81
30**	6,13dA	9,98aA	9,52abA	6,13dA	7,79bcdA	7,93bcdA	6,13dA	7,48cdA	9,33abcA	6,13dA	7,97bcdA	10,15aA	7,89
35**	6,18dA	9,2abAB	8,91abA	6,18dA	8,8abA	8,25bcA	6,18dA	6,73cdA	9,5abA	6,18dA	8,05bcdA	10,5aA	7,89
40**	7,35dA	9,85abAB	9,34abcA	7,35dA	8,45bcdA	7,95cdA	7,35dA	7,55cdA	8,4bcdA	7,35dA	8,53bcdA	10,9aA	8,36
Ortalama	6,44	9,19	9,83	6,44	8,56	8,02	6,44	7,14	9,11	6,44	8,15	10,30	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Toprak Demir Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	Ortalama
0**	3,63cA	3,7cA	3,73cA	3,63cA	3,6cA	3,94cA	3,63cA	5,04bcA	6,09abB	3,63cA	6,1abB	7,6aAB	4,53
10**	3,44dA	3,9cdA	3,99cdA	3,44dA	3,4dA	3,68cdA	3,44dA	4,2cdA	7,35aAB	3,44dA	5,5bcB	6,1abBC	4,32
15**	3,67cdA	3,9cdA	3,52cdA	3,67cdA	3,5cdA	3,1dA	3,67cdA	5,36bcA	7,35aAb	3,67cdA	5bcdB	5,9abBC	4,36
20**	3,32cA	3,3cA	3,52cA	3,32cA	3,6cA	3,89bcA	3,32cA	5,14abcA	6,51aB	3,32cA	5,7abB	5,5abC	4,20
25**	3,65cA	3,9cA	3,67cA	3,65cA	3,7cA	3,53cA	3,65cA	5,72bA	8,9aA	3,65cA	8,9aA	7,7aAB	5,05
30**	3,54bA	3,65bA	3,53bA	3,54bA	3,4bA	3,56bA	3,54bA	5,3bA	8,6aA	3,54bA	8,6aA	8,9aA	4,98
35**	3,84bcA	3,2cA	3,62bcA	3,84bcA	3,3cA	3,35cA	3,84bcA	5,5bA	8,5aA	3,84bcA	8,4aA	7,6aAB	4,90
40**	3,93bcA	3,4cA	3,53cA	3,93bcA	3,5cA	3,04cA	3,93bcA	5,66bA	8,7aA	3,93bcA	8,4aA	8,7aA	5,05
Ortalama	3,63	3,62	3,64	3,63	3,50	3,51	3,63	5,24	7,75	3,63	7,06	7,25	

Aynı harfler ile takip eden satırlar ve sütunlar istatistiksel olarak önemsizdir.

* İstatistiksel olarak önemlidir. ($p \leq 0,05$)

** İstatistiksel olarak çok önemlidir. ($p < 0,01$)

^{öd} İstatistiksel olarak önemli değildir. ($p > 0,05$)

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Kök Mangan Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ortalama
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm*	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	
0**	34aAB	33bcDE	34bBC	34aAB	34bBC	36aA	34aAB	32cD	34bBC	34aAB	32cC	32cC	33,55
10**	33deBC	36abAB	35bcAB	33deBC	35bcAB	37aA	33deBC	33cdBCD	32deDF	33deBC	35bcAB	31eC	33,94
15**	33cdB	37aA	32dDE	33cdB	32DE	36abA	33cdB	34cBC	35bcAB	33cdB	34cB	34cAB	33,98
20**	31dC	34bCD	36aA	31dC	33bcdCD	33bcdB	31dC	32cdD	33bcBCD	31dC	36aA	33bcdBC	33,02
25**	36abA	33deDE	33deCD	36abA	31fE	37aA	36abA	33deCD	33deCD	36abA	34cdB	35bcA	34,08
30**	34abAB	35abBC	35abAB	34abAB	36aA	34bB	34abAB	35abAB	36aA	34abAB	35abAB	35abA	34,92
35**	34bcAB	32dE	32dDE	34bcAB	36aA	36abA	34bcAB	36abA	36abA	34bcAB	34cB	35abA	34,75
40**	34abAB	36aAB	31cE	34abAB	35aAB	34bB	34abAB	35aAB	36aA	34abAB	36aA	34bAB	34,52
Ortalama	33,95	34,50	33,50	33,95	34,10	35,38	33,95	33,83	34,46	33,95	34,50	33,70	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Gövde Mangan Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ortalama
	0 ppm**	4 ppm ^{öd}	8 ppm*	0 ppm**	4 ppm*	8 ppm ^{öd}	0 ppm**	4 ppm ^{öd}	8 ppm*	0 ppm**	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	
0 ^{öd}	17abcC	17abcAB	17abcBC	17abcC	16bcB	16abcA	17abcC	17abcA	18abAB	17abcC	16cC	18aAB	17,17
10**	19aA	16cAB	18abAB	19aA	18abCA	17bcA	19aA	16cA	19aA	19aA	17bcABC	17bcAB	18,30
15*	16bC	17abAB	18bABC	16bC	17abAB	16bA	16bC	18abA	16bB	16bC	18abAB	19aA	17,38
20**	19aAB	16bB	19aAB	19aAB	16bAB	16bA	19aAB	17abA	16bB	19aAB	17abABC	17abAB	17,88
25 ^{öd}	16abC	17abAB	17abBC	16abC	18aA	17abA	16abC	16bA	17abAB	16abC	16abABC	18aAB	17,08
30 ^{öd}	17aBC	18aA	18aABC	17aBC	17aAB	18cdA	17aBC	18abA	18aAB	17aBC	18aA	16aB	17,77
35**	15dC	16cdB	19aA	15dC	18abA	16cdA	15dC	16bcdA	17bcAB	15dC	16cdBC	18abAB	16,88
40**	17abC	16abAB	16abC	17abC	16bB	17abA	17abC	17abA	18aAB	17abC	17abABC	17abAB	17,18
Ortalama	17,40	16,96	18,08	17,40	17,43	16,99	17,40	17,31	17,88	17,40	17,29	17,94	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Toprak Mangan Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	0 ppm ^{öd}	4 ppm ^{öd}	8 ppm ^{öd}	Ortalama
0 ^{öd}	3,45	3,69	3,43	3,45	3,55	3,33	3,45	3,49	3,59	3,45	3,60	4,60	3,59
10 ^{öd}	3,31	3,99	3,59	3,31	3,79	3,41	3,31	4,00	4,56	3,31	3,90	3,70	3,68
15 ^{öd}	3,53	3,54	3,42	3,53	3,97	3,39	3,53	3,11	3,57	3,53	3,50	3,20	3,49
20 ^{öd}	3,15	3,75	3,63	3,15	3,15	3,42	3,15	3,39	3,78	3,15	3,90	4,10	3,48
25 ^{öd}	3,47	3,65	4,04	3,47	3,01	3,53	3,47	3,80	3,29	3,47	4,60	3,40	3,60
30 ^{öd}	3,94	3,57	3,33	3,94	3,59	4,04	3,94	3,35	3,19	3,94	3,40	3,30	3,63
35 ^{öd}	3,39	4,17	3,43	3,39	4,01	4,30	3,39	3,65	3,15	3,39	3,70	3,00	3,58
40 ^{öd}	3,99	3,59	3,19	3,99	3,58	3,84	3,99	3,55	3,55	3,99	4,30	3,20	3,73
Ortalama	3,53	3,74	3,51	3,53	3,58	3,66	3,53	3,54	3,59	3,53	3,86	3,56	

Aynı harfler ile takip eden satırlar ve sütunlar istatistiksel olarak önemsizdir.

* İstatistiksel olarak önemlidir. ($p \leq 0,05$)

** İstatistiksel olarak çok önemlidir. ($p < 0,01$)

^{öd} İstatistiksel olarak önemli değildir. ($p > 0,05$)

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Kök Çinko Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	Ortalama
0**	75cCD	77dD	85bC	75cCD	74efE	75eE	75cCD	83cC	89aB	75cCD	78dC	73cF	77,83
10**	78cD	74gE	88bB	78cD	76fD	86cC	78cD	72hF	80dD	78cD	74ge	92aA	79,50
15**	82aA	82dB	91aA	82aA	86cA	89bB	82aA	86cB	74fE	82aA	76eD	76eDE	82,33
20**	76bB	85aA	83bDE	76bB	76dD	72eF	76bB	71eF	81cD	76bB	83bB	75dE	77,50
25**	77bA	82bB	81bCF	77bA	74eE	71fF	77bA	90aA	80cD	77bA	78dC	71fG	77,92
30**	79eE	78dCD	84aCD	79eE	83aB	79cdD	79eE	76eE	81bD	79eE	71fF	80bcC	79,00
35**	82abB	79eC	82dEF	82abB	84cB	88aB	82abB	75gE	86bC	82abB	79ec	77fD	81,50
40**	84cdBC	82eB	90bA	84cdBC	81eC	93aA	84cdBC	79fD	94aA	84cdBC	93aA	87cB	86,25
Ortalama	79,13	79,88	85,50	79,13	79,25	81,63	79,13	79,00	83,13	79,13	79,00	78,88	

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Gövde Çinko Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	Ortalama
0**	49cCD	51bB	52abAB	49cCD	53aAB	48cD	49cCD	53aA	52abB	49cCD	46dE	48cCD	49,92
10**	48cD	53aA	50bCD	48cD	45dE	49bcD	48cD	48cE	45dE	48cD	48cD	52aB	48,50
15**	54aA	45dD	46dE	54aA	49cD	53aC	54aA	51bBC	49cC	54aA	50bcC	54aA	51,08
20**	51bB	42eE	49cD	51bB	54aA	48cdD	51bB	49cDE	51bB	51bB	47dDE	51bB	49,58
25**	53bA	47deC	52bAB	53bA	48cdD	55aB	53bA	46eF	49cC	53bA	53bA	47deD	50,75
30**	46cE	50cdB	53bA	46cE	51cC	57aA	46cE	53bAC	54bA	46cE	51cBC	49dC	50,17
35**	51abB	47cC	51abBC	51abB	52aBC	46cE	51abB	50bD	47cD	51abB	52aAB	47cD	49,67
40**	50cdBC	51bcB	49deD	50cdBC	53aAB	49deD	50cdBC	52abAB	49dC	50cdBC	48eD	48eCD	50,26
Ortalama	50,25	48,25	50,25	50,25	50,63	50,63	50,25	50,25	49,50	50,25	49,38	49,50	

Ek8. Farklı uygulamalar sonucunda elde edilen bitki kök , gövde ve toprak Zn konsantrasyonları değişimlerinin Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Toprağa Uygulanan Bor kons. mg B/kg	Toprak Çinko Konsantrasyonu												
	EDTA						DTPA						
	Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			Ekim Öncesi			Hasat Öncesi			
	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm*	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	0 ppm**	4 ppm**	8 ppm**	Ortalama
0 ^ö	1,6abBC	1,7aBC	1,5bcB	1,6abBC	1,6abBC	1,6abBC	1,6abBC	1,5bcBC	1,4cD	1,6abBC	1,7aA	1,6abCD	1,58
10**	1,4dD	1,9aA	1,7bA	1,4dD	1,5cDC	1,7bAB	1,4dD	1,6bcAB	1,6bcBC	1,4dD	1,5cdBC	1,5cdD	1,55
15**	1,8aA	1,5cdD	1,4dC	1,8aA	1,7abAB	1,4dD	1,8aA	1,4dC	1,5cdCD	1,8aA	1,6bcAB	1,7abBC	1,62
20**	1,6bcBC	1,6bcCD	1,6bcA	1,6bcBC	1,8aA	1,8aA	1,6bcBC	1,7abA	1,7abAB	1,6bcBC	1,4dC	1,5cdD	1,63
25**	1,7bAb	1,9aA	1,5cdBC	1,7bAb	1,5cdC	1,6bcBC	1,7bAb	1,5cdBC	1,4dD	1,7bAb	1,7bA	1,9aA	1,65
30**	1,5cdCD	1,6bcCD	1,4dC	1,5cdCD	1,7abAB	1,5cdCD	1,5cdCD	1,7abA	1,8aA	1,5cdCD	1,5cdBC	1,5cdD	1,56
35**	1,6bBC	1,8aAB	1,6bAB	1,6bBC	1,8aA	1,4cD	1,6bBC	1,4cC	1,6bBC	1,6bBC	1,6bAB	1,8aAB	1,62
40**	1,4cD	1,8sAB	1,5bcBC	1,4cD	1,6bBC	1,6bB	1,4cD	1,6b,AB	1,8aA	1,4cD	1,4cC	1,6bcd	1,54
Ortalama	1,58	1,73	1,53	1,58	1,65	1,58	1,58	1,55	1,60	1,58	1,55	1,64	

Aynı harfler ile takip eden satırlar ve sütunlar istatistiksel olarak önemsizdir.

* İstatistiksel olarak önemlidir. ($p \leq 0,05$)

** İstatistiksel olarak çok önemlidir. ($p < 0,01$)

^ö İstatistiksel olarak önemli değildir. ($p > 0,05$)

ÖZGEÇMİŞ

Atifet MEMİŞOĞLU BİNGÖL, 1976 yılında Erzurum’da doğdu. 1994 yılında Erzurum Anadolu Lisesi’ni bitirdi. Aynı yıl girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 1998 yılında mezun oldu. 2001 yılında “Erzurum İlinde Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliği” konulu Yüksek Lisans çalışmasını tamamlayarak doktora başladı. Yurt içi ve yurt dışında makale ve bildiriler yayımladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.