

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ (BİTKİ) İLE SUCUL SİSTEMLERİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

GÜNEL ALİYEVA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. BEYZA ÜSTÜN**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ (BİTKİ) İLE SUCUL SİSTEMLERİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Günel ALİYEVA tarafından hazırlanan tez çalışması 14.04.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşen ERDİNÇLER
Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Güleda ENGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2012-05-02-YL01 numaralı YÜLAP projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada araştırmanın ve uygulamanın önemini bilgi ve tecrübesiyle anlatan, büyük özveri ve sabrıyla bana her zaman yardımcı olan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN'e,

Deneme setinin inşasını gerçekleştiren ve arazi çalışmalarımızda desteğini esirgemeyen Başakşehir Belediye Başkanlığı Fen İşleri Müdürlüğü'ne ve Yük. Müh. Nihat TOPRAK'a,

Numunelerin metal analizlerinde kullanılan ICP-OES cihazından yararlanmama olanak sağlayan Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN'e,

Metal okumalarını birlikte gerçekleştirdiğim Arş.Gör. Özgül D. ÖZDEMİR'e ve Kimya Teknisyeni Gülhan SAĞLAM'a

Eğitim hayatımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Memmedeli ALİYEV'e, annem Fatima NURİ'ye

sonsuz teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Nisan, 2014

Günel ALİYEVA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
BİTKİ İLE İYİLEŞTİRME (FİTOREMEDİASYON).....	5
2.1 Bitki ile Giderim Mekanizmaları	8
2.1.1 Fitostabilizasyon	10
2.1.2 Fitoekstraksiyon	11
2.1.3 Fitodegradasyon (Rizodegradasyon).....	14
2.1.4 Fitostimülasyon	14
2.1.5 Fitovolatilizasyon.....	15
2.2 Hiperakümülatörler	16
2.3 Fitoremediasyon Tekniğinin Avantaj ve Dezavantajları	20
BÖLÜM 3	
SULARDA AĞIR METAL KİRLİLİK KAYNAKLARI VE SAĞLIK ETKİLERİ.....	22

3.1	Ağır Metal Kirliliğinin Sağlığa Etkileri.....	24
3.1.1	Kalsiyum (Ca) Elementi ve Sağlığa Etkileri.....	25
3.1.2	Magnezyum (Mg) Elementi ve Sağlığa Etkileri.....	26
3.1.3	Krom (Cr) Elementi ve Sağlığa Etkileri.....	26
3.1.4	Mangan (Mn) Elementi ve Sağlığa Etkileri	27
3.1.5	Demir (Fe) Elementi ve Sağlığa Etkileri	28
3.1.6	Nikel (Ni) Elementi ve Sağlığa Etkileri	28
3.1.7	Bakır (Cu) Elementi ve Sağlığa Etkileri.....	29
3.1.8	Çinko (Zn) Elementi ve Sağlığa Etkileri	30
3.1.9	Kurşun (Pb) Elementi ve Sağlığa Etkileri.....	30
3.1.10	Kadmiyum (Cd) Elementi ve Sağlığa Etkileri	31
BÖLÜM 4		
ARAŞTIRMA ALANI: KÜÇÜKÇEKMECE LAGÜN HAVZASI VE SAZLIDERE		47
BÖLÜM 5		
ARAŞTIRMADA KULLANILAN ARAÇLAR VE YÖNTEM		37
5.1	Deney Yürütülecek Yerin Belirlenmesi	37
5.2	Bitki Seçimi	39
5.2.1	<i>Cryptocoryne undulata</i> Bitkisinin Özellikleri	40
5.2.2	<i>Echinodorus amazonicus</i> Bitkisinin Özellikleri	41
5.3	Numunelerin Alımı ve Analizi	43
5.3.1	Bitkilerin Dikimi, Numune Alımı ve Analizi.....	43
5.3.2	Su Numunesinin Alımı Ve Analizi	45
5.3.3	Sediment Numunelerinin Alımı ve Analizi.....	46
BÖLÜM 6		
ARAŞTIRMANIN BULGULARI VE DEĞERLENDİRME.....		47
6.1	C. undulata Bitkisi ile Yapılan İlk Deneme Seti (Set 1).....	48
6.2	İkinci dikimde (Set 2) Deney Süreci Boyunca Suda İzlenen Fiziko-Kimyasal Değişim	60
6.3	C. undulata Bitkisi ile Yürütülen Deney (Set 2) ve Element Analizleri.....	62
6.3.1	Deney Setinden Alınan Su, Sediment Arası Boşluk Suyu (S.A.B.S) ve Sedimentin Element Analizleri.....	62
6.3.2	C.undulata Bünyesinde Element Konsantrasyonları	75

6.3.3	<i>C.undulata</i> Bünyesinde Analiz Edilen Elementlerin Haftalık Konsantrasyon Ortalamaları	80
6.3.4	<i>C. undulata</i> Toplam Bünyesinde Kısmi Element Miktarları.....	83
6.3.5	<i>C. undulata</i> ile Yürütülen Deneyde Ham Bitki (a-0) ve 4. Hafta Sonlarında Hasat Edilmiş Bitkilerdeki Kısmi Element Miktarları	86
6.3.6	Deneme Sürecinde <i>C. undulata</i> Bitkisinde Fiziksel Değişim.....	88
6.4	<i>E. Amazonicus</i> Bitkisi ile Yürütülen Deney (Set 2) ve Element Analizleri...	89
6.4.1	Deney Setinden Alınan Su, Sediment Arası Boşluk Suyu (S.A.B.S) ve Sedimentin Element Analizleri.....	90
6.4.2	<i>E. Amazonicus</i> Bünyesinde Element Konsantrasyonları	102
6.4.3	<i>E. Amazonicus</i> Bünyesinde Analiz Edilen Elementlerin Haftalık Konsantrasyon Ortalamaları	107
6.4.4	<i>E. amazonicus</i> Toplam Bünyesinde Kısmi Element Miktarları	110
6.4.5	<i>E. Amazonicus</i> ile Yürütülen Deneyde Ham Bitki (a-0) ve 4. Hafta Sonlarında Hasat Edilmiş Bitkilerdeki Kısmi Element Miktarları	113
6.4.6	Deneme Sürecinde <i>E. Amazonicus</i> Bitkisinde Fiziksel Değişim.....	116
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER		118
KAYNAKLAR		126
EK-A		
2012 YILINDA İSTANBUL'DA ÖLÇÜLMÜŞ ORTALAMA SICAKLIK VE YAĞIŞ DEĞERLERİ		134
ÖZGEÇMİŞ		135

KISALTMA LİSTESİ

APHA	American Public Health Association
EPA	Environmental Protection Agency
EU	European Union
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
S.A.B.S.	Sediment Arası Boşluk Suyu
WHO	World Health Organization

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Fitoremediasyon mekanizmaları.....	6
Şekil 2. 2 Rizofiltrasyon	9
Şekil 2. 3 Fitostabilizasyon.....	10
Şekil 2. 4 Fitoekstraksiyon.....	11
Şekil 2. 5 Fitodegradasyon (rizodegradasyon)	14
Şekil 2. 6 Fitostimülasyon.....	15
Şekil 2. 7 Fitovolatilizasyon	15
Şekil 2. 8 Hiperakümülatör olmayan (sol) ve hiperakümülatör (sağ) bitkilerin ağır metal alım mekanizması.....	19
Şekil 4. 1 Küçükçekmece Havzası haritası ve uydu görüntüsü	33
Şekil 5. 1 Deney seti uydu görüntüsü	38
Şekil 5. 2 Set 1 (a) ve Set 2 (b) genel görünümü	39
Şekil 5. 3 <i>Cryptocoryne undulata</i>	40
Şekil 5. 4 <i>Echinodorus amazonicus</i>	41
Şekil 5. 5 Deney Seti Görünümü ve Şeması.....	44
Şekil 6. 1 Deney seti çevresinde atıksu kaynakları	47
Şekil 6. 2 Set 1 denemesinde bitki yapraklarında "erime"	48
Şekil 6. 3 Birinci dikimde (Set 1) Mg elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	51
Şekil 6. 4 Birinci dikimde (Set 1) Ca elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	52
Şekil 6. 5 Birinci dikimde (Set 1) Fe elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	53
Şekil 6. 6 Birinci dikimde (Set 1) Cr elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	54
Şekil 6. 7 Birinci dikimde (Set 1) Mn elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	55
Şekil 6. 8 Birinci dikimde (Set 1) Ni elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	56
Şekil 6. 9 Birinci dikimde (Set 1) Cu elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	57

Şekil 6. 10	Birinci dikimde (Set 1) Zn elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	58
Şekil 6. 11	Birinci dikimde (Set 1) Pb elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu	60
Şekil 6. 12	Birinci dikimde (Set 1) Cd elementinin sedimentteki konsantrasyonu	60
Şekil 6. 13	Deney sürecinde suda izlenen pH, sıcaklık, su derinliği, secchi disk, tuzluluk, iletkenlik, KOİ, alkalinite ve çözünmüş oksijen parametreleri	61
Şekil 6. 14	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Mg konsantrasyonları	66
Şekil 6. 15	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Ca konsantrasyonları	67
Şekil 6. 16	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Cr konsantrasyonları	68
Şekil 6. 17	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Mn konsantrasyonları	69
Şekil 6. 18	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Fe konsantrasyonları	70
Şekil 6. 19	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Ni konsantrasyonları	71
Şekil 6. 20	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Cu konsantrasyonları	72
Şekil 6. 21	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Zn konsantrasyonları	73
Şekil 6. 22	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Pb konsantrasyonları	74
Şekil 6. 23	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde sedimentteki Cd konsantrasyonu	75
Şekil 6. 24	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Mg konsantrasyonu	77
Şekil 6. 25	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Ca konsantrasyonu	77
Şekil 6. 26	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Cr konsantrasyonu	77
Şekil 6. 27	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Mn konsantrasyonu	78
Şekil 6. 28	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Fe konsantrasyonu	78
Şekil 6. 29	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Ni konsantrasyonu	78
Şekil 6. 30	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Cu konsantrasyonu	79
Şekil 6. 31	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Zn konsantrasyonu	79
Şekil 6. 32	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Pb konsantrasyonu	79
Şekil 6. 33	<i>C. undulata</i> bünyesindeki Cd konsantrasyonu	80
Şekil 6. 34	<i>C. undulata</i> bünyesinde analiz edilen Mg, Ca, Cr, Mn, Fe ve Ni elementlerinin haftalık konsantrasyon ortalamaları	82
Şekil 6. 35	<i>C. undulata</i> bünyesinde analiz edilen Cu, Zn, Pb ve Cd elementlerinin haftalık konsantrasyon ortalamaları	83
Şekil 6. 36	<i>C. undulata</i> toplam bünyesinde Mg, Ca, Cr, Mn, Fe ve Ni elementlerine ait kısmi element miktarları	85
Şekil 6. 37	<i>C. undulata</i> toplam bünyesinde Cu, Zn,Pb ve Cd elementlerine ait kısmi element miktarları	86

Şekil 6. 38	<i>C. undulata</i> ile yürütülen deneyde ham bitki (a-0) ve 4. hafta sonlarında hasat edilmiş bitkilerdeki kısmi element miktarları	87
Şekil 6. 39	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Mg konsantrasyonları	93
Şekil 6. 40	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Ca konsantrasyonları	94
Şekil 6. 41	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Cr konsantrasyonları	95
Şekil 6. 42	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Mn konsantrasyonları	96
Şekil 6. 43	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Fe konsantrasyonları	97
Şekil 6. 44	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Ni konsantrasyonları	98
Şekil 6. 45	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Cu konsantrasyonları	99
Şekil 6. 46	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Zn konsantrasyonları	100
Şekil 6. 47	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Pb konsantrasyonları	101
Şekil 6. 48	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde sedimentteki Cd konsantrasyonu ..	102
Şekil 6. 49	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Mg konsantrasyonu	104
Şekil 6. 50	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Ca konsantrasyonu	104
Şekil 6. 51	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Cr konsantrasyonu	105
Şekil 6. 52	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Mn konsantrasyonu	105
Şekil 6. 53	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Fe konsantrasyonu	105
Şekil 6. 54	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Ni konsantrasyonu	106
Şekil 6. 55	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Cu konsantrasyonu	106
Şekil 6. 56	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Zn konsantrasyonu	106
Şekil 6. 57	<i>E. amazonicus</i> bünyesindeki Pb konsantrasyonu	107
Şekil 6. 58	<i>E. amazonicus</i> bünyesinde analiz edilen Mg, Ca, Cr, Mn, Fe ve Ni elementlerinin haftalık konsantrasyon ortalamaları	109
Şekil 6. 59	<i>E. amazonicus</i> bünyesinde analiz edilen Cu, Zn ve Pb elementlerinin haftalık konsantrasyon ortalamaları	110
Şekil 6. 60	<i>E. amazonicus</i> toplam bünyesinde Mg, Ca, Cr, Mn, Fe ve Ni elementlerine ait kısmi element miktarları	112
Şekil 6. 61	<i>E. amazonicus</i> toplam bünyesinde Cu, Zn ve Pb elementlerine ait kısmi element miktarları	113
Şekil 6. 62	<i>E. amazonicus</i> ile yürütülen deneyde ham bitki (a-0) ve 4. hafta sonlarında hasat edilmiş bitkilerdeki kısmi element miktarları	115

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1	İçme sularında ağır metal limitleri (mg/l)..... 25
Çizelge 4. 1	Küçükçekmece havzasındaki endüstri tesislerinin çeşitleri ve prosesleri sonucu çıkan metaller 35
Çizelge 6. 1	Deney sürecinde <i>C. undulata</i> bitkisinin boy değişimi 89
Çizelge 6. 2	Deney sürecinde <i>E. amazonicus</i> bitkisinin boy değişimi 118
Çizelge 7. 1	Çalışmada izlenen elementlerin maksimum konsantrasyonlarının bitki organlarına göre dağılımı 124

Fitoremediasyon (Bitki ile Alım) Yöntemi ile Su ve Sediment Kalitesinin İyileştirilmesi

Günel ALİYEVA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN

Endüstriyel üretimlerden kaynaklanan çıktılar sucul sistemlerde kirliliğe ve canlı yaşam için sorunlara neden olmaktadır. Endüstriyel atıksu deşarjlarından ve doğal oluşumlardan kaynaklanan ağır metallerin sulak ortamlardan: su ve sedimentten uygun yöntemlerle giderilmesi gerekmektedir. Doğal ortamların iyileştirilmesi ilgili yöntemler arasında doğal arıtım yöntemlerinin dışındakilerin; mühendislik harcamalarının yüksek olması, doğaya, çeşitliliğine verdiği zararlardan ve biyoaktiviteye zararından dolayı uygulaması tercih edilmemektedir.

Doğal sistemlerin iyileştirilmesi için önerilenlerin başında gelen fitoremediasyon (bitki ile iyileştirme) yöntemi ise, hem ekonomik hem de doğaya verdiği zararların diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha az olmasından dolayı son yıllarda bilimsel çalışmalarda giderek daha çok denenmektedir.

Fitoremediasyon, kirlenmiş alanların temizlenmesi için kullanılan doğrudan doğal sisteme uygulanan, teknolojik bir iyileştirme yöntemidir. Bu yöntemin düşük kirletici konsantrasyonlarda bile etkili olduğu için tercih edilmektedir.

Bu çalışmada sahada fitoremediasyon yöntemi uygulanarak sulak alanlardaki ağır metal kirleticilerinin bitki bünyesine alımı ve sucul ortamın kendini iyileştirme çabasına katkı verilmesi amaçlanmıştır.

Uygulama, kontrolsüz evsel ve endüstriyel deşarjlardan kaynaklanan organik ve inorganik kirleticilerin su ve sedimentte birikerek ekolojik sistemi, birçok endemik türün yaşamını tehdit ettiği Küçükçekmece Lagünü'nün önemli akarsuyu olan Sazlıdere'de gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada bitkinin dikildiği doğal ortamda su ve sediment numuneleri alınarak fitoremediasyon yönteminin doğal ortamdaki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma süresince lagün ve derelerdeki sedimentin ağır metal özellikleri göz önüne alınarak ekolojik sisteme zarar vermeyeceği düşünülen iki tür bitki – *Cryptocoryne undulata* ve *Echinodorus amazonicus* kullanılarak arıtımın gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Doğal ortamdan her hafta alınan su, sediment ve bitki numunelerinde 10 elementin (Ca, Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cd) hareketliliği izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal arıtım, Bitki ile alım (Fitoremediasyon), ağır metaller, Sazlıdere, su iyileştirme, sediment iyileştirme

ABSTRACT

Improving the Quality of Water and Sediment via Phytoremediation (by Plant) Method

Günel ALİYEVA

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Supervisor of Thesis: Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN

Various industrial processes add critical pollutants in water systems thereby leading to problems for life across natural systems. Among all types of pollutants, heavy metals discharged from industrial waste water, have huge deleterious effects on the ecology. That's why metals, especially heavy metals, should be removed from water and sediment systems via appropriate techniques. Other treatment techniques, besides natural purification techniques (sediment scraping, getting water from natural system to treatment plants e.g.), have not been preferred for purification of contaminated water systems because of their high expenditures, deleteriously effects on nature, biodiversity and bioactivity.

In the recent years, natural purification techniques especially phytoremediation technique have been researched for purifying of natural water systems due to their low cost, less effects on ecosystem rather than engineering techniques.

Phytoremediation is a kind of purification technique to apply to contaminated natural water systems, for getting high ecological quality of water and sediment systems; other than the engineering techniques, owing to their high effective purification capacity for few concentrations of metals.

The aim of this research is up-taking of heavy metals from natural water systems, and contributing to assimilation capacity of nature.

According to this aim, Sazlıdere Creek feeding Küçükçekmece Lagoon is chosen as the research area. Küçükçekmece Lagoon and its watershed have threatened with organic and inorganic pollutions of industrial and domestic wastewater. These pollutants have adsorbed onto sediment and causes deleterious effects to water diversities and ecosystem in the region.

During the research, two types of plants, named as *Cryptocoryne undulata* and *Echinodorus amazonicus*, were planted into the creek. The plants carried to the research were chosen not to give any harmful effects to the ecological system. Various Water, Sediment and Plant samples were taken from the creek on a weekly basis. The research dweller upon to follow the mobility of heavy metals and some elements; Ca, Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, between water, sediment and plant, and also to determine purification effect of phytoremediation for water and sediment in the creek.

Key words: Natural treatment, phytoremediation, heavy metal, Sazlıdere Creek, Küçükçekmece Lagoon, water purification, sediment purification

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde, sanayilerin büyük ölçekte nehirlere atıksu deşarjı nehir sularının kirlenmesinde ciddi tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. Farklı kirleticiler arasında ağır metal kirleticileri modern dünyanın yüzleşmesi gereken başlıca çevre sorunudur. Sedimentte ağır metal birikimi ve etkisizleştirilmesi bilimsel araştırmalarda son yıllarda odak noktası olmuştur [2].

Laboratuar ortamında sulak alanların fitoremediasyonu zengin deneme geçmişine sahiptir. Değişen çevresel şartlarda bitkilerin farklı davranışları fitoremediasyon potansiyelini değerlendirmeyi zorlaştırır. Bu yüzden tam ölçekli saha uygulamaları birkaç öneri - mekanizma sayısı ile kısıtlıdır. Doğal ortamda yürütülen, metal kirleticilerinin su ekosistemlerinde, sedimentte, sucul ortamdaki bitki bünyesinde birikimini konu alan çok az araştırma vardır [2].

Yapılan araştırmalar kirlenmekte olan doğal ortamlarda yaşamını sürdüren bitkilerin sucul sistemlerde yüksek ağır metal konsantrasyonlarının belirteci olduğunu göstermiştir [3]. Bu durum bitkilerin fitoremediasyon tekniği ile doğal ortamların, sucul sistemlerin iyileştirilmesinde kullanılabileceğine ışık tutmuştur.

Fitoremediasyon sürecinde metal alımı fitostabilizasyon, Fitoekstraksiyon, fitodegradasyon, fitostimulasyon, fitovolatilizasyon yöntemleri ile giderilmektedir [4], [5],

[6], [7], [8]. Bunun sonucunda kirlenmiş toprak ve su ortamlarında bitkiyle alım yöntemi ile kirlilik giderimi doğal arıtım sistemi olarak kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Tezin amacı Küçükçekmece Lagünü'nü besleyen ve üzerine yapılan sanayi atıksu deşarjları nedeniyle ekosistem için risk oluşturan Sazlıdere'nin doğal yöntemlerle iyileştirilmesini araştırmaktır. Bu nedenle çalışmada Sazlıdere ve Küçükçekmece Lagünü'nün buluşma noktası olan delta araştırma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmanın hedefi Lagünün kirlenmesindeki en önemli katkı olan Sazlıdere sedimentinin fitoremediasyon yöntemi ile Lagün ekosistemi üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılmasıdır.

Sazlıdere su ve sedimentinin kirliliği ile ilgili araştırmalar bulunmasına rağmen bugüne değin Sazlıdere'nin içinde bulunduğu potansiyel ekolojik riske ve bu riskin nasıl giderileceği ile ilgili kapsamlı uygulama yapılmamıştır. Bu yüzden bu tezde Sazlıdere sedimentinin ağır metalle kirlenmesine bağlı ekolojik risk seviyesinin düşürülmesi araştırılmaktadır.

Bu araştırmada doğal iyileştirme olarak, Sazlıdere deltasında bitki kullanılarak (fitoremediasyon yöntemi ile) sudan ve sedimentten metal kirleticilerinin uzaklaştırılması çalışılmıştır. Yapılan araştırmalarda bölgeye adapte olabileceği tahmin edilerek seçilmiş bitkilerle (fitoremediasyon tekniği ile) ortamdaki metal uzaklaştırmanın esasları belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada doğaya olumsuz etkisi en az olabileceği düşünülen sualtı bitkilerin doğal ortamın kirlilik giderimine katkısı araştırılmıştır. Bu güne değin yapılan çalışmalarda, araziye uygulanarak *C. undulata* ve *E. amazonicus* bitkilerinin fitoremediasyon için kullanımı yaygın değildir, bu bitkilerle yapılan çalışmalar laboratuvar ortamlarındaki araştırmalarla sınırlıdır.

Zengin (2008), *C. undulata* ve *E. amazonicus* bitkilerinin laboratuvar ortamında metal alım kapasitelerini araştırmış ve her iki bitkinin de ağır metal alımı gerçekleştirdiğini belirlemiştir. Li H. ve d. (2005) laboratuvar ortamında Cd metalinin en yüksek ve en düşük alımını üç farklı bitkiyle denemiş, bu bitkilerden biri de *E. amazonicus* olmuştur. Elde

edilen veriler her üç bitkiyle alım sırasında ortamdaki Cd konsantrasyonunun 5-20 mg/litre arasında azaldığını göstermiştir. Bu çalışmada Cd metalinin *E. amazonicus* bitkisine toksik etki yaptığı izlenmiştir.

Çalışmada endüstriyel atıklarla kirlenmiş sedimentin arındırılmasında uygulayacağımız fitoremediasyon tekniğinin araştırma gerektiren karmaşık bir süreç olmasına rağmen; bu yöntem bir bitki ile gerçekleştirildiği için çevre düzenini tahrip etmemesi, sedimentin bulunduğu ortam düzeninin bozulmaması, toksik etki yapan metalin bitki bünyesine alınarak sedimentten uzaklaştırılabilir olması, diğer sediment iyileştirme yöntemleri ile kıyaslandığında daha ekonomik ve daha kolay uygulanabilir olması nedeniyle tercih edilmiştir.

C. undulata ve *E. amazonicus* bitkileri ile yürütülen bu çalışmada, aşağıda maddeler halinde açıklanan işlemlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır:

- Laboratuvar ortamında araştırılmış bitkilerin arazide uygulanması ve izlenmesi,
- Kullanılan bitkilerin dönemsel olarak ağır metal içeriklerindeki değişimin belirlenmesi,
- Uygulanan yöntemin su ekosistemine etkilerinin belirlenmesi,
- Denemede kullanılacak bitkinin sucul sistemden uzaklaştırılması / hasat edilmesi için en uygun zamanın tespit edilmesi.

Çalışma ile her iki bitkinin (*C. undulata* ve *E. amazonicus*) Sazlıdere ekosistemi örneği ile davranışını açıklamak; derenin doğal kimliğine kavuşturulması çalışmalarında bitki türü seçiminin nasıl yapılacağını ve yöntemin sucul sistemlerde tercih edilebileceğini de göstermek amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Uygulamada Sazlıdere'den alınan su, sediment arası boşluk suyu ve sediment numunelerinde 10 elementin (Ca, Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cd) izlenmesi sağlanmış, ağır metallerin belli zaman aralıklarında hareketliliği izlenmiştir.

Çalışmada kullanılan *C. undulata* ve *E. amazonicus* bitkileri arazi çalışmalarında ilk kez kullanılmıştır. Bu nedenle bu araştırma sonucundan elde edilen verilerin Sazlıdere ve Küçükçekmece Havzasının kirlenmesine karşı gereken adımların atılması için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Araştırma ortamı olan Sazlıdere'nin en yüksek kirlilik seviyesi sırasıyla sediment "sediment arası boşluk suyu" su numunelerinde izlenmiştir.

Çalışmada deney bitkilerinin element alım tercihlerinin bitki türlerine bağlı olarak farklı olduğu, ortamda yüksek konsantrasyonlarda bulunan elementlerin bitkiler tarafından daha fazla adsorplandığı belirlenmiştir.

Doğal sirkülasyon dışında deneme ortamındaki metallerin özellikle sediment yapıda azalmasının nedeninin bitkiler tarafından alımın etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 2

BITKİ İLE İYİLEŞTİRME (FİTOREMEDİASYON)

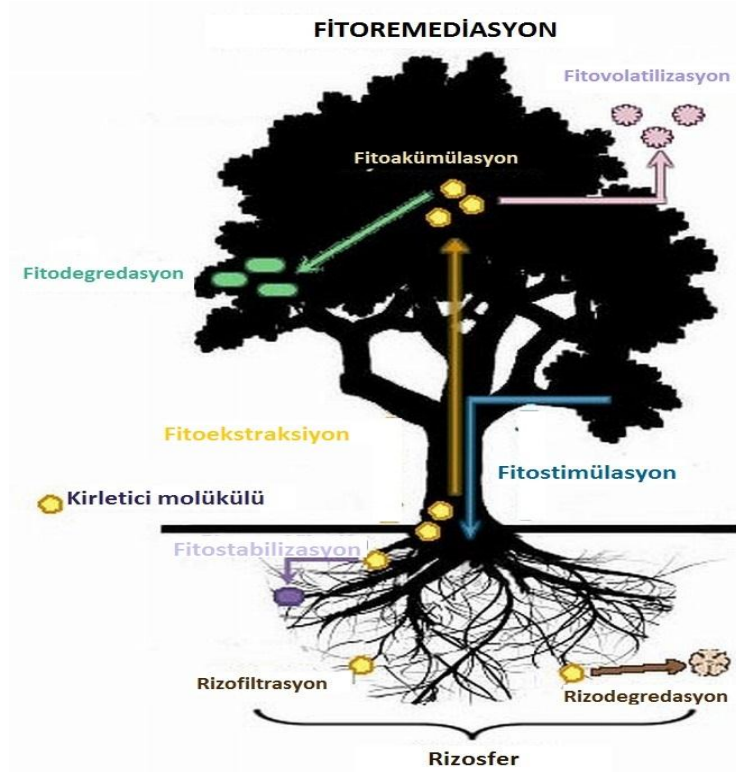
Çevre kirliliği gidermede bitkilerin kapasitesi XVIII. yüzyıldan, Joseph Priestley, Antoine Lavoissier, Karl Scheele ve Jan Ingenhousz tarafından yapılan deneylerde bitkilerin atmosfer kirliliğini gidermede kullanıldığı zamandan beri bilinmektedir [4]. Metal ve diğer kirleticilerin giderilmesinde bünyesinde ağır metal biriktiren bitkilerin kullanılması fikri 1980'li yıllarda önerilse de yöntem son 300 yıldan beri uygulanmış ve metal kirliliğinin giderilmesinde umut verici teknik olarak görülmüştür [5], [6], [7].

Geleneksel teknolojilere kıyasla ağır metallerin giderilmesinde biyolojik işlemlerin maliyeti daha düşüktür. Bu yöntemde, bitkilerin gereksinimi olan enerjiyi güneşten alabilmesi ve yerinde arıtımın gerçekleştirilebilir olması büyük bir avantajdır. Fitoremediasyon organik ksenobiyotikler, ağır metaller ve radyoaktif kirliliğe maruz kalmış atıksuların, yeraltı suların ve toprağın arıtılmasına düşük maliyetli bir yaklaşımdır [8].

Bir terim olarak fitoremediasyon "fito" (Yunanca: bitki) ve "remedium" (Latince: bir kötülüğü düzeltmek veya gidermek) kelimelerinden türemiştir. Bu terim yerine biyoremediasyon, bitki ile iyileştirme ifadeleri de kullanılmaktadır. Fitoremediasyon tekniği, azaltma, indirgeme, toprak ve sudan taşınmayı önleme gibi yöntemler kullanılarak kirleticilerin bitki ile giderilmesi olup, böylece kirlenmiş alanlar temizlenebilmekte, canlılar için toksik olmayan bir ortama dönüştürülmektedir [9], [10].

Fitoremediasyon yöntemi katı, sıvı ve gaz halinde geniş yelpazeyi kapsayan kirleticilerin giderilmesi için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tekniğin temeli degradasyon, değiştirme veya dönüşüm gibi yöntemlerle inorganik ve organik kirleticileri arandıran bitkilerin doğal süreçlerine dayanmaktadır. Bu teknoloji su, hava ve toprakta bulunan toksik metalleri (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, As vs.) giderme potansiyeline sahiptir [9], [10].

Bazı organik bileşikler bitki enzimleri tarafından doğrudan bozunabilir ve tamamen mineralize edilir; bir çok bitki organik birleşikleri büyük ölçülerde indirgeyebilen enzimler üretir ve salgılar. Fakat, inorganik kirleticiler doğal koşullarda bozunmaz. İnorganik kirleticiler biyolojik döngüye karışmaması için toprakta stabilize edilir (fitostabilizasyon), bitki dokularında biriktirilir, ortamdan çıkarılır ve taşınır (Fitoekstraksiyon) ya da uçucu formlara dönüştürülür (fitovolatilizasyon). Metal fitoremediasyon verimliliği genellikle ortamdaki metal biyoaktiviteyi, bitkinin kök gelişimi ve bitkinin her bir metale gösterdiği tolerans düzeyi ile sınırlıdır [11].



Şekil 2. 1 Fitoremediasyon mekanizmaları [12]

Atık iyileştirmede iki hedef vardır [13]:

- Kirliliği bulunduğu formdan/ortamdan almak (arıtma teknikleri)
- Kirleticinin etkisine maruz kalma ve mevcut riski azaltmak (stabilizasyon teknikleri)

Doğal ortamın iyileştirilmesinde kullanılan fitoremediasyonun performansı, ortamın kirlilik seviyesine, kirleticilerin mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir ve erişilebilir olmasına, kirleticinin bitki kökleri tarafından alımının (biyoyararlanma) gerçekleşebilmesine, bitki ve ilişkili mikroorganizmaların kirleticiyi absorbe etme, biriktirme veya bozundurma yeteneğine bağlıdır [13].

Deneyimler, fitoremediasyon teknolojisini uygulamadan önce dikkate alınması gereken özellikleri ortaya çıkarmıştır [14]:

- Kirlilik seviyesi, ortamın özellikleri;
- Arazi için uygun bitki türlerinin seçilmesi;
- Bitki ekimi, kontrolü vb., toprakta yapılacak değişikliklerin belirlenmesi;
- Kirlatici biriktiren bitkilere ne yapılacağının öngörülmesi/planlanması;

Bitki tarafından metallerin alınma süresi; bitkinin türüne, çeşidine ve yaşına, pH, organik madde miktarı ve katyon değişim kapasitesi, metallerin akiferlerde hareketliliğine vb. birçok faktöre bağlıdır. Ağır metallerin akiferdeki hareketliliği pH, kil ve organik madde verileri yüksek olduğu ortamda genellikle düşüktür [15].

Fitoremediasyon kirlili ortamlarda; uygun seçilmiş bitki ile farklı teknolojilerin kombinasyonu ile gerçekleşir:

- Sızma kontrolü için bitki örtüleri
- Toprak iyileştirme için bitki örtüleri
- Hidrolik bariyerler
- Toprak ve yeraltı sularının iyileştirilmesi için ağaçlıklar
- Sulak alanlar

- Nehir kıyısı tamponları
- Hidrofonik (topraksız) sistemler

olarak uygulanmaktadır.

Bu yaklaşımlar amaç ve hedefleri iyileştirme, arındırma, su hareketinin kontrolü, stabilizasyon, muhafaza etme, yıkama vb. amaçları kapsamaktadır. Hedef tespit edildikten sonra, uygun bitkiler ve ilgili fitoteknoloji seçilerek uygulama gerçekleştirilir [16].

Fitoremediasyonda kullanılmak üzere bitki seçimi yaparken dikkate alınması gereken bazı önemli kriterler mevcuttur [17]:

- Dikildiği ortamda varlığı bilinen metallere tolerans seviyesi
- Metalleri yeterli seviyede biriktirme, taşıma ve giderme yetisi
- Yüksek büyüme hızı ve biyokütle verimi
- Sel ve aşırı kuraklık durumlarına dayanıklılık
- Habitat tercihi örneğin, karasal, sucul, yarı sucul ortamlara uyumluluk
- Yüksek pH ve tuzluluğa tolerans
- Kök karakteristiği ve kök bölgesi derinliği

Çeşitli çalışmalar kirlenmiş sulardan ağır metallerin giderilmesinde sucul bitkilerin çok etkili olduğunu göstermiştir [7]. Ayrıca bazı egzotik bitki türleri metal giderilmesinde daha iyi sonuçlar vermektedir ve bitkinin istilacı davranış olasılığı olmadan güvenle kullanılır.

2.1 Bitki ile Giderim Mekanizmaları

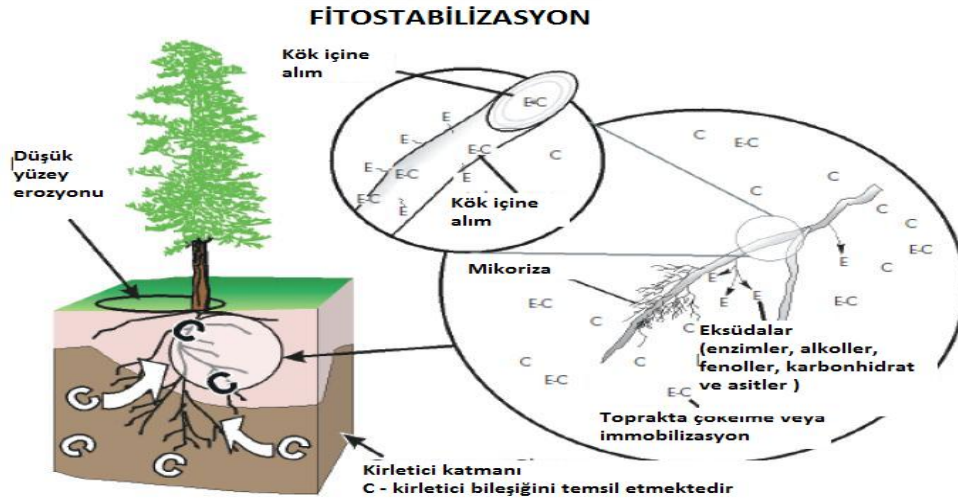
Sucul bitkiler ve ilgili mikroorganizmaların dahil olduğu bir seri iyileştirme yöntemleri vardır. Bu işlemler ağırlıklı olarak, bitki kökü ve mikroorganizmaların birlikte faaliyet gösterdiği rizosferde gerçekleşmektedir. Sadece rizosferdeki uygulamalara bakıldığında üç fitoremediasyon tekniği bilinmektedir:

Rizofiltrasyon: Çevreyi kirlüten çökelti ve konsantre toksik metal atıklarının bitki kökleri ile absorbe edilmesidir [8]. Rizofiltrasyon, su ortamından metaller ve diğer kirleticileri

İnorganik kirlilik genellikle, fitoekstraksiyon ve fitostabilizasyon tarafından ele alınıyorsa, organik kirlilik en çok fitodegradasyon ve fitostimulasyon tarafından giderilmektedir. Bitkilerle iyileştirme metodu genel olarak yukarıda açıklanan teknolojileri bir arada içerebilir. Kirleticiler aynı anda, stabilize edilebilir, uçurulur, degradasyona ya da ayrışmaya tabi tutulabilir. Nitekim, fitoremediasyonun geleneksel iyileştirmeye göre en büyük avantajı çeşitli organik ve inorganik kirletici maddelerin aynı yerde ve aynı zamanda giderilmesi özelliğidir. Kirlenmiş toprakların bitkilerle iyileştirilerek tamamen yararlı hale getirilmesine fitorestorasyon denmektedir [10].

2.1.1 Fitostabilizasyon

Fitostabilizasyon (Şekil 2.3) ağır metallere toleranslı bitkiler kullanarak bu elementlerin hareketinin azaltılması, kirlenmiş karasal arazileri stabilize etmek ve geri kazanmak için bitkilerin kullanımını içerir. Fitostabilizasyon aynı zamanda topraklarda kirleticilerin hareketini azaltmak için kullanılabilecek bir mekanizmadır. Bitki kökleri aynı zamanda toprakta pH ve toprağın nem içeriği gibi şartları da değiştirmektedir [8], [18].



Şekil 2. 3 Fitostabilizasyon [23]

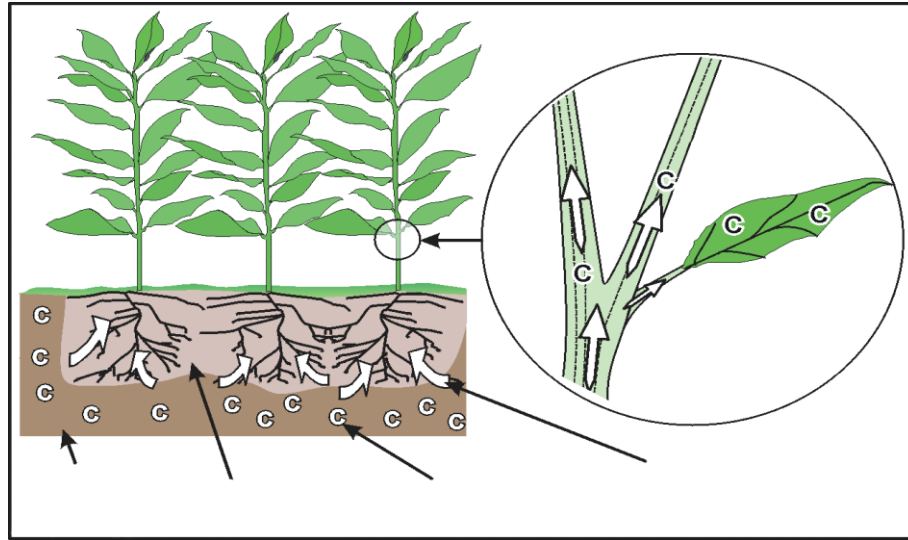
Kirleticinin bitkilerle yerinde stabilizasyon yöntemi, kirlenmiş ortamın gerçekten arındırılması için bir teknoloji değil, potansiyel toksik kirleticileri etkisizleştirerek risk azaltma yöntemidir [13].

Metallerin fitostabilizasyonunda en iyi sonuç ağaçlar ve otlar bir arada olduğunda elde edilmektedir [19].

Erozyon ve toprak sızdırması sık sık toprakta kirletici maddeleri harekete geçirerek hava veya suyla taşınan kirliliğe neden olmaktadır. Fitostabilizasyon süresince bitki kökleri tarafından toprakta çökme veya aşırı su sızması önlenerek toprağın kirlenmesi azaltılır. Bununla birlikte, kirlenmiş arazilerde büyüyen bitkiler toprağı stabilize ederek rüzgar ve su erozyonunu azaltmaktadır [10].

2.1.2 Fitoekstraksiyon

Fitoekstraksiyon köklerinin hasat edilebilir kısmı ve toprak üstünde kalan bölgesinde metal biriktiren bitkilerle ağır metallerin ortamdan uzaklaştırılması olup topraktan metal ve diğer kirleticileri absorbe etmek için bitkilerin kullanımını gerektirir (Şekil 2.4). Bu yöntemle kirleticilerin bitkinin yer üstü dokularına translokasyonu gerçekleşir ve ardından bu bitki hasat edilir [8], [10], [18].



Şekil 2. 4 Fitoekstraksiyon [23]

Kirlenmiş topraklardan metallerin uzaklaştırılması için bitkileri kullanma fikri Utsunamyia (1980) tarafından tanıtılmış ve Chaney (1983) tarafından geliştirilmiş, ilk saha uygulaması ise 1991 yılında (Zn ve Cd elementlerinin Fitoekstraksiyonu) gerçekleştirilmiştir [5].

Fitoekstraksiyon süreci aşağıdaki üç aşamadan oluşmaktadır [13]:

- Kirlenmiş ortamda uygun bitki türlerinin ekimi
- İz elementlerle zenginleşmiş biyokütlenin hasat edilerek ortamdan çıkarılması
- Tehlikeli atığın hacim veya kütlesini azaltmak için hasat sonrası bertaraf

Fitoekstraksiyon özellikle metal, metaloid, ve radyoaktif maddeler gibi parçalanamayan toksik kirleticiler söz konusu olduğunda yararlıdır. Fitoekstraksiyon potansiyeli olan bitkilerin bir kısmı, genetik olarak veya doğrudan kullanım için kendi bünyelerinde diğer türlere göre en az 100 kat daha fazla toksik madde biriktirmekte ve hiperakümülatör adlandırılmaktadırlar [10].

Fitoekstraksiyon iki farklı teknik ile;

- Hiperakümülatör olarak bilinen yüksek metal biriktirme kapasiteli bitkiler ile,
- Kimyasal destekli yüksek biyokütle üretebilen tarım bitkileri kullanarak uygulanmaktadır [6], [24].

Fitoekstraksiyon işleminin uygulanabilirliğini sınırlandıran;

- Düşük bitki toleransı
- Kökten gövdeye kirleticinin taşınması eksikliği
- İyileştirmede kullanılan küçük boyutlu bitkiler
- Maliyet eksikliği ve performans verileri
- Düzenleyenlerin teknolojiye yabancı olması
- Kirlenmiş bitkilerin bertarafı
- Besin zincirinin kirlenme riski
- Kök bölgesi altındaki kirletici
- Uzun bir süreç
- Biyolojik olarak kullanılamaz formdaki kirleticiler
- İyileştirici bitki türlerinin eksikliği

gibi önemli kısıtlamalar mevcuttur [5].

İz elementlerin fitoekstraksiyonu için ideal bir bitki aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [13]:

- Birikecek iz element konsantrasyonu için tolerans
- Hızlı büyüme ve oldukça etkili bir iz element konsantrasyonu biriktirme
- Yukarı kısımlarında iz elementlerin biriktirme yetisi
- Hasat etme kolaylığı

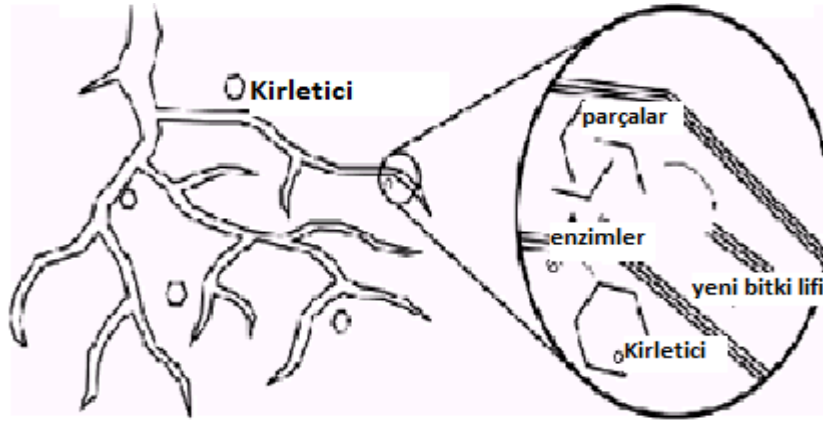
Kirleticiye bağlı olarak, fitoremediasyon süresince kullanılan bitki daha fazla işlem gerektirebilir. Metal gibi inorganik maddelerin giderilmesinde uygulanan Fitoekstraksiyon yönteminde, kullanılan bitki kompost ya da kül etme yöntemi ile konsantre hale getirilir (biyoenerji üretimi), depolanarak bertaraf edilir veya madde geri dönüşümü için kullanılır. Örneğin, “phytomining” adlandırılan hasat sonrası işlem genelde nikel metalinin bertarafı için kullanılmaktadır [10].

Fitoekstraksiyon için geliştirilmekte olan üç temel strateji ise [13]:

- Hiperakümülatörler kullanılarak kesintisiz ve doğal fitoekstraksiyon;
- İz elementlerin giderilmesinde hızlı büyüyen bitkileri kullanarak sürekli veya doğal Fitoekstraksiyon;
- Ortamda iz element hareketliliğini artırmak için kimyasal olarak destekli fitoekstraksiyondur.

2.1.3 Fitodegradasyon (Rizodegradasyon)

Fitodegradasyon kirleticilerin bitki enzimleri veya enzim kofaktörleri tarafından giderilmesidir [8]. Fitodegradasyon (Şekil 2.5) dahili veya salgılanan bitki enzimleri tarafından kirleticilerin kısmen veya tamamen bozunmasını kapsar [10].

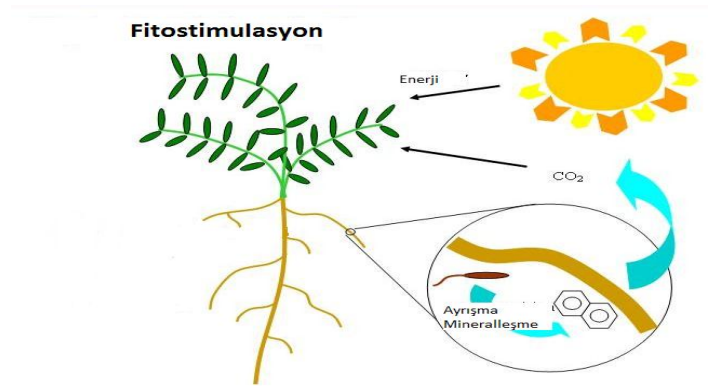


Şekil 2. 5 Fitodegradasyon (rizodegradasyon) [23]

Bu süreç bakteri, maya ve mantar gibi bitki ya da toprak mikroorganizmalarının ürettiği protein ve enzimler sayesinde gerçekleşir. Rizodegradasyon bitkiler ve mikroorganizmalar arasında gelişen simbiyotik bir ilişkidir. Mikroorganizmalar sağlıklı bir toprak ortamı sunarken, bitkiler mikroorganizmaların gelişmesi için gerekli besinleri sağlar [25].

2.1.4 Fitostimülasyon

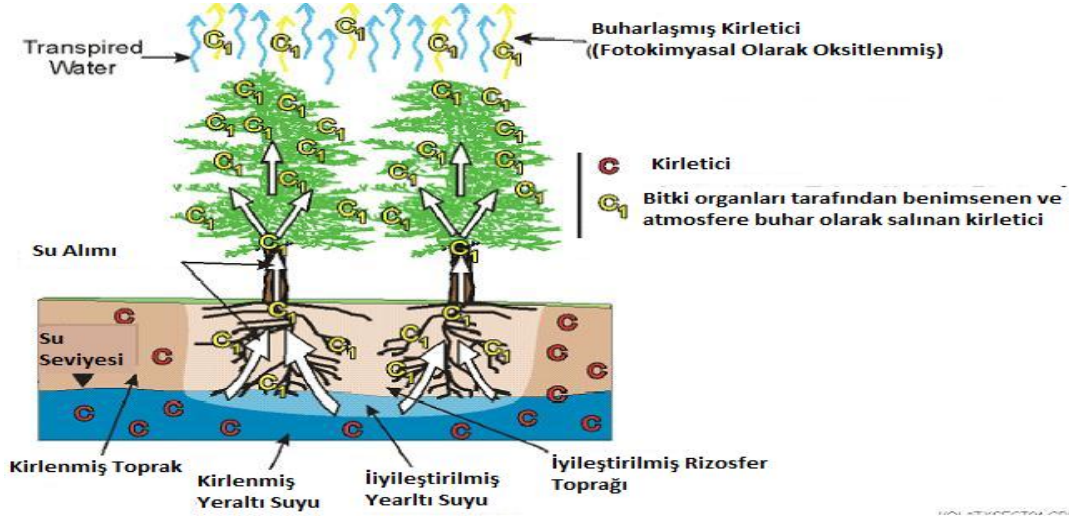
Fitodegradasyon gibi, fitostimülasyon da enzimatik parçalanmayı içerir [10], ancak bu süreç bakteriyel aktivite ile gerçekleşir. Bitkiler biyodegradasyona çeşitli şekillerde uygulanabilir. Bir çok organik kirleticilerin enzimatik yolla parçalanması bilindikten bu yana, fitodegradasyon ve fitostimülasyon bu tip kirleticilerin bertarafında etkili yöntemler olarak kalmaktadırlar (Şekil 2.6).



Şekil 2. 6 Fitostimülasyon [26]

2.1.5 Fitovolatilizasyon

Fitovolatilizasyon bitki kökleri tarafından kirleticilerin alımı, ardından kök veya gövde yardımıyla onların uçucu kimyasallar olarak serbest bırakılması şeklinde gerçekleşir (Şekil 2.7). Fitovolatilizasyon organik kirleticilerin gideriminde çok iyi yöntem olmakla birlikte, Se, Hg ve As gibi inorganik kirleticilerin uçucu forma dönüştürülerek giderilmesinde de kullanılır [19]. Fitovolatilizasyon, toksik bileşenleri almak ve daha az toksik formlara dönüştürerek atmosfere serbest bırakmak için bitkilerin kullanımını içerir [18]. Bazı kirletici maddeler uçucu veya basit ayrışan iken, inorganik maddeler uçucu formlara bitki alımı ve salınımı sürecinde enzimatik olarak dönüştürülebilirler [10].



Şekil 2. 7 Fitovolatilizasyon [23]

2.2 Hiperakümülatörler

Bildiğimiz gibi bitkiler yaşam sürecinde hem makronutrientlere (N, P, K, S, Ca, Mg) hem de Fe, Zn, Mn, Ni, Cu ve Mo gibi mikro-nutrientlere ihtiyaç duymaktadırlar. Bazı bitkilerin Cu, Mn, Ni, Zn gibi sadece gerekli mineralleri biriktirmekle kalmadıkları, aynı zamanda besin maddesi olarak hiç kullanmadığı As, Co, Cd, Se gibi metalleri önemli miktarda absorbe edebildikleri yapılan çalışmalarda izlenmiştir [28], [29]. Bu bitkiler hiperakümülatör bitkiler olarak tanımlanmaktadır.

Hiperakümülyasyon terimi ilk defa Jaffre ve d. (1976) tarafından [30] *Sebertia accumulata* bitkisinde Ni birikimini gözlemlediği zaman tanımlanmıştır. Hiperakümülatör olarak ilk defa *Brassicaceae* ve *Fabaceae* bitki ailelerinin türleri karakterize edilmiştir [15]. *Thlaspi caerulescens* ve *Viola calaminaria* bitkileri ise yapraklarında metallerin yüksek seviyelerini biriktirdikleri belgelenmiş ilk türleridir [5]. Metal arıtımında hiperakümülatör bitkilerin kullanılması fikri ise 1983 yılında ortaya konulmuş, 1990 yılında toplumla paylaşılmıştır [31].

Günümüzde bünyesinde metal biriktiren yaklaşık 45 bitki ailesi bilinmektedir ve literatürde 400 bitki türü hiperakümülatör olarak rapor edilmiştir. Bu da rizosferde %10' luk küçük bir alt grubu oluşturmaktadır [15], [28], [32], [33].

Hiperakümülatörler en çok ılıman ve tropikal bölgelerde bulunmaktadırlar, ama genellikle mineralli toprak ve kaya türleri üzerinde büyüyen endemik bitki türleri ile sınırlıdırlar [15]. Hiperakümülatör olarak bilinen bu bitkiler ot, çalı ve ağaç türleri olabilmektedirler [34]. Fitoremediasyon uygulamasında yüksek büyüme hızı, çevresel strese daha fazla uyum ve yüksek biyokütle oluşturma nedenleriyle otlar, çalı ve ağaçlardan daha fazla tercih edilmektedirler [34].

Genellikle kirlenmiş ortamlarda doğal olarak bulunan hiperakümülatörler ağır metalleri köklerde değil, gövdede daha yüksek miktarda biriktirmektedirler [15]. Vahdati Raad L. ve H. Khara [35] *Hyrocotyleranoncoids* ve *Ceratophyllum demersum* bitkilerinin bünyesinde Cd ve Pb elementlerini izlemiş ve bu elementlerin her iki bitki gövdesinde daha fazla biriktiğini gözlemlemişler.

Araştırmalarda incelenen bazı hiperakümülatörlerin normal bitkilerden 10-500 kat daha yüksek düzeyde element biriktirebildikleri belirlenmiştir [31]. Bitkilerin ağır metal alımı elementin bitki dokusunda kuru ağırlık olarak % 0.1'den fazla birikimi şeklinde tanımlanır. Bu veri Fe ve Mn gibi daha yaygın elementler için % 1'den fazla, Cd için % 0.01 kabul edilmiştir [36].

Hiperakümülatörler spesifik kirleticilerin yüksek konsantrasyonlarına karşı tolerans göstermelerine rağmen bazı metallerin ciddi konsantrasyonları bu bitkilerin ölümüne

sebebi olmakta, Cd, Pb ve Cr gibi fitotoksik etkiye sahip metaller fitoremediasyon uygulanmasında büyük sınırlamalara neden olabilmektedirler [32]. Birçok bitki köklerinde Pb birikse de onun diğer organlara transferi çok düşüktür. Blaylock ve Huang [37] Pb elementinin kökten yaprağa uzun mesafeli transferinin bu metalin bitki tarafından absorbe edilmesine engel olduğunu vurgulamıştır. Şimdiye kadar yapılan araştırmalarda kendi bünyesinde Pb biriktiren hiperakümülatör bitki tespit edilememiştir.

Arıtmada kullanılan makrofitler sulak alan bitki örtüsünün ana biyolojik bileşenidir. Onlar kirleticileri doğrudan kendi dokularına almakla kalmayıp, aynı zamanda askıda katı maddelerin çökmesi için iyi koşullar oluşturmakta ve suyun akış hızını düşürerek doğal ortamda kirletici transferini engellemektedir [8]. Makrofitler zaman içinde organik maddeyi yaprak ve gövdesinde biriktirir ve bu maddeler doğrudan ağır metalleri bağlar, mikrobiyal metabolizma için bir karbon ve enerji kaynağı sağlar [38]. Böylece, makrofitler sulak alanların doğal yapısının korunması ve kirliliğinin giderilmesinde vazgeçilmez faktörlerdir.

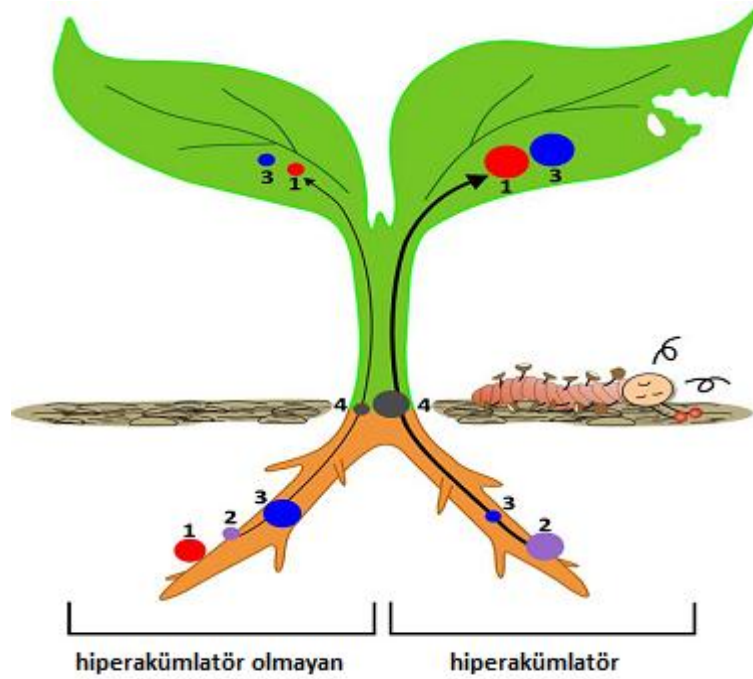
Bazı bitkiler bünyelerinde birçok element biriktirirken, bazıları da sadece bir iz elementi yüksek konsantrasyonda adsorplarlar [13].

Birkaç istisna dışında sulak alan bitkileri genellikle hiperakümülatör değildirler [39]. Bazı bitki türleri hiperakümülatör kimliği taşımasa da farklı endüstri kaynakları tarafından kirlenmiş bölgelerde yetiştirilmek için uygun kabul edilmiştir. Özellikle kök sisteminde topraktan aldığı ağır metalleri önemli miktarda biriktiren ve ağır metallerin giderilmesi için kullanılabilir kaynak olarak görülen bu bitki türlerinin potansiyel fitoremediasyon özelliklerinin araştırılması gerekmektedir [15].

Fitoremediasyon uygulanırken kirliliği giderilecek toprak derinliği ve bitkilerin kök büyüme boyutu dikkate alınarak bitki seçilir ve böylece artırılacak toprak derinliği belirlenir. Hiperakümülatör bitkilerin kökleri için bu derinlik birkaç cm ile birkaç metre arasında değişmektedir. Uygulama için bitki seçerken yerli türlerin veya yakın lokasyonda yetişen türlerin kullanımı tavsiye edilmektedir [18]. Bu zaman bitkinin uygulama koşullarına uyum süreci hızlanır ve yerel koşullar altında rekabet daha az tehdit oluşturur. Birçok sezon

boyunca, orta seviyede kirlenmiş arazileri iyileştirmek ve metal konsantrasyonlarını "normal" türlerin büyümesi için kabul edilebilir seviyelere düşürmek için doğal yöntemlerle yerel bitki türleri uygulandığında daha iyi sonuçlar elde edilir.

Fitoremediasyonda ortam için yabancı bitkilere göre hayatta kalma, büyüme açısından daha az çevresel strese maruz kalan yerli bitkilerin kullanımı çok önemlidir [15].



Şekil 2.8 Hiperakümülatör olmayan (sol) ve hiperakümülatör (sağ) bitkilerin ağır metal alım mekanizması: (1) Ağır metalin hücre duvarına bağlanması; (2) Kök alımı; (3) Sitazol içinde bağlanma; (4) Kökten gövdeye translokasyon. Noktalar farklı mekanizmaların geliştiği bitki organlarını, nokta boyutları ise onların seviyesini göstermektedir [40]

Bir bitkinin hiperakümülatör olarak belirlenmesi için (Şekil 2.8), bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir [31]:

- Bitki, kök ve gövde hücrelerinde yüksek düzeyde element konsantrasyonlarına tolerans gösterebilmelidir; hiperdayanıklılık bitki için hiperakümülatasyonu mümkün kılan anahtar özelliktir.
- Bitki, yüksek oranlarda kökten gövdeye element taşıma yetisine sahip olmalıdır.
- Bitki, toprak çözeltisinden hızlı element alımı yapmalıdır.

- Bitki, kökleriyle ortamdan yüksek konsantrasyonda ağır metal alımı yapsa da bu elementleri kökte biriktirmeden gövde ve yaprağa transfer etmelidir.

Ne yazık ki, metal alım potansiyeli etkili düzeylerde olan bitkilerin - hiperakümülatörlerin çoğu küçük biyokütle ve yavaş büyüme hızına sahiptirler. Bu nedenle büyük ölçekli uygulamalarda bu bitkilerin performansları yavaşlar [41].

Metal hiperakümülatörleri; doğal ya da hiperakümülasyon için genetik açıdan (transjenik) tasarlanmışlardır. Çeşitli doğal hiperakümülatör bitki türleri mevcuttur, ancak bu bitkilerin teknolojik olarak uygulanabilmesi için bu bitkilerde bir çok özelliğin bir arada bulunması gerekmektedir. Bu bitkiler uzun köklere, hızlı büyümeye, bir veya daha fazla metale toleranslı, yüksek yerüstü biyokütle üretim kapasitesine sahip olmalı, rekabet gücü yüksek, kolaylıkla hasat edilebilir olmalı, toprak üstü organlarında yüksek konsantrasyonlarda ağır metal biriktirebilmeli ve dayanıklı olmalıdırlar. Hiçbir bitki bu özelliklerin hepsine aynı zamanda sahip değildir. Bu bakımdan transjenik bitkiler fitoremediasyon için belki de tek alternatiftir [30], [41].

2.3 Fitoremediasyon Tekniğinin Avantaj ve Dezavantajları

Her teknolojiye olduğu gibi, iyileştirme yönteminin de çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Geleneksel iyileştirme işlemleri ile karşılaştırıldığında, bitki ile iyileştirmenin avantajları şunlardır [13], [42]:

- Ekonomik ve düşük maliyetlidir.
- Doğal ortamı tahrip etmez, kirlenmiş ortama dokunulmadan iyileştirme gerçekleştirilir.
- Bertaraf sırasında kirleticilerin yayılma riski düşüktür
- Geleneksel yöntemlere göre daha estetikdir.
- Birden fazla kirletici türü ile kirlenmiş ortamları iyileştirme potansiyeline sahiptir
- İz element geri kazanımı sağlanabilmektedir.

Yukarıdaki değinilen avantajlara rağmen, bitki ile iyileştirmenin bazı dezavantajları da vardır [13], [42]:

- Bitkinin büyüme koşullarına (iklim, jeoloji, sıcaklık ve s.) bağlıdır.
- Kirletici giderimi bitkinin toleransına bağlıdır.
- Büyük ölçekli uygulamalarda tarımsal ekipman ve bilgiye erişim gerektirir.
- Geç veya yanlış hasatta kirleticilerin bitkinin yaşlanmış dokularından salınım riski oluşabilir.
- Diğer teknolojilerle kıyasla bitkinin büyüme hızına bağlı iyileştirme süresi uzundur.
- Çözünebilir kirleticiler sızıntı nedeniyle çevresel hasara yol açabilmektedir .
- Etkilenen ortam bitki köklerinin nüfuz edebileceği rizom bölge ile sınırlıdır.
- Bitki kapasitesine bağlı olması nedeniyle tam arındırma gerçekleşmemektedir.
- Sadece düşük veya orta seviyede kirlenmiş ortamların iyileştirilmesinde uygun görülmektedir.

Fitoremediasyonda bitkinin metal alım verimini belirlemek için türün gelişimi, dikim yoğunluğu, büyüme hızı, en uygun dikim koşulları ve zamanı, hastalık kontrolü ve hasat yöntemleri detaylı araştırılmalıdır. Ayrıca uygulamanın performans değeri, son ürünlerin ve yan ürünlerin kullanımı ve genel ekonomik altyapısı dikkate alınması gereken hususlardır.

BÖLÜM 3

SULARDA AĞIR METAL KİRLİLİK KAYNAKLARI VE SAĞLIK ETKİLERİ

Sanayileşmenin başlangıcından bu yana biyosferde ağır metal kirliliği önemli ölçüde artmıştır. Sanayileşme ve kentleşme hızla ağır metal kirliliği problemini doğurmuştur [43].

Sucul ekosistemlerde ağır metal kirliliği potansiyel küresel sorun haline gelmektedir [44], [45]. Çeşitli çalışmalar sedimentlerin sanayileşmiş bölgelerden kaynaklanan ağır metaller ile kirlenmiş olduğunu göstermiştir [46].

Yüzey suyu sistemlerinde ağır metaller doğal ya da insan kaynaklı olabilir. Günümüzde insan kaynaklı metal kirliliği daha fazladır. Metal kirliliğinin başlıca kaynakları fosil yakıtlar, madencilik ve metalik cevherlerin eritilmesi, belediye atıkları, kanalizasyon tarım ilaçları ve gübrelerdir [43], [47].

Ağır metaller kolloid, iyonik, partikül ve çözünmüş halde doğal ortamlarda izlenmektedir. Bazı ağır metaller canlı organizmaların yaşamı için eser miktarda gerekmekte, ancak bu metallerin aşırı miktarı o canlı yaşam için toksisiteye neden olmaktadır. Canlı organizmaların yaşam sürecinde belli bir işlevi olmayan ağır metallerden arsenik, antimon, kadmiyum, krom, civa, kurşun vb. özellikle yerüstü suların ve toprağın kirlenmesine neden olmaktadır. Yüksek düzeylerde Cd, Cu, Pb ve Fe ekolojik toksinler olarak sucul ve karasal ekosistemlerde hareket etmektedir [37], [43].

Ağır metaller atom ağırlığı 63.54 ve 200.59 arasında ve 5 g/cm^3 'den daha büyük özgül ağırlığa sahip metallerdir. Metaller / metaloidlere kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), civa (Hg),

arsenik (As), krom (Cr), bakır (Cu), selenyum (Se), nikel (Ni), gümüş (Ag) ve çinko (Zn) dahildir. Daha az yaygın olan metalik kirleticiler içinde alüminyum (Al), sezyum (Cs), kobalt (Co), manganez (Mn), molibden (Mo), stronsiyum (Sr) ve uranyum (U) yer alır [37], [48].

Bu nedenle yüzey sediment yapıda metal dağılımının değerlendirilmesi sucul ortamların kirliliğini belirlemek için önemlidir [46].

Tehlikeli kimyasal elementler, çevreye salınmaları halinde, su ortamlarının sedimanlarında birikebilir. Küçük su organizmalarının absorbe ettiği bu elementler besin zinciri yoluyla balık gibi yüksek trofik düzeylere aktarılır. Belirli koşullar altında, su ortamlarının alüvyon ve dip sedimanlarında biriken kimyasal elementler tekrar suya geçiş yapabilir, böylece sediment ikincil bir ağır metal kirliliği kaynağı olabilir [49], [50].

Sulak alanlar, su, toprak ve biyoçeşitlilik bileşenleri ile dünyanın en karmaşık ve üretken ekosistemleri arasındadır [51]. Doğal sular, haliçler ve tatlı su sistemleri farklı düzeylerde sadece günümüzde kirlenmekle kalmamış, aynı zamanda, geçmişte insan faaliyetinden kaynaklanan metaller sedimentte birikerek uzun süreli kirliliğe sebep olmuştur [43]. Sediment yapı doğal veya antropojenik kaynaklı ağır metal kirliliğinin son durağıdır. Ağır metalleri ve diğer organik kirletici maddeleri biriktirmeye eğilimli sediment yapının kalitesi sulak alan kirliliğine iyi bir referanstır [52].

Dünyada su kaynaklarına metallerin giriş oranı çok yüksektir ve okyanusa ulaşan metal içerikli sedimentler sucul ekosistemleri tehdit etmektedir. Su ekosisteminde metal kirlilik düzeyi, açık okyanuslarda düşüktür ancak bu değerler kıyı suları ve haliçlere doğru inanılmaz düzeyde artmaktadır [43].

Sulak alan ekosistemlerine girmiş ağır metallerin taşınması üç farklı yol izlemektedir [51]:

- Bitki veya hayvan organizmaları tarafından emilim
- Su ile taşınma
- Sediment yapı üzerine bağlanma

Ağır metallerle kirlenmiş su sistemleri, flora ve fauna açısından genellikle yoksul ya da tamamen çıplaklaşmıştır ki, bu da sucul biyoçeşitliliği olumsuz etkiler. Akuatik sistemlerde

toksik metal kirliliği hala etkili ve uygun maliyetli teknolojik çözüme ihtiyacı olan önemli çevre ve sağlık sorunu teşkil etmektedir [43].

Nehir sularında ağır metal konsantrasyonları hakkında bilgi ve veriler yeterli değildir. Bir metalin çevre kimyasını anlamak için bu metalin fiziko-kimyasal formlarını, miktarını ve doğal sistemlerde mevcut koşullar altında değişken komplekslerini bilmek gerekir. Su ekosistemine bu tür kirleticiler belirli veya belirlenemeyen çeşitli kaynaklardan girmektedir [53].

Kirlenmiş sedimentler su kirliliğinin bir başka önemli kaynağıdır. Bu kirlilik, toksik maddeleri absorbe eden sediment bazlı askıda katı maddelerin suya girişinden oluştuğu gibi, sedimente bağlanmış metal komplekslerinin suya geçişinden de etkilenmektedir [53].

Çalışmalar ağır metallerin çözünürlüklerinin metalin bağlandığı sedimentin yapısına, suyun pH, organik madde gibi kompleks özelliklere bağlı olduğunu göstermiştir [54].

3.1Ağır Metal Kirliliğinin Sağlığa Etkileri

Ağır metaller canlılarda mikrobesein olarak önemli bir rol oynamaktadır [43]. Ancak, çoğu metalin yüksek konsantrasyonlarda toksik etkileri vardır. Metallerin toksisite etkisi onların ortamda çözünmüş formdaki konsantrasyon seviyelerine bağlıdır [55].

Ağır metaller yorgunluk, uykusuzluk, depresyon, sinirlilik, mide belirtileri, duyuşal belirtiler gibi nörodavranışsal bozukluklara neden olabilir [43]. Ağır metal kirliliğine çok yüksek konsantrasyonlarda maruz kalma bazı durumlarda gelişim geriliği, çeşitli kanserler, böbrek hasarı, otoimmünite ve hatta ölüm ile sonuçlanmaktadır.

Toksik ağır metaller hakkında duyulan kaygılara sebep bir diğerkonu da potansiyel DNA hasarı ve kanserojen etkilere neden mutajenik özelliği olan bu elementlerin besin yoluyla taşınması, insan ve hayvan vücudunda birikmesidir. Örneğin, Cd, Cr, ve Cu çeşitli dermatolojik kanser türleri ile ilişkilendirilmektedir. Buna ek olarak, bazı metallerin çevrede büyük ölçüde sağlık riski artıran radyoaktif izotopları (örn., U^{238} , Cs^{137} , Pt^{239} ve Sr^{90}) oluşmaktadır [43].

Ağır metaller iki şekilde metabolik işlevleri bozabilir [48]:

- Bunlar kalp, beyin, böbrekler, kemik, karaciğer vb. gibi hayati organlar ve bezlerde birikir, böylece bu organların fonksiyonlarını bozabilir.
- Metaller hayati besin mineralleriyle yer değiştirerek organizmaların biyolojik işlevlerini engeller.

Sucul ekosistemlerde ağır metaller organizmaların fizyolojisini etkileyebilir ve vücut dokularında birikebilir. Endüstri kaynaklı kirliliğin etkisi altındaki asidik göllerde toksik metallerin yüksek konsantrasyonlarına rastlanmaktadır [53]. İnsanlar için içilebilir/kullanılabilir özelliklerdeki sularda bulunması zararsız olan metallerin maksimum konsantrasyonları Çizelge 3.1’ deki gibi kabul edilmektedir.

Çizelge 3.1 İçme sularında ağır metal limitleri (mg/litre)

Metal	EPA (2012)	EU (1998)	WHO (1998)
Cr	0,1	0,05	0,05
Mn	-	0.05	0,5
Fe	-	0.2	0.3
Ni	-	0,02	0,02
Cu	1,3	2	2
Zn	-	-	3
Pb	0,015	0,01	0,01
Cd	0,005	0.005	0,003

3.1.1 Kalsiyum (Ca) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Kalsiyum (Ca), su sertliğinin belirleyici faktörü ve pH dengeleyici olup, aynı zamanda olumsuz bileşiklerin toksisitesini de etkilemektedir. Kireçli topraklarda Ca demiri immobilize edebilmektedir. Bakır, kurşun ve çinko gibi elementler yumuşak sularda daha

çok toksik etkiye sahiptirler. Böylece sert sulardaki organizmalar ağır metal toksisitesinden daha az etkilenmektedirler [59].

Günlük 2500 mg Ca alımı insan sağlığına zararlı etkiler yapabilir. Ca vücuttaki ağır metallerin emilimini bloke edebildiği gibi, çok yüksek konsantrasyonlarda vücuttaki diğer temel minerallerin emilmesini de olumsuz etkileyebilir. Yüksek dozda Ca süt alkali sendromuna neden olmakta ve böbrek taşı oluşmasını tetiklemektedir. [60], [61].

3.1.2 Magnezyum (Mg) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Magnezyum (Mg) sanayi ve tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Mg bileşikleri metal (demir, çelik, demir dışı metaller), cam ve çimento üretiminde refrakter madde olarak kullanılmaktadır. Ayrıca demir ve çelik temizlemede, baskı sektöründe, saf uranyum ve tuzlarının, diğer metallerin üretiminde (indirgeme maddesi olarak), fotoğrafçılıkta, piroteknik (fişek üretimi) alanlarında Mg' un geniş uygulama alanları vardır [62].

Mg içme suyunda istenmeyen tat yaratabilir. Mg' un 100 mg/litre konsantrasyonunda kötü tat fark edebilir. Fakat bu seviyeler genelde içme sularında bulunan magnezyum konsantrasyonlarının üzerindedir [60].

Mg ile sistemik zehirlenmeye dair hiçbir kanıt olmamakla birlikte, bu elementi yüksek dozlarda almak aşırı yorgunluk, kaslarda kalıcı halsizlik, uyuşukluk ve sersemliğe yol açabilmektedir [62]. Ayrıca Yang [63] kendi çalışmasında beyin damar hastalık riskinin azaltılmasında içme suyundan Mg alımının etkili olduğunu göstermiştir.

3.1.3 Krom (Cr) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Krom (Cr) elementi kayalarda, hayvan ve bitki bünyelerinde, toprakta sıvı, katı veya gaz halinde bulunur. Cr bileşikleri toprağa bağlı ve yeraltı sularına geçme olasılığı düşüktür. Bununla birlikte, bu bileşikler sediment yapıda çok kararlıdır [64].

Sucul ekosistemlerde Cr'un alg, su bitkileri, omurgasızlar ve balık organizmalarında biriktiği bilinmektedir. Bitkiler toprak, su, sedimentten ve yapraklarla atmosferden Cr-III ve Cr-VI biriktiriler. Cr-III temel bir besin maddesi olsa da Cr-VI bileşikleri toksik maddedir ve

kanserojen madde olarak bilinmektedir. Bitkinin Cr-III ya da Cr-VI'ya aşırı maruziyeti bitki sağlığını ve yaşamını olumsuz etkilemektedir. Cr alımı, birikmesi ve etkisi su sıcaklığı, pH, alkalinite ve tuzluluk verilerinin yanı sıra organizmanın boyutu, türü, cinsiyet ve gelişimine bağlıdır [64], [65].

İnsan Cr toksisitesine soluma, yutma ve deriye temas yoluyla maruz kalmaktadır. Cr insanlarda ve deney hayvanlarında fiziksel gelişime engel olmakta, karaciğer, böbrek hasarına ve kansere yol açmakta, cilt, solunum, üreme ve sindirim sistemlerine hasar verebilmektedir [64], [65].

3.1.4 Mangan (Mn) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Mangan (Mn) büyüme, gelişme ve sağlık bakımından insanlar, hayvanlar ve bitkiler için vazgeçilmez bir elementtir. Mn'ın inorganik ve organik bileşiklerinin olmasıyla birlikte, çevrede inorganik şekilde daha yaygın bulunmaktadır. Demir ve çelik, kuru pil, potasyum permanganat ve başka kimyasallar, cam, kibrit ve havai fişek üretiminde, derinin işleme, tekstil ağartma işlemlerinde Mn geniş şekilde kullanılmaktadır [66].

Mn akuatik ekosistemlerin alt trofik seviyelerinde su biyotası tarafından önemli ölçüde benimsenebilir. Sucul omurgasızlar ve balıklar tarafından Mn alımı sıcaklık ile büyük ölçüde artar, yüksek pH ortamında azalır, ancak alıma çözülmüş oksijen etki etmez. 1 mg/litre konsantrasyonlarda çözülmüş Mn suda yaşayan organizmalara toksik etkilere neden olabilir, bu rakam birçok ülkede 0.2 mg/litre kabul edilmiştir [67].

Mn vücutta normal süreçler için önemli bir temel besin olsa da, yüksek dozlarda etkilenme insanlarda olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır. Kas sertliği, koordinasyon eksikliği, titreme, solunum ya da yutma güçlüğü ve diğer nöromusküler sorunları kapsayan "Manganizm" hastalığı yüksek doz Mn toksisitesinden kaynaklanmaktadır [68].

3.1.5 Demir (Fe) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Su kaynaklarına demir (Fe), demirli mineral ve kayaların ayrışmasından, amfiboller, ferromagnezyen mineraller, demir sülfidler, manyetit, oksitler, karbonatlar ve demir kil

minerallerinden sulara karışmaktadır. Fe genellikle toprakta ve sedimentte hematit, manyetit, limonit, siderit cevherleri olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsan kaynaklı Fe kirliliği ise kaplamalar, borular, pompa parçaları, depolama tankları, dökme demir veya çeliğin su ile teması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Endüstriyel atık su, asit maden drenajı, kanalizasyon ve çöp sızıntı suları sularda Fe kirliliğini yaratan en büyük etkenlerdir [69], [70].

“Nehirlerde Fe konsantrasyonu ortalama 0,7 mg/litre olduğu raporlanmıştır. Fe yeraltı sularında Fe (II) formunda 0,5-10 mg/litre konsantrasyonda bulunmakta, bazen bu rakam 50 mg/litreye kadar çıkabilmektedir. İçme suyunda Fe 0.3 mg/litreden az olması gerekirken, bu rakam çeşitli demir tuzlarının su arıtma tesislerinde pıhtılaştırıcı madde olarak kullanıldığı ve demir, çelik ve galvanizli demir borular su dağıtımı için kullanıldığı yerlerde daha yüksek olabilir” [58].

Fe canlı organizmalar için temel besin maddesi olmasına rağmen içme suyunda yüksek konsantrasyonlarda bulunması çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Aşırı Fe alımı vücutta genetik bozukluğa neden olabilmektedir. Bilimsel çalışmalar içme suyunda yüksek Fe kirliliğinin fetüsün gelişme sürecinde hücre yapısını bozduğunu, DNA hasarına yol açtığını göstermiştir. Ayrıca toksik dozlarda Fe alımı depresyon, hızlı ve sık solunum, koma, konvülsiyonlar, solunum yetmezliği ve ani kalp durması, kan damarları, karaciğer ve böbreklerde hasar gibi sağlık sorunları yaratmaktadır [58], [70], [71].

3.1.6 Nikel (Ni) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Nikel (Ni) beş ferromanyetik elementten biridir [72]. Ni ve Ni bileşiklerinin birçok endüstriyel ve ticari kullanım alanı vardır. Ni en çok paslanmaz çelik, yüksek korozyon ve ısı dirençli nikel alaşımları üretiminde kullanılır. Ni metali ve alaşımları özellikle katalizör ve pigment olarak, metalürji, kimya ve gıda işleme sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [73].

Maruz kalma yoluna (solunum, oral veya dermal) bağlı olarak Ni, sistemik, immünolojik, nörolojik, üreme, gelişme veya kanserojen gibi sağlık sorunlarına neden olmaktadır. İnsanlarda Ni’ in en yaygın zararlı etkisi nikel hassas kişilerde alerjik cilt problemiyle ortaya çıkmaktadır [72].

Ni' in toksik etkisinin neden olduğu kronik bronşit, azalmış akciğer fonksiyonu, akciğer kanseri gibi sağlık sorunları Ni rafinerilerde çalışırken bazı Ni bileşikleri içeren tozu soluyan kişilerde meydana gelmektedir [74].

3.1.7 Bakır (Cu) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Bakır (Cu) kirliliğine madencilik, bakır metali ve bileşikleri yapan veya kullanan fabrikalar, evsel atık su, fosil atıkların yakılması, odun üretimi, fosfat gübre üretimi ve doğal kaynaklar (toprak, volkan, çürüyen bitki örtüsü, orman yangınları) sebep olabilir. Bu kaynaklardan suya giren Cu en sonunda nehir, göl ve nehir ağızlarının sediment yapılarında birikir [75]. Yüzey sularında Cu konsantrasyonu 0,0005-1 mg/litre arasında değişmekte, ortalama olarak 0,01 mg/litre seviyesinde bulunmaktadır. İçme suyunda Cu konsantrasyonu suyun pH ve sertlik gibi özelliklerinin hareketliliği sonucu büyük ölçüde değişmektedir [76].

Cu element olarak çevre kirleticisi değildir. Bitki ve hayvan bünyesinde rastlanan bu element, içme suyunda da belli bir konsantrasyonda doğal olarak bulunmaktadır [75]. Ancak, canlı bünyesinde fazla Cu olumsuz sağlık etkilerine neden olabilir [77].

Normal bir yetişkin insana günde yaklaşık 2-3 mg Cu gerekir. Cu ihtiyacının % 90'ından fazlası gıda tarafından sağlanmaktadır. İçme suyu günlük bakır alımının % 10'undan az kısmını sağlar. Cu'ın yüksek düzeyde tüketimi mide bulantısı, kusma, ishal, mide şikayetleri ve baş ağrılarına neden olmaktadır. Aylar ve yıllar boyunca uzun süreli maruz kalma karaciğer hasarı ve ölüme neden olabilir [78].

İnsan vücudu Cu'ın uygun seviyesi koruyan doğal bir mekanizmaya sahiptir. Ancak bir yaşın altındaki çocuklarda bu mekanizma gelişmediğinden onlar Cu'ın toksik etkilerine karşı savunmasızlar. Wilson hastalığı da Cu dengesinin sağlanmasında sorun olan kişilerde görülmektedir [77].

3.1.8 Çinko (Zn) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Çinko (Zn) yerkabuğunda bulunan en yaygın elementlerden biridir. Zn; hava, toprak ve su içinde ve gıdalarda mevcuttur. Zn çelik, demir ve diğer metallerin paslanmasını ve

korozyonunu önlemek için kullanılır. Bu sürece galvanizasyon denir. Metalik Zn, aynı zamanda, pirinç ve bronz gibi alaşımların oluşturulması için diğer metaller ile karıştırılır. Tehlikeli atık bölgelerinde Zn'nun genelde, çinko klorür, çinko oksit, çinko sülfat ve çinko sülfat gibi bileşikleri bulunmaktadır. Doğal olarak bulunan en yaygın Zn cevheri çinko sülfat biçimindedir [79].

Doğal yüzey sularında genellikle 10 µg/litre altında olan Zn konsantrasyonu yer altı sularında 10-40 µg/litre bulunmaktadır. Zn konsantrasyonu boru ve bağlantı parçalarından sızma sonucunda musluk suyunda çok daha yüksek düzeylerde olabilir [58].

Günümüzde milyonlarca insan gıda katkı maddeleri, ilaç, dezenfektan, antiseptik ve deodorant, dental çimento ve s. gibi ürünlerle Zn toksisitesinden çeşitli düzeylerde etkilenmektedir [80].

Zn' nun toksisitesi insanlarda kusma, ateş, bulantı, mide krampları, ishal, karın krampları şeklinde ortaya çıkar. Zn tozunun solunması akciğerde rahatsızlık, ateş, titreme, ve mide iltihabı gibi rahatsızlıklara neden olur [58].

3.1.9 Kurşun (Pb) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Kurşun (Pb) korozyona dayanıklı, yoğun ve kolay işlenebilir olduğundan 5000 yıldır yaygın olarak kullanılan bir metal ve çevresel toksindir. Yapı malzemeleri, su boruları, mühimmat, cam ve kristaller, boyalar, koruyucu kaplamalar, asit akümülatörler, benzin katkı maddeleri, kozmetik, şarap koruyucu ve s. üretiminde Pb'un yaygın kullanımı nedeniyle insanlar günlük olarak gıda, içme suyu ve solunum yoluyla bu elementin toksik etkisine maruz kalmaktadırlar [81].

Pb nörolojik, hematolojik ve renal sistemlere zarar verebilmektedir. İnsanda hafıza ve öğrenme eksiklikleri Pb toksisitesiyle ilişkilendirilmiştir [81]. Yetişkinlerde kronik Pb zehirlenmesi anemi, kanser, küçük çocuklarda ise hormonal dengesizlik ve zeka düşüşü ile sonuçlanmaktadır [82].

3.1.10 Kadmiyum (Cd) Elementi ve Sağlığa Etkileri

Kadmiyum (Cd) eşitli endüstriyel işlemlerde kullanılmaktadır; demir gibi metaller için koruyucu kaplamalar, Cd-Ni pil hazırlanması, nükleer reaktörlerin içinde kontrol çubukları ve kalkanları, televizyon fosforları. Cd kolayca bitkiler tarafından benimsenir. Cd toksisitesinin potansiyel kaynağı tarım alanları gübrelemede ticari çamur kullanımındır. Bazı kök bitkiler (havuç ve yaban havucu) ve bazı yapraklı bitkiler (marul ve ıspanak) diğer bitkilere göre daha fazla Cd biriktirmektedir. Karaciğer ve böbrekler gibi memelilerin iç organlarında yüksek Cd miktarı içerebilir [82]. İnsan vücudunda Cd birikimi böbrek fonksiyon bozukluğu ve kemik hastalığına neden olabilir [43].

Kirletilmemiş ortamda 70 kg'lık bir kişi için günlük Cd alım miktarı 25-60 µg olarak tahmin edilmiştir, ancak değerler 10-61 µgr/gün'e kadar yükselebilir. Cd sigara içen kişinin kanında içmeyenlerle kıyasla 4-5 kat, böbreklerinde 2-3 kat daha fazla birikir [82].

BÖLÜM 4

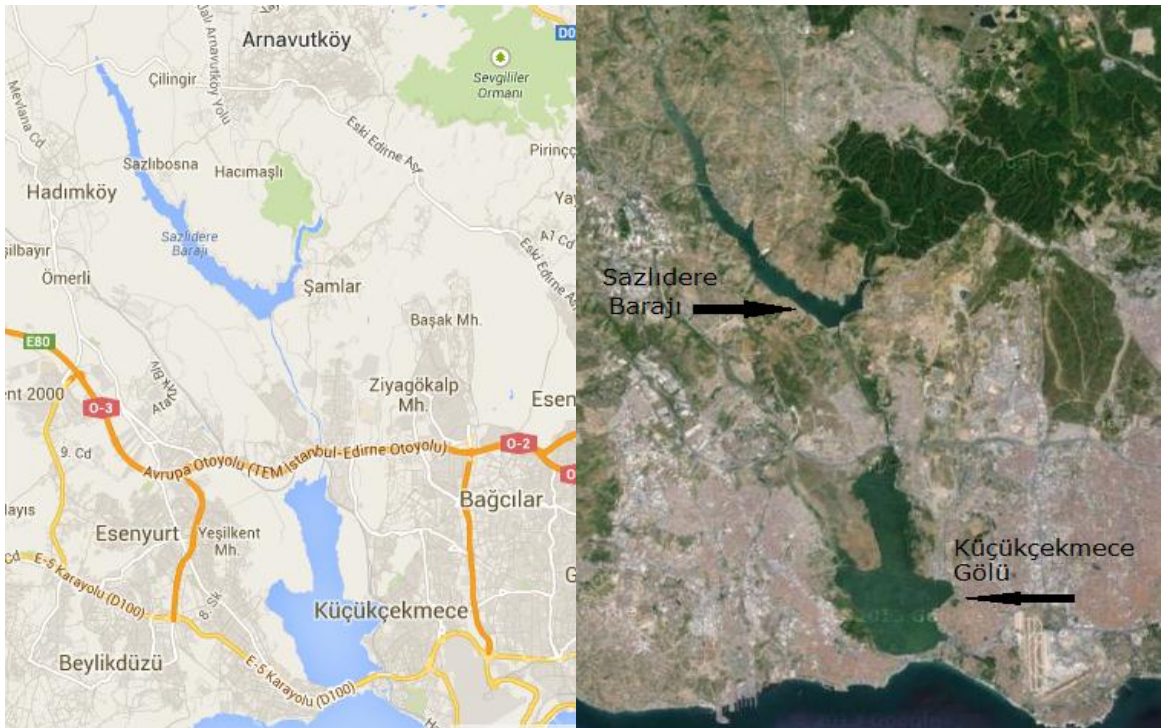
ARAŞTIRMA ALANI: KÜÇÜKÇEKMECE LAGÜN HAVZASI VE SAZLIDERE

Araştırmanın yapıldığı Küçükçekmece Lagünü Türkiye'nin kuzey batısında, İstanbul şehir merkezinin 25 km batısında yer alıp, coğrafi olarak 41°00' kuzey enlemi ile 28°45' doğu boylamı koordinatlarında bulunur. İstanbul'un Avrupa yakasında şehir merkezine 15 km uzaklıkta bulunan lagünün kuzeyinde TEM, güneyinde D-100 otoyolları geçmektedir (Şekil 4.1). Kuzey kısmında Sazlıdere drenaj havzası, doğu ve batı kısımlarında sırasıyla Menekşedere ve Ispartakule drenaj havzalarıyla çevrili olan lagünün güneydoğu köşesinde ise Marmara Denizi bağlantısı konumlanmıştır [83], [84].

Küçükçekmece Gölü, 15.22 km² yüzey alanına sahiptir. Gölün derinliği güney kıyısı yakınlarında 20 m'ye ulaşır. Gölü Çatalca yarımadasının iç kesimlerinden kaynaklanan üç akarsu: Nakkaşdere, Sazlıdere ve Eşkinöz Deresi beslemektedir. Küçükçekmece Lagünü'nün Marmara denizi ile bağlantısını yaklaşık 1 km uzunluğundaki Menekşe Deresi sağlamaktadır. Menekşe Deresi'nde zaman zaman gölden denize veya denizden göle su akışı olmaktadır. Bu bağlantıdan sağlanan su alışverişi nisbeten zayıf olduğundan Lagün üzerindeki Marmara Denizi'nin etkisi düşüktür [83], [84], [85].

Küçükçekmece Gölü, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 17.05.2005 tarih ve 25818 Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği'ne göre uluslararası öneme sahip 135 sulak alandan biridir ve Ramsar Sözleşmesi kapsamında değerlendirilebilecek nadir lagün ekosistemlerdendir [86].

- ✓Dünyada denizle bağlantısı olan nadir lagünlerden biri olması,
 - ✓İçme ve kullanma suyu temin edilebilecek olan yüzeysel su kaynağı olması,
 - ✓Birçok endemik türü barındırması,
 - ✓Küresel olarak tehdit altındaki türleri barındıran bir bölge olması,
 - ✓Önemli sayıda su kuşu için barınak özelliği taşıması,
 - ✓Ekonomik açıdan önemli balık türlerinin bulunması, bununla birlikte deniz balıkları için üreme alanı olması
- gibi önemli özelliklere sahip bir sulak alandır.



Şekil 4.1 Küçükçekmece Havzası haritası ve uydu görüntüsü [88]

Son zamanlarda Küçükçekmece Havzası'nın yerleşim, endüstri, tarım ve dinlenme- eğlenme bölgesi olarak kullanılması, gölü besleyen akarsu debilerinin azalması bu ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir [86].

Lagünün ve lagünü besleyen derelerin kirletici kaynakları [84], [87], [89];

- Hızlı nüfus artışı ve altyapı yetersizliği,
- Lagünün ve lagünü besleyen derelerin 1985-1997 yılları arasında havza koruma alanı olmaktan çıkarılmış olması,
- 1995 yılında kapatılan Halkalı çöp depolama alanına ait sızıntı sularının yeraltı suları ile lagüne ulaşma olasılığı,
- Doğrudan ve dolaylı olarak kaçak evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmadan havzaya deşarjları ve İSKİ atıksu kolektörlerinin tamamlanmaması,
- Lagünü besleyen en önemli derelerden biri olan Sazlıdere üzerinde 1989 yılında, yıllık su tutma kapasitesi $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ olan Sazlıdere barajının yapılmasından sonra önemli miktarda tatlı su kaynağının göle girişinin engellenmiş olması,
- Lagün etrafına kaçak olarak dökülen harfiyat ve diğer katı atıklar,
- Lagün kıyısında kıyı genişletmek, park yapmak veya başka amaçlar için lagünün doldurulması,
- Lagün ve dere kıyılarında kirlenme nedeniyle oluşan sazlıklardan dolayı lagün hacminin azalması,
- Lagünün havadaki kirletici emisyonlardan kirlenmesi,
- Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Laboratuvarları sıvı atıklarının 1997 yılının sonuna kadar lagüne boşaltılmış olması,
- Lagüne yapılan yoğun evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları sonucunda lagünün insan sağlığını tehdit eder duruma gelmesi olarak sıralanabilir.

Yaklaşık 40 km uzunluğunda olan Sazlıdere, Küçükçekmece Gölü'ne dökülen en önemli akarsudur. Dursun Köyü'nün güneyindeki' küçük su havzalarının sularını toplayarak, güneydoğu yönünde akar, Küçükçekmece Gölü'nün yakınlarında tabanını genişleterek göle dökülür. 84 km^2 yağış alanına sahip Sazlıdere'nin, Bosna istasyonu'ndaki ortalama debisi $0.928 \text{ m}^3/\text{sn}$ olup, yıllık ortalama su hacmi 35 milyon m^3 dolayındadır. Küçükçekmece

Lagünü'nün en tuzlu noktası Sazlıdere'de ölçülmüştür. Bu duruma kurak dönemlerde Sazlıdere Barajı'ndan su salınmaması, morfolojik nedenlerle yağmur ve rüzgar gibi su karışımı sağlayan etkenlerin olmadığı durumlarda bu bölgede suyun oldukça durgun kalması sebep olmuştur [83], [90].

Sazlıdere'nin eski Samlar Köyü'nü de içine alacak şekilde baraj haline getirilmesi ve su tutması için kapaklarının kapalı olması nedeniyle, Küçükçekmece Lagünü, kendini besleyen bu önemli kaynaktan mahrum kalmıştır. Bunun yanı sıra barajdaki suyun kısmen sızması ve Balıklıdere gibi küçük derelerin Sazlıdere Barajı ile Küçükçekmece Lagünü arasında kalan bölgeyi beslemesiyle Sazlıdere'den Küçükçekmece Lagünü'ne su akışı olduğu görülmektedir [90].

Çizelge 4.1 Küçükçekmece havzasındaki endüstri tesislerinin çeşitleri ve prosesleri sonucu çıkan metaller [90]

Endüstri Tesisleri	Prosesler Sonucu Çıkan Metaller
Petrol, kauçuk ve plastik ürünleri imalatı	Pb, Cd, Al, Zn, Fe
Taş-toprağa dayalı ürünler imalatı	Al, Mg, Pb, Zn, Au, Cu, Cd, Si, U, Ti, Fe, Cr, Co, Ni
Tekstil giyim ve deri sanayi	Fe, Al, Cr, Zn
Kağıt, ambalaj, kağıt ürünler ve basım imalatı	Mg, Zn, Ni, Cr, Cu, Pb, Hg
Kimya endüstrisi	Co, Mn, Fe, Zn, Pb, Al, Cu, Ni, Cr, Cd
Metal endüstrisi	Fe, Mn, Cr, Ni, Si, Mo, Zn, Cu, Al, Mg, Pb, B, Cd, Hg

Hızlı nüfus artışı, kontrolsüz ve çarpık yapılaşma, denetimsiz sanayileşme ve alt yapı sisteminin yetersizliğinin sonucu olarak Sazlıdere' nin Küçükçekmece Gölü'ne taşıdığı sular atıksu kalitesindedir. Bölgede bulunan bazı sanayi tesisleri Sazlıdere'nin kolu olan Balıklıdere'ye endüstriyel atıksularını deşarj etmektedir. Bu deşarjlar nedeniyle Balıklıdere atıksu kanalı haline gelmiştir [91], [92].

Çeşitli projelerle (102Y011 no'lu TÜBİTAK ve GSRT projesi, 105Y116 no'lu TÜBİTAK projesi) kirliliği izlenen Küçükçekmece Gölü ve Göl'e bağılı derelerin yüksek konsantrasyonlarda farklı ağır metallerle (Çizelge 4.1) kirlendiğı tespit edilmiştir. Havzanın kirlilik düzeyi ve bu kirliliğın doğal yaşamı tehdit etmesi dikkate alınırsa, Küçükçekmece Havzası ve Havzanın en önemli akarsularından olan Sazlıdere'nin kirlilik yükünün azaltılması konusu büyük önem taşımaktadır.

ARAŞTIRMADA KULLANILAN ARAÇLAR VE YÖNTEM

Küçükçekmece Gölü ve havzası içme ve kullanma suyu kaynağı olmakla birlikte birçok endemik türü bünyesinde barındırmaktadır. Bölgedeki evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmadan havzaya deşarj edilmesi göl ve gölü besleyen derelerin kirlenmesine yol açmıştır. Havzada önemli akarsulardan olan Sazlıdere de bu kirlilikten etkilenmiştir.

Sazlıdere havzasında yaptığımız bu araştırma iki yerde yürütölmüş ve ağır metal kirliliğinin doğal yöntemlerle giderilmesine çalışılmıştır. Uygulamanın gerçekleştirildiği noktalar Set 1 ve Set 2 olarak yorumlanmıştır. İlk uygulama (Set 1) 5 ay sürdürölmüş, bu süreçte numuneler her ay sonunda su ve sediment olarak alınmıştır. İlk uygulama süresince *Cryptocoryne undulata* bitkisi her ay dikilmesine rağmen bu bitkiyi 3-4 günden daha fazla yaşatılamadığından deneme yeri değiştirilerek Set 2 kurulmuştur.

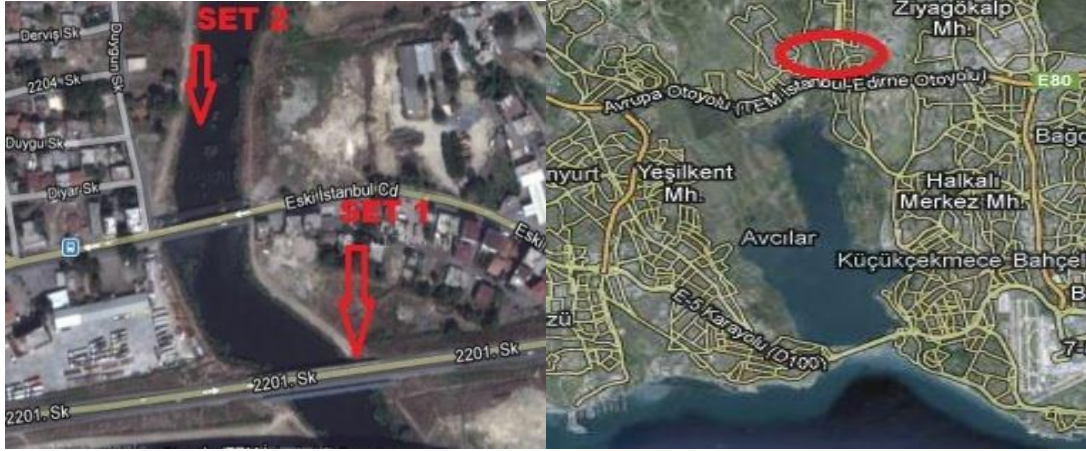
Cryptocoryne undulata ve *Echinodorus amazonicus* bitkilerinin dikimiyle gerçekleştirilen çalışma her bitki için 16 hafta sürmüştür. Her iki bitkiden 10 kök doğal ortamda dikilmiş ve ay sonunda bütün bitkiler yenilenmiştir. Çalışma sürecinde her hafta su, sediment ve bitki numuneleri alınarak her numune için element (Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cd) analizi yapılmıştır.

5.1 Deney Yürütölecek Yerin Belirlenmesi

Küçükçekmece Lagünü ve Havzası, birçok endemik türü bünyesinde barındıran dünyadaki ender doğal lagün göllerinden biridir. Fakat yüksek oranda plansız şehirleşme ve endüstrileşme sonucunda Lagün ve Lagünü besleyen dereler ekolojik açıdan giderek tahrip

olmuştur. Havza kirliliği 2002'den beri araştırılmakta ve çeşitli projellerle (102Y011 nolu TÜBİTAK-GSRT ve 105Y116 nolu TÜBİTAK projeleri) desteklenmektedir. Bu araştırmalar kapsamında Küçükçekmece Lagünü ve Lagünü besleyen derelerde, su ve sediment kalitesi izlenmiş ve yüksek oranda ağır metal kirliliğine rastlanmıştır. Böylece ağır metal kirliliği Lagünün canlı yaşamını tehdit ettiği anlaşılmış ve doğal ortama zarar vermeden havzanın su ve sediment kirliliğinin giderilmesini gerekli kılmıştır. Bu nedenlerle araştırma alanı olarak yaklaşık 40 km uzunluğunda Lagünü besleyen en önemli derelerden biri olan Sazlıdere Havzası (Şekil 5.1) seçilmiştir.

İlk uygulamada (Set 1) beş ay boyunca deneyi yürütülmesine rağmen (Şekil 5.2 (a)) bitkiyi yaşatılamadığından ve istenilen sonuçlar alınamadığından deney setinin yeri değiştirilerek derenin 100 metre yukarısında (Set 2) kurulmuştur (Şekil 5.2 (b)). İkinci uygulamada deney süresi 16 hafta olmuştur. Bu sette bitkiler yaşatılabilmiş ve deneyler başarıyla yürütülmüştür.



Şekil 5.1 Deney seti uydu görüntüsü [88]

Her iki setin doğal ortamda oluşturulması Başakşehir Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2).



(a)

(b)

Şekil 5.2 Set 1 (a) ve Set 2 (b) genel görünümü

5.2 Bitki Seçimi

Deneyde kullanılmak üzere iki tür bitki seçilmiştir: *Cryptocoryne undulata* ve *Echinodorus amazonicus*. Seçim yaparken bitkilerin;

- Doğal ortamın mevcut fiziksel ve kimyasal (sıcaklık, pH, tuzluluk, ışık ihtiyacı ve s.) koşullarına uyum sağlaması
- Işık gereksinimlerinin düşük olması
- Sert sularda ve değişik pH değerlerinde yaşayabilmeleri
- Su altında yaşayabilmeleri
- Akışkan ortamda yaşayabilmeleri
- Analizlerin diğer çalışma sonuçlarıyla kıyaslanabilir olmaları
- Metal alım kapasiteleri

dikkate alınmıştır.

5.2.1 *Cryptocoryne undulata* Bitkisinin Özellikleri

Denemede kullanılan *Cryptocoryne undulata*; *Cryptocoryne* ailesinin yaklaşık 60 türünden biridir. Bu bitki 1960'lı yıllara kadar *C. willisii* türünün bir çeşidi olarak ortak isimle anılmıştır. Bitkinin diğer *Cryptocoryne* türlerine çok benzemesi ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır. Yaprak saplarının kökten çıkmaması, ana gövde üzerinde birden çok yaprak birleşme noktasının olması bitkiyi diğer türlerden ayırmaktadır [93].

Bitkinin ana vatanı Sri Lanka'dır, yerli dere ve nehirlerde kolayca rastlanan bir türdür. Bitki yaprakları kırmızı, koyu yeşil veya parlak yeşil olabilmektedir. Uzun, kabarık yaprakları 35 cm'den fazla uzayabilir (Şekil 5.3). Fakat ortalama boy uzunluğu 15-25 cm kabul edilir. Farklı koşullarda ve düşük ışık seviyelerinde gelişerek açık yeşil yapraklar üretebilir [94].

C. undulata genelde yer değişimini sevmeyen bir türdür. Ortam koşulları değiştiğinde yapraklarda delikler belirir ve bitki ölür. Adaptasyonu sağlandığında çok dayanıklı, uzun ömürlü bitkilerdendir. Bitki orta sertlik, pH nötr veya asidik şartları sever. Bazen düşük pH ortamında daha iyi büyüdüğü gözlemlenmiştir. Demir ihtiyacı yüksektir.

Üremesi nadiren çiçekle, çoğu zaman kökle sağlanmaktadır. Vatanı Güney Doğu Asya'nın iyi gölgeli orman dereleri olduğundan ışık seven bitki olduğu söylenemez. Doğrudan fazla ışık aldığı anda bitkinin ince yaprakları ölebilmektedir [95].

Familiya: Araceae

Anavatanı: Asya / Güney-Doğu Asya

Yükseklik: 15-20 cm

Genişlik: 10-15 cm

Işık gereksinimi: Orta

Sıcaklık: 20-28°C

Sertlik Toleransı: Çok Yumuşak-Sert

pH Toleransı: 5,5-8

Gelişme Hızı: Orta



Şekil 5.3 *Cryptocoryne undulata* [96]

C. undulata Bitkisinde Erime (Crypt Melt): Genel olarak bütün *Cryptocoryne* türlerinin yaşam ortamı değiştirildiğinde farklı çevresel koşullar nedeniyle neredeyse bütün yaprakların çürüyerek kaybedilmesi sonucunda ortaya çıkan durumdur. Daha önce bu bitki ile yapılan çalışmalara göre bitki adaptasyonu takip eden “Crypt Melt” döneminde yapraklarını tamamen kaybetse bile kök kısmı yaşamaı sürdürerek 30-90 gün içinde yeni yapraklar vermeye başlamaktadır [94].

5.2.2 *Echinodorus amazonicus* Bitkisinin Özellikleri

Adından da anlaşılacağı gibi, bu bitkinin yaşam alanı Amazon Nehri havzası olup nehirin orta ve aşağı bölgelerde rastlanmaktadır. *E. amazonicus*, aynı zamanda *Echinodorus brevipedicellatus* olarak da bilinir. Bazen Amazon Sword ismiyle anılan bitki ait olduğu ailenin başka bir üyesi *Echinodorus bleheri* ile karıştırılır [97].

E. amazonicus su altında oldukça büyük boyutlara kadar gelişir ve yüksekliği 40 cm’ yi aşabilir [97]. Bitki çoğu zaman biraz yana eğik 1,5-3 cm genişliğinde, yeşil, enine çizgili, mızrak şeklinde yapraklara sahiptir ve geniş bir alanı kapsar [98].

Aile: Alismataceae

Diğer isimleri: *Echinodorus brevipedicellatus*, Amazon Sword

Anavatanı: Güney Amerika / Amazon Nehri Havzası: Rio Yamari (Rondonia) ve Belem (Para)

Yükseklik: 25 - 30 cm

Genişlik: 10-15 cm

Işık gereksinimi: Orta

Sıcaklık: 24-28°C

Sertlik Toleransı: 30 – 170 ppm

pH Toleransı: 6.5-7.2

Gelişme Hızı: Hızlı



Şekil 5.4 *Echinodorus amazonicus* [99]

Yaprak rengi açık yeşildir ve her yaprak ucuna tabanından uzanan beş damar görülebilir. Uzunluğu bazen 10 cm'e ulaşan yaprak sapına sahip olabilir [97], [98].

E. amazonicus orta parlaklıkta ışık, 24-28 °C aralığında su sıcaklığını ve pH (6.5-7.2) nötr su ortamlarını sevmektedir. *E. amazonicus*, türleri arasında fazla bakıma ihtiyaç duymayan en yaygın olanıdır. Bitki düşük ışık koşullarında yaşayabilmekte, ancak parlak ışıkta daha iyi gelişmektedir. Uzun süre gölgede yaşayabilir, ama yaprak renginde solmalar gözlemlenir.

E. amazonicus su sertliğine duyarlılık göstermektedir. Bitkinin doğal yaşam koşullarında su yumuşaktır ve bu sebepten sert sularda gelişmemektedir. Bununla birlikte, bitki çok yumuşak sularda bazen mineral eksikliği belirtileri gösterir [97], [100].

İnce çakıllı zemin *E. amazonicus* için ideal bir ortamdır. Doğada, bu bitkinin sık sık bataklık ortamlarda büyüdüğü gözlenmiştir [97], [101].

Bitki gelişmiş kök sistemine sahip olduğundan dikildiği yeterince kalın bir toprak tabakasına (5-7 cm) gereksinim duymaktadır. Bitkiler 50-100 cm derinliğe sahip, yavaş akan veya durgun su ortamında hızlı büyümektedir [98], [100].

E. amazonicus neredeyse sadece vejetatif çoğalır. Türün çoğalma şekli genelde kökleri ile yapılmaktadır. *E. amazonicus* tamamen sualtı bitkisi olduğundan çiçek açmaz. Eğer bitki su üzerinde büyütülürse ince bir çiçek sapı ile 4-9 beyaz çiçek verebilir [100], [101].

***E. amazonicus* Bitkisinde Erime (Amazon Sword Melt):** Bazen her yaprağın orta kısmında damarlar arasında incelme başlar ve çürüme gerçekleşir. Nihayet bütün yaprak dış kenarına kadar çürür, fakat, damarlar genelde sağlam kalır. Bu olay "Amazon Sword Melt" olarak bilinen bitki erimesidir, birçok bitki türünde karşımıza çıkar.

Nedenleri: Bu bitkiler su altında yetiştirilmektedir. Sadece kökleri su altındadır ve yaprakları suyun dışında kalmaktadır. Bu yöntem daha hızlı büyüyen bitki üretmine olanak vermektedir. Bitkinin yaprakları sadece atmosfere adapte olmuştur ve su bazlı besinleri absorbe edemez. Bu yapraklar sadece fotosentez ve gazların alışverişlerini yaptığı bir yaşama uyum sağlamıştır. Bu yüzden bitki eski yaprakları atar ve mevcut su ortamının koşullarına uygun yeni yapraklar üretir. Bu süreç genelde 4-6 hafta sürer. Eğer bitki ortamda yeteri kadar besin ve CO₂ varsa yaşamını sürdürür.

Eğer bitki kökleri ile besini ve sudan CO₂ alamıyorsa, kendi bünyesindeki besin deposunu bitene kadar kullanır ve ölür. Bu bitki ve köksap büyüklüğüne bağlı olarak 3-8 hafta sürebilir.

Yetersiz CO₂ kaynağı, zayıf ışık yaprakların köklere kadar besin maddelerini temin edememesine veya su kimyasının değişmesine yol açar. Bitki yeni ortama uygun yaprak verebilmek için mevcut yapraklarını atmakla bu duruma tepki verir. 6-8 hafta sonra, genellikle bundan daha kısa sürede, bitki yeni yapraklar vermeye başlar [102].

5.3 Numunelerin Alımı ve Analizi

Çalışmanın ilk 5 aylık süresi sadece *C. undulata* bitkisiyle bir ön çalışma olarak Set 1' de yürütülmüştür. Setten her ayın ilk haftasında su ve sediment numuneleri alınmıştır. Set 2' de (Şekil 5.5) *C. undulata* ve *E. amazonicus* bitkilerinin ikisi ile de deney gerçekleştirilmiştir. Araştırma süresince her hafta su, sediment ve bitki numuneleri alınmıştır. Alınan numunelerle hem doğal ortamda hem de laboratuvar ortamında analizler yapılmıştır. Analizler her bitki için 16 hafta sürdürülmüştür. Su, sediment ve bitki numunelerinin alımı ve analiz yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

5.3.1 Bitkilerin Dikimi, Numune Alımı ve Analizi

Bitkilerin Temini: Deneyde kullanılan bitkiler aynı zamanda bir akvaryum bitkisi olduğundan akvaryumculardan satın alınmıştır. Deney setinde dikilmeden önce bitkiler bir süre musluk suyunda bekletilmiştir.

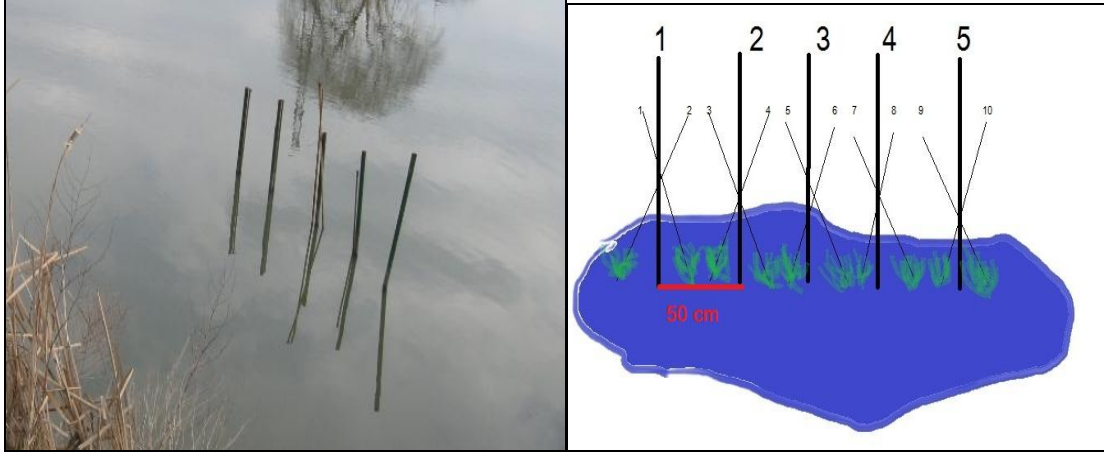
Bitkilerin Adaptasyonu: Deneye tabi tutulan bitkileri doğal ortamda kurulan sette yaşatabilmek için 7 günlük adaptasyon sürecinden geçirilmiştir. Bunun için her bitkiyi aylık olarak akvaryum ortamından çıkararak Sazlıdere' den aldığımız suda 7 gün bekletilmiştir. Bu uyum süreci sonunda bitkilerin tam boyu ve her bir organın (kök, gövde ve yaprak) boy ölçümü yapılmış, ardından kök uçları 1-2 cm kesildi ve doğal ortamda dikilmiştir.

Bitkilerin Deney Setinde Dikimi: Bitkiler aylık olarak akvaryumdan alınmış ve en geç 2 saat içinde deney setinde dikimleri gerçekleştirilmiştir. Bitkilerin ortalama genişlikleri 10-15 cm

olduğundan aralarında 50 cm olan metal çubuklara, her bitki arasında 25 cm mesafe bırakılarak paralel şekilde bağlanmıştır (Şekil 5.5).

Numune Alımı: Her ay 10 adet yeni bitki dikilmiş, her hafta her iki bitkiye ait birer numune alınmıştır. Her ay sonunda bir önceki ay dikilmiş olan bitkilerin geri kalanı hasat edilerek set yeni bitkilerle yenilenmiştir. Alınan numuneler steril polietilen poşetler içinde laboratuara getirilmiş ve aynı gün içinde işleme tabi tutulmuştur.

Numunelerin Analizi: Laboratuara getirilen haftalık bitki numunelerinin dikilmeden önce yapıldığı gibi boy ölçümü yapılmıştır. Ardından bitkiler saf sudan geçirilerek üzerlerindeki çamur kalıntıları temizlenmiş, sonra seyreltik asitle (%3 HCl) tekrar yıkanmış ve yeniden saf sudan geçirilmiştir.



Şekil 5. 5 Deney Seti Görünümü ve Şeması

Bu işlemden sonra 1-2 gün normal oda koşullarında bekletilen bitki numuneleri kök, gövde ve yaprak kısımlarına ayrıldıktan sonra 80 °C sıcaklıkta etüvde tamamen kurutulmuş ve blender ile öğütülerek 1 mm'lik elekten geçirilmiştir. Numuneler öğütüldükten sonra 0,5 gram tartılmış, üzerine 5:1:1 oranında NO_3 , H_2O_2 , HCl eklenmiş ve EPA Metod 3052 gereğince parçalama işlemine tabi tutulmuştur. Parçalama sonrası elde edilen çözelti filtre kağıdıyla süzülerek 10 ml'lik polietilen tüplere aktarılmıştır. Numuneler ICP-OES (Perkin Elmer Optima 2100 DV marka İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi) analizine kadar -4°C'de laboratuvarın numune saklama odasında muhafaza edilmiştir. ICP-OES metal analizleri izlediğimiz 10 element için (Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cd)

standartlar hazırlanarak ve numunelerde gerekli seyreltmeler yapılarak Perkin Elmer Optima 2100 DV cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Haftalık setten alınmış bitki örneklerinin yanısıra aylık olarak hem ham bitkinin (sette dikilmemiş) hem de 7 gün boyunca setten aldığımız suda yaşayan bitkinin metal analizleri yapılmıştır. Bitkilerin metal alım performansı 1 hafta üzerinden değerlendirilerek her bitki bünyesindeki birim kütlede biriken metal konsantrasyonları mg/kg kuru ağırlık olarak listelenmiştir.

5.3.2 Su Numunesinin Alımı Ve Analizi

Su numunesi Set 1'den aylık, Set 2'den haftalık olarak alınmıştır. Numuneler yüzeyden 20-30 cm derinlikten alınmış 1 L'lik polietilen şişelere doldurulmuş ve içinde hava kalmamasına dikkat edilerek şişenin ağzı kapatılmıştır. Numuneler 1 saat içinde laboratuara getirilmiş ve gerekli analizler yapılmıştır.

Su numunesinde hem sahada hem de laboratuarda ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Sahada: WTW model yerinde ölçüm cihazları ile suyun pH, sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik, ve çözünmüş oksijen parametreleri ölçülmüştür. Bu cihazlar her ay kalibre edilmiştir. Ayrıca haftalık olarak su derinliği ve Secchi Disk ile bulanıklık ölçülmüştür.

Laboratuarda: KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) ve alkalinite gibi suyun kimyasal parametreleri numunenin aylık olarak deney setinden alındığı gün YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında analiz edilmiştir. Bu parametrelerin analizleri APHA (2005) standart metodlara göre yapılmıştır.

Suda ağır metal analizinde EPA 3015 metodu uygulanmıştır. Su numunelerinde 10 ml HNO₃ ile parçalama işlemi üç aşamada yapılmıştır; 100°C'de 3,5 dakika, 160°C'de 10 dakika ve 170°C'de 10 dakika. Parçalanan numuneler analize hazırlanarak YTÜ Kimya Mühendisliği Bölüm laboratuvarında Perkin-Elmer Optima 2100 DV ICP-OES cihazı ile ağır metal okumaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar mg/litre olarak verilmiştir.

5.3.3 Sediment Numunelerinin Alımı ve Analizi

Sediment numuneleri deney setinin üst akımından, bitkinin dikildiği noktadan ve setin aşağı akımından yaklaşık 150 cm derinlikten kepçe yardımıyla alınmış ve “Giriş” (dereye bitkilerin dikildiği noktadan 2 metre yukarı), “Orta” (dereye bitkilerin dikildiği nokta) ve “Çıkış” (dereye bitkilerin dikildiği noktadan 2 metre aşağı) noktalarından alınan numuneler olarak yorumlanmıştır. 1 L’lik polietilen kaplarda laboratuara getirilen sediment numunelerinden 0,5 gr tartılmış, üzerine 10 ml HNO₃ eklendikten sonra EPA 3051 metodu ile parçalama işlemi yapılmıştır. Parçalama işlemi üç aşamada gerçekleştirilmiştir; 130°C’de 3 dakika, 175°C’de 2,5 dakika ve 180°C’de 4,5 dakika. Bu işlem bittikten sonra numuneler filtre kağıdıyla süzölmüş, saf su ile 10 ml’ ye tamamlanmış ve ICP-OES metal okuma analizlerine kadar -4°C’de polietilen tüplerde korunmuştur.

Sediment örnekleri 4000 rpm’de 20 dk sanrifüj işlemine tabi tutularak sediment arası boşluk suyu (s.a.b.s) elde edilmiştir. Bu numunelerin metal analizleri deney setinden aldığımız su numuneleri ile aynı işlemlerle gerçekleştirilmiş ve sonuçları sediment arası boşluk suyu özellikleri olarak irdelenmiştir.

Sediment numunelerinin metal analizlerinden elde edilen sonuçlar mg/kg ıslak ağırlık olarak, sediment arası boşluk suyu için ise mg/litre olarak verilmiştir.

Bitkide biriken metal miktarı alım zamanına göre birikim ve diğer metallere oranla alımındaki değişim (kısmi oran) olarak irdelenmiştir. Elementlerin kısmi oranları bitki bünyesinde izlenen bütün elementlerin toplam miktarlarına oranı olarak hesaplanmıştır (Denklem 5.1).

$$\text{Kısmi oran} = C_n / \sum_{n=1}^n C_n \quad (5.1)$$

ARAŞTIRMANIN BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Denemeler 2 aşamada gerçekleştirilmiştir; Set 1 ve Set 2. İlk denemede beş ay boyunca bitki (*C. undulata*) dikimi yapılmıştır. Dereye çevredeki işletmelerden aşırı mazot ve yağ içeren atıksu salınımı ve evsel atıksu deşarjı nedenleriyle (Şekil 6.1) ilk haftalarda bitkilerin ölümü tespit edilmiştir.



Şekil 6.1 Deney seti çevresinde atıksu kaynakları

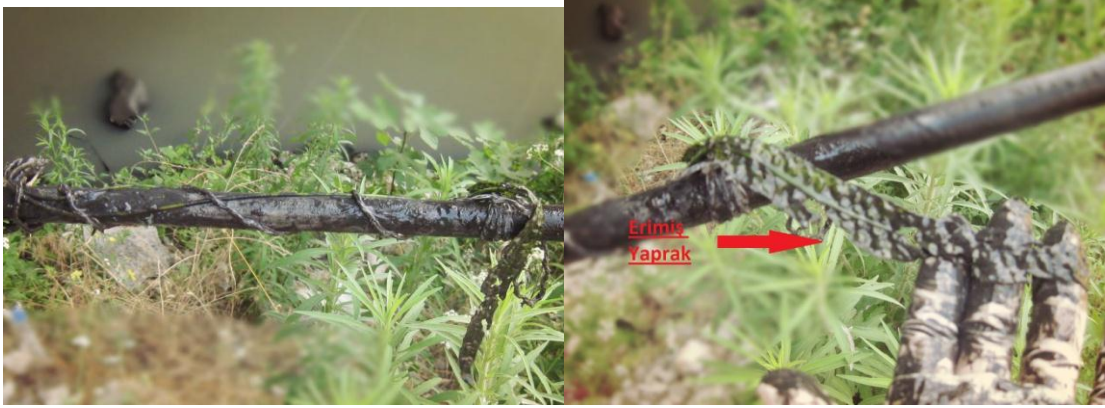
Dereye deşarj edilen atıksular nedeniyle istenilen sonuçlar alınamadığından ikinci aşamada deney setinin yeri değıştirilerek derenin 100 metre yukarısında kurulmuştur. Kurulan ikinci sette *C. undulata* ve *E. amazonicus* bitkileri ortama uyum sağlayarak yaşamayı başardılar.

C. undulata ve *E. amazonicus* bitkileriyle gerçekleştirdiğimiz çalışma Ağustos ayında başlatılmış, Aralık ayında tamamlanmıştır. Deney süresi her bitki için 16 hafta sürmüştür. Her iki bitkiyi aynı zamanda temin edemediğimiz için *E. amazonicus* bitkisiyle yürütölen deney *C. undulata* ile yürütölen denemeden üç hafta sonra başlatılmıştır.

Çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlar 4 haftalık periyotlar şeklinde grafiklere yansıtılmıştır. Bu grafiklerde her 4. hafta hasat ve aynı zamanda yeni dikim zamanını göstermektedir.

6.1 *C. undulata* Bitkisi ile Yapılan İlk Deneme Seti (Set 1)

5 ay boyunca *C. undulata* bitkisini Set 1’de yaşatmaya çalışıldı fakat bitkilerin ortama adaptasyonu sağlanamadı. Her ay başında diktiğimiz bitkilerin yapraklarında hızlı “erime” gözlemlenmiş ve bir kaç gün içinde ölüm gerçekleşmiştir (Şekil 6.2). Bu deneme bitkinin ortama adapte olarak yaşayabileceğini izlemek açısından devam etmiştir.



Şekil 6.2 Set 1 denemesinde bitki yapraklarında “erime”

Denemenin bu aşamasında bitkilerin dikimden sonraki 3-4 gün içinde ölmesine rağmen aylık olarak sediment ve su numuneleri düzenli alınmış, su, s.a.b.s ve sediment yapıda elementlerin hareketliliğinin izlenmesi açısından ölçümler devam etmiştir. Analiz sonuçları su, sediment arası boşluk suyu (s.a.b.s) ve sediment numuneleri özellikleri olarak Şekil 6.3-12’de verilmiştir.

Setten deney 6ncesinde alınan su ve sediment numunelerinin metal analizleri yapılmış ve ham numune adı altında (a-0) yorumlanmıştır.

Mg: İlk deneme boyunca sedimentte Mg konsantrasyonu sabit kalmış, s.a.b.s ve su arasında hareketlilik göstermiştir (Şekil 6.3).

Ca: Sediment numunelerinin Ca miktarında deneme boyunca azalma kaydedilmiştir. Ca'un s.a.b.s'da da azaldığı Şekil 6.4'te görölmektedir. Bu elementin sudaki miktarında değişimler olmuş ve genel olarak azalma belirlenmiştir.

Fe: Deney sonuçlarından göröldüğü gibi Fe elementi her üç fazda da Mg elementine benzer özellik göstermiştir. Deneme süresince bu elementin su, s.a.b.s ve sediment yapıda gezindiğı tespit edilmiştir (Şekil 6.5).

Cr: Sedimentteki miktarı sabit olan Cr konsantrasyonu su ve s.a.b.s'da hareketlidir. Sudaki miktarı ile kıyaslandığında Cr elementinin s.a.b.s'ndaki miktarı difüzyon nedeniyle daha fazla olduğu Şekil 6.6'da görölmektedir.

Mn: Mn elementinin sudaki miktarı diğer iki fazdaki miktarından az izlenmektedir. Analiz sürecinde bu elementin s.a.b.s'ndaki miktarı azalırken (Şekil 6.7) sedimentteki konsantrasyonu artarak bu fazda birikim yapmıştır.

Ni: Ni elementinin su ve s.a.b.s arasında hareket ettiğini Şekil 6.8'de görmekteyiz. Sedimentteki Ni konsantrasyonu ise sabit kalmıştır. Bu elementin en az miktarı s.a.b.s'nda izlenmiştir.

Cu: Cu elementinin üç faz arasında kararsız bir şekilde hareketi gözlenmiştir. Bu element en çok sedimentte analiz edilmiştir ve bu fazdaki miktarı nisbeten sabit kalmıştır (Şekil 6.9).

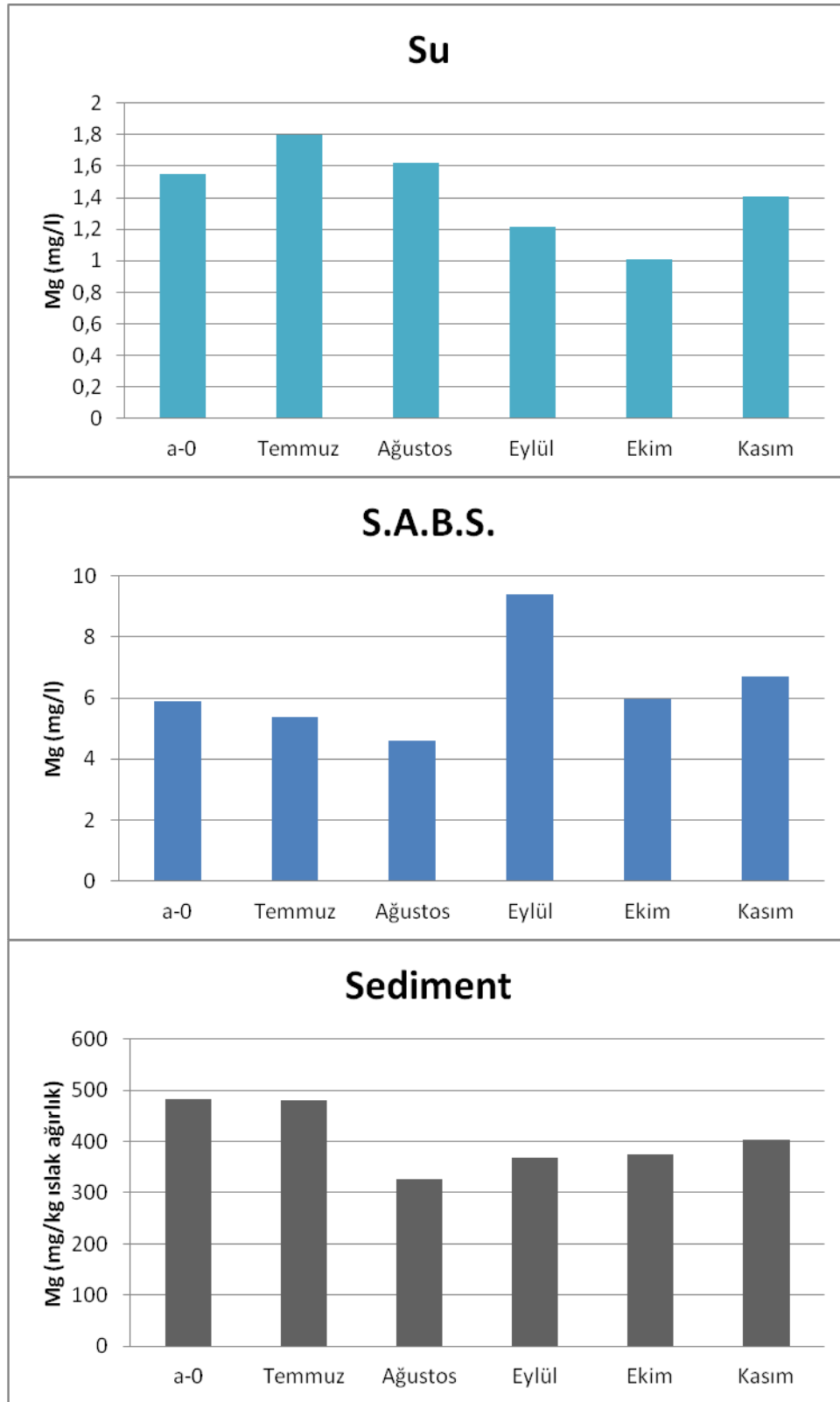
Zn: S.a.b.s ve sudaki Zn miktarında keskin hareketlenmeler metalin bu iki faz arasında kararsız olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte yağış rejimi ne olursa olsun Zn'nun sediment yapıya bağı olduğu görölmüştür (Şekil 6.10).

Pb: Pb elementinin konsantrasyonu s.a.b.s ve sedimentte sabit kalmakla birlikte, sudaki konsantrasyonunda az da olsa artma görölmüştür (Şekil 6.11). Bu element yağış rejimine

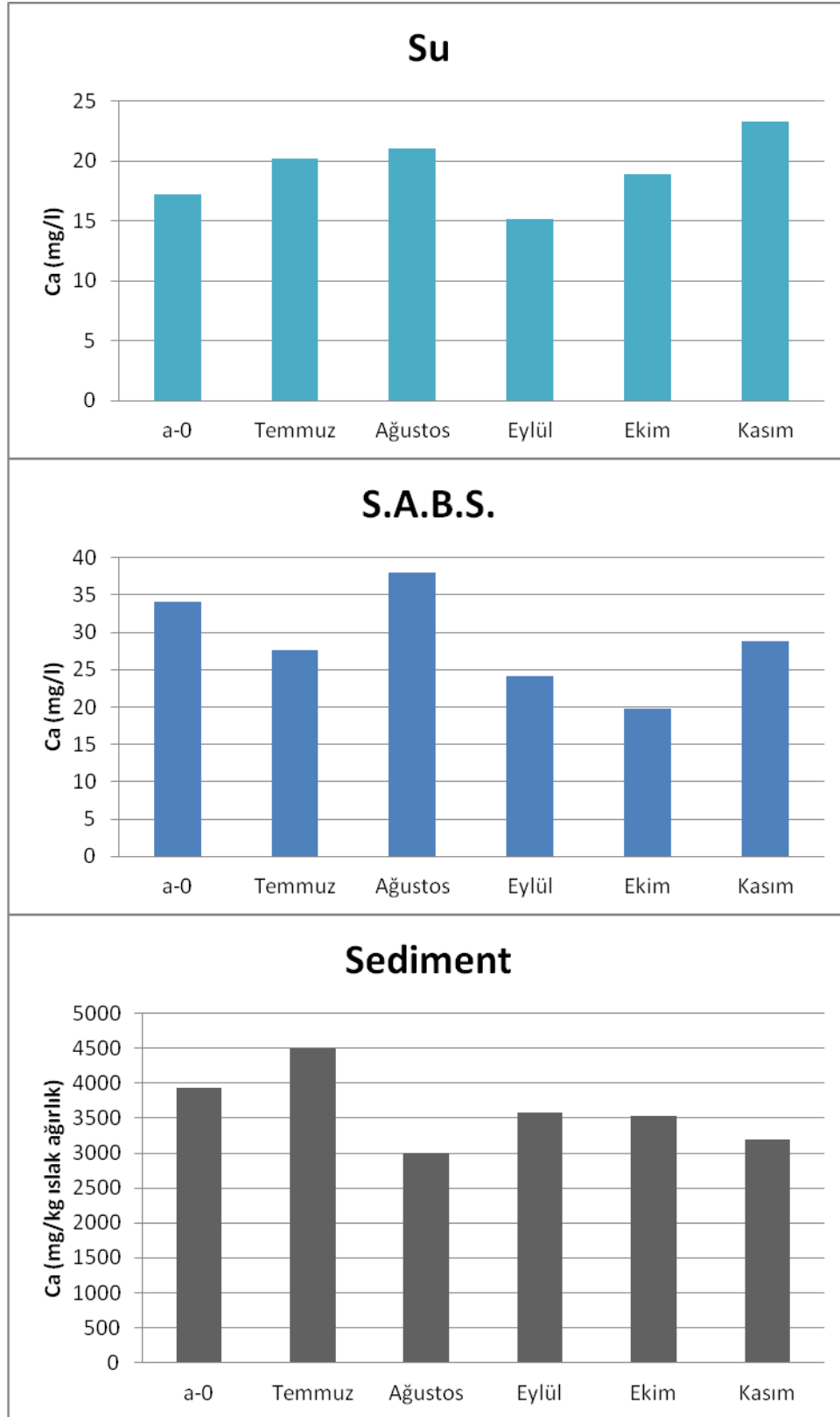
bağlı olarak kuraklıkta sedimente daha çok bağlanmış, yağışlı dönemde s.a.b.s' na geçmiştir.

Cd: Cd elementi sedimentte kararsızlık göstermiştir (Şekil 6.12). Aynı zamanda Cd' un su ve s.a.b.s' ndaki konsantrasyonları okunamamıştır.

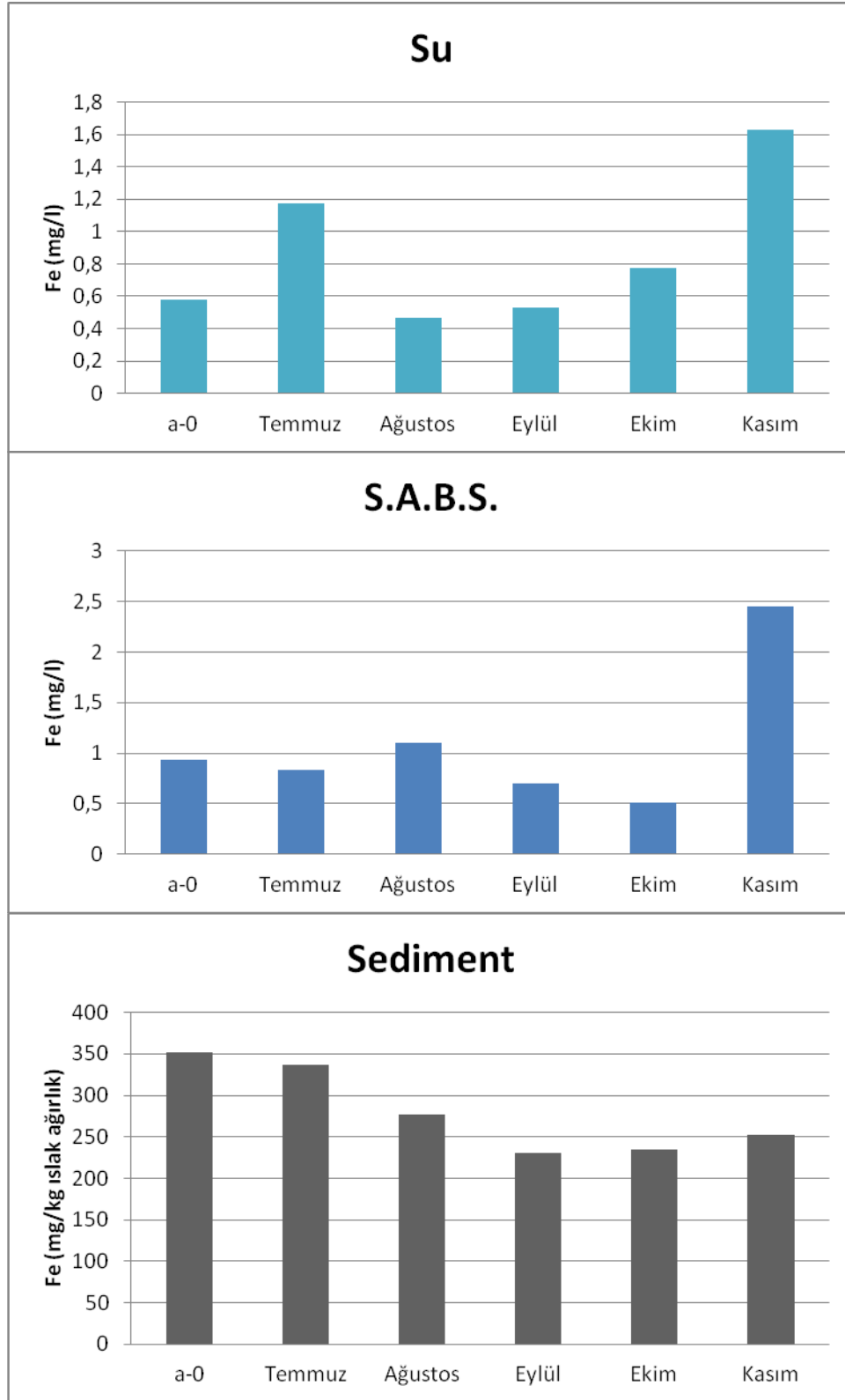
Ekim ve Kasım aylarında ortama değarj edilen atıksuların etkisiyle Mn, Ni, Cu ve Pb elementleri suda daha çok tespit edilmiştir. Bu değişime bağlı olarak Ni, Cu ve Pb elementlerinin sedimentte daha çok adsorplandığı, Cr, Mn ve Fe' in aynı oranda olmasa da sedimentte arttığı görölmüştür.



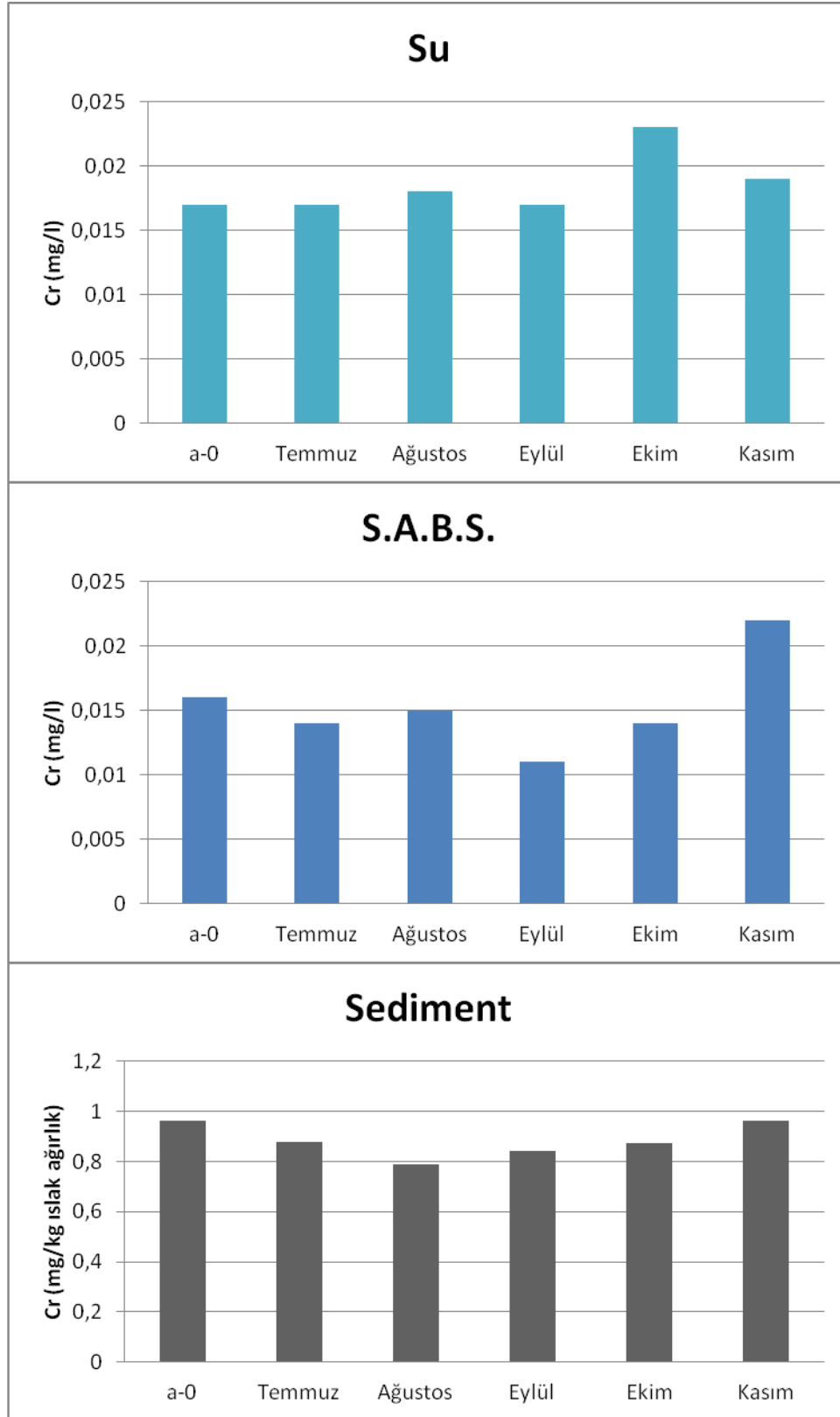
Şekil 6.3 Birinci dikimde (Set 1) Mg elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



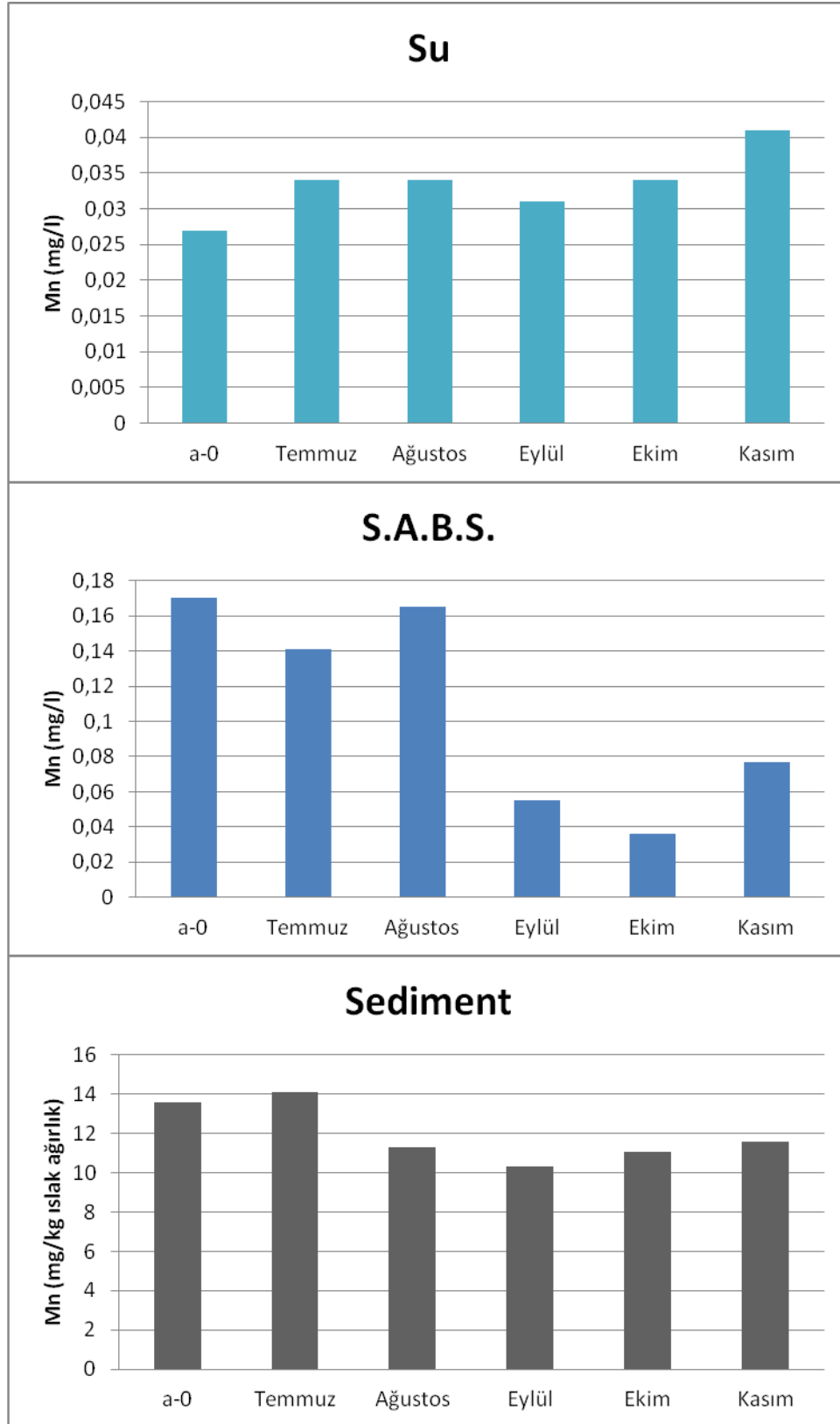
Şekil 6.4 Birinci dikimde (Set 1) Ca elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



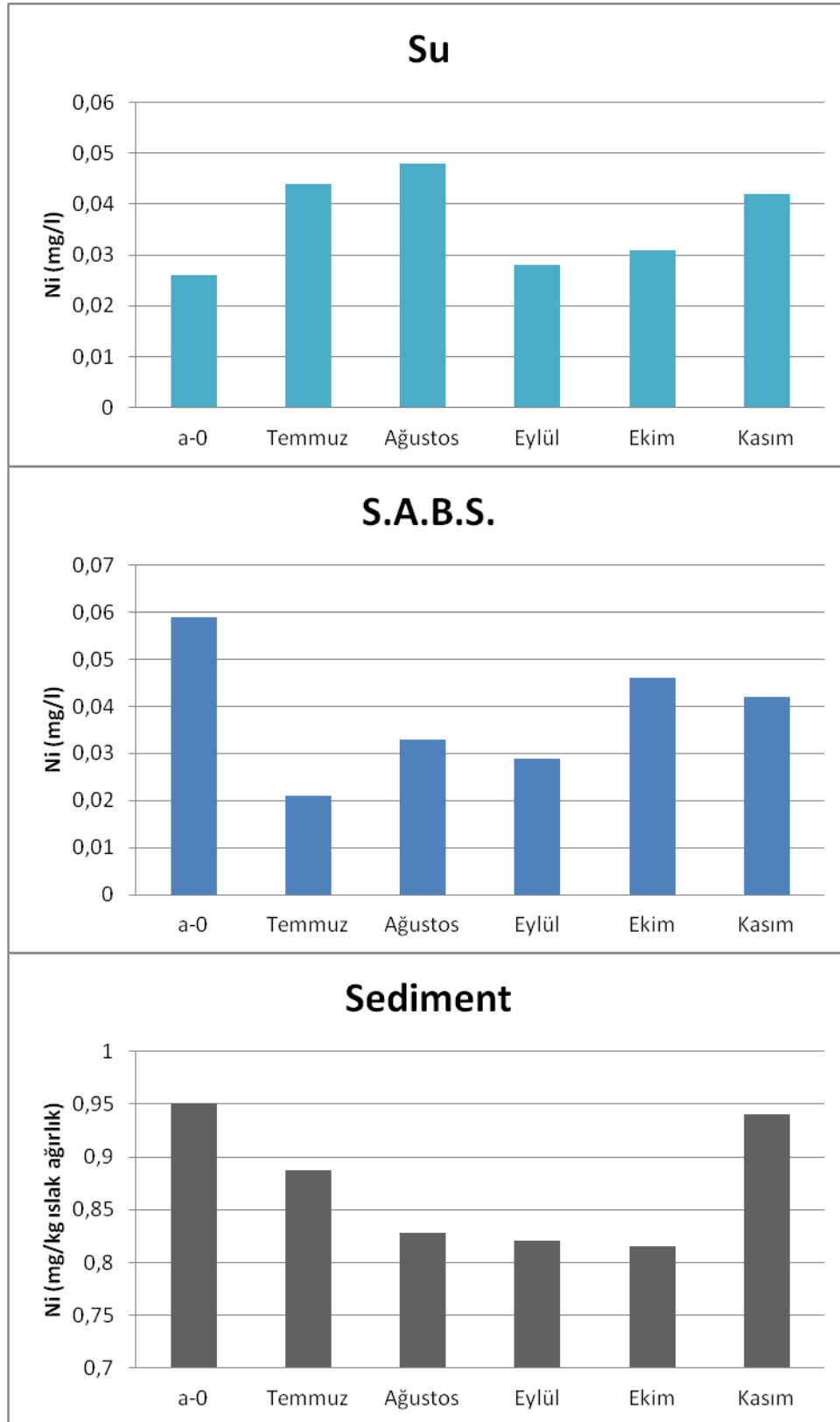
Şekil 6.5 Birinci dikimde (Set 1) Fe elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



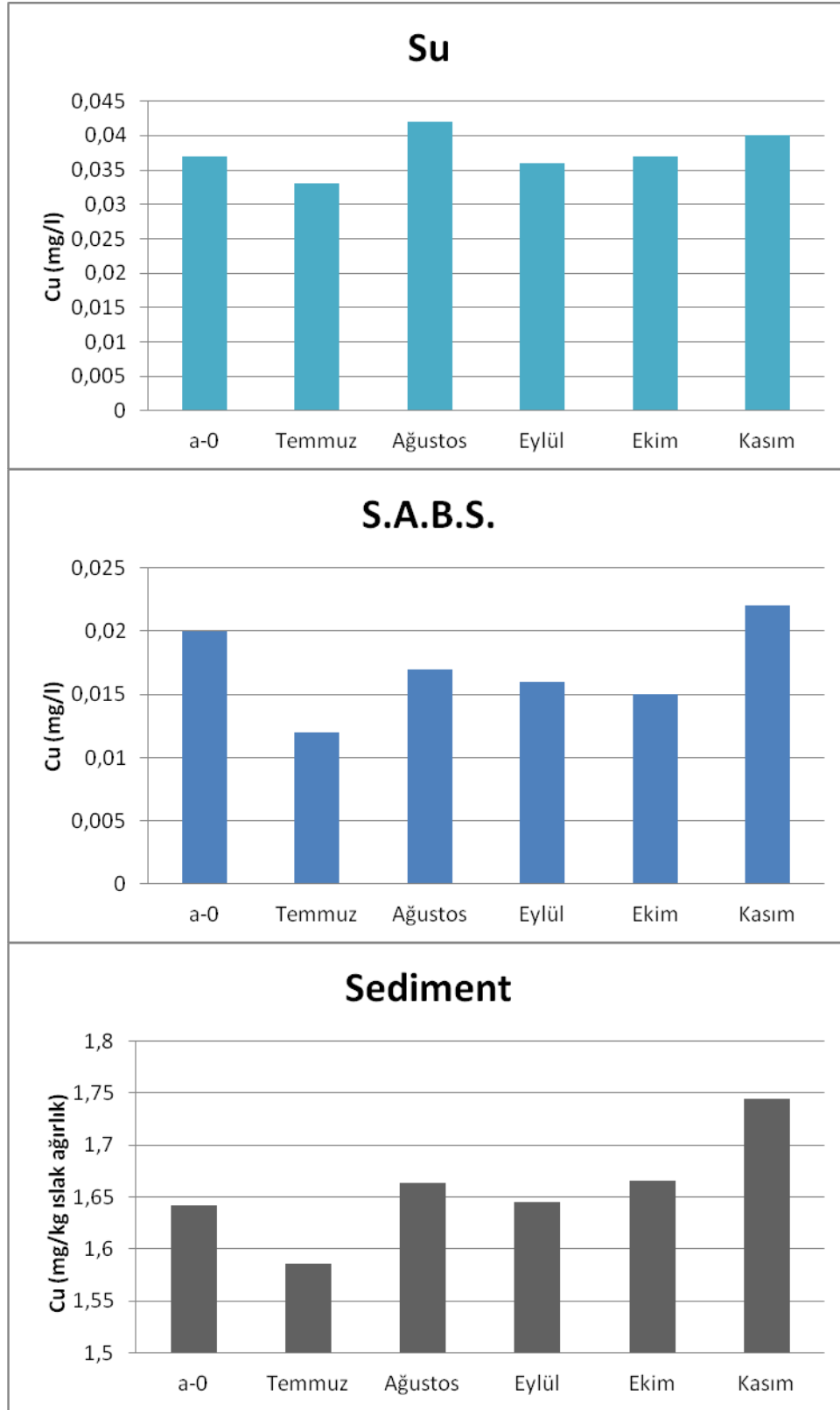
Şekil 6.6 Birinci dikimde (Set 1) Cr elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



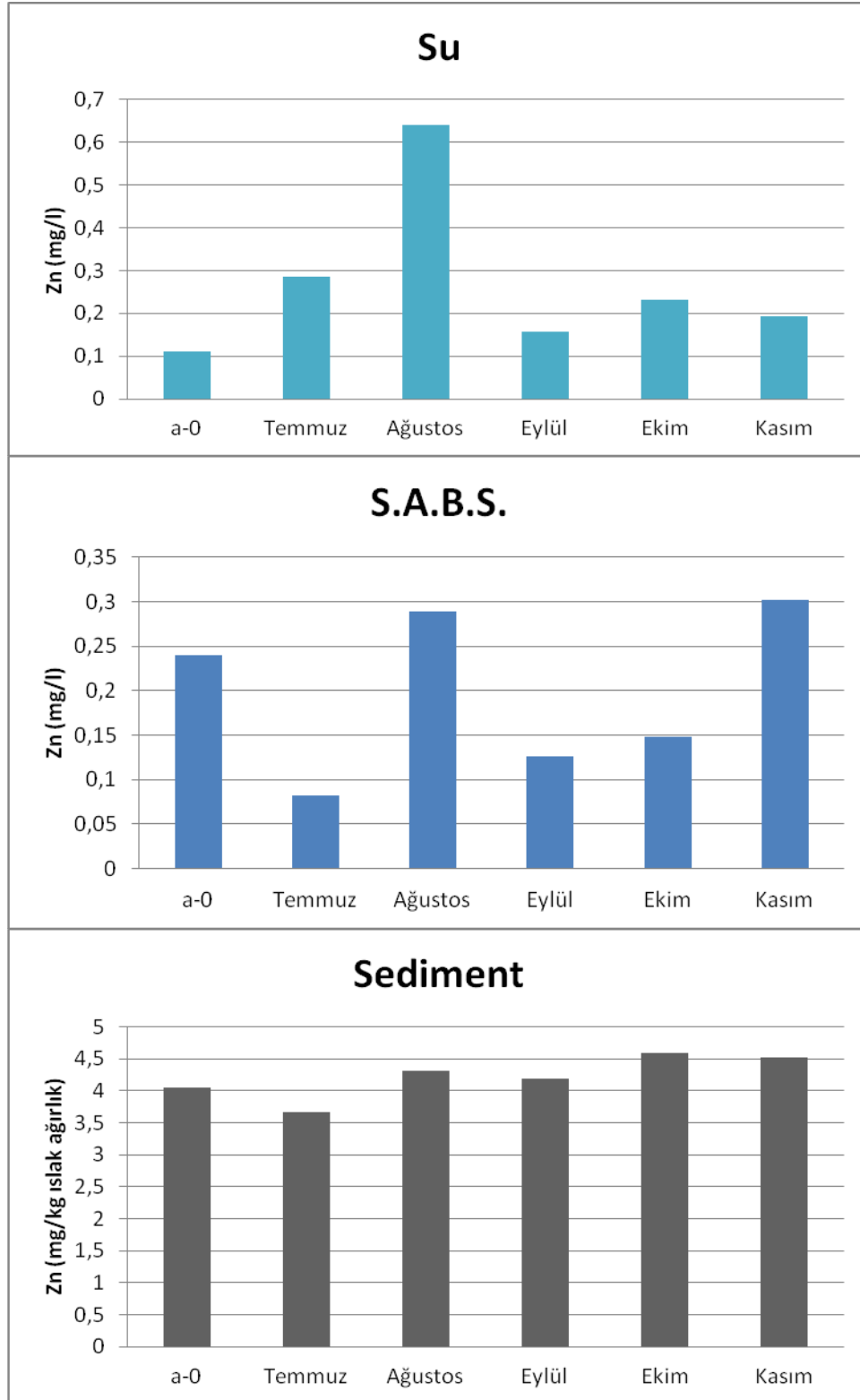
Şekil 6.7 Birinci dikimde (Set 1) Mn elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



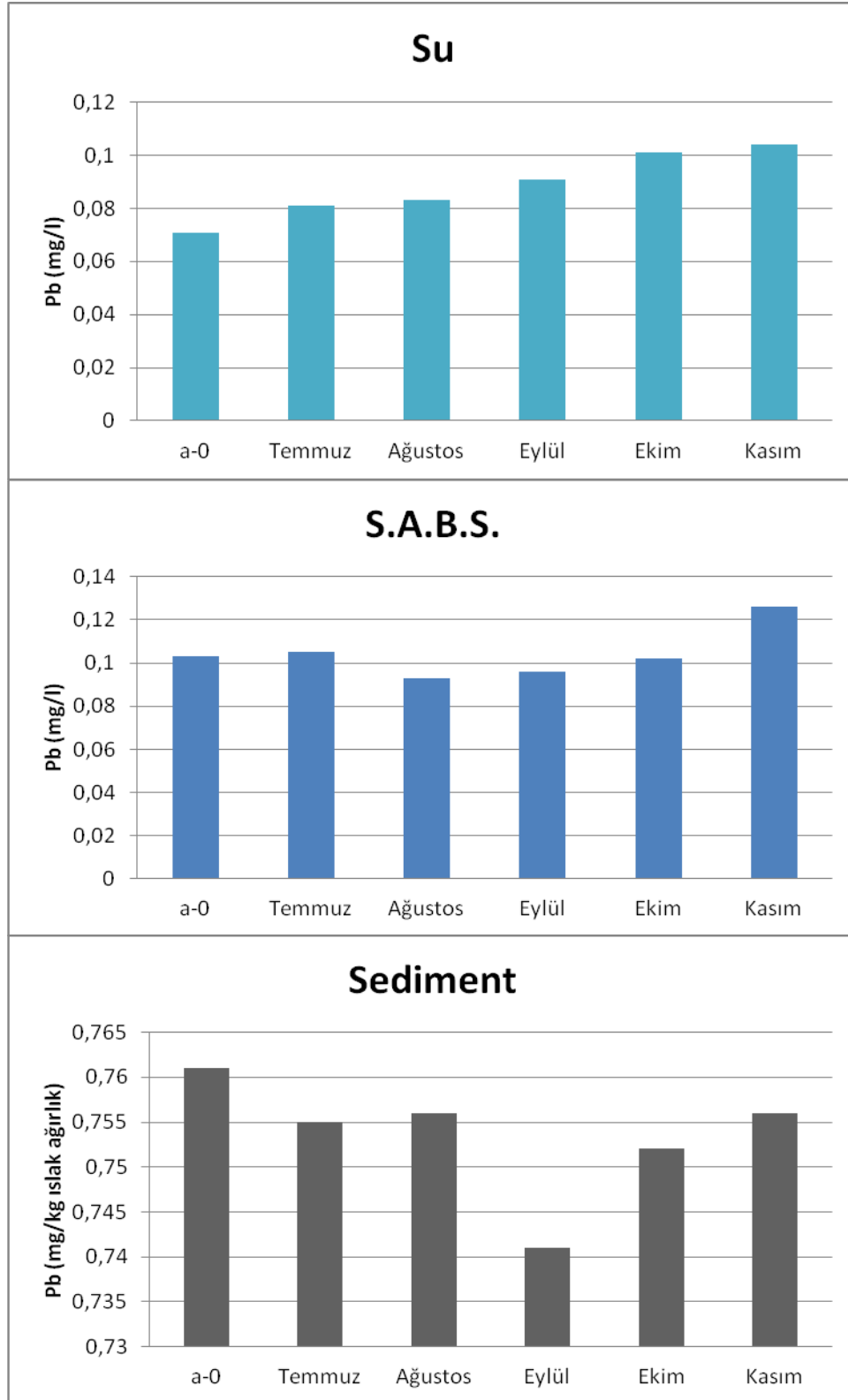
Şekil 6.8 Birinci dikimde (Set 1) Ni elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



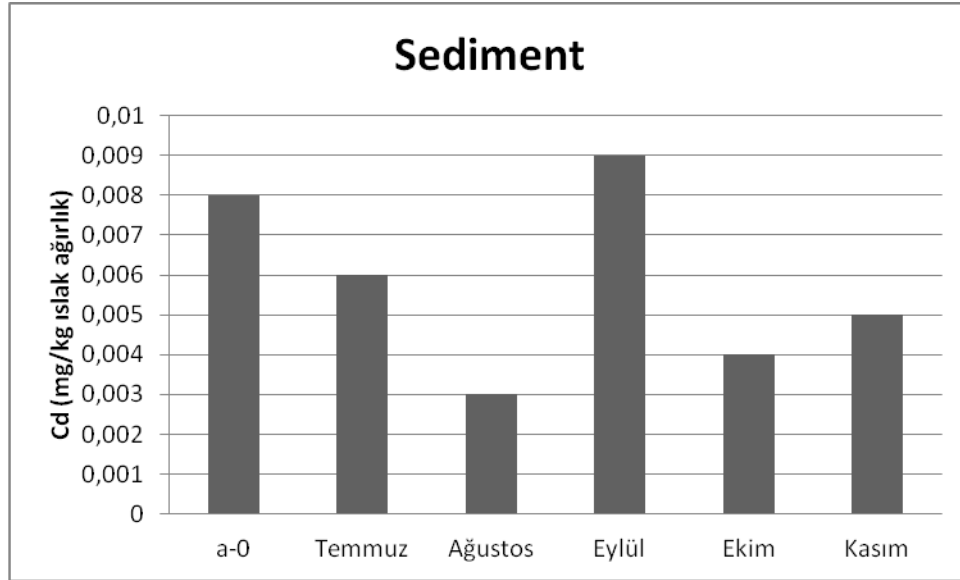
Şekil 6.9 Birinci dikimde (Set 1) Cu elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



Şekil 6.10 Birinci dikimde (Set 1) Zn elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



Şekil 6.11 Birinci dikimde (Set 1) Pb elementinin su, s.a.b.s ve sedimentteki konsantrasyonu



Şekil 6.12 Birinci dikimde (Set 1) Cd elementinin sedimentteki konsantrasyonu

6.2 İkinci dikimde (Set 2) Deney Süreci Boyunca Suda İzlenen Fiziko-Kimyasal Değişim

19 haftalık deney süreci içinde suyun fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu çıkarılmıştır.

Çalışmada suda bazik seviyelerde ölçülen pH'nın en düşük değeri deneyin son haftası (pH=7), en yüksek değeri ise 6. haftada kaydedilmiştir. Şekil 6.13'te sudaki pH değerlerine bakıldığında bitkilerin dikildiği ortamın bazik olduğu görülmektedir.

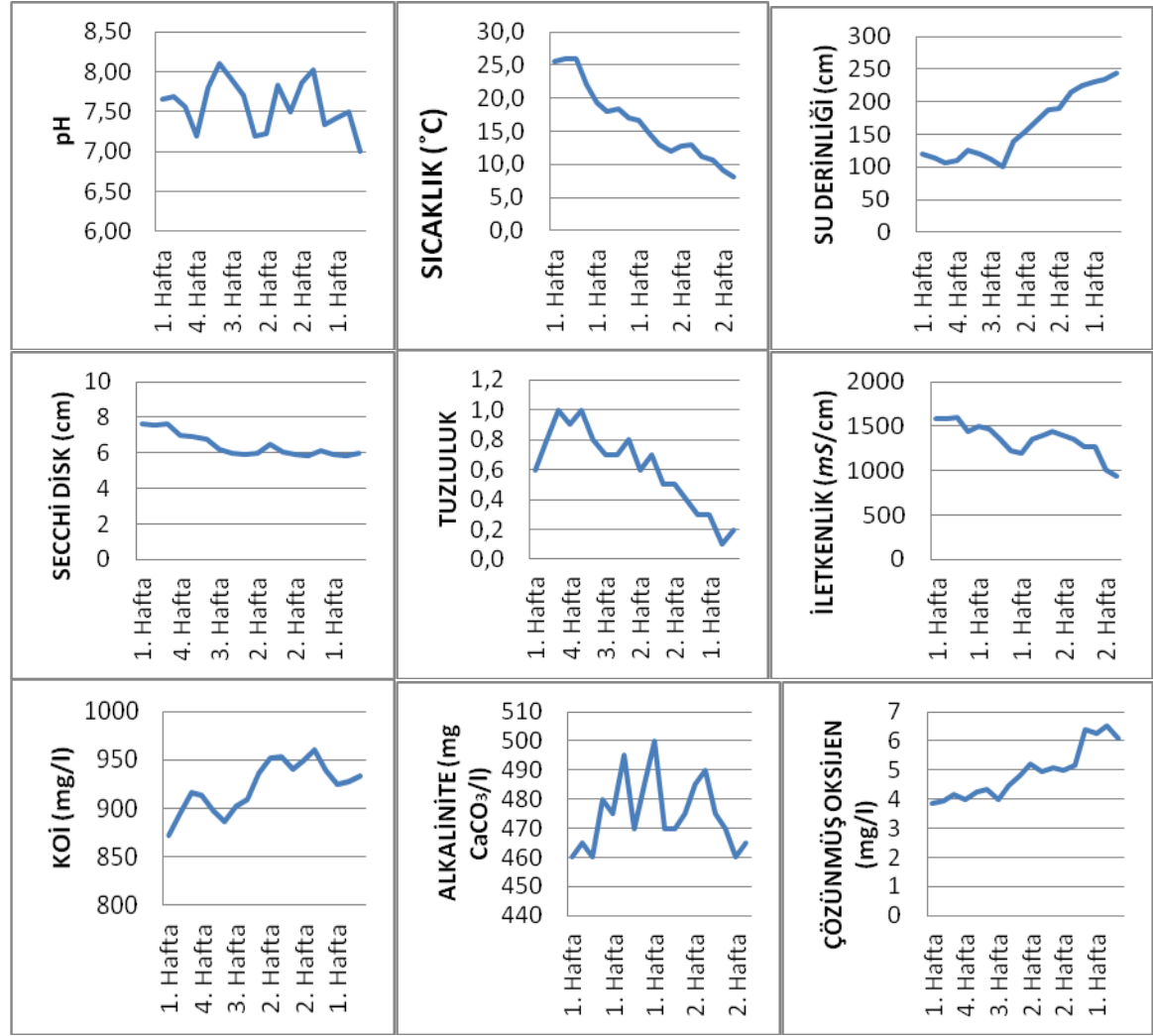
Sıcaklık ve su derinliği mevsimsel değerlerde ölçülmüştür. Deney sürecinde su sıcaklığı gittikçe azalırken, yağışlar nedeniyle ve Sazlıdere Barajından salınan suyun da etkisiyle su derinliği sürekli artmıştır. Deney bitkilerimizin ortama uyum sağlayarak yaşamasında büyük rol oynayan ortamdaki Ç.O değeri, su sirkülasyonu ve sudaki biyokimyasal süreçlerin aktif döneme geçmesiyle, su seviyesinin artmasıyla yükselmiştir.

Deneyin başlangıcından sonuna doğru sudaki tuzluluğun belli seviyelerde azaldığı görülmüştür. Tuzlulukta azalmayla birlikte suyun iletkenlik verilerinde de azalma gerçekleşmiştir.

Deneyin ortasından sonuna doğru su bulanıklığının arttığını Sechhi Disk verilerinden görülmektedir (Şekil 6.13). Suyun Aralık ayına doğru şeffaflığının azalmasının nedeni

ortamda artan suyun akış hızının da yükselmesi, dolayısıyla suya karışan askıda katı madde miktarının artması olmuştur. Suda bulanıklığın artması bitkinin ışık alımını zorlaştırmıştır. Kullandığımız bitki türlerinin fazla ışığa ihtiyaç duymamaları deney sürecinde bize avantaj sağlamıştır.

Suyun KOİ değerleri evsel atıksu karakterine uygun seviyelerde ölçülmüştür. Alkalinite değerinde düşük konsantrasyonlarda değişim kaydedilmiş, ortalama değer 475 mg CaCO₃/l ölçülmüştür.



Şekil 6.13 Deney sürecinde suda izlenen pH, sıcaklık, su derinliği, secchi disk, tuzluluk, iletkenlik, KOİ, alkalinite ve çözünmüş oksijen parametreleri

6.3 *C. undulata* Bitkisi ile Yürütülen Deney (Set 2) ve Element Analizleri

C. undulata bitkisiyle yürüttüğümüz bu çalışmada haftalık olarak deney setinden aldığımız su, s.a.b.s, sediment ve bitki numunelerinde Ca, Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cd elementleri izlenmiştir. Su ve sediment numuneleri deney setinin kurulduğu yerde "Giriş", "Orta" ve "Çıkış" noktalardan alınmıştır.

S.a.b.s numuneleri ise sedimentten santrifüj işlemiyle elde edilmiştir. Deney ortamında doğal sirkülasyon nedeniyle "Giriş", "Orta" ve "Çıkış" noktalarından alınan numunelerin analiz verilerinde kıyaslanabilir farklılık elde edilememiş, sağlıklı karşılaştırma yapılamamıştır. Bu nedenle, çalışmamız rizom bölgeden alınan "Orta" nokta numunelerinin verilerine göre değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Adaptasyon haftası sonunda bitkilerde yapılan element analiz sonuçları ise grafiklerde (a-1) verisi olarak verilmiştir.

C. undulata ile gerçekleştirdiğimiz bu deney toplamda 16 hafta sürmüştür. Sazlıdere kıyısı boyunca Başakşehir Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü tarafından yürütülen yapılandırma işleri nedeniyle deney setine teknik olarak inmek mümkün olmamış, bu nedenle 12. haftada numune alımı gerçekleştirilememiş, bu nedenle 12. haftaya ait veriler grafiklerde yerini alamamıştır.

6.3.1 Deney Setinden Alınan Su, Sediment Arası Boşluk Suyu (S.A.B.S) ve Sedimentin Element Analizleri

Mg: Sudaki Mg konsantrasyonunda deneyin ilk haftalarından sonlarına doğru artış görülmüştür. Deney başından ortalarına doğru s.a.b.s' da artan Mg miktarı deneyin son haftalarında yeniden yükselmeye başlasa da ilk baştaki konsantrasyona ulaşamamıştır. Sediment yapıda Mg' un ilk haftalarda azaldığı ve son 4 haftada ise nisbeten sabit bir konsantrasyona ulaştığı grafikten de görülmektedir (Şekil 6.14).

Ca: Deneyin ilk haftasından sonuna kadar Ca elementinin sudaki miktarında dinamiklik gözlemlenmiştir. Deneyin ilk 2. ve 3. Haftalarında s.a.b.s' da yükselişe geçen Ca konsantrasyonunda 3. haftadan sonra lineer olarak azalma kaydedilmiştir. Ca miktarı

sedimentte ilk haftalarda düzenli olarak azalsa da deneyin orta ve sonlarında bu element miktarında artış ve azalmalar birbirini izlemiştir (Şekil 6.15). Su ve sediment yapıda Ca analizleri elementin bu iki faz arasında hareket ettiğini göstermiştir. Ca' un s.a.b.s' da miktarının azalması bitki tarafından bu elementin alınmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Cr: Çalışma sürecinde izlenen Cr metalinin sudaki miktarının sürekli arttığı, s.a.b.s' da ve sedimentte ise genel olarak azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 6.16). Cr' un deney ortamında hareketliliği sediment yapıdan s.a.b.s' na, oradan da suya geçiş yapmasıyla açıklanabilir.

Mn: Mn elementinin su ortamındaki miktarı deneyin başında azalmış, 5. haftadan sonra artmış ve 10. haftada en yüksek konsantrasyonuna ulaşarak yeniden azalmaya başlamıştır. Bu azalma deney sonuna kadar devam etmiştir. S.a.b.s' da Mn miktarının deney sonlarında üç hafta boyunca az da olsa arttığını dikkate almazsak genel olarak azaldığını görmekteyiz (Şekil 6.17). Bununla birlikte sedimentteki Mn konsantrasyonu deneyin ilk haftasından son haftasına kadar kararlı şekilde azalma göstermiştir. Bu da elementin sediment yapıdan s.a.b.s' a salınarak suya geçmesiyle yorumlanabilir. Ayrıca sediment yapıda azalan Mn' ın aynı zamanda s.a.b.s' da da azalması bu elementin bitki kökleriyle rizom bölgeden benimsendiğine bir kanıt olabilir.

Fe: Su, s.a.b.s ve sediment ortamında izlenen elementler içinde miktar olarak Ca ve Mg elementlerinden sonra en çok bulunan Fe, deney sürecinde miktar olarak her üç yapıda da azaldığı analiz sonuçlarından belli olmuştur. Sudaki Fe konsantrasyonu zaman zaman artış göstermiş ve bu artış sebebinin ise elementin sedimentten s.a.b.s' na, oradan da suya geçtiğini düşünmekteyiz. Örneğin, denemenin 3. haftasında sediment ve s.a.b.s' daki Fe miktarında azalma görülürken, sudaki miktarda yüksek bir artım gözlemlenmiştir (Şekil 6.18).

Ni: Deney boyunca Ni elementinin sudaki miktarı sürekli artış ve azalma göstermiştir. Suda en az Ni miktarı 4. haftada, en yüksek seviyeye 9. hafta ulaşmıştır. S.a.b.s' da da Ni aynı hareketliliği göstermiştir. Fakat s.a.b.s' da element maksimum konsantrasyona ulaştığı zaman sudaki miktar en az olmuş, s.a.b.s Ni miktarı minimum seviyeye düştüğünde ise bu

elementin miktarı suda en yüksek miktara çıkmıştır. Böylece Ni elementinin su ve s.a.b.s fazları arasında transferi gerçekleşmiştir. Sedimette Ni miktarı deneyin başında ani bir azalma gösterse de sonradan sabit bir miktara ulaşmıştır (Şekil 6.19). Bunu da Ni elementinin düzenli olarak sediment yapıya geçmesi ve bitki tarafından alınmasıyla ilişkilendirilebilir.

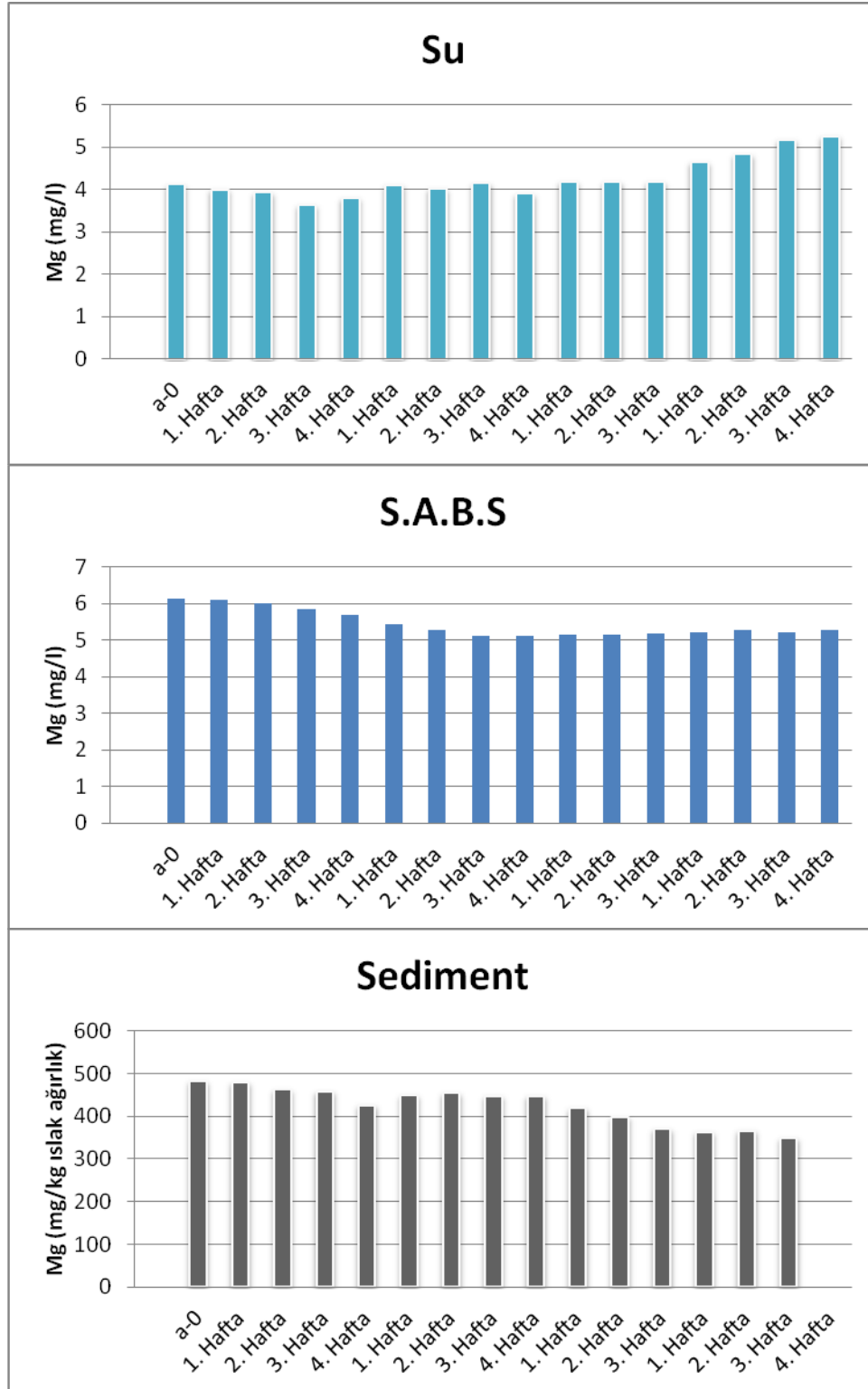
Cu: Başlangıçta suda az miktarda analiz edilen Cu, deney boyunca yüksek konsantrasyonlara çıkmayı başarmış ve deneyin son üç haftasında miktar azalarak başlangıç seviyeye geri dönmüştür. Çalışma sürecinde suda artan Cu konsantrasyonu s.a.b.s’ da aynı şekilde azalma göstermiştir. Cu miktarı ikinci ve üçüncü hasadın arasında kalan haftalarda en az seviyede ölçülmüştür (Şekil 6.20). Elementin sudaki miktarının artmasına sebep bu metalin sediment ortamında düzenli olarak azalmasının neden olduğunu düşünülmektedir.

Zn: Genelde düşük konsantrasyonlarda ölçülen sudaki Zn elementi denemenin 3. haftasında, 7. haftasında ve 8. haftasında deneme öncesi analiz edilmiş miktardan 6 kat fazla ölçülmüştür (Şekil 6.21). Zn elementinin s.a.b.s’ da ve sedimentteki miktarlarında bu kadar yüksek hareketlenmeler olmadığı analiz sonuçlarından belli olmuştur. Sedimentte miktarı deney boyunca çok fazla değişmeyen (son iki hafta hariç) Zn’ nun s.a.b.s’ da daha dinamik olması elementin suyla s.a.b.s arasında dönüşümlü hareketiyle alakalandırılmaktadır.

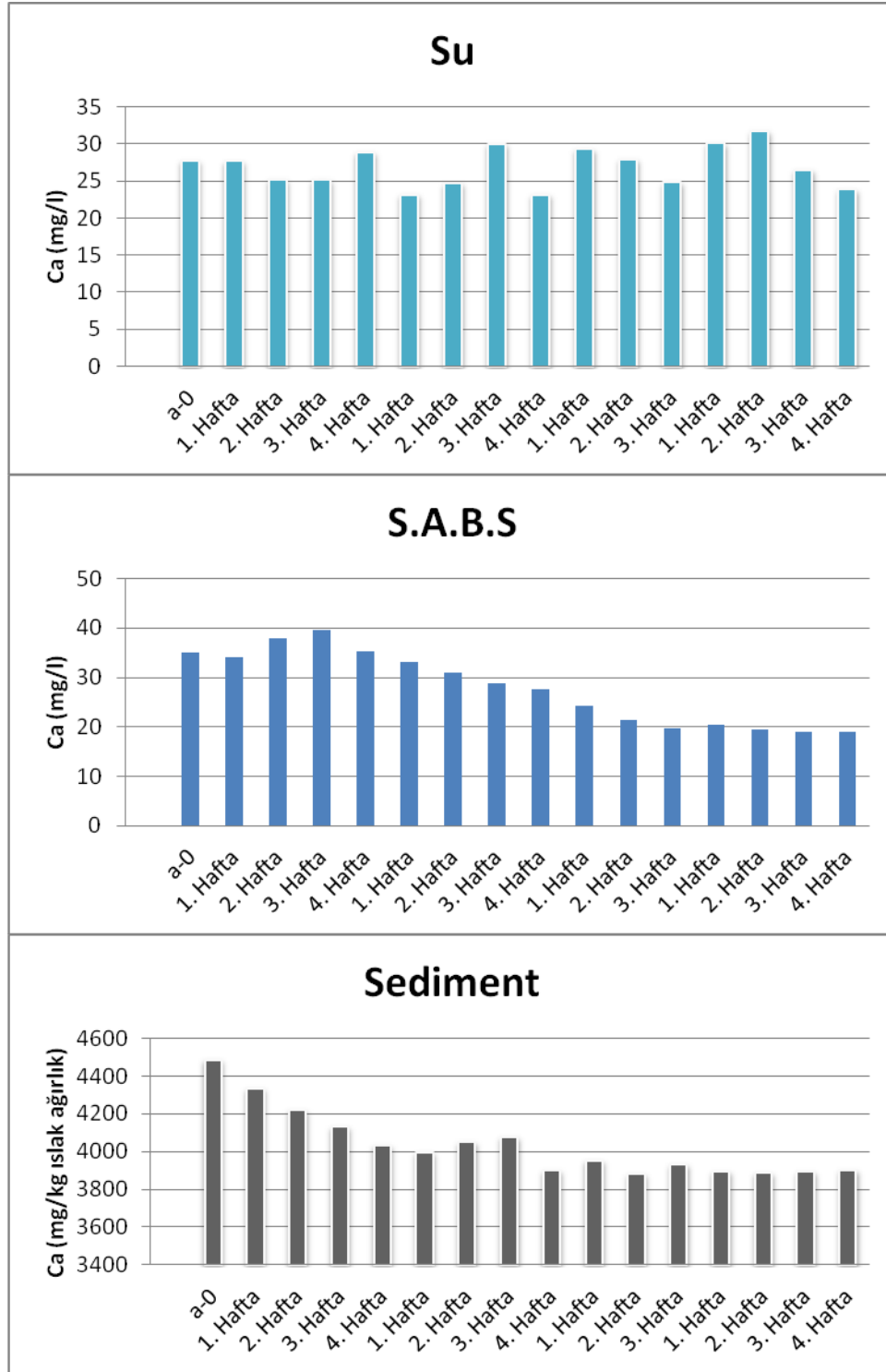
Pb: Su yapılan analizlerde, Pb elementinin zamanla artma ve bazen azalma gösterdiği belirlenmiştir. Sedimentte deney sürecinde belirli bir oranla azalan Pb konsantrasyonu, s.a.b.s’ da dikim yapılan hafta sonlarında azalma göstermiştir (Şekil 6.22). Bu azalmaya sebep bitkinin dikildiği ilk haftada s.a.b.s’ dan Pb alımı yapması olabilir.

Cd: Çalışmamızda su ve s.a.b.s numunelerinde Cd elementi izlense de hiçbir su örneğinde bu metalin konsantrasyonu belirlenememiştir. Bu da Cd elementinin metal okumalarında kullandığımız ICP – OES cihazının tespit edebileceği sınırdan az olması veya iki fazda da bu elementin bulunmamasıyla izah edilebilir. Sedimentte izlediğimiz elementler içinde en az konsantrasyona sahip Cd deney başında maksimum seviyede ölçülmüş, çalışma boyunca

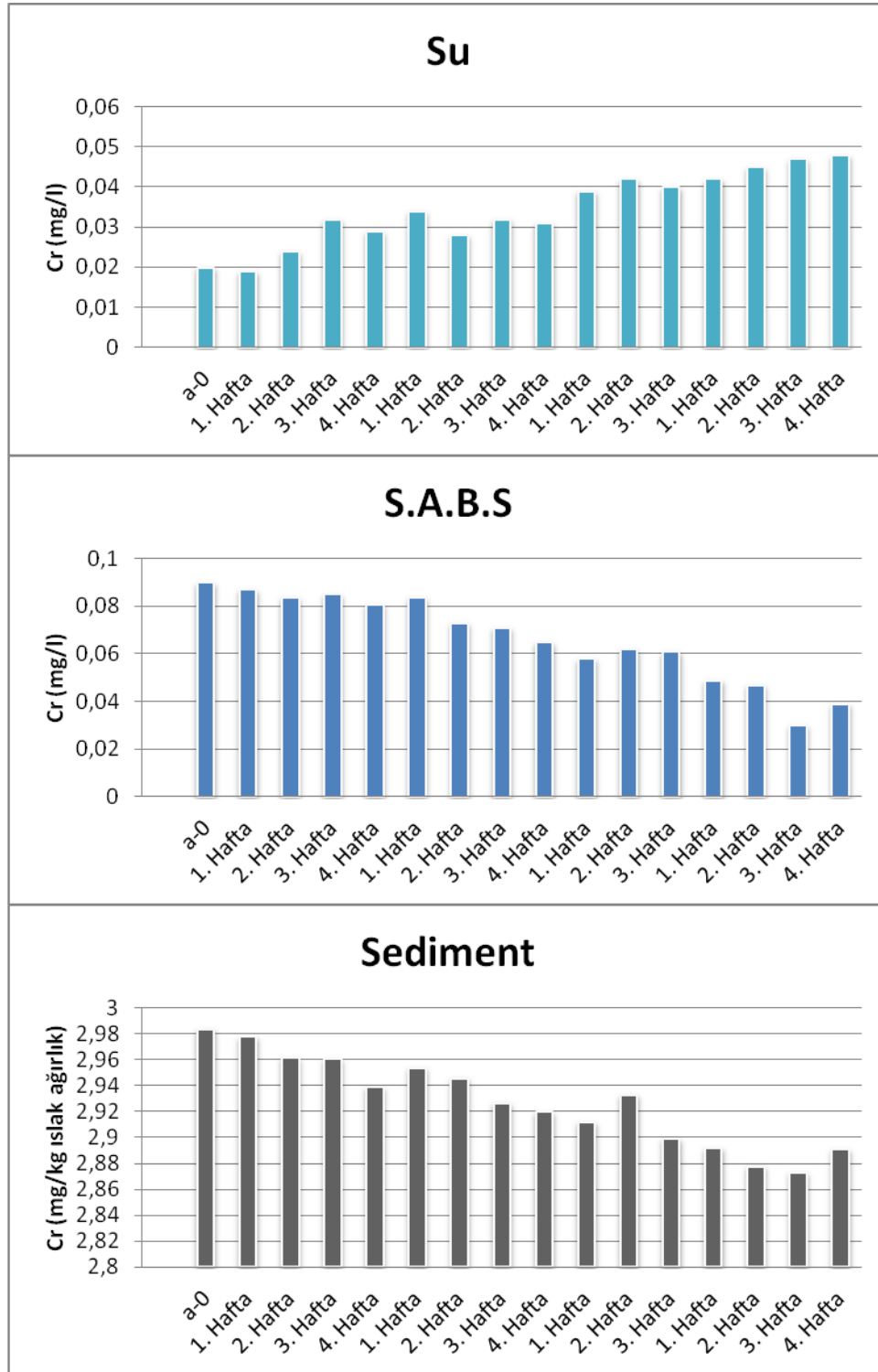
bu elementin miktarında genel olarak azalma kaydedilmiştir (Şekil 6.23). *C.undulata* bitkisinin kökünde yapılan analiz sonuçlarında da bu elementin sediment yapıdan bitki köklerine translokasyonunun gerçekleştiğini görülebilir.



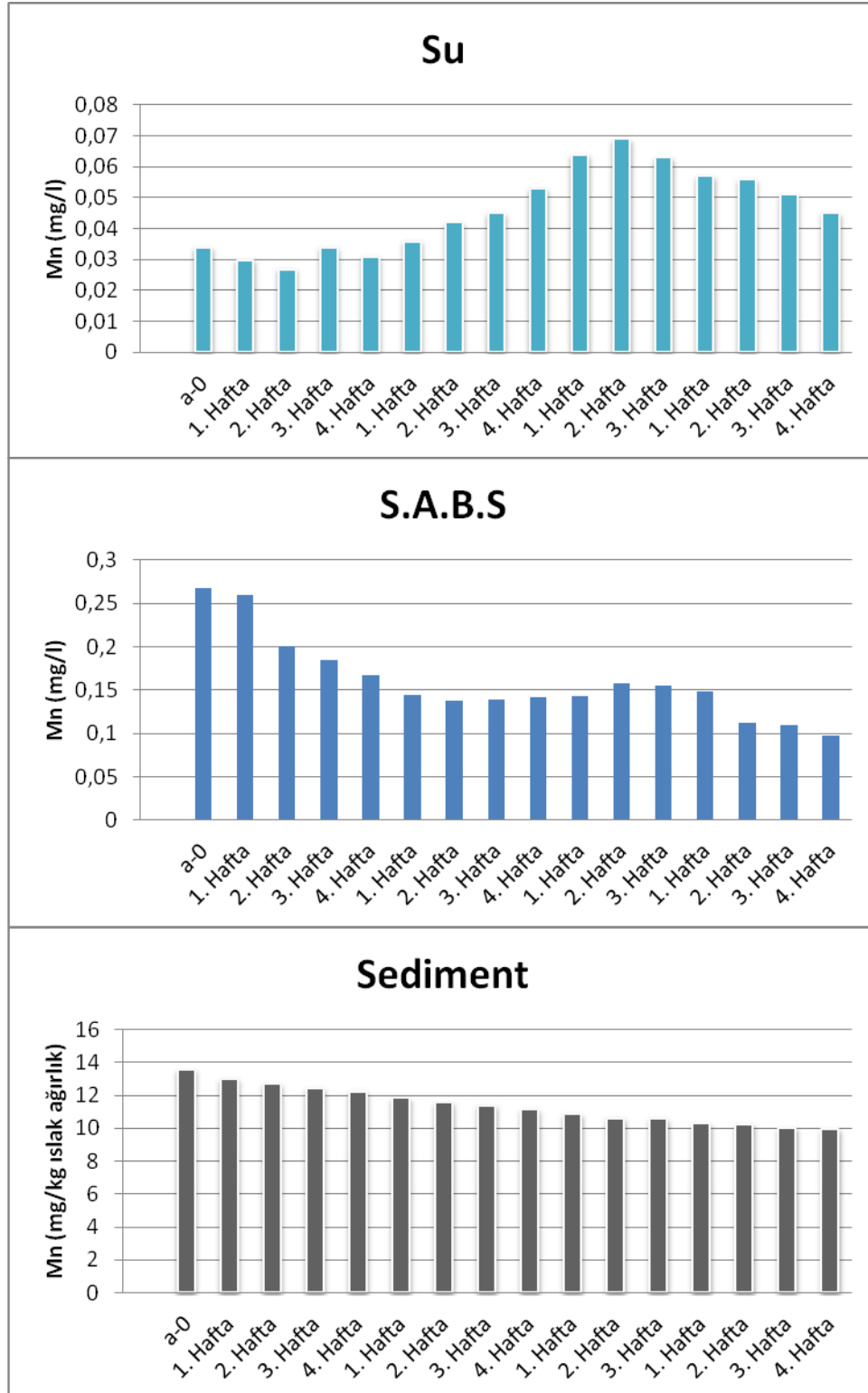
Şekil 6.14 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Mg konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



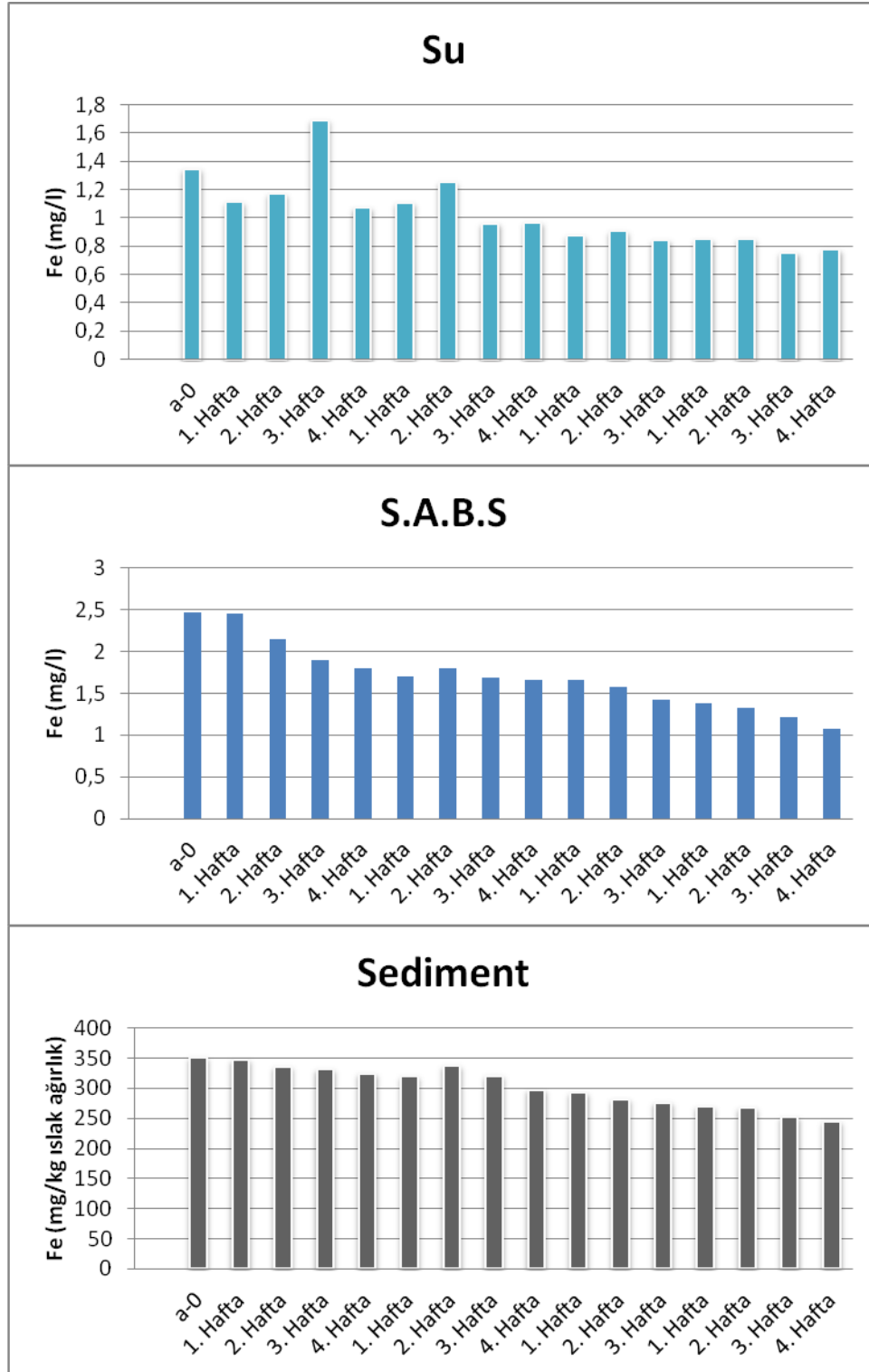
Şekil 6.15 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Ca konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



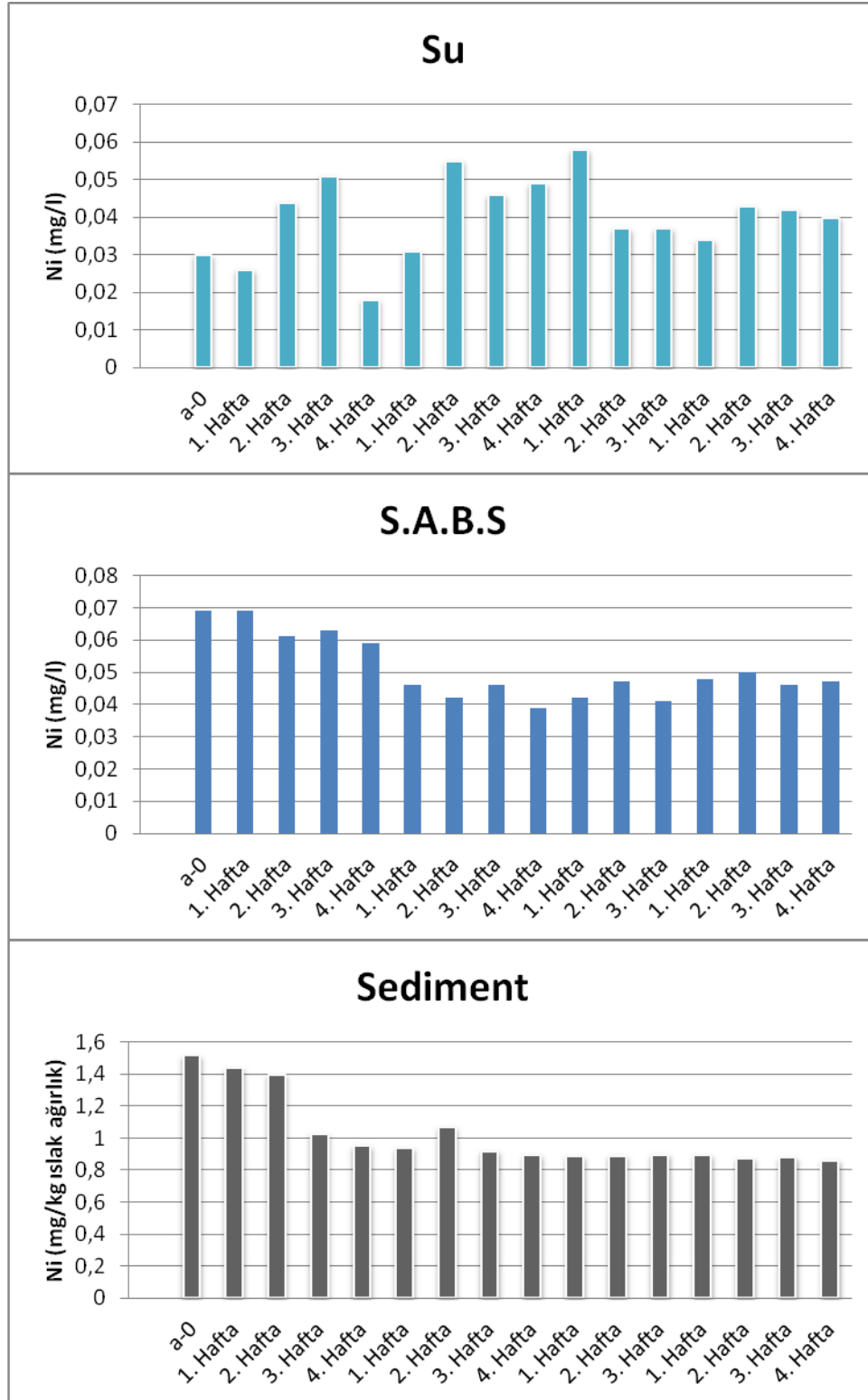
Şekil 6.16 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Cr konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



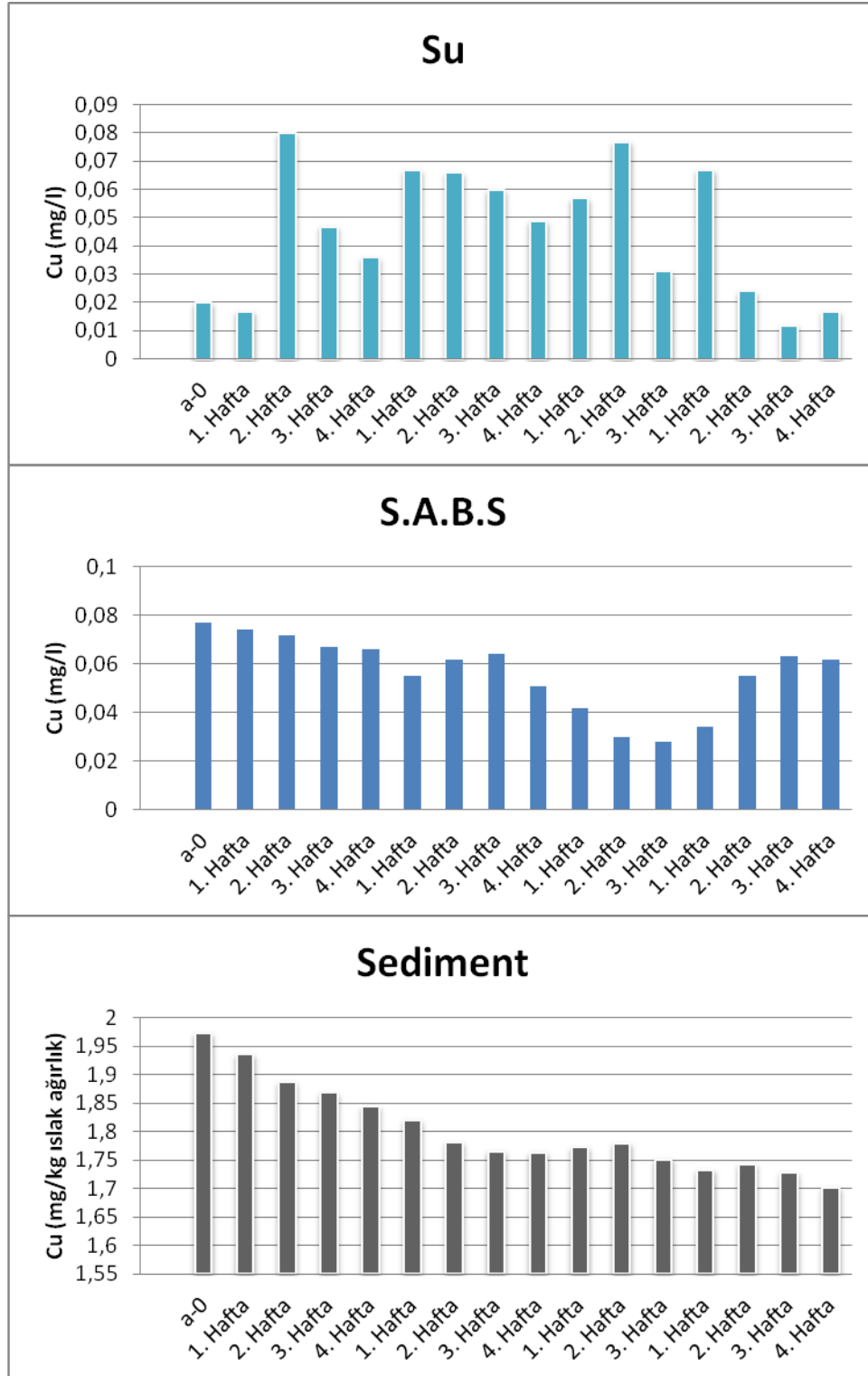
Şekil 6.17 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Mn konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



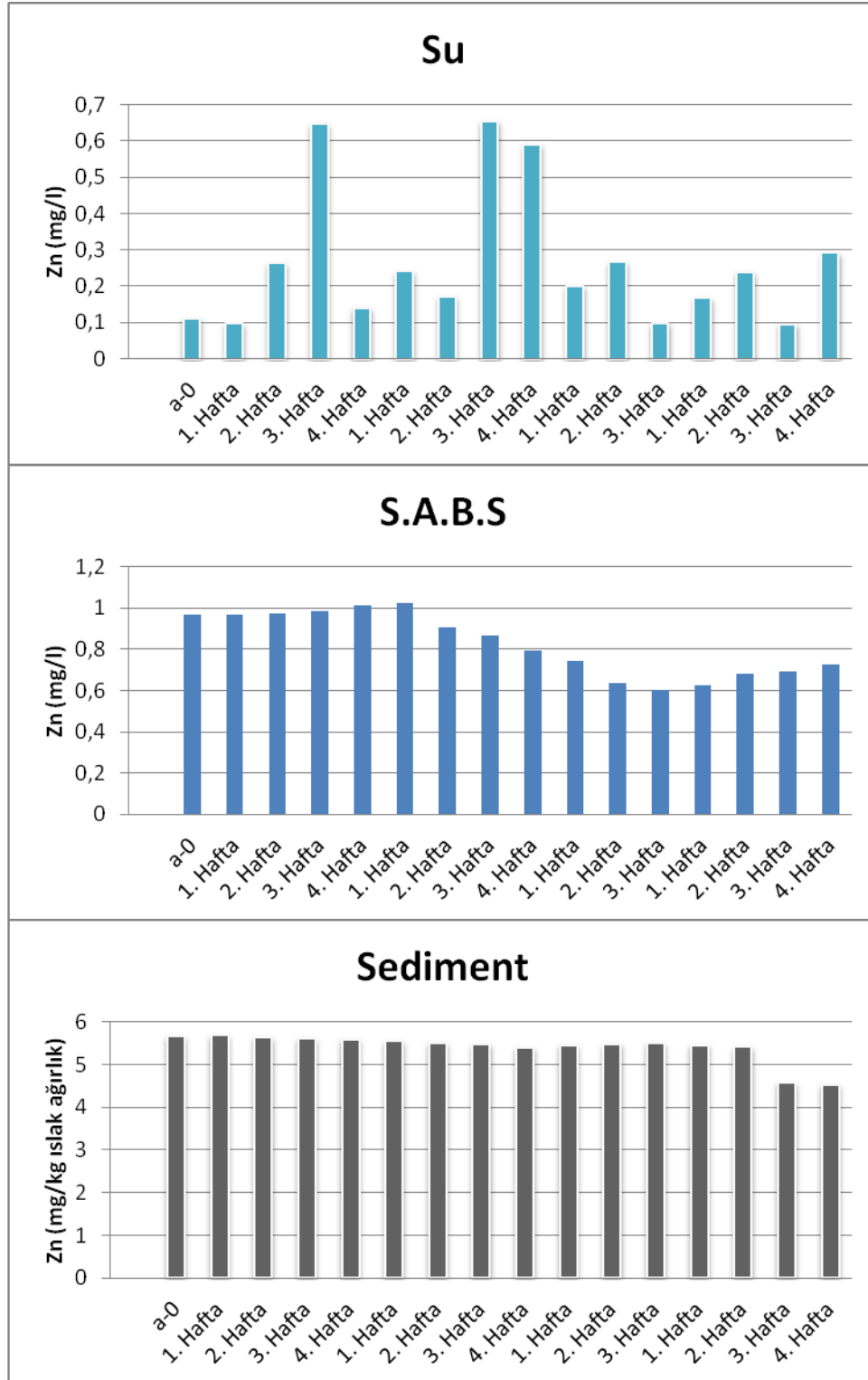
Şekil 6.18 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Fe konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



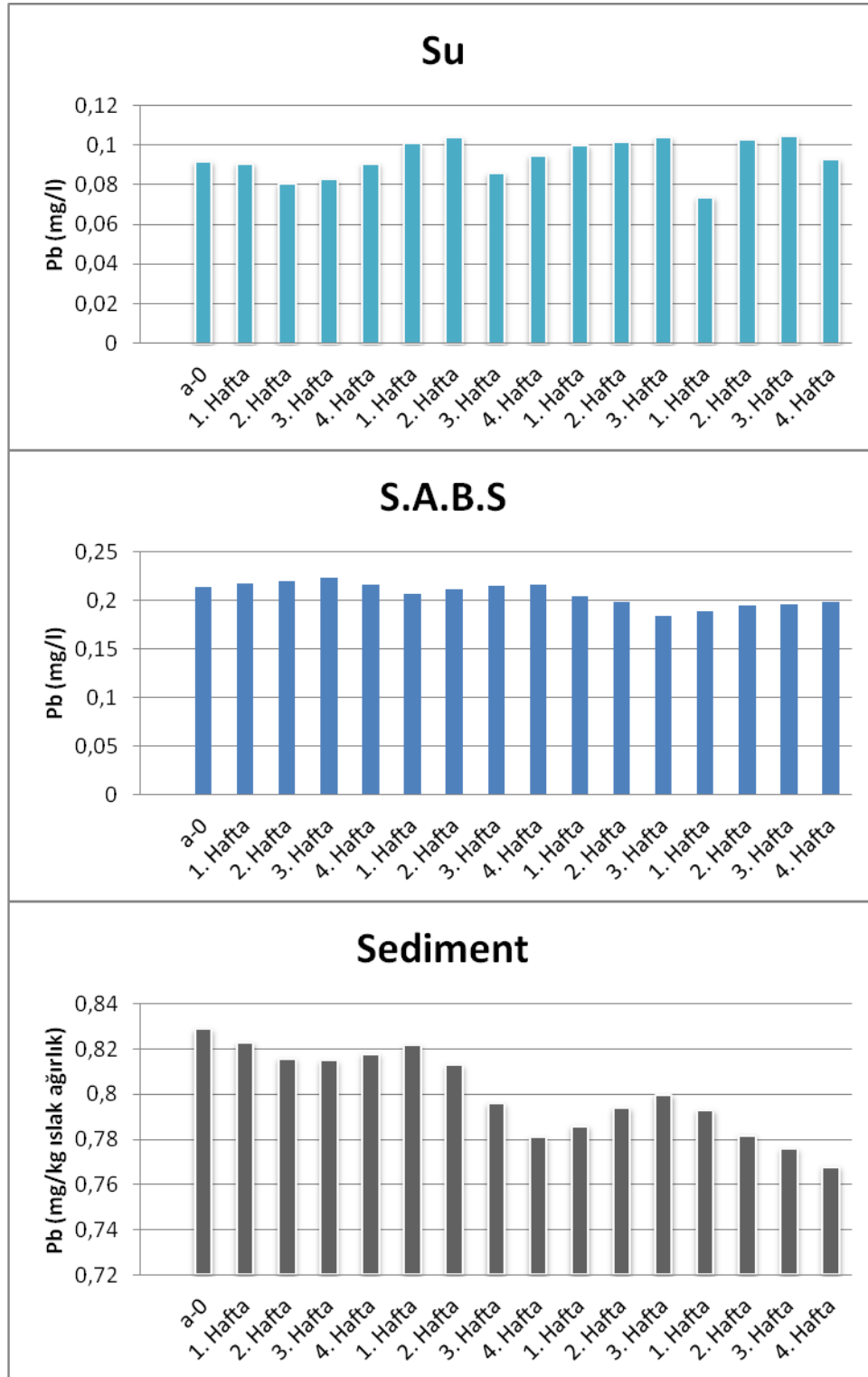
Şekil 6.19 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Ni konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



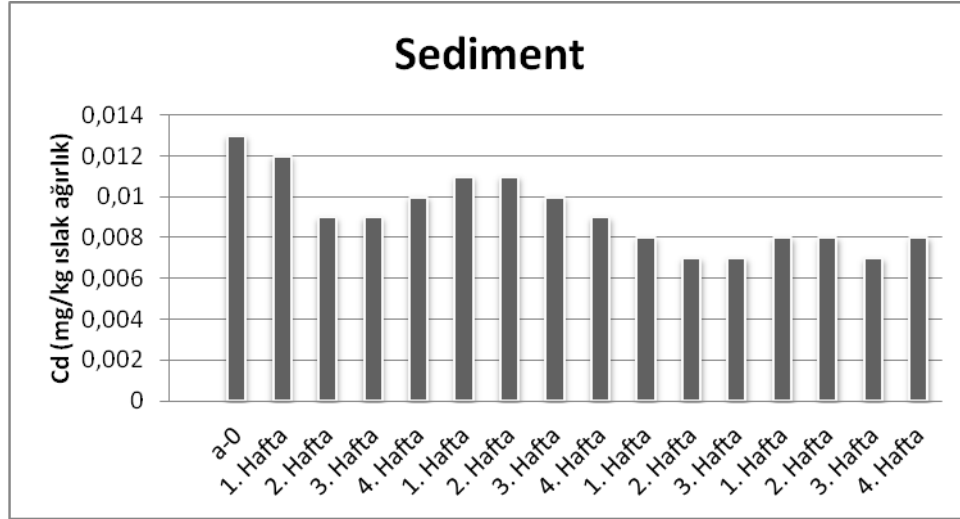
Şekil 6.20 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Cu konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



Şekil 6.21 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Zn konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



Şekil 6.22 *C. undulata* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Pb konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



Şekil 6.23 *C. undulata* ile yürütülen deneyde sedimentteki Cd konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)

6.3.2 *C.undulata* Bünyesinde Element Konsantrasyonları

Mg: *C. undulata* bitkisi hem yaprak hem de kökte Mg alımı yapmıştır. İlk haftalarda yapraktaki Mg miktarında yüksek artış yaşanmış, sonlara doğru bu artış azalmıştır (Şekil 6.24). Mg elementi bitki kökünde yapraktaki miktardan yaklaşık 3 kat daha fazla birikmiştir.

Ca: *C. undulata* bitkisi deney setinde dikildiği ilk haftadan beri Ca elementini yüksek konsantrasyonda bünyesinde biriktirmeye başlamıştır. Ca miktarı bitki yaprağında az tespit edilse de, bitki kökünde alım sürekli artmıştır (Şekil 6.25).

Cr: Cr elementinin bitki bünyesinde birikimi çok yavaş bir süreç olmuştur. Bu elementin bitkinin kökü tarafından birikimi gerçekleşse de yaprağa taşınması çok az olmuştur (Şekil 6.26).

Mn: Mn konsantrasyonu her iki bitki organında (yaprak, kök) artış göstermiş, bu elementin kökteki miktarı daha fazla olmuştur. 4. hatanın sonunda Mn'ın kökteki miktarı yapraktaki miktarından ortalama 4 kat yüksek ölçülmüştür (Şekil 6.27).

Fe: Deney başlangıcında dikimden önce bitkide (ham) yaptığımız analizde Fe elementine bitkinin hem yaprak hem de kökünde rastlanmıştır (Şekil 6.28). Deney boyunca bitkinin Fe alımı sürekli artmış ve bitki bünyesinde en çok biriken mikronutrient olmuştur.

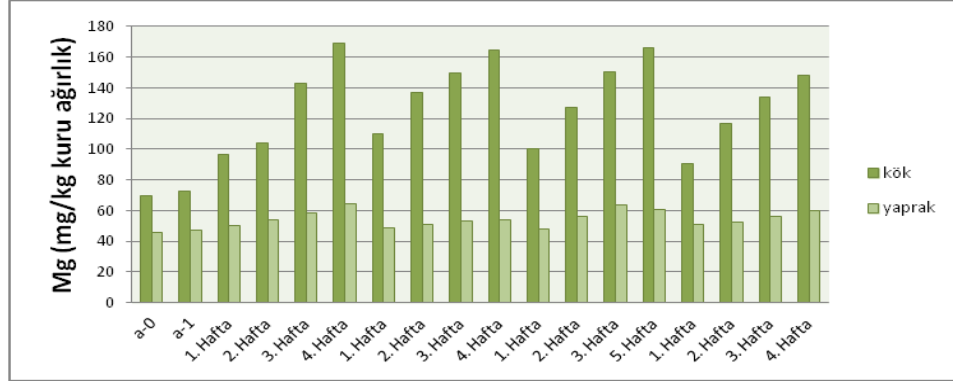
Ni: Ni elementi de bitki bünyesinde yüksek konsantrasyonda biriken elementler sırasındadır. Ni konsantrasyonu kök ve yaprakta deney süresince artmıştır. Deney boyunca bu elementin yapraktaki konsantrasyonu 4 kat, kökteki konsantrasyonu ise 3 kat arttığı Şekil 6.29’da görülmektedir. Bu da bitki tarafından ortamdan alınan Ni elementinin yaprağa taşındığını göstermektedir.

Cu: Deney sürecinde Cu elementinin bitki tarafından alımı gerçekleşmiş, metal hem yaprak hem de kökte birikmiştir. Miktar bakımından Cu kökte daha yüksek ölçülmüştür (Şekil 6.30).

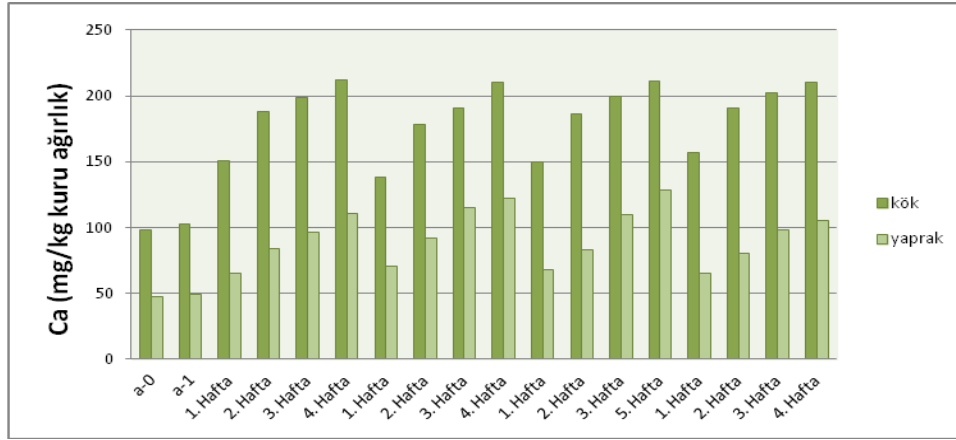
Zn: Zn elementi bitki bünyesinde deney öncesi ve deney sürecinde izlendiği Şekil 6.31’ de görülmektedir. Bitki bünyesinde elementin miktarında her zaman artış görülmüştür. bu elementin yaprağa transferi gerçekleşse de kökteki konsantrasyonu her zaman daha fazla ölçülmüştür.

Pb ve Cd: Sedimentteki miktarı en az olan Cd ve Pb’un bitki kökünde az da olsa birikmesine rağmen, yaprakta birikimi gerçekleşmemiştir (Şekil 6.32 ve Şekil 6.33). Her iki elemente yaprakta rastlanmamıştır. Bunun sebebi izlenen metallerin ağır molekül ağırlıkları olduğu düşünülmektedir.

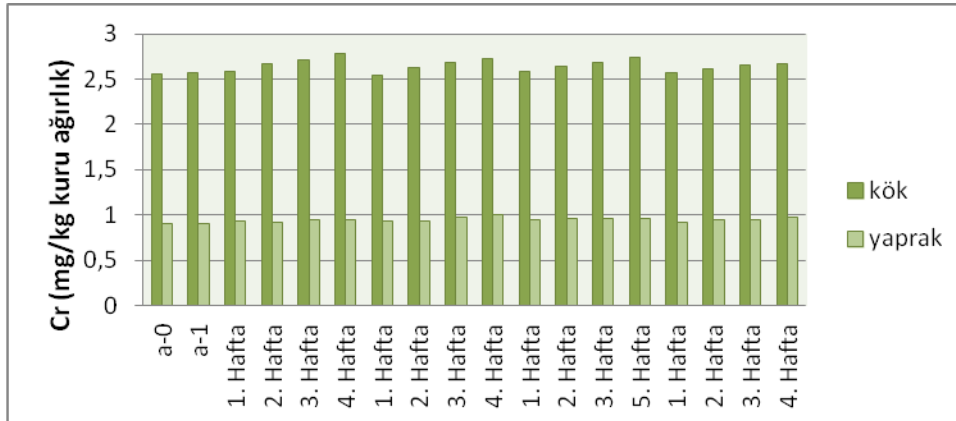
Deney öncesi ve deney sonunda bitki yaprağında Pb ve Cd elementleri tespit edilmediği için bu veriler grafiklerde yerini alamamıştır.



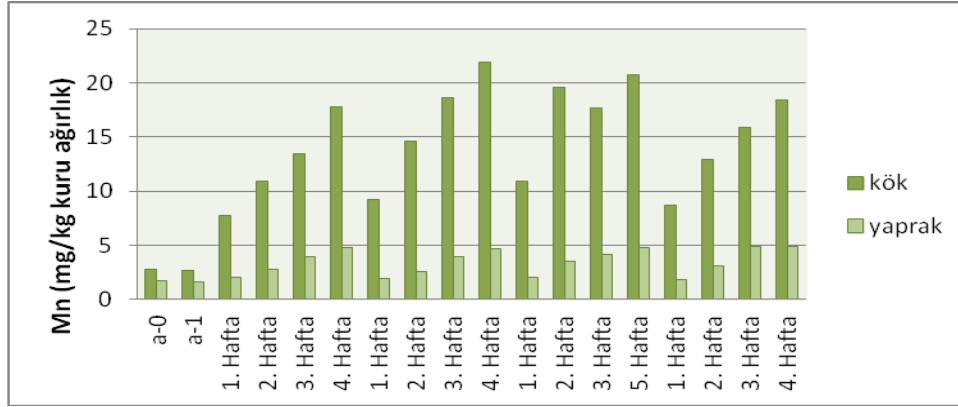
Şekil 6.24 *C. undulata* bünyesindeki Mg konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



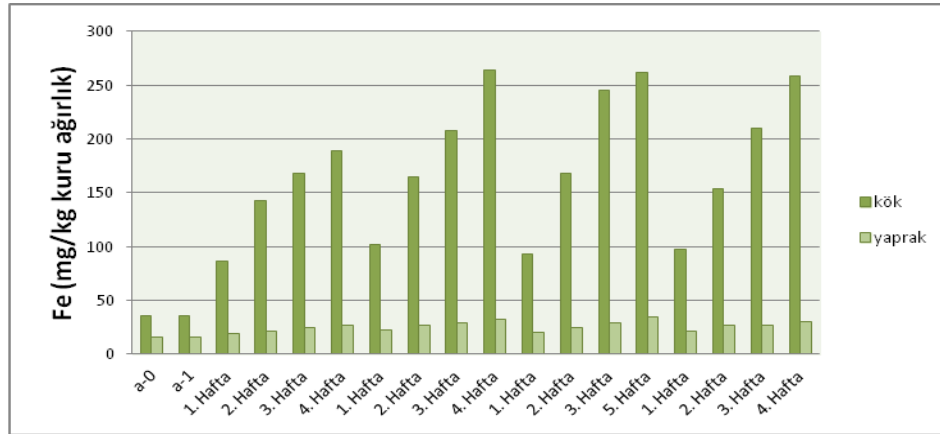
Şekil 6.25 *C. undulata* bünyesindeki Ca konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



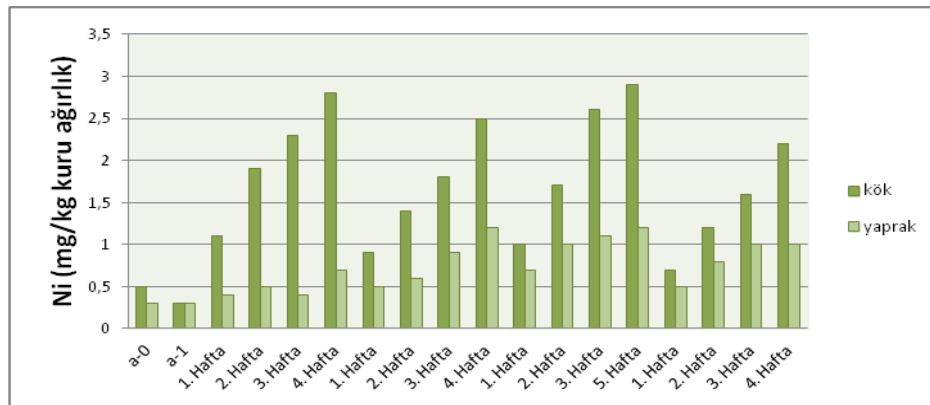
Şekil 6.26 *C. undulata* bünyesindeki Cr konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



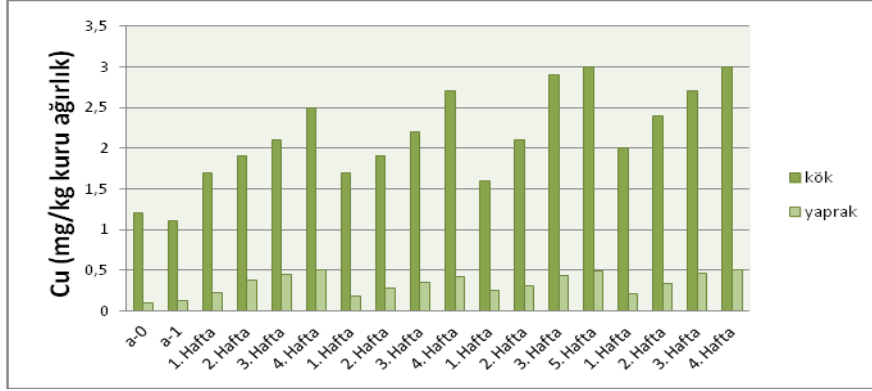
Şekil 6.27 *C. undulata* bünyesindeki Mn konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



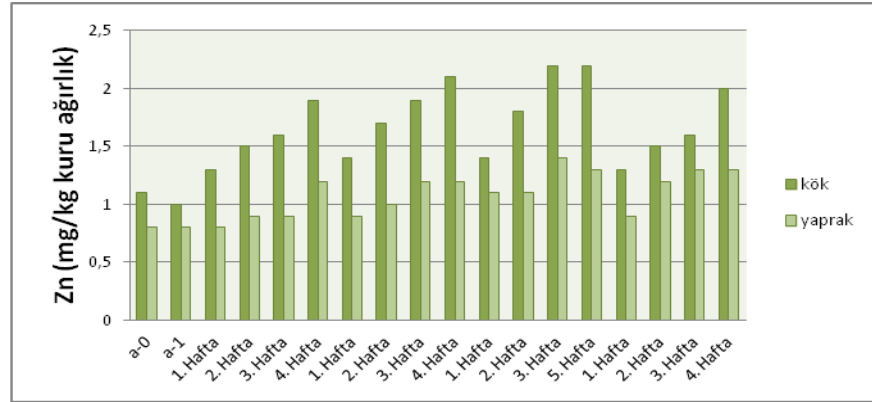
Şekil 6.28 *C. undulata* bünyesindeki Fe konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



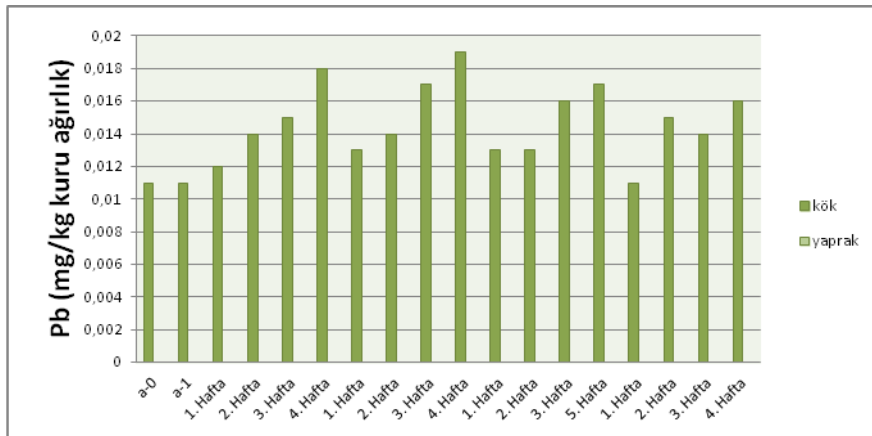
Şekil 6.29 *C. undulata* bünyesindeki Ni konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



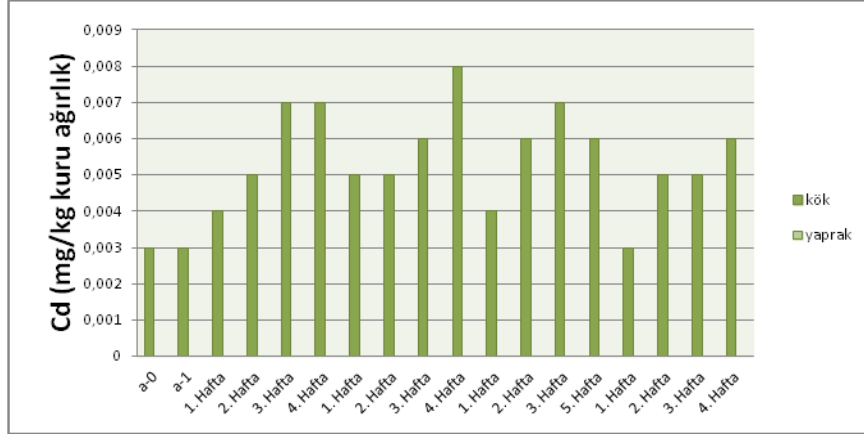
Şekil 6.30 *C. undulata* bünyesindeki Cu konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



Şekil 6.31 *C. undulata* bünyesindeki Zn konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



Şekil 6.32 *C. undulata* bünyesindeki Pb konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



Şekil 6.33 *C. undulata* bünyesindeki Cd konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)

6.3.3 *C.undulata* Bünyesinde Analiz Edilen Elementlerin Haftalık Konsantrasyon Ortalamaları

C. undulata bitkisinin toplam bünyesindeki (kök ve yapraktaki toplam element konsantrasyonu) elementlerin haftalık ortalama konsantrasyonlarını incelerken deneme öncesi (a-0), adaptasyon haftası sonunda (a-1) ve deneme sürecinde (1.hafta, 2.hafta, 3.hafta ve 4.hafta yapılan analizler) bitkilerde yapılan element analiz verilerinin ortalaması karşılaştırılmıştır.

Bu verilere göre a-0, a-1 ve deney sürecinde bitki bünyesinde en çok Ca elementi (a-0: 146 mg/kg kuru ağırlık; a-1: 151 mg/kg kuru ağırlık; deney sürecinde: 327 mg/kg kuru ağırlık), en az ise Cd elementi (a-0: 0.003 mg/kg kuru ağırlık; a-1: 0.003 mg/kg kuru ağırlık; deney sürecinde: 0.006 mg/kg kuru ağırlık) belirlenmiştir. Bitkinin a-1 haftası sonunda Fe (%0.09) alımı yok denecek kadar az olmuş, Mn miktarında ise azalma izlenmiştir. a-1 haftasında Ni, Cu ve Zn elementlerinin ortalama konsantrasyonları a-0 haftasına göre azalma göstermiştir. Bu da a-1 haftasında bu elementlerin bitki tarafından salınımıyla yorumlanabilir. Pb (0.011 mg/kg kuru ağırlık) ve Cd (0.003 mg/kg kuru ağırlık) deney öncesi ve sonrasında bitki bünyesinde en az konsantrasyona sahip iki metal olmakla birlikte, bu elementlerin a-1 haftasında birikimi olmamıştır. Bu da bitkinin deney setinden alınan sudan hiçbir şekilde Pb ve Cd benimsemediğini göstermektedir.

Bitki Ca ve Mg elementlerini deney boyunca sürekli almıştır. Bu elementlerden Ca' un alımı daha hızlı (35.1 mg/kg kuru ağırlık/hafta) olmuştur.

Deney sürecinde bütün haftalarda Fe elementinin büyük konsantrasyonlarda alımı gerçekleşmiştir.

Süreç boyunca Cr elementinin alımında bitki nisbeten kararlılık göstererek çok az (%6.9) alım yapmıştır (Şekil 6.35). Cr alım hızının düşük olması (0.04 mg/kg kuru ağırlık/hafta) bu elementin bitki tarafından tercih edilmediğini göstermektedir.

Bitki bünyesinde Mn elementinin Ca, Mg ve Fe elementlerinden sonra en fazla bulunan dördüncü element olduğu analiz sonucunda belli olmuştur (Şekil 6.34). İzlenen elementlerden bitki tarafından en çok tercih edilen metal Mn olmuştur. Deney sonunda Mn elementinin ortalama konsantrasyonu deney öncesiyle kıyaslamada 6 kat fazla (4.hafta) olduğu gözlemlendi.

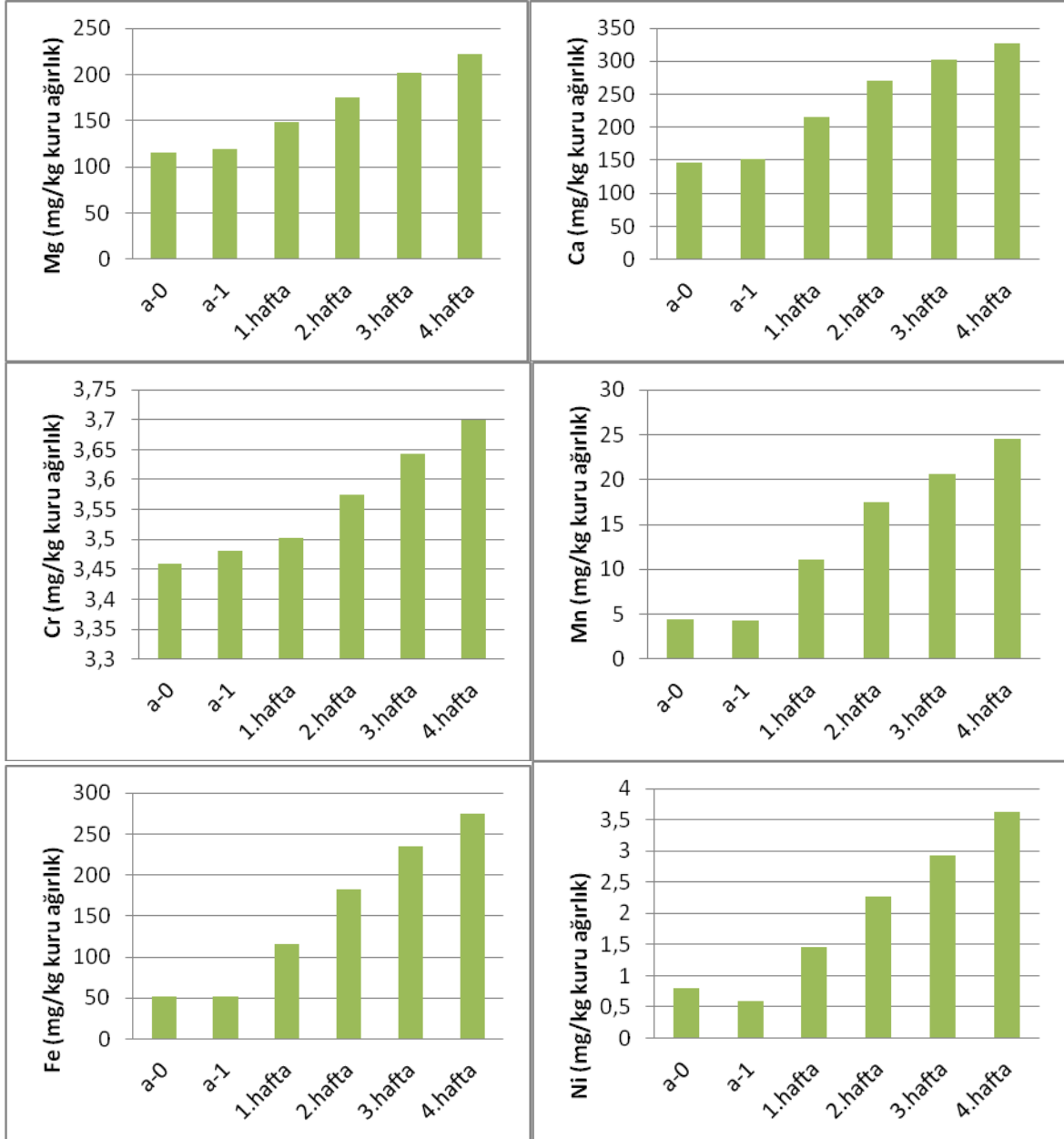
Deney sonucunda bitkinin en fazla tercih ettiği elementlerin Mn (%456), Fe (%428) ve Ni (%353) olduğu anlaşılmıştır. Bitki kendi bünyesinde her üç elementi diğer metallerden çok daha hızlı (Mn: 4.08 mg/kg kuru ağırlık/hafta, Fe: 44.57 mg/kg kuru ağırlık/hafta ve Ni: 0.6 mg/kg kuru ağırlık/hafta) adsorplamıştır.

Deneyin son haftalarında Ni, Cu ve Zn elementlerinin alımı gerçekleşmiş ve 4.haftada bu elementlerin bitkide ortalama konsantrasyonları 4 kat artmıştır. Bitki tarafından Zn elementinin alımı Ni (0.6 mg/kg kuru ağırlık/hafta) ve Cu (0.41 mg/kg kuru ağırlık/hafta) elementlerine göre daha yavaş (Zn: 0.3 mg/kg kuru ağırlık/hafta) olmuştur.

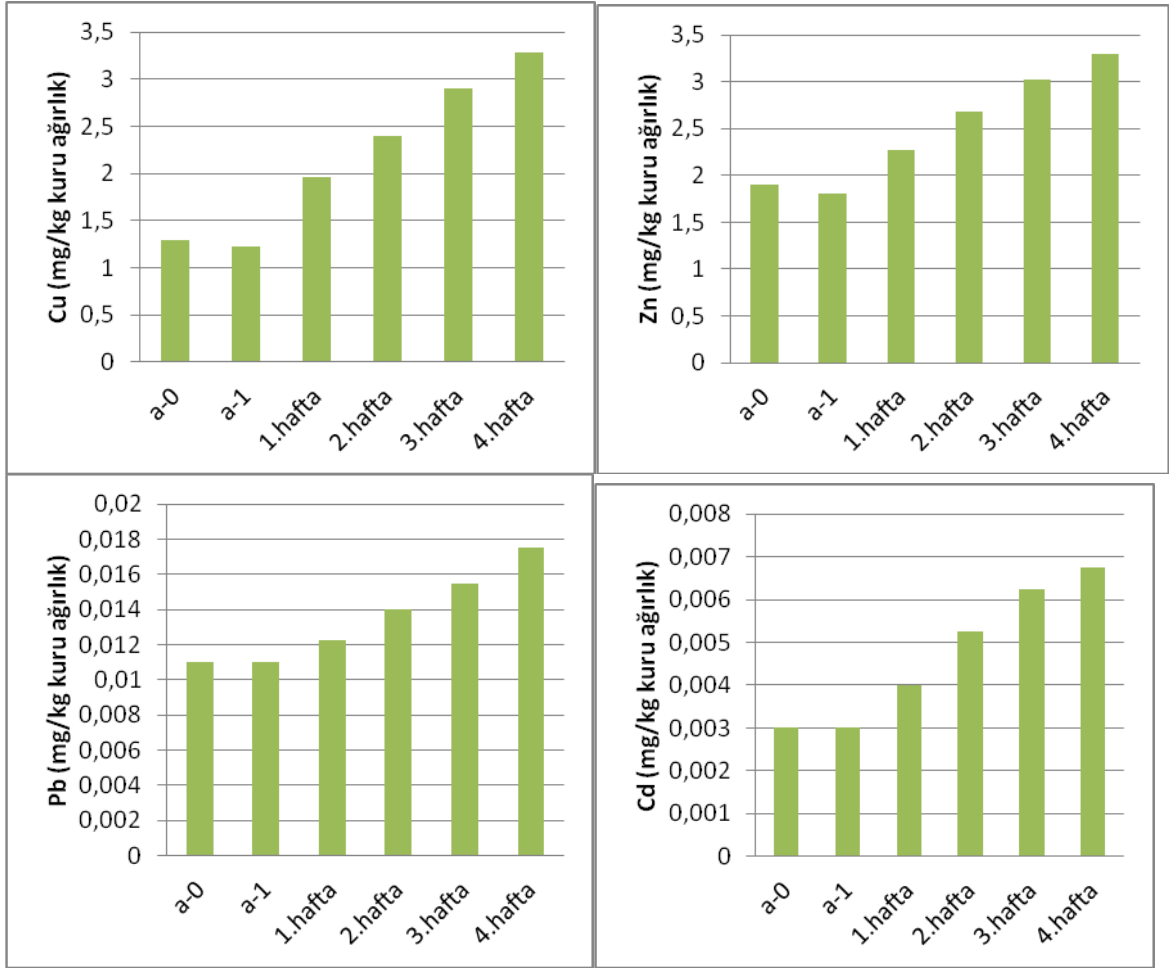
Suda yapılan element analizlerinde Cd elementinin bulunmaması bitkinin Cd elementini sudan değil de sedimentten aldığını göstermektedir. Deney sürecinde Pb ve Cd elementlerinin birikimi sadece kökte gerçekleşmiştir. Bitkinin Pb elementini (0.0013 mg/kg kuru ağırlık/hafta) Cd' dan daha hızlı (0.0007 mg/kg kuru ağırlık/hafta) aldığı belirlenmiştir.

C. undulata bünyesindeki ortalama element konsantrasyonlarını incelerken (Şekil 6.34-35), bu bitkinin en fazla element alımını 4.haftada gerçekleştirdiği görülmüştür. Bitki en hızlı

Mn, Fe ve Ni metallerini bünyesine alırken, izlenen elementlerden en düşük hızla Cd elementini almıştır.



Şekil 6.34 *C. undulata* bünyesinde analiz edilen Mg, Ca, Cr, Mn, Fe ve Ni elementlerinin haftalık konsantrasyon ortalamaları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



Şekil 6.35 *C. undulata* bünyesinde analiz edilen Cu, Zn, Pb ve Cd elementlerinin haftalık konsantrasyon ortalamaları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)

6.3.4 *C. undulata* Toplam Bünyesinde Kısmi Element Miktarları

Kısmi element miktarları, bitkinin bünyesindeki her element miktarının toplam element miktarına oranları olarak bulunmuştur.

C. undulata bitkisinin toplam bünyesinde kısmi element miktarları değerlendirildiğinde Mg, Ca ve Cr elementlerinin maksimum miktarı a-0 ve a-1 numunelerinde ölçülmüştür.

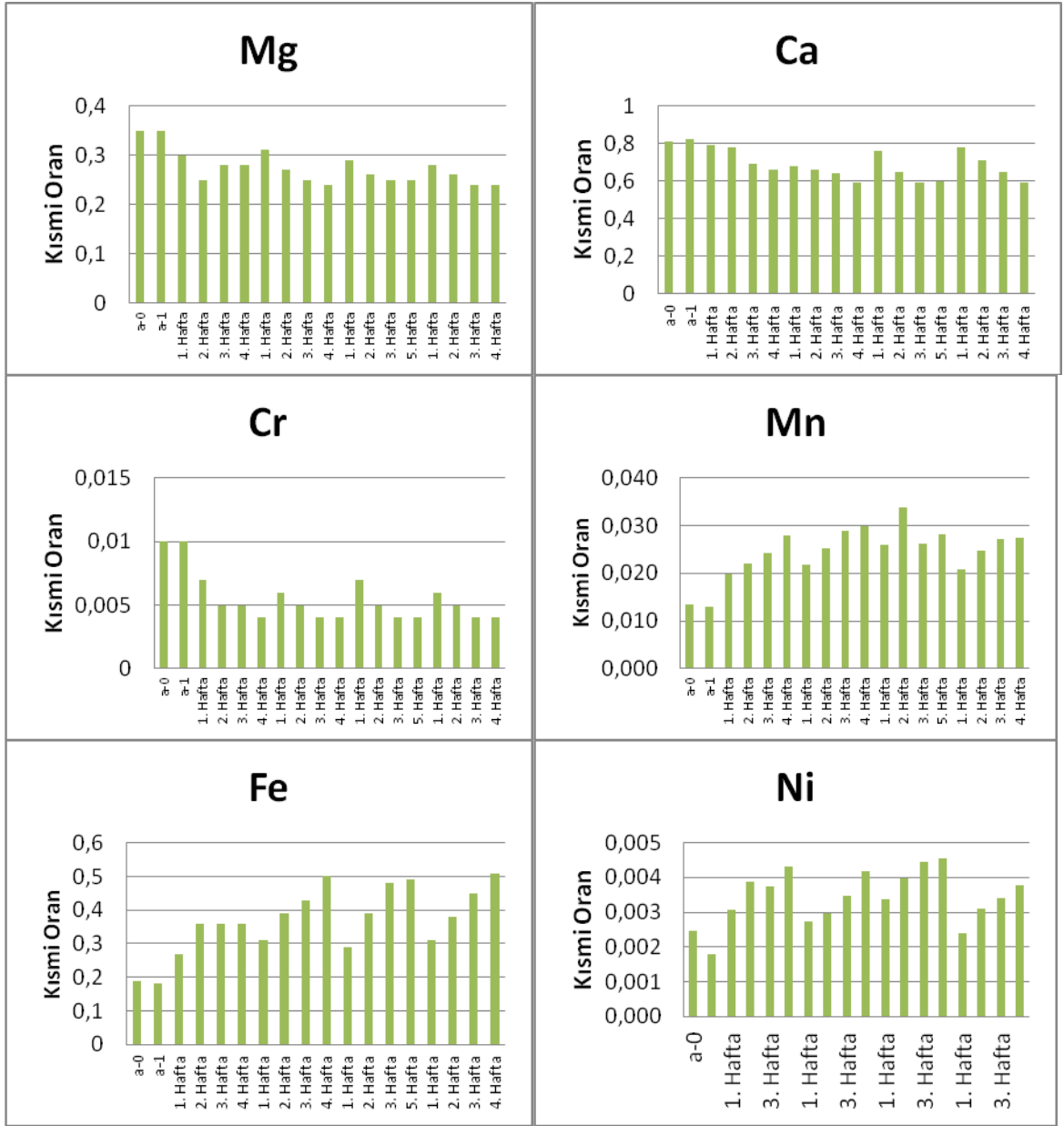
Bitki bünyesinde a-1 haftasında Mn, Fe ve Ni miktarlarında düşüş gözlemlenmiştir. Cu elementinin toplam kısmi miktarı da a-1 haftasında azalmıştır.

Deneyin ilk haftalarında bitkilerde Mg, Ca ve Cr elementlerinin miktarı azalmış, son haftalara doğru artmıştır. Bitki bünyesinde son haftalarda Mg, Ca ve Cr miktarları artsa da ham bitki numunesindeki gözlemlenen miktara ulaşamamıştır.

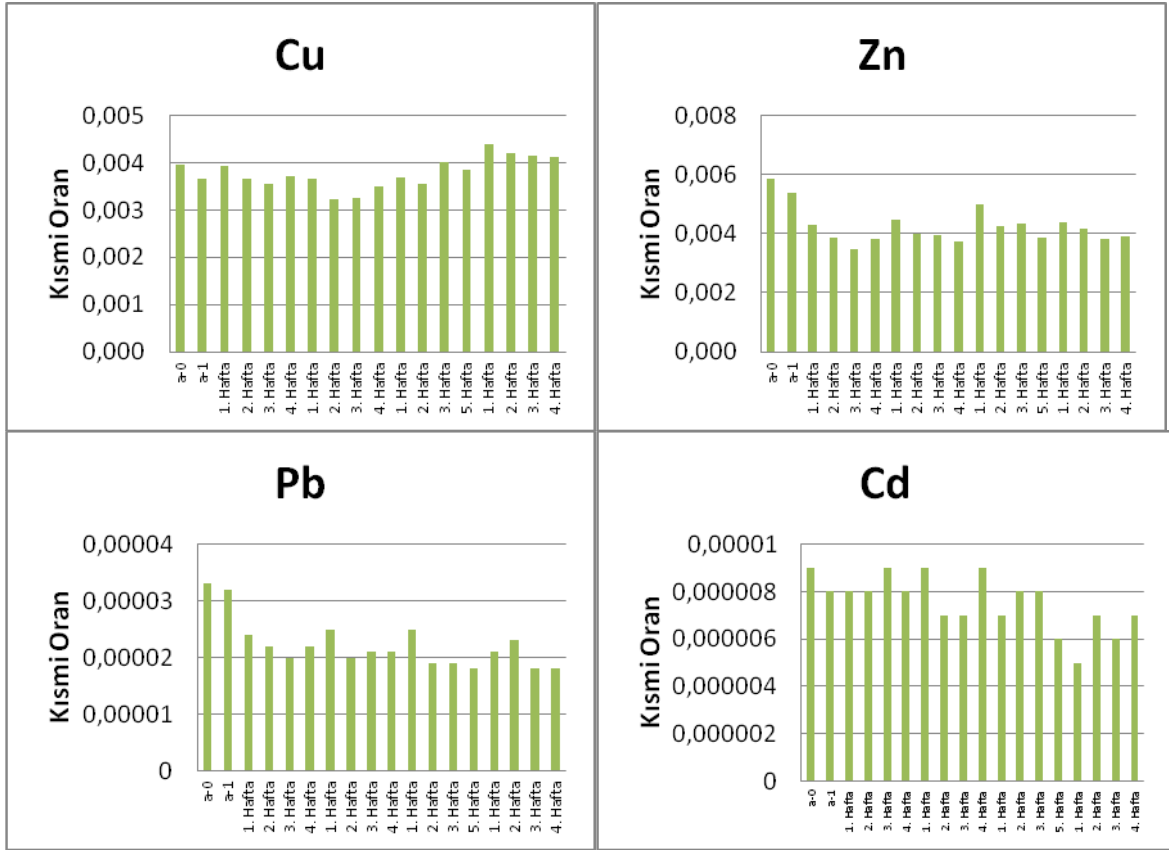
Bitki deney setinde yaşadığı süreçte Mn, Fe ve Ni elementlerini bünyesine almış (Şekil 6.36), bu elementlerin miktarlarında her hafta artış kaydedilmiştir.

Bitkinin setten alınan ilk hafta numunelerinde Cu miktarında artma görülmüştür. Fakat bu artım sürekli olmayıp, sonraki haftalarda azalma devam ederek 4.haftada yeniden bir artış izlenmiştir. Cu elementinin bitki bünyesinde azalması en az son ayda kaydedilerek bu miktarın ham bitkide ölçülen miktarla yaklaşık aynı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı durum Zn elementi için de geçerli olmuştur (Şekil 6.37).

İzlediğimiz elementlerden bitki bünyesinde en az bulunan iki element – Pb ve Cd element miktarları sadece köklerde ölçülebilmektedir. Her iki elementin maksimum miktarı ham bitki kökünde analiz edilmiş, deney boyunca hem Pb hem de Cd miktarında azalma görülmüştür. Bitki bünyesinde son haftalarda Cd miktarı iki kat azalsa da, Pb miktarında azalma çok az olmuştur.



Şekil 6.36 *C. undulata* toplam bünyesinde Mg, Ca, Cr, Mn, Fe ve Ni elementlerine ait kısmi element Miktarları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)



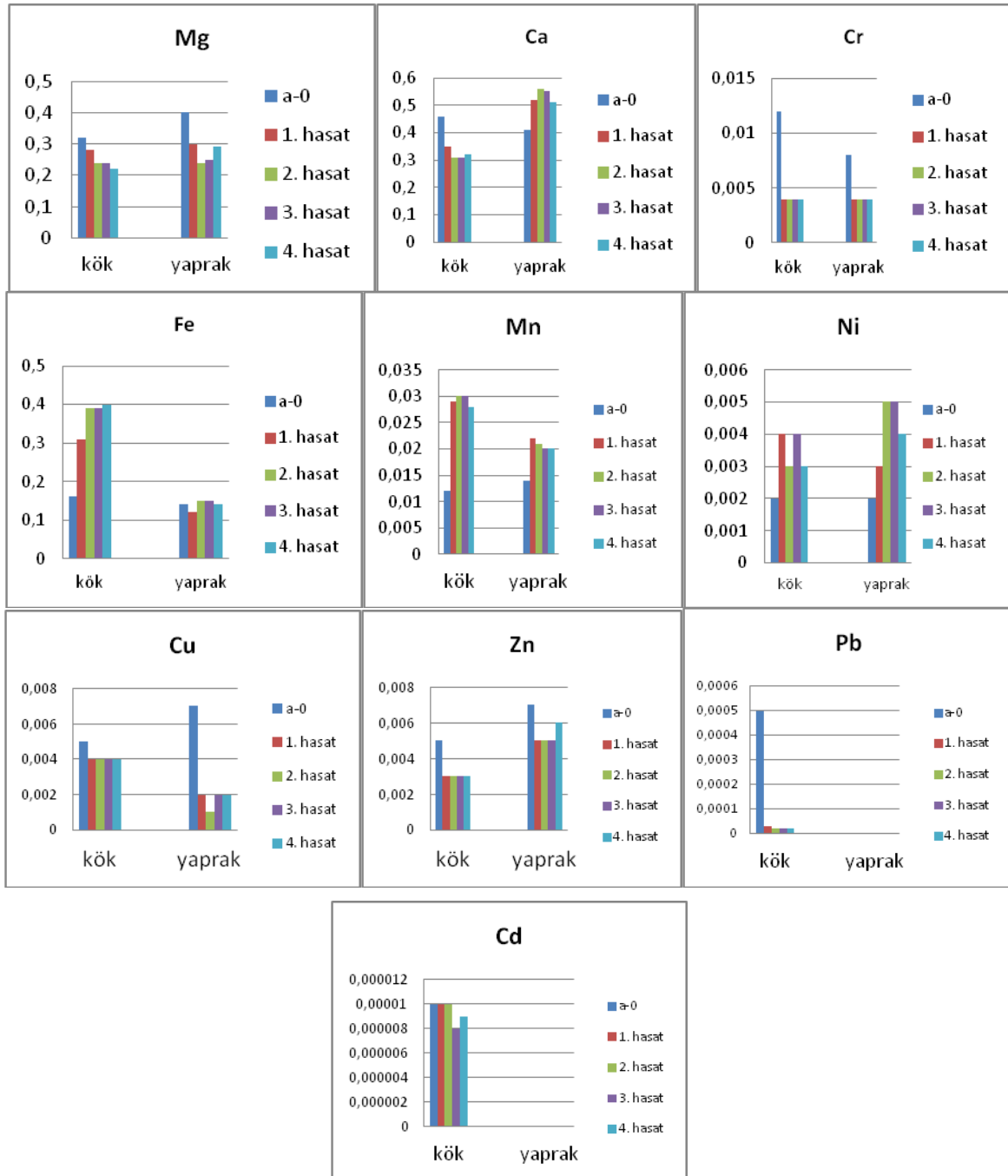
Şekil 6.37 *C. undulata* toplam bünyesinde Cu, Zn,Pb ve Cd elementlerine ait kısmi element miktarları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)¹

6.3.5 *C. undulata* ile Yürütülen Deneyde Ham Bitki (a-0) ve 4. Hafta Sonlarında Hasat Edilmiş Bitkilerdeki Kısmi Element Miktarları

Her ay sonunda hasadı yapılan bitkilerin kısmi element miktarlarında farklılıklar *C. Undulata* bitkisinin element alım tercihinin değiştiğini göstermektedir.

Deney başında Mg elementi hem kök hem de yaprakta maksimum miktarda olup deney sonrasında kısmi miktarda genel bir azalma görülmektedir. Ca elementinin birikimi süresince bu element yaprağa taşınmış, kök bölgesinde miktar nisbeten sabit tutulmuştur.

¹Pb ve Cd elementleri bitki yaprağında tespit edilmediğinden bu elementlerin kısmi oranı sadece kök için hesaplanmıştır.



Şekil 6.38 *C. undulata* ile yürütülen deneyde ham bitki (a-0) ve 4. hafta sonlarında hasat edilmiş bitkilerdeki kısmi element miktarları (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)¹

¹ Deney öncesinde ve deney sürecinde bitki yaprağında Pb ve Cd elementleri tespit edilmemiştir. 1.hasat verileri 4 bitki numunesi, 2.hasat verileri 5 bitki numunesi, 3.hasat verileri 3 bitki numunesi, 4.hasat verileri ise 3 bitki numunesi üzerinden yapılan analizlerden elde edilmiştir.

Yalnız 4.hasat örneğinde Ca'un kökte artmasıyla birlikte yaprakta azalma görülmüştür (Şekil 6.38).

Bitki kökünde Fe, Mn ve Ni elementlerinin alım miktarının arttığı her hasat için yapılan analizlerden tespit edilmiştir. Yaprakta Fe miktarı genellikle sabit kalsa da, Mn ve Ni alımında artış görülmektedir.

Cu ve Cr'un *C. undulata* bitkisinin hem kök hem de yapraktaki kısmi miktarında azalma Şekil 6.38' de görülmektedir.

Kök ve yapraktaki azalan Zn miktarının sadece 4.hasat yapraktaki miktarında diğer hasatlarla kıyasla fazla olduğu izlenmiştir.

Pb miktarının kökte çok fazla azaldığı görülürken, Cd'un ilk iki hasatta sabit kaldığı, sonra azaldığı belirlenmiştir.

6.3.6 Deneme Sürecinde *C. undulata* Bitkisinde Fiziksel Değişim

Deneyde kullanılan bütün bitkilerin adaptasyonunu sağlamak için deney öncesinde bu bitkiler 7 gün boyunca doğal ortamdan alınan suda bekletilmiştir. Bu bekletme sürecinde bitkilerde herhangi bir boy artımı kaydedilmemiştir.

Haftalık bitki kontrolü sırasında *C. undulata* bitkisinin yapraklarında erime gözlemlenmiştir. Bitkinin yeni gelişmekte olan küçük yapraklarının bazen tamamını etkileyen bu erime olayı, büyük yaprakların kenar kısımlarına da etki ettiği görülmüştür. Ortalama 6-8 yaprak olarak deney setinde dikilen bitkiler deney sonuna kadar 3-4 yaprakla kalabildikleri izlenmiştir. Erimeye sepep deney sürecinde *C. undulata* yapraklarında diğer elementlerle kıyaslamada daha fazla izlenen Mn ve Fe elementlerinin neden olduğu düşünülmektedir.

Her ay başında (4 hafta sonunda) deney setinde dikilen 10 bitki yenilenmiş ve bu bitkilerin haftalık boy ölçümleri yapılmıştır. Her hafta sette bulunan bitkilerin (aynı hafta numune olarak alınacak bitki dahil) boy ölçümleri (kök ve yaprak) yapılmıştır. 16 hafta sonunda bu ölçümlerden elde edilen rakamların ortalaması bulunmuş ve *C. undulata* bitkisinin deney süresince boy değişimi olarak Çizelge 6. 1'de verilmiştir.

Boy değişimleri deney boyunca sette yaşamayı sürdürebilen bitkilerin organları (kök ve yaprak) için ortamala boy olarak hesaplanmıştır. 1. Dikim ve 2. Dikim’ de bitki kökünde gelişme görölse de 3. Dikim ve 4. Dikim’ de kök boyunda küçölme ölçölümüştür.

Denemenin ilk haftalarında bitki yapraklarının uzunluğunda belirli bir boy artımı görölmemektedir. Son haftalara doğru bu artımın fazla olmadığı ve yaprak boylarının aynı kaldığı belirlenmiştir.

Deney öncesi ve deney sürecinde yapılan boy ölçölmlerinde dikim sonrası bitki organlarında kopma ve erimeye rağmen genel olarak bitki boyunun uzadığı tespit edilmiştir (Çizelge 6. 1). Boy artımına baktığımızda, bitkinin boy gelişimi ilk haftalarda gerçekleşmiş, son haftalara doğru durgunluk gözlemlenmiştir. Buna son haftalara doğru su sıcaklığının azalması ve bitkinin yeterince gün ışığı alamamasının sebep olduğunu düşünmekteyiz.

Çizelge 6. 1 Deney sürecinde *C. undulata* bitkisinin boy değişimi (analiz dönemi: 14.08.2012-27.11.2012)

Dikimler	Dikimden Önce			Dikimden Sonra		
	Kök (cm)	Yaprak (cm)	Toplam Boy (cm)	Kök (cm)	Yaprak (cm)	Toplam Boy (cm)
1.Dikim	7,4	26,30	33,7	10	30,75	40,75
2.Dikim	11,27	23,85	35,12	12,45	27,11	39,56
3.Dikim	12,5	30	42,5	11,80	29,76	41,56
4.Dikim	9,90	29,10	39	9,66	29,63	39,29

6.4 *E. Amazonicus* Bitkisi ile Yürütölün Deney (Set 2) ve Element Analizleri

E. amazonicus bitkisiyle yürüttüğümüz bu çalışmada haftalık olarak deney setinden aldığımız su, s.a.b.s ve sediment ve bitki numunelerinde Ca, Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cd elementleri izlenmiştir. Su ve sediment numuneleri deney setinin kurulduğu yerde

bitkilerin dikildiği noktadan – rizom bölgeden alınmış, s.a.b.s numuneleri ise sedimentten santrifüj işlemiyle elde edilmiştir.

Setten deney öncesinde alınan su ve sediment numunelerinin metal analizleri yapılmış ve ham numune adı altında (a-0) yorumlanmıştır. Adaptasyon haftası sonunda bitkilerde yapılan element analiz sonuçları ise grafiklerde (a-1) verisi olarak verilmiştir.

E. amazonicus ile gerçekleştirdiğimiz bu deney toplamda 16 hafta sürmüştür. Sazlıdere kıyısı boyunca Başakşehir Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü tarafından yürütülen yapılandırma işleri nedeniyle deney setine teknik olarak inmek mümkün olmamış, 9. haftada numune alımı gerçekleştirilememiş, bu nedenle 9. haftaya ait veriler grafiklerde yerini alamamıştır.

E. amazonicus bünyesinde Cd elementine deney boyunca rastlanmamış ve bu elemente ait veriler grafiklerde yer almamıştır. Bu da Cd elementinin metal okumalarında kullandığımız ICP – OES cihazının tespit edebileceği sınırdan az olması veya bitki bünyesinde bu elementin bulunmamasıyla izah edilebilir.

6.4.1 Deney Setinden Alınan Su, Sediment Arası Boşluk Suyu (S.A.B.S) ve Sedimentin Element Analizleri

Mg: Çalışma sürecinde Mg elementinin sediment ve s.a.b.s.'da azaldığı, suda ise arttığı gözlemlenmiştir. İkinci dikim ve sonrasında s.a.b.s.'da azalan Mg son haftalarda nisbeten artarak dengeli seviyeye ulaşmıştır (Şekil 6.39). Mg' un suda artmasına sebep sedimentteki elementin s.a.b.s.' na, oradan da suya geçmesi olmuştur.

Ca: Ca elementi deney öncesi ve sonrası her üç fazda en fazla konsantrasyona sahip element olmuştur. Su ve s.a.b.s.'da hareketlenmeler olsa da genel olarak element belli seviyelerde izlenmiştir. Deneyin ilk haftalarında sedimentte maksimum miktarlarda belirlenen Ca son haftalara doğru düzenli olarak azalmıştır. Deney sürecinde bitki tarafından yüksek miktarlarda alınmasıyla Ca'un sedimentteki miktarında azalma görülmüştür (Şekil 6.40).

Cr: Mg elementi gibi Cr metalinin de su ve s.a.b.s.' da devamlı hareket ettiği belirlenmiştir. Deney sonunda ölçülen Cr miktarı her iki fazda da deney öncesine göre yüksek bulunmuştur (Şekil 6.41). Bununla birlikte Cr'un sedimentteki konsantrasyonunda azalma izlenmiştir. Su ve s.a.b.s.' da Cr'un sürekli artması ve sedimentte ise azalması bu elementin su fazına geçmeye müsait olduğunu göstermektedir.

Mn: Deneyin ilk haftalarında s.a.b.s.'da ve sedimentte miktarı azalan Mn' in suda arttığı görülmektedir. Genel olarak baktığımızda 10. haftadan sonra sedimentte miktarı azalan Mn'in s.a.b.s.' da da miktarı azalmış, suda ise buna paralel olarak artmıştır (Şekil 6.42). Son haftalarda ise sudaki miktarı azalan Mn elementinin s.a.b.s.'da arttığı belirlenmiştir.

Fe: Suda Fe miktarında düzensiz hareketlenmeler görölse de, s.a.b.s. ve sediment fazlarında bu elementin konsantrasyonunda azalma görölmüştür. Rizom bölgesinden alınan sedimentteki Fe miktarının deney boyunca azalmasının (Şekil 6.43) bitkinin bu elementi kolayca benimsediğini göstermektedir. Bitkide yapılan analizler de bitkinin Fe elementini kendi bünyesine aldığını göstermiştir.

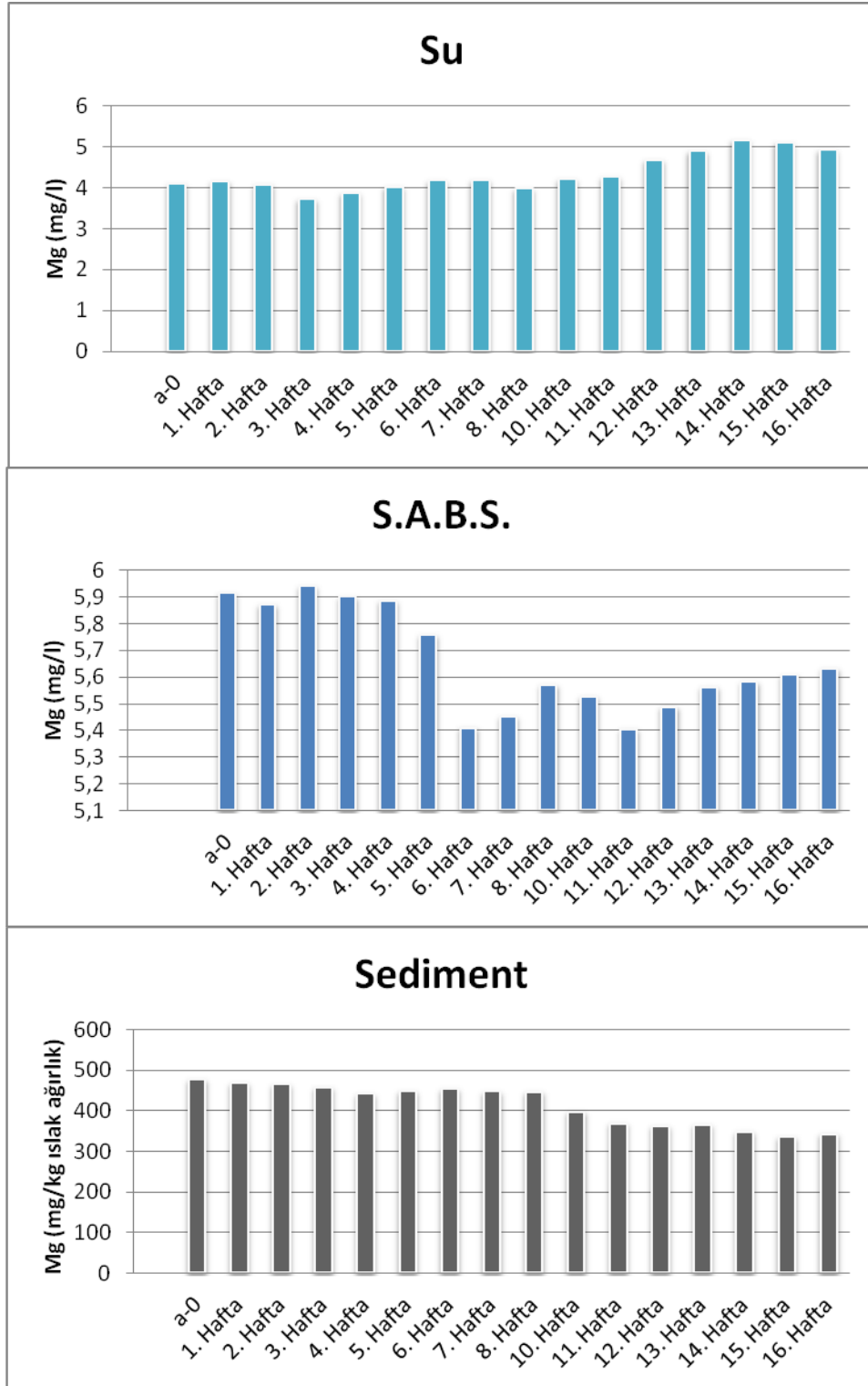
Ni ve Zn: Deney boyunca Ni ve Zn elementlerinin sudaki miktarında hareketlenmeler her iki elementin de bu fazda tutunamadığının göstergesidir . Aynı durum Zn' nun s.a.b.s.'daki miktarında sözkonusu olsa da (Şekil 6.46), Ni miktarında zamanla artış izlenmiş, ama bu artış yüksek konsantrasyonda olmamıştır (Şekil 6.44). Deney başlangıcından sonuna kadar hem Ni hem de Zn elementinin sedimentte düzenli azaldığı belirlenmiştir.

Cu: Deneyin orta haftalarından sonra s.a.b.s.'da azalan Cu miktarı sedimentte de azalmıştır. Bu azalma sedimente deney sonuna kadar devam ederken, s.a.b.s.'da yerini artışa bırakmıştır. Suyu zayıf bağlanan Cu metalinin bu fazdaki konsantrasyonu hareketlilik göstererek deneyin ortalarına doğru artsa da, son haftalarda deney başında kaydedilen konsantrasyona düşmüştür (Şekil 6.45).

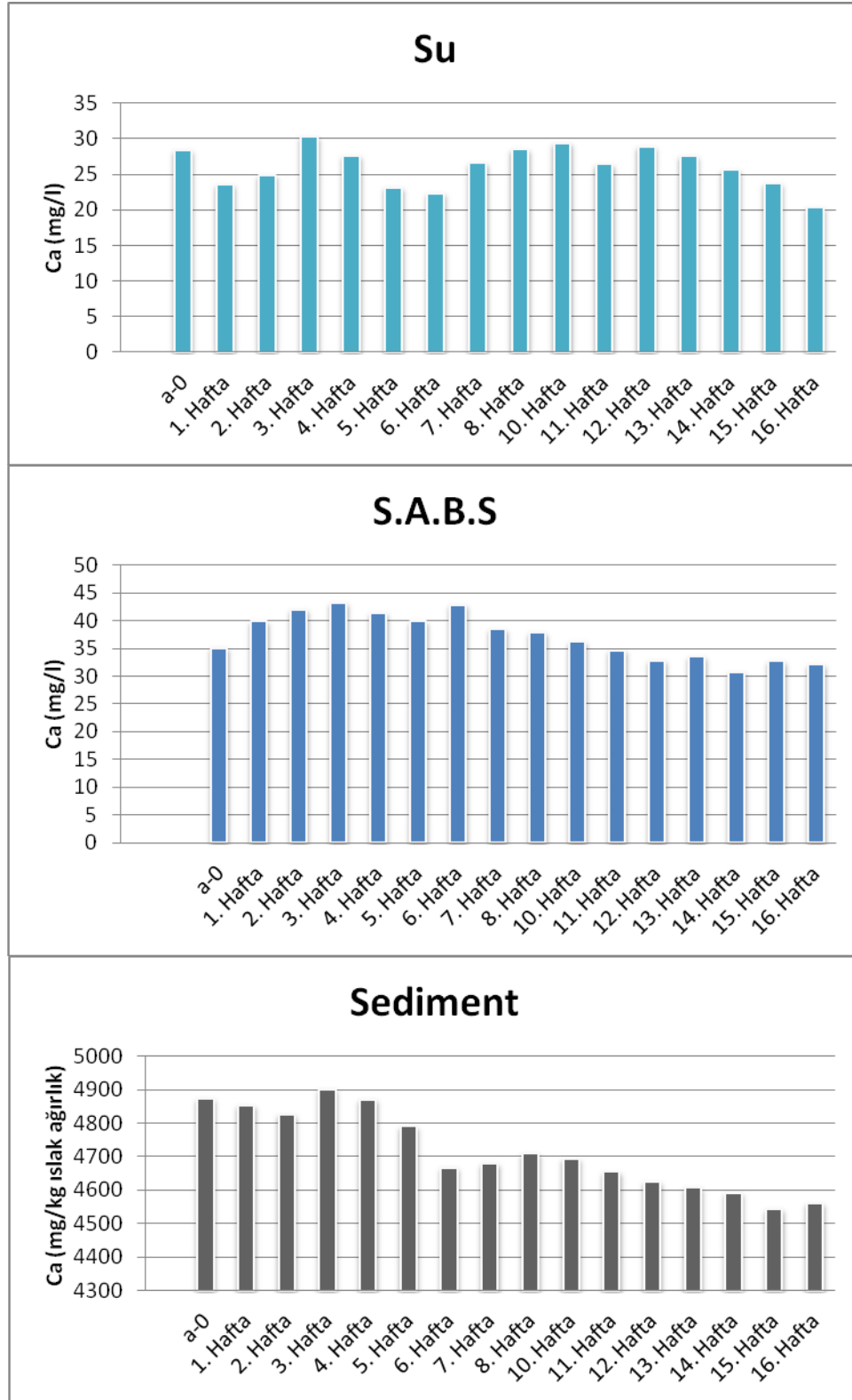
Pb: Sedimentteki miktarı düzenli olarak azalan Pb metalinin s.a.b.s. ve sudaki miktarları dinamik yol izlemiştir. S.a.b.s.'da Pb elementi çok hareketli olmuş, suda ise deney sonlarına doğru belli bir dengede izlenmiştir. Veriler (Şekil 6.47) sedimentten s.a.b.s.'na

geçen Pb elementinin, bu fazda fazla tutunmadan suya geçtiği ve yeniden s.a.b.s'a geri döndüğünü göstermektedir.

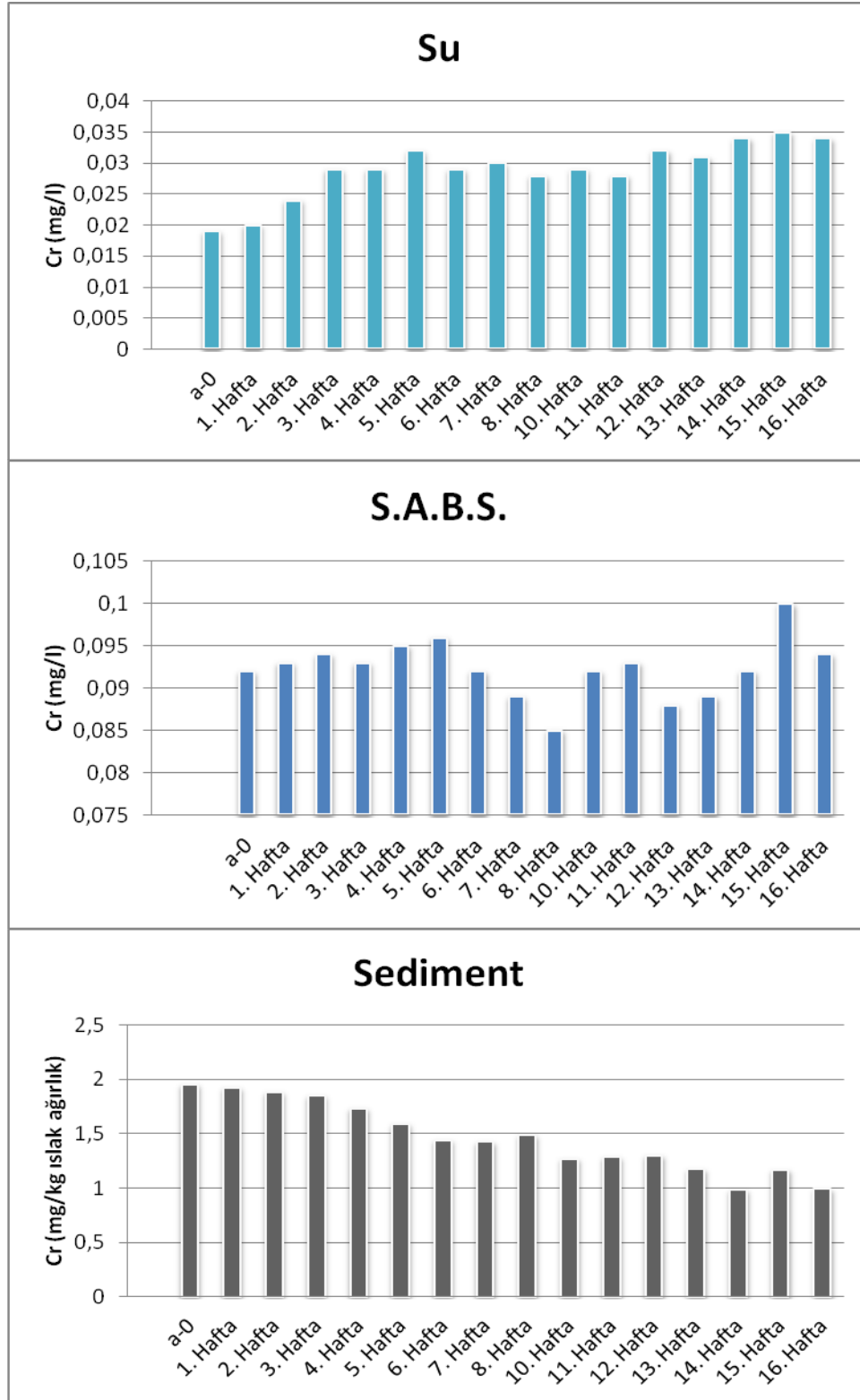
Cd: İzlenen elementlerden en az konsantrasyona sahip olan Cd su ve s.a.b.s. fazlarında bulunamamıştır. Sadece sedimentte izlenebilen Cd elementinin bu fazda deneyin ilk üç haftasında minimum miktara düştüğü belirlenmiştir (Şekil 6.48). Bu elementin miktarında azalmalar olsa da deney sonunda deney öncesi ölçülmüş miktara ulaşmıştır.



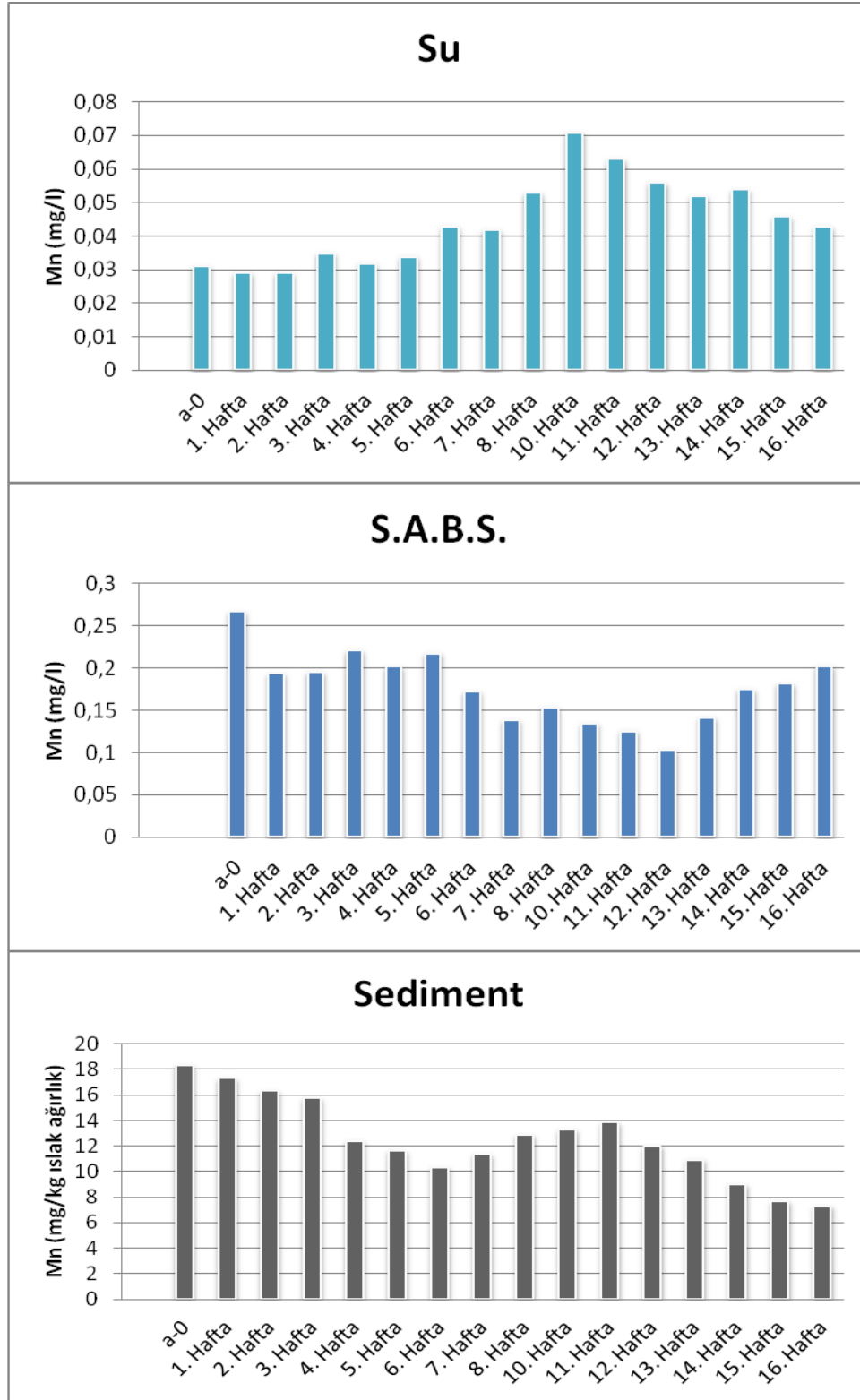
Şekil 6.39 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Mg konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



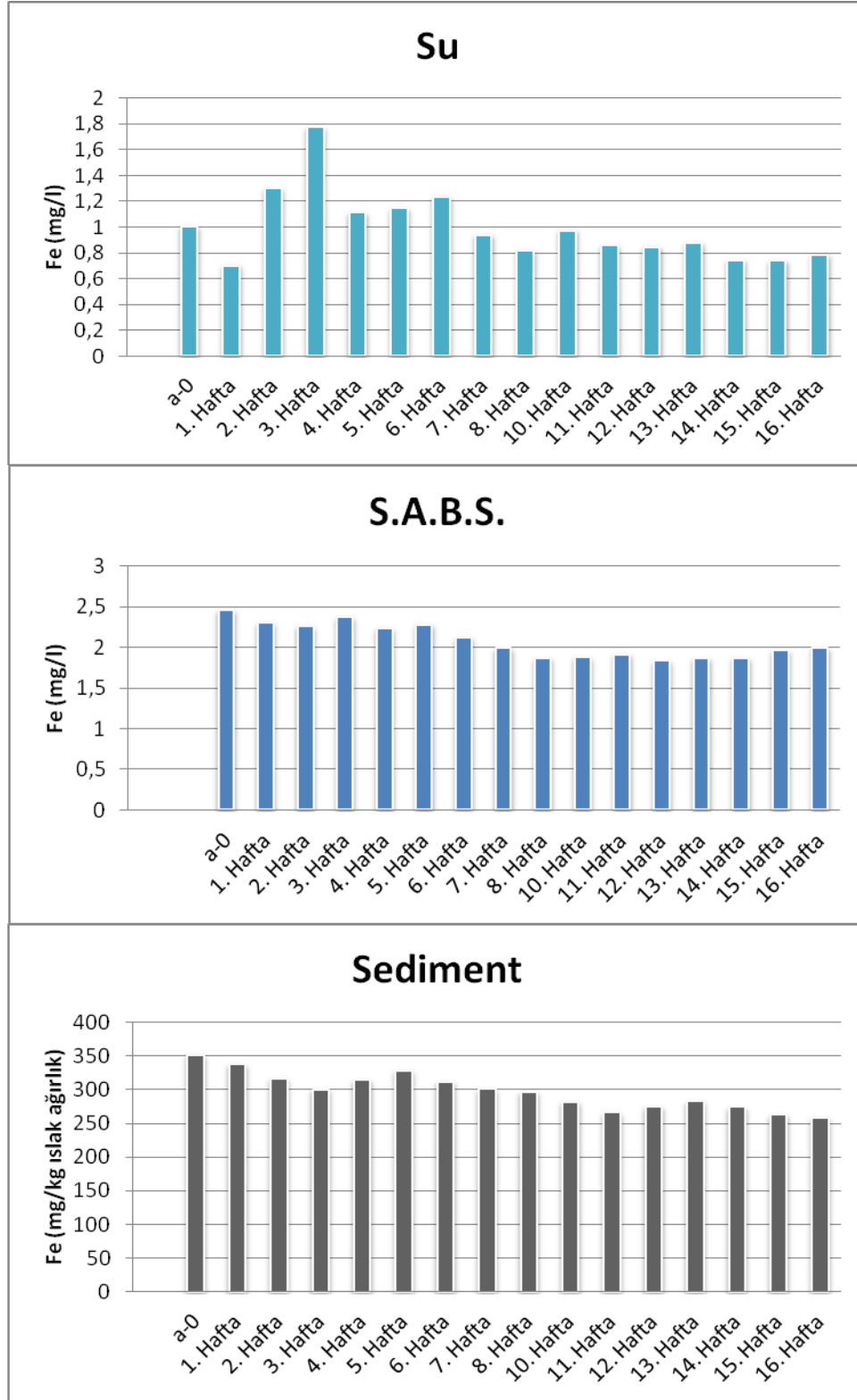
Şekil 6.40 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Ca konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



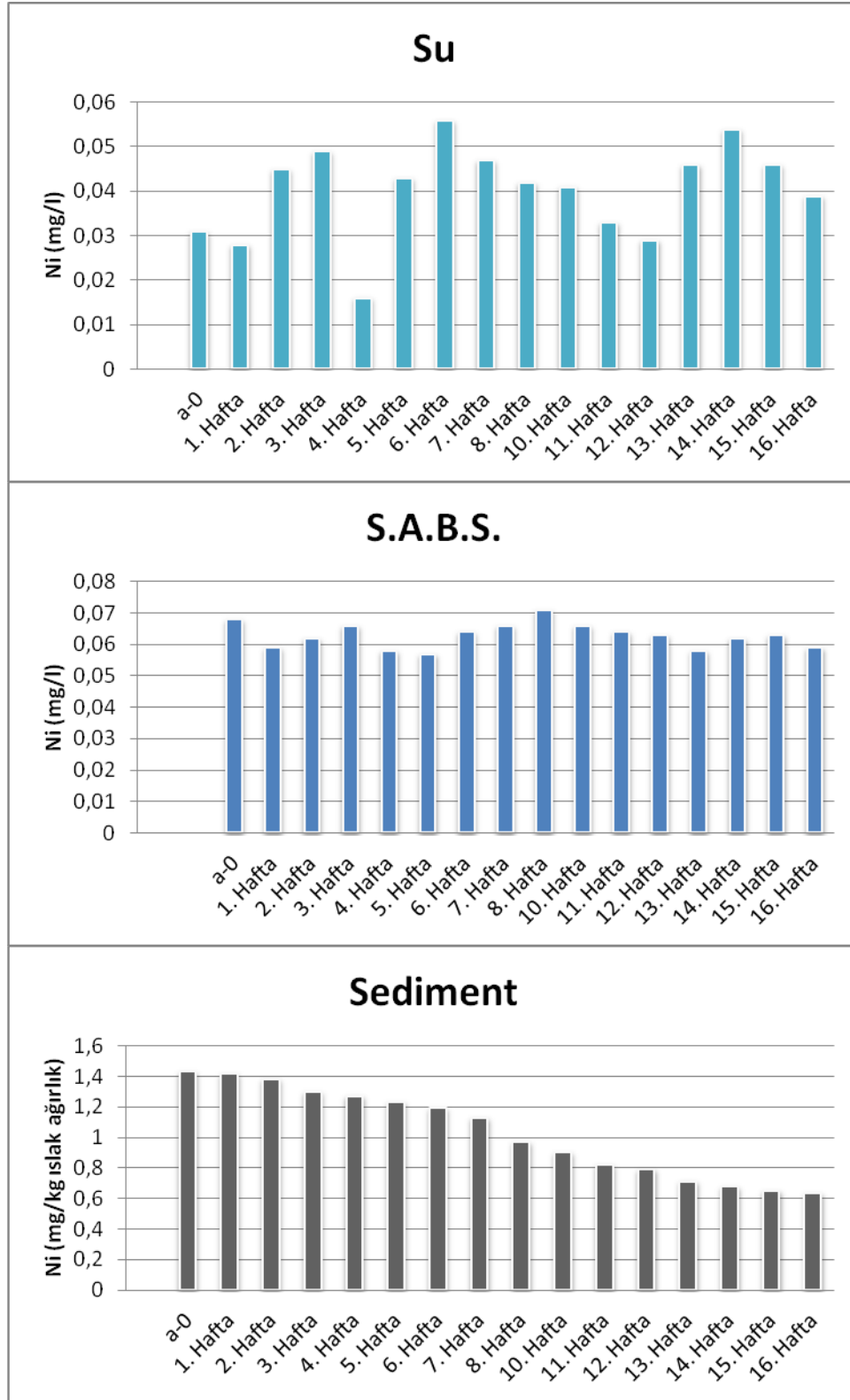
Şekil 6.41 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Cr konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



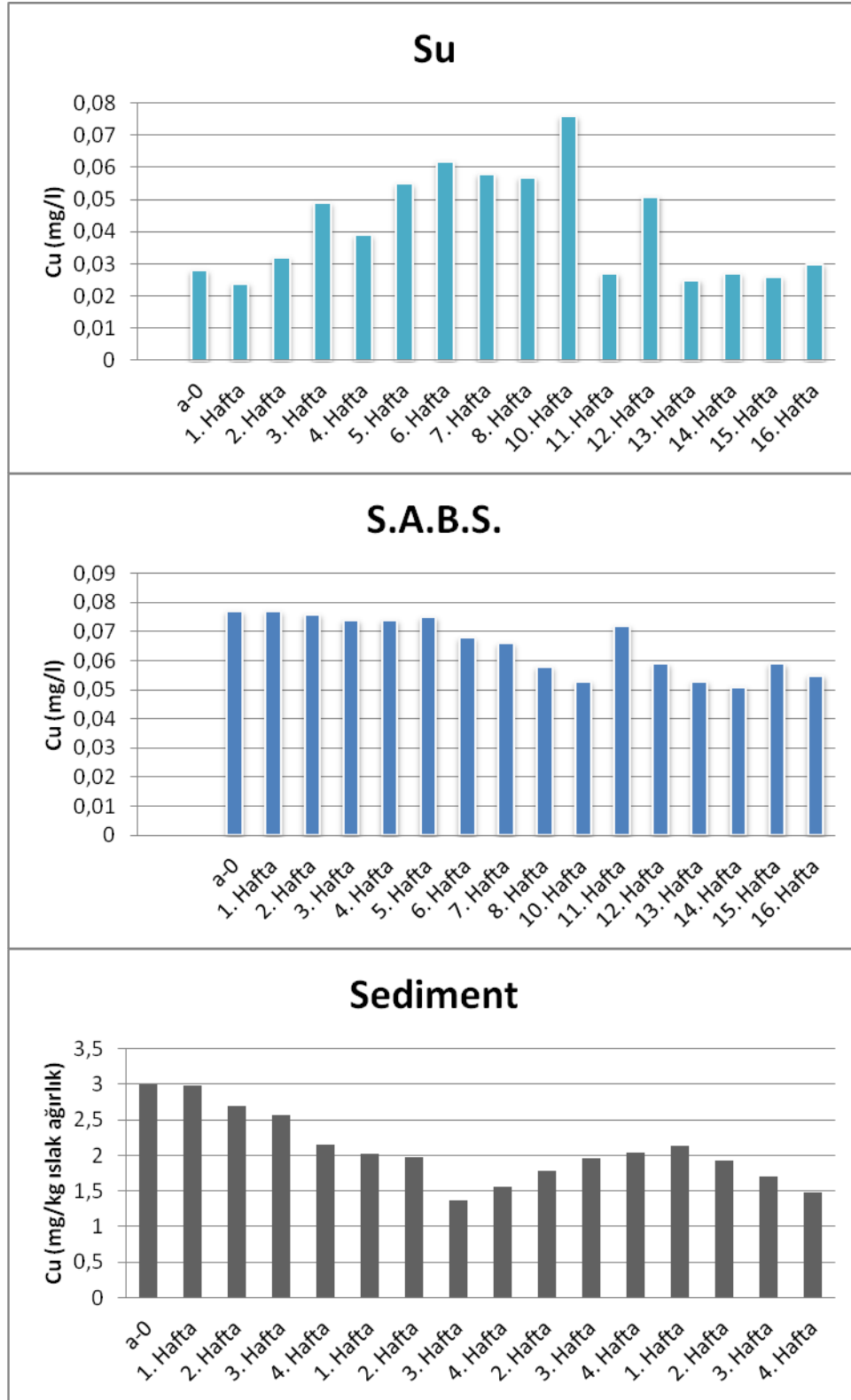
Şekil 6.42 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Mn konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



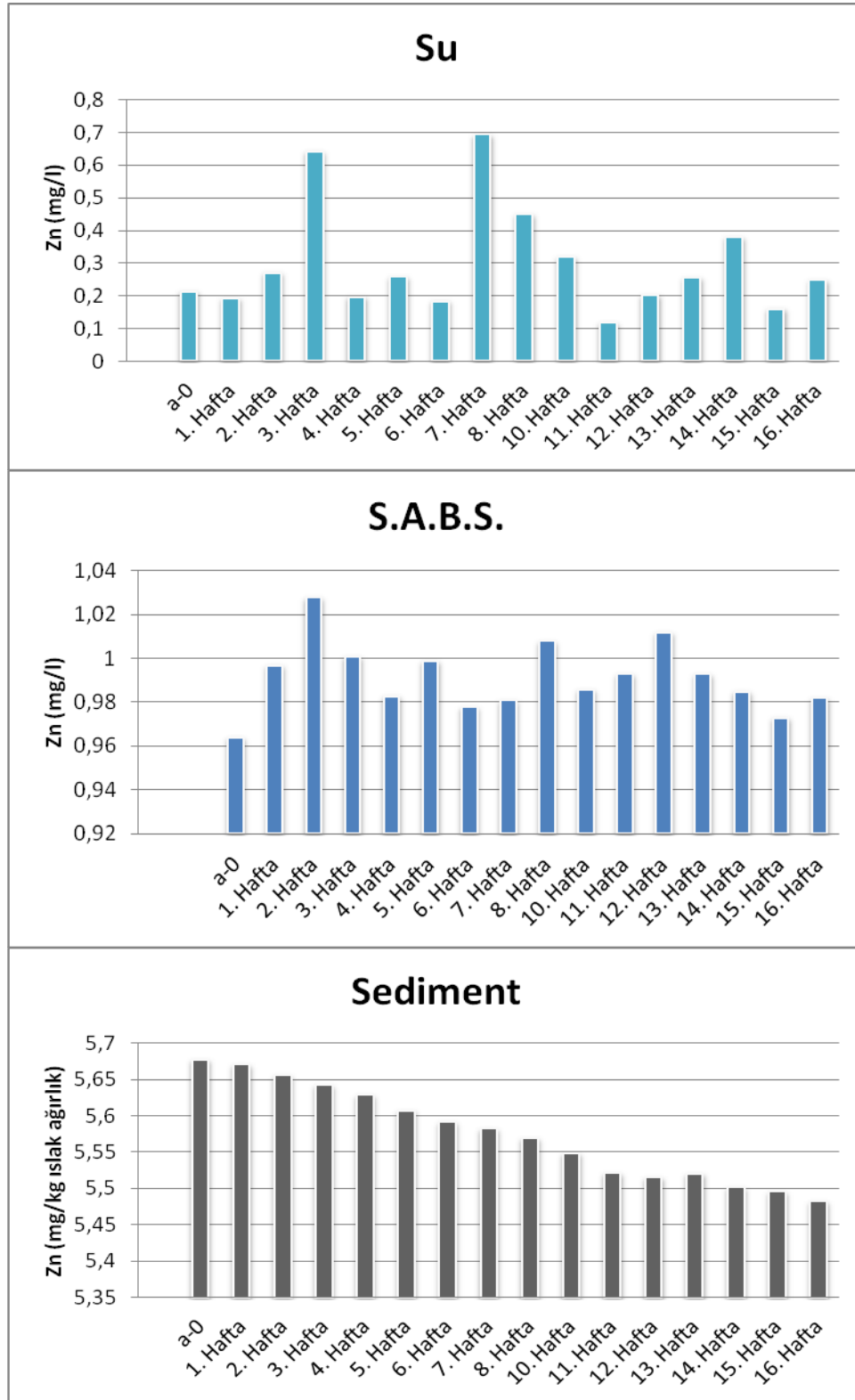
Şekil 6.43 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Fe konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



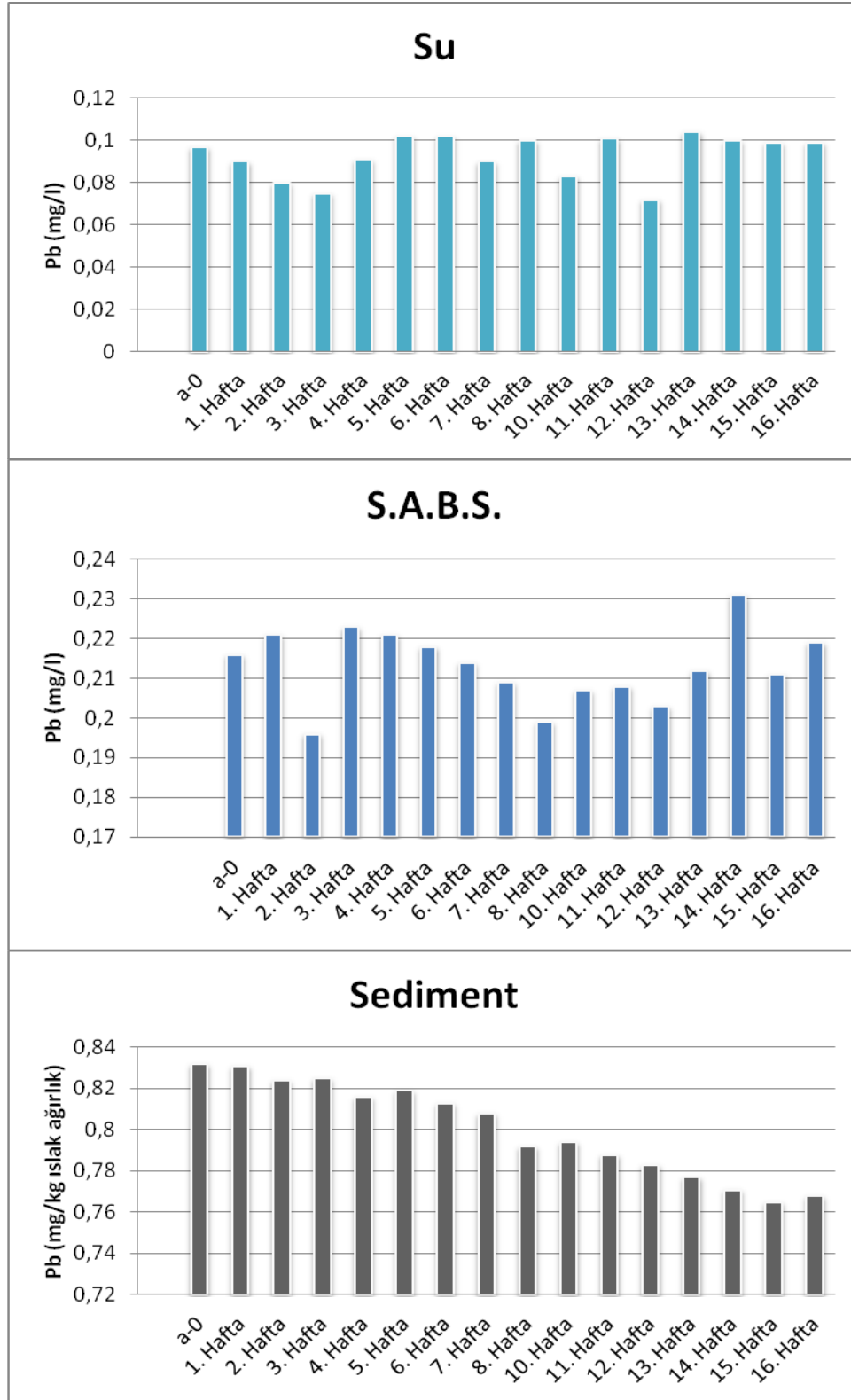
Şekil 6.44 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Ni konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



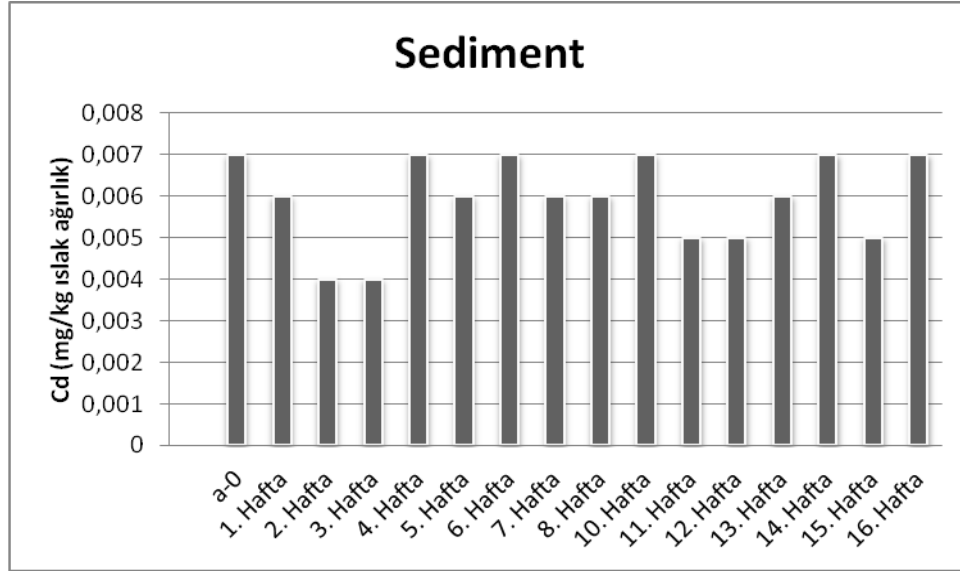
Şekil 6.45 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Cu konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



Şekil 6.46 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Zn konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



Şekil 6.47 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde su, s.a.b.s ve sedimentteki Pb konsantrasyonları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



Şekil 6.48 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde sedimentteki Cd konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)

6.4.2 *E. Amazonicus* Bünyesinde Element Konsantrasyonları

Elde ettiğimiz veriler *E. amazonicus*'un organlarında (kök, gövde ve yaprak) metal birikimine deney ortamında (özellikle sediment yapıda) bulunan element konsantrasyonlarının etkisi anlaşılmaktadır. Analiz ettiğimiz elementlerin bitki bünyesinde bulunma yoğunluğu şöyledir: Ca > Fe > Mg > Mn > Cr > Cu > Ni > Zn > Pb > Cd. Bu sıralama sediment ve suda bulunan element konsantrasyonlarıyla doğru orantılıdır.

Haftalık yaptığımız analiz sonuçlarında Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn elementleri bitki yaprağında diğer organlara göre daha fazla konsantrasyonlarda bulunmuştur.

Mg: Deney bitkimiz tarafından en fazla absorblanan elementler içinde olan Mg'un gövdede çok iyi birikimi gerçekleşmiş, fakat yaprakta aynı performans görülmemiştir. Mg'un bitki organlarındaki sıralama deney öncesi ve deney boyunca değişmemiştir. Bitki bu elementi kökten yaprağa taşısa da gövdede daha fazla birikim yapmıştır (Şekil 6.49).

Ca: En çok yaprakta biriken Ca elementinin bitki bünyesine alımı hızlı olsa da bu element kökte birikmiyor, gövde ve yapraklara kolayca transfer ediliyor (Şekil 6.50). Aynı bitkiyi deney ortamında tuttuğumuz 1 aylık süre kapsamında Ca elementinin bitki tarafından alımında herhangi bir düşüş veya sınır belirlenmemiştir.

Cr: Cr elementinin yaprak ve kökte birikimi ortalama gerçekleşse de miktar olarak yaprakta daha çok absorblanmıştır (Şekil 6.51). Sürekli kökten yaprağa transfer sonucunda bu elementin gövdede fazla birikmediğini görmekteyiz.

Mn: Deney başlangıcında ve sonunda Mn elementinin en fazla biriktiği organ yaprak olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.52). Deneyin ilk haftalarında Mn'in kök ve gövdede aynı zaman diliminde aynı konsantrasyonlarda alımı gerçekleşmiş, deney sonlarına doğru ise bu elementin kökte daha fazla durmadığı, gövde ve yaprağa transfer olunduğu görülmüştür.

Fe: Fe'in bitki bünyesinde her zaman en fazla bulunan metal olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Bununla birlikte Fe birikimi bitkinin her organında farklılık göstermiştir; deneyden önce analiz ettiğimiz bitkide en fazla konsantrasyon kökte, en düşük konsantrasyon ise gövdede belirlenmiştir. Deney sürecinde bu oranlar değişmiş, elementin en yüksek miktarı yaprakta, en düşük birikimi ise kökte belirlenmiştir. Ayrıca Fe'in deney sonrasında gövdedeki miktarı köktekinden fazla ölçülmüştür (Şekil 6.53).

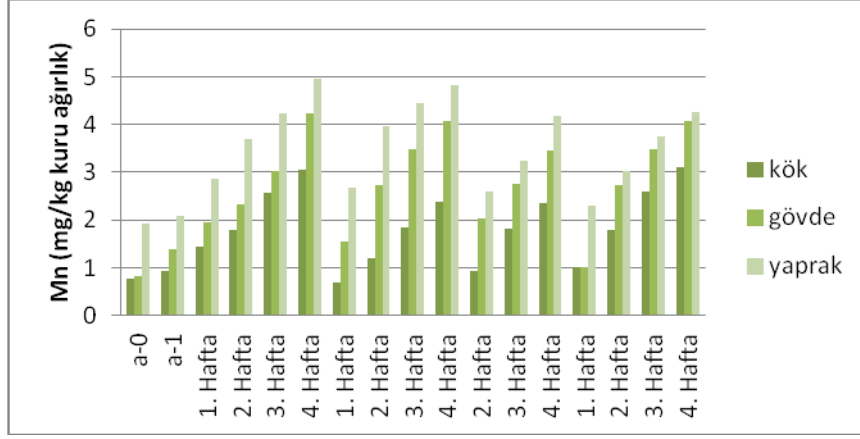
Ni: Başlangıçta Ni konsantrasyonu kök ve yaprakta aynı olsa da, deney sonunda yaprakta Ni köktekinden 3 kat fazla analiz edilmiştir (Şekil 6.54).

Cu: Cu elementi deney bitkimizin kök kısmında her zaman daha fazla ölçülmüştür. Cu metalinin kökte yapraktakinden 2 kat daha fazla biriktiği belirlenmiştir. Bu metalin gövdeye transferi iyi olsa da neredeyse birikmeden yaprağa transferi gerçekleşmiştir. Cu miktarı yaprakta sürekli artış gösterse de kökteki artışı çok daha fazla olmuştur (Şekil 6.55). Gövdede miktar genellikle değişken olmuş, az da olsa artmıştır.

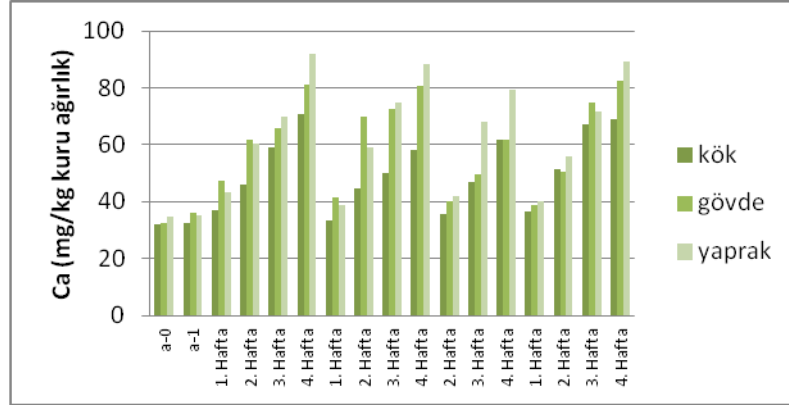
Zn: Zn elementinin bitki tarafından alımı az da olsa gerçekleşmiştir. Bitki organlarında Zn miktarının değişimi ham bitki bünyesindeki miktara orantılı şekilde artmıştır (Şekil 6.56). Bitki bünyesinde bu elementin birikim dizilimi yaprak > kök > gövde şeklinde olmuştur.

Pb: Pb elementinin de bitki organlarında birikimi Cu elementine benzer olmuştur. Pb elementi bütün organlarda bulunmuş ve deney sürecinde bu konsantrasyonlarda değişim tespit edilmiştir. Element yaprağa az da olsa transfer edilebilmiş, kökte düzenli olarak birikmiştir. Gövdede Pb miktarındaki değişim ise çok farklılık göstermemiştir (Şekil 6.57).

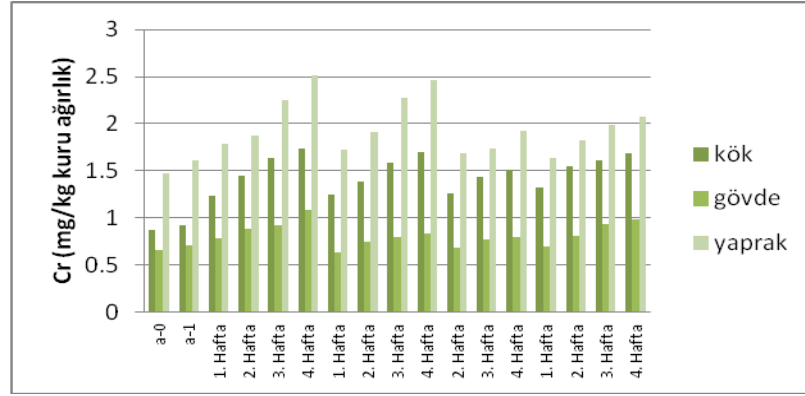
Cd: Cd elementi bitki bünyesinde hem deney başlangıcında hem de deney sürecinde tespit edilmemiştir.



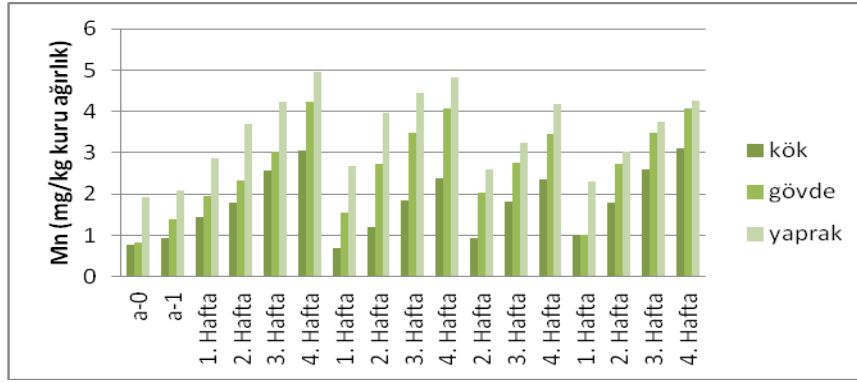
Şekil 6.49 *E. amazonicus* bünyesindeki Mg konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



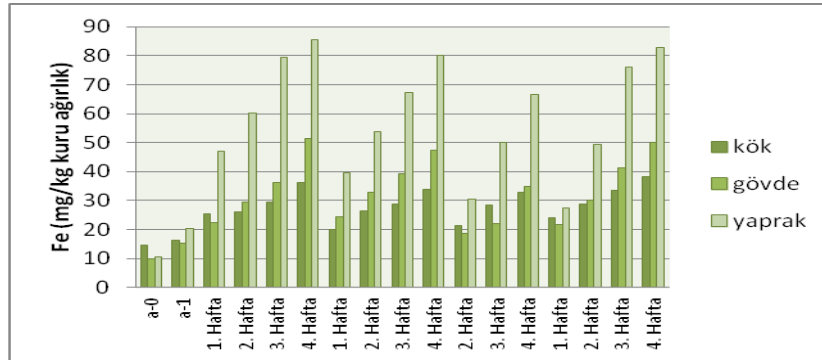
Şekil 6.50 *E. amazonicus* bünyesindeki Ca konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



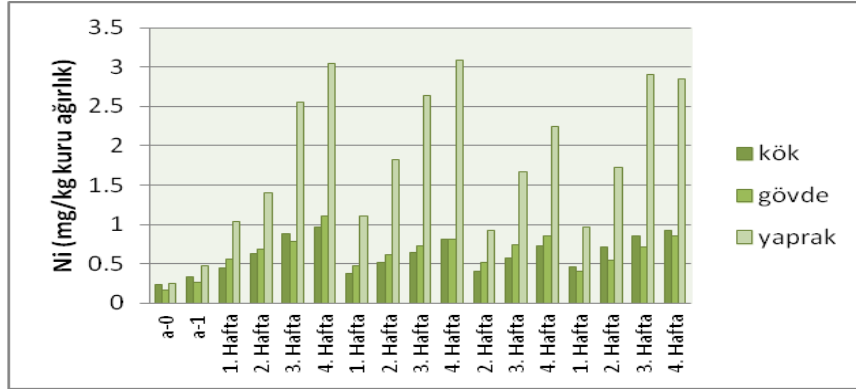
Şekil 6.51 *E. amazonicus* bünyesindeki Cr konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



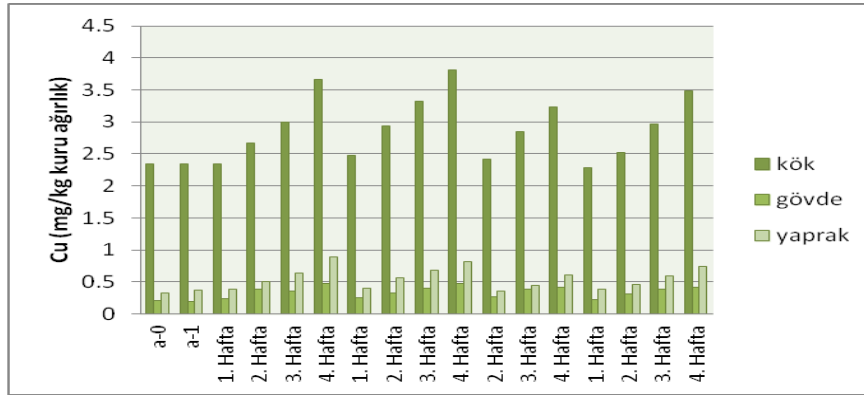
Şekil 6.52 *E. amazonicus* bünyesindeki Mn konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



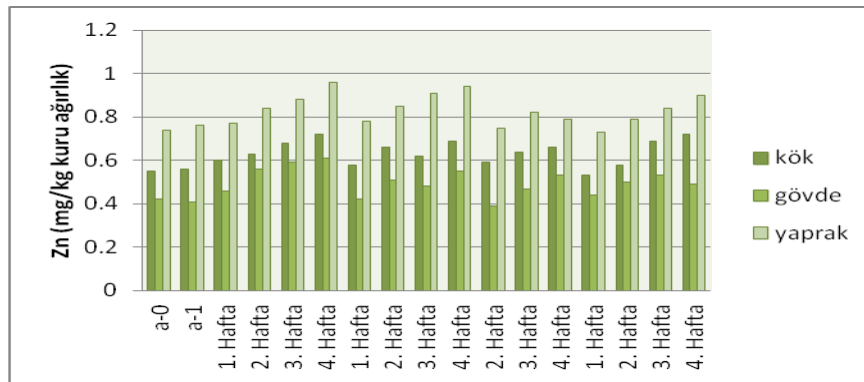
Şekil 6.53 *E. amazonicus* bünyesindeki Fe konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



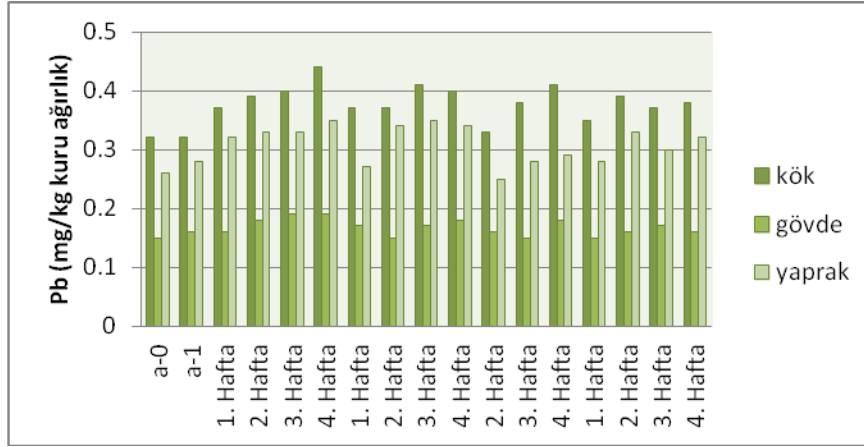
Şekil 6.54 *E. amazonicus* bünyesindeki Ni konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



Şekil 6.55 *E. amazonicus* bünyesindeki Cu konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



Şekil 6.56 *E. amazonicus* bünyesindeki Zn konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



Şekil 6.57 *E. amazonicus* bünyesindeki Pb konsantrasyonu (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)

6.4.3E. *amazonicus* Bünyesinde Analiz Edilen Elementlerin Haftalık Konsantrasyon Ortalamaları

Deney öncesi ve deney sonrasında bitki bünyesinde en yüksek konsantrasyonlarda bulunan üç element – Ca (243 mg/kg kuru ağırlık), Mg (109 mg/kg kuru ağırlık) ve Fe (172 mg/kg kuru ağırlık) olmuştur.

Ca: *E. amazonicus* bitkisinin 1. Hafta, 2. Hafta, 3. Hafta ve 4. Haftalarda bütün bünyede ortalama element konsantrasyonlarına bakınca (Şekil 6.58) bu bitkinin en çok Ca elementini biriktirdiğini görmekteyiz. Ca'un son haftalarda alımı daha fazla olmuş ve deney öncesine göre bitki bünyesinde Ca miktarı 2 kat artmıştır.

Mg: Mg deney öncesinde bitki bünyesinde en çok bulunan ikinci element olsa da bitki deney sürecinde bu elementi fazla (%36) biriktirememiştir. Bu da deney bitkimizin Mg'ü tercih etmediğini göstermektedir (Şekil 6.58). Bitki kendi bünyesinde Mg (4.4 mg/kg kuru ağırlık/hafta) elementini Ca'dan (24.9 mg/kg kuru ağırlık/hafta) daha yavaş almıştır.

Cr: Deney öncesinde bitki bünyesinde Cr diğer elementlere (Ni, Cu, Zn ve Pb) göre yüksek oranda bulunsun da (Şekil 6.58) deney boyunca bu elementin alımı yavaş (0.31 mg/kg kuru ağırlık/ hafta) olmuş, buna rağmen bitki bünyesinde artış (%60) göstermiştir.

Mn: Bitkinin deney boyunca en çok tercih ettiği ve devamlı alım yaptığı elementlerden biri de Mn olmuştur (Şekil 6.58). Mn miktarı son hafta ortalamasında yaklaşık 4 kat arttığı

görülmektedir (Şekil 6.58). Mn' in bitki tarafından alımı hızı (1.36 mg/kg kuru ağırlık/hafta) izlenen metallere sadece Fe (21.5mg/kg kuru ağırlık/hafta) elementinin alım hızından düşük olmuştur.

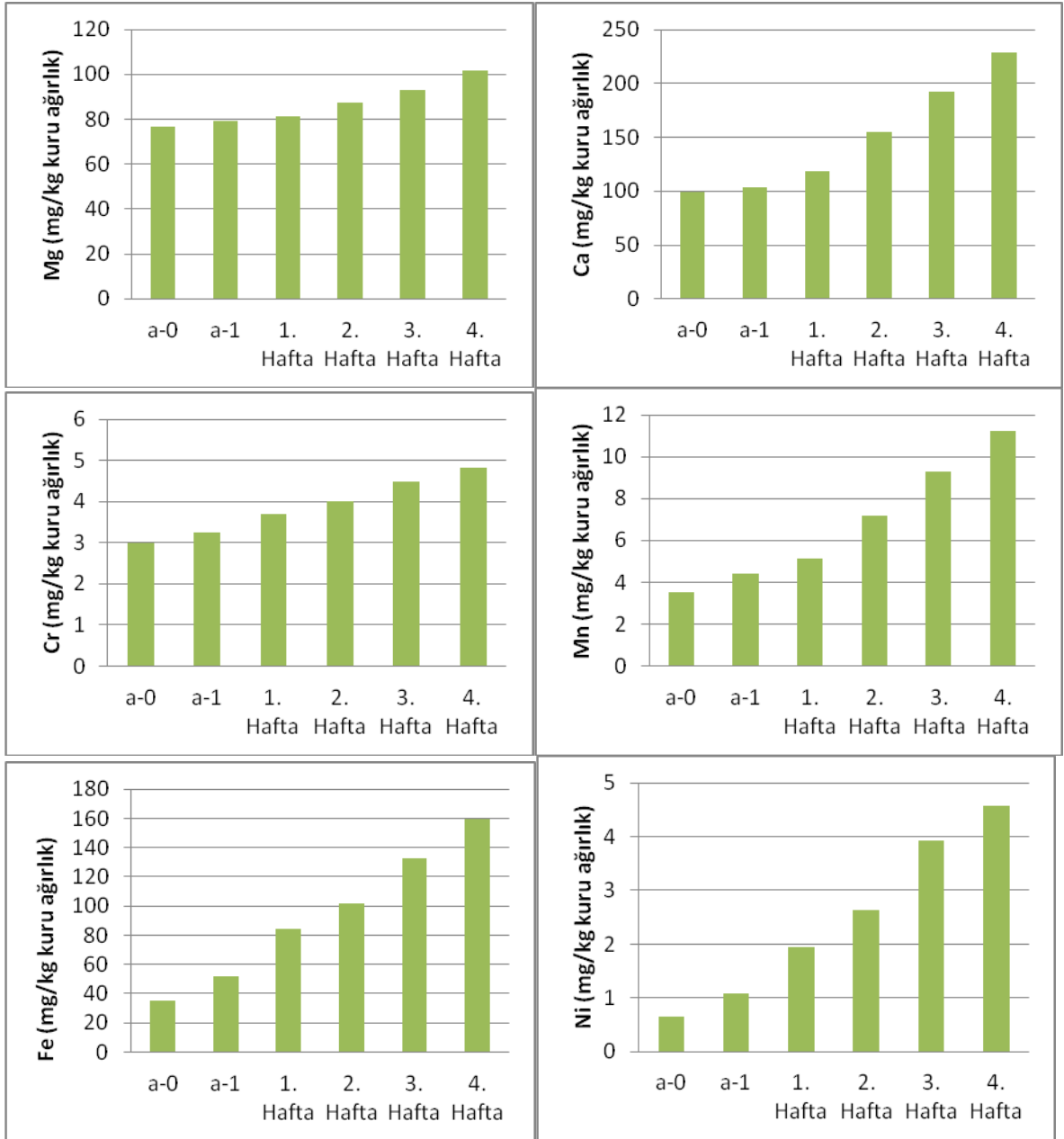
Fe: Bitkinin Mg yerine Fe elementini daha çok tercih ettiği analizlerden belli olmuştur. Haftalık olarak bitki bünyesinde yüksek artış gösteren Fe elementinin, deneyin son haftasında analizi yapılan bitkilerde ortalama 3 kat arttığı gözlemlenmiştir. Bu da deney sürecinde Fe' in bitki tarafından en çok tercih edilen (% 356) metallere biri olduğunu göstermektedir (Şekil 6.58).

Ni: Ni elementi deney öncesinde bitki bünyesinde az (0.66 mg/kg kuru ağırlık) bulunan elementlerden olsa da deney sonunda 7 kat artarak Cu ve Cr elementleriyle yaklaşık aynı konsantrasyona (4.5 mg/kg kuru ağırlık) ulaşmıştır (Şekil 6.58). Deney süresince Ni, bitki tarafından en çok tercih edilen (%593) element ve en hızlı (0.69 mg/kg kuru ağırlık/hafta) alımı gerçekleşen üçüncü metal olmuştur.

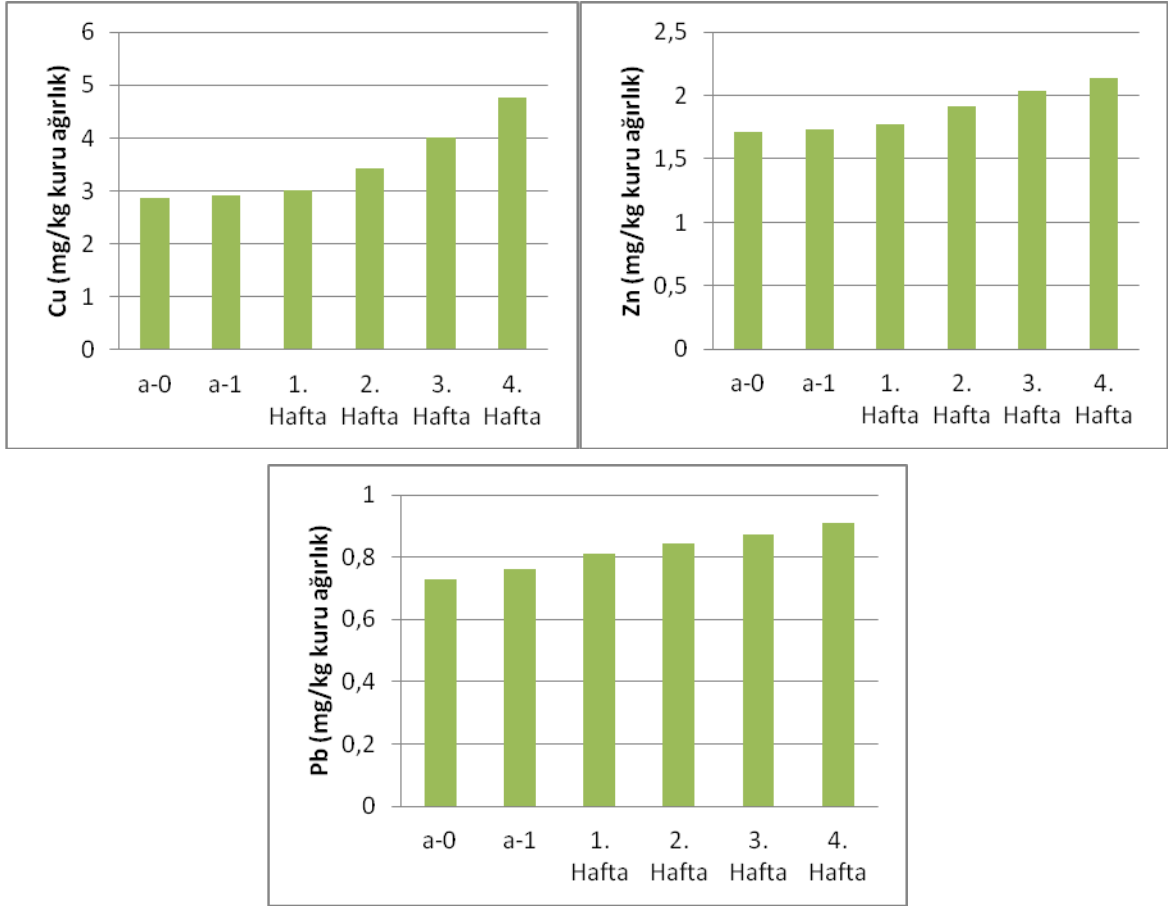
Cu: Bitki bünyesinde Cu elementinin 1. haftada miktarında değişim olmamış, sonraki haftalarda artım gerçekleşmiştir. Cu alımının 2. haftadan başlaması (Şekil 6.59) bitkinin ilk haftalarda bu elementi tercih etmediğini göstermektedir. Bitki Cu (0.36 mg/kg kuru ağırlık/hafta) ve Cr'u (0.31 mg/kg kuru ağırlık/hafta) yakın hızlarda adsorplamıştır.

Zn, Pb ve Cd: Deney boyunca bitki bünyesinde Zn (%25) ve Pb (%24) elementleri çok az oranda artış göstermiştir (Şekil 6.59). Zn (0.08 mg/kg kuru ağırlık/hafta) ve Pb (0.03 mg/kg kuru ağırlık/hafta) metalleri bitkinin element tercih sırasında en sonda yer almıştır. Cd elementi deney boyunca bitkide bulunamamıştır.

Deney sürecinde izlenen 9 elementin bitki bünyesinde arttığı haftalık konsantrasyon ortalamalarından görülmektedir. Deney sürecinde bitkinin elementlerde alım tercihini değiştirdiği ve Ni, Fe, Mn elementlerini deney öncesine göre daha çok tercih ettiği izlenmiştir.



Şekil 6.58 *E. amazonicus* bünyesinde analiz edilen Mg, Ca, Cr, Mn, Fe ve Ni elementlerinin haftalık konsantrasyon ortalamaları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



Şekil 6.59 *E. amazonicus* bünyesinde analiz edilen Cu, Zn ve Pb elementlerinin haftalık konsantrasyon ortalamaları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)

6.4.4E. *amazonicus* Toplam Bünyesinde Kısmi Element Miktarları

E. amazonicus bünyesinde yapılan analizlerden, bitkinin deney sürecinde element alımının değiştiği görülmüştür. Deney başlangıcında (a-0 ve a-1) bitki bünyesinde yüksek konsantrasyonda izlenen Mg, Cu, Zn ve Pb elementlerinin alımı deney sürecinde azalmış, bu elementler yerine Fe, Mn ve Ni metalleri daha çok tercih edilmiştir.

Deney setindeki ilk haftadan başlayarak bitki bünyesindeki Mg miktarında azalma olduğu Şekil 6.60' ta görülmektedir.

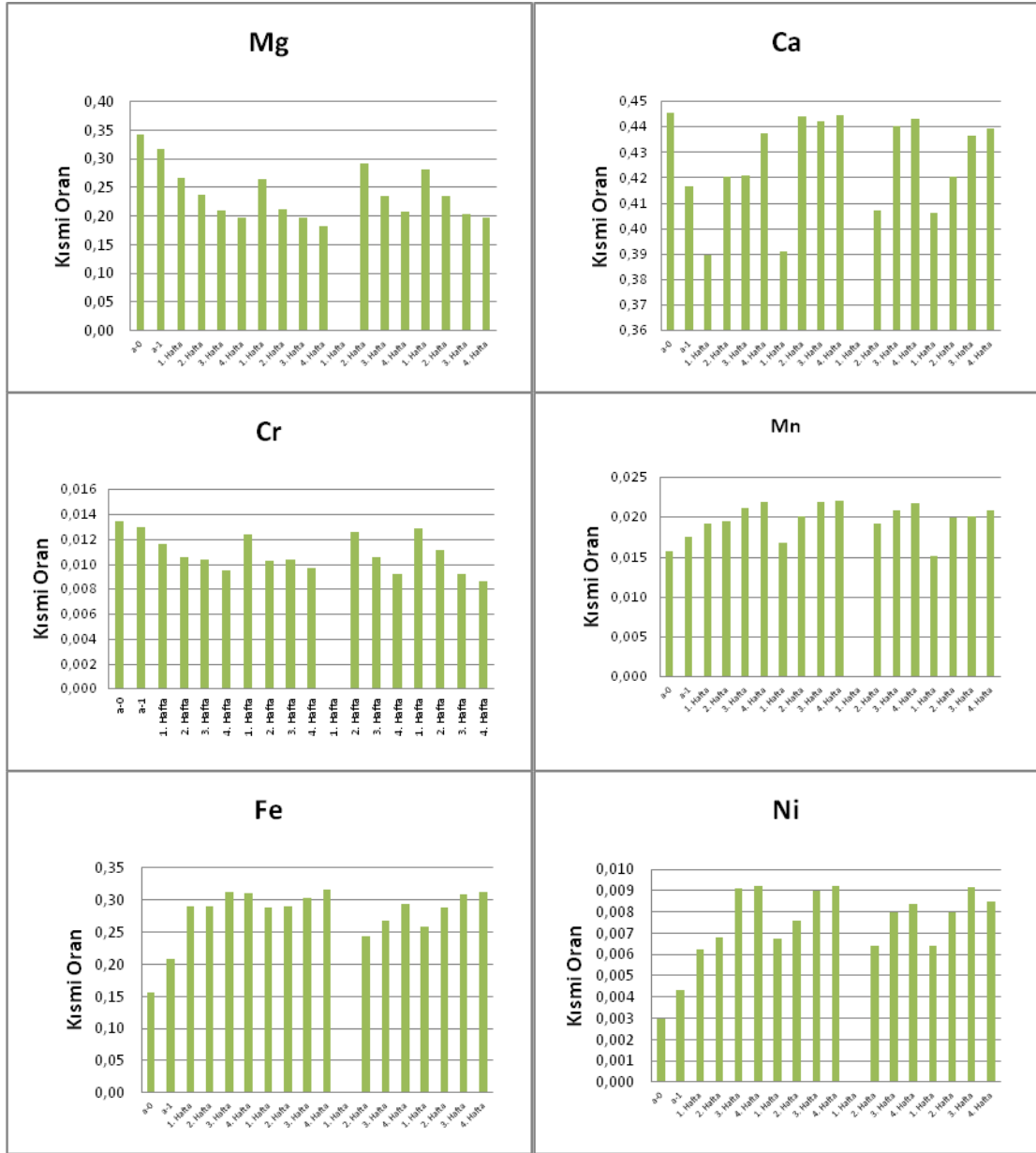
Bitki bünyesinde Ca miktarı a-1 haftasında a-0 haftasına göre azalmış, 1. Haftalarda ise hızlı düşüş görülmüştür. Deneyin sonraki haftalarında bitki Ca alımına başlamış ve son hasada kadar element alımının devam ettirerek deney başında sahip olduğu Ca miktarına ulaşabilmiştir.

a-1 haftasından başlayarak Fe elementinin hızlı alımının gerçekleştiren deney bitkisi 3. haftada deney başında analiz edilen miktardan 2 kat daha fazla Fe elementi benimsemiştir. 4. haftada ise bu elementin bitkideki birikimi seviyesi korunmuştur.

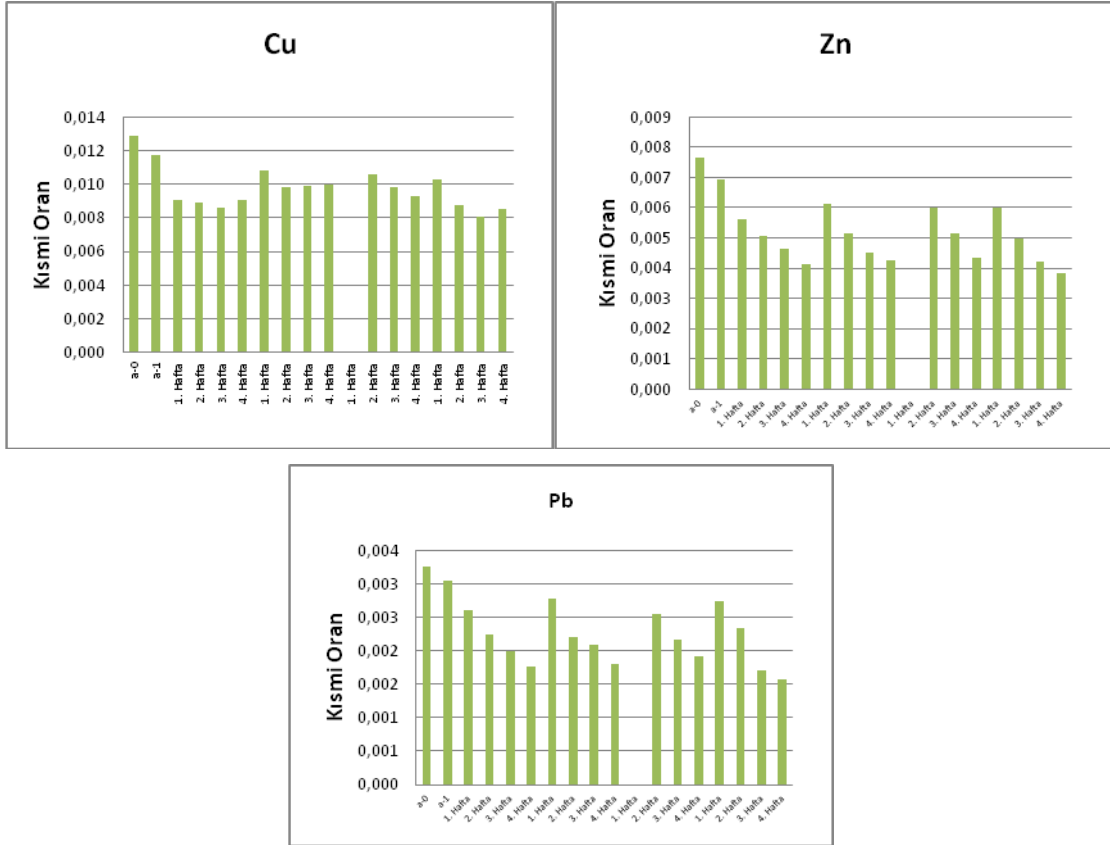
Cr ve Cu elementlerine ait maksimum kısmi oran ham numunede hesaplanmış, deney sürecinde ise az da olsa bu elementlerin bitki bünyesindeki oranında düşüş görülmüştür.

Bitkinin alım tercihinde ilk sıralarda olan Mn ve Ni metallerinin oranı deneyin bütün haftalarında artmıştır. Ay sonu hasat numunelerinde Ni elementinin kısmi oranı ham numunedeki orandan 3 kat fazla bulunmuştur (Şekil 6.60).

Deney öncesi bitkide en az bulunan Zn ve Pb elementlerinin tercih sırası deney sonrasında değişmemiş, her iki elementin de miktarında azalma gözlemlenmiştir (Şekil 6.61).



Şekil 6.60 *E. amazonicus* toplam bünyesinde Mg, Ca, Cr, Mn, Fe ve Ni elementlerine ait kısmi element Miktarları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)



Şekil 6.61 *E. amazonicus* toplam bünyesinde Cu, Zn ve Pb elementlerine ait kısmi element miktarları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)¹

6.4.5E. *Amazonicus* ile Yürütülen Deneyde Ham Bitki (a-0) ve 4. Hafta Sonlarında Hasat Edilmiş Bitkilerdeki Kısmi Element Miktarları

E. amazonicus bitki bünyesindeki kısmi element miktarlarının haftalık verilerinden bu bitkinin organlarında element birikim oranlarının haftalara göre değiştiğini görmekteyiz.

Bitkinin kök kısmında Mg kısmi miktarı deney boyunca azalma gösterirken yapraktaki miktarı ilk hasatta azalmış, diğer hasatlarda ise sabit kalmıştır. 1. hasat ve 2. hasat zamanı gövdedeki miktarı azalan Mg'un 3. hasat verileri yüksek bulunsa da son hasatta yeniden bir düşüş gözlemlenmiştir.

¹Cd elementi bitki bünyesinde tespit edilmediği için bu elemente ait grafik verilmemiştir.

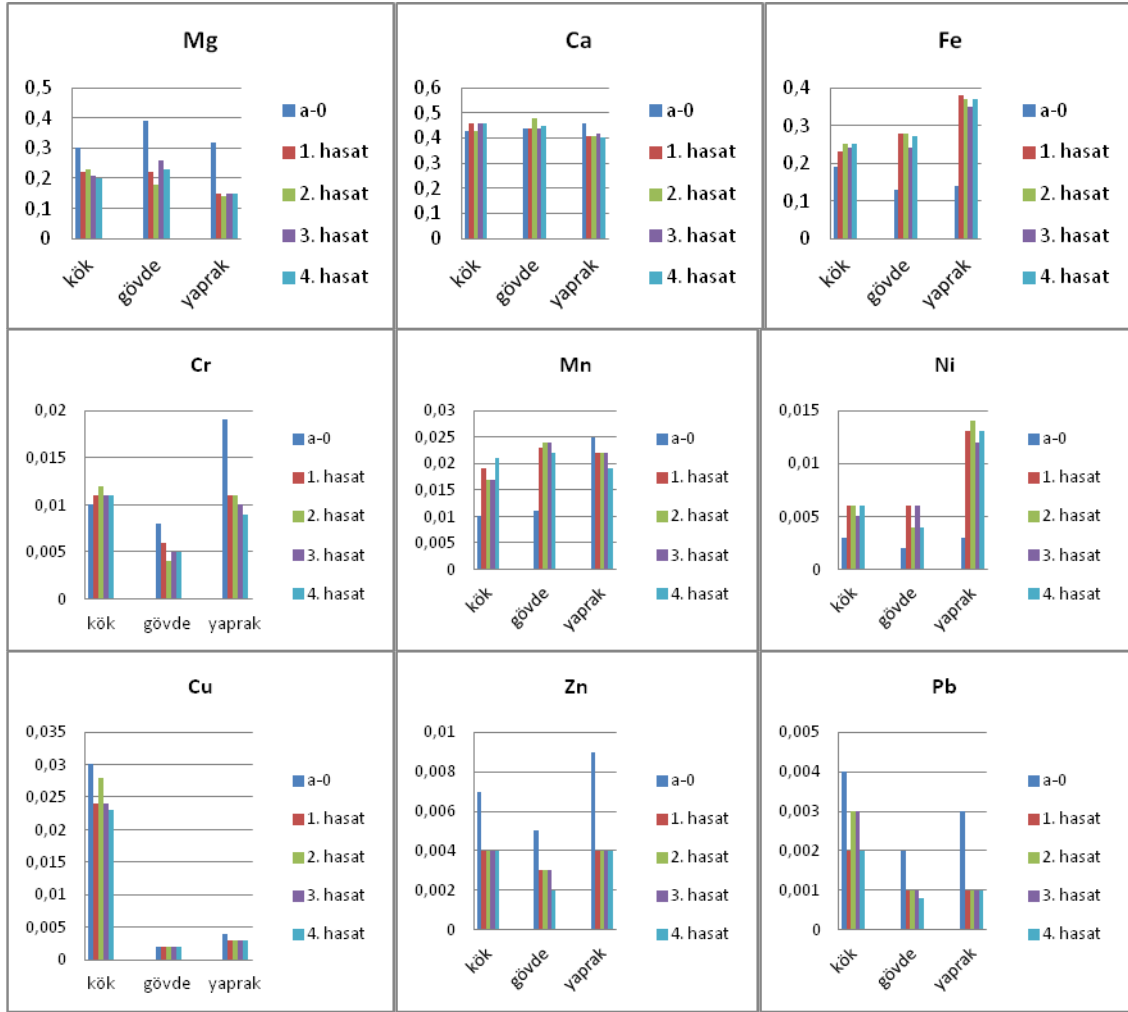
Ca'un kısmi miktarında çok az hareketlenmeler olsa da bu elementin bitki kökü ve gövdesindeki oranı genel olarak değişmemiştir. Yapraktaki Ca miktarında ise azalma olmuş ve bu son hafta daha da artmıştır.

Fe elementinin kısmi miktarı 3. hasat dışındaki diğer hasatlarda kök ve yaprakta arttığı izlenmiştir. Fe oranının deney sürecinde artışı en çok yaprakta gözlemlenmiştir (yaklaşık 3 kat fazla).

Cr' un kökteki kısmi miktarında artış izlenirken, gövdede ve yapraktaki miktarda bariz azalma görülmüştür. Bu da bitkinin kök kısmına aldığı Cr elementini toprak üstü organlarına transfer edemediğini göstermektedir.

Bitki bünyesindeki Mn ve Ni elementlerinin kısmi miktarlarında organlar arasında bağlantılı olarak değişkenlikler izlenmiştir. Örneğin, ilk hasatta bütün bitki bünyesinde artan Mn miktarının, 2. hasat ve 3. hasatta kök ve yaprakta azaldığı, gövdede ise arttığı görülmüştür. 4. hasat hesaplamalarında ise bu elementin kökteki miktarında artış izlenirken, gövde ve yaprakta azaldığı belirlenmiştir.

İlk hasatta her üç organda belirli oranlarda artan Ni elementi, 2. hasatta kökteki miktarı sabit kalmış, gövdedeki miktarı azalırken yaprakta artmıştır. Bu bitkinin köküyle aldığı Ni elementini gövdeden yaprağa başarıyla taşıyabildiğini göstermektedir. 3. hasatta gövdedeki miktarı artan Ni'in diğer organlarda kısmi miktarı azalmış, 4. haftada ise gövdedeki azalmayı diğer organlarda artış izlemiştir. Bu bilgilerden, deney bitkimizin Ni elementinin translokasyonunda farklılık gösterdiğini, Ni'i her zaman aynı organda biriktirmediğini anlamaktayız.



Şekil 6.62 *E. amazonicus* ile yürütülen deneyde ham bitki (a-0) ve 4. hafta sonlarında hasat edilmiş bitkilerdeki kısmi element miktarları (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)¹

Cu elementinin gövdedeki oranı deney boyunca aynı kalırken, kökte ve yapraktaki oranlarda düşüş gözlemlenmiştir. Bu azalma yaprakta sabitlenirken, kökte dinamik bir yol izlemiştir.

Zn ve Pb elementlerinin maksimum kısmi miktarları deney başında belirlenmiş, deney sürecinde ise bitkinin bütün organlarında her iki element miktarında azalma yaşanmış ve bu azalma ilk hasattan sonra sabitlenmiştir. Pb elementinin kökteki oranında 2. hasat ve 3.

¹ Deney öncesinde ve deney sürecinde bitki bünyesinde Cd elementi tespit edilmemiştir. 1.hasat verileri 5 bitki numunesi, 2.hasat verileri 6 bitki numunesi, 3.hasat verileri 4 bitki numunesi, 4.hasat verileri ise 3 bitki numunesi üzerinden yapılan analizlerden elde edilmiştir.

hasat verilerinde artış görülmüştür ancak bu artış yerini 4. hasatta yine azalmaya bırakmıştır.

İncelediğimiz kısmi miktarlara genel olarak baktığımızda Ni ve Fe elementlerinin en çok yaprakta, Mg, Cu ve Pb elementlerinin en çok kökte biriktiğini görmekteyiz. Cr, Cu, Zn ve Pb elementlerinin en az biriktiği organın ise gövde olduğu belirlenmiştir.

6.4.6 Deneme Sürecinde *E. Amazonicus* Bitkisinde Fiziksel Değişim

E. amazonicus bitkilerinin deney öncesinde boy ölçümleri yapılmış ve ölçüm her bitki numunesi alımında haftalık olarak tekrarlanmıştır. Boy ölçümü bitkinin her organı için (kök, gövde ve yaprak) tekrarlanmıştır. Her ay başında (4 hafta sonunda) deney setinde dikilen 10 bitki yenilenmiş ve bu bitkilerin haftalık boy ölçümleri yapılmıştır. Her hafta sette bulunan bitkilerin (aynı hafta numune olarak alınacak bitki dahil) boy ölçümleri (kök, gövde ve yaprak) yapılmıştır. 16 hafta sonunda bu ölçümlerden elde edilen rakamların ortalaması bulunmuş ve *E. amazonicus* bitkisinin deney süresince boy değişimi olarak Çizelge 6. 2’de verilmiştir.

Biki köklerinde adaptasyon amacıyla kesim yapıldıktan sonra deney öncesi boy ölçümü yapılmıştır. Deney setinde su altından demir çubuklara bağlı şekilde çıkarılan bitkilerin organlarında zaman zaman kopmalar olmuştur. Bu nedenle boy ölçümleri bütün bitkilerde yapılmış ve veriler ölçülmüş bütün rakamların ortalaması olarak hesaplanmıştır.

Deney sürecinde bitki yeni yaprak vermemiştir fakat bir bünye olarak gelişme (boy artımı) göstermiştir (Çizelge 6. 2).

Kök boyunda ilk ve son dikimde küçülme, 2. Dikim ve 3. Dikim sonlarında büyüme kaydedilmiştir. Gövdede deney sürecinde genel olarak gelişme görülmüştür (4. Dikim hariç). İlk dikimde yaprakların boy artımı gerçekleşse de deneyin sonraki aşamalarında yaprak boylarında azalma ölçülmüştür.

E. amazonicus bitkisinin genel fiziksel gelişimini incelersek, bitki kök ve gövdede gelişim gösterdiği zaman yaprakta aynı performansı yakalayamadığını görmekteyiz. Örneğin, 2. Dikim ve 3. Dikim boy ölçümlerinde kök ve gövdede büyüme, yaprak boyunda ise küçülme

kaydedilmiştir. Deney boyunca yaprak boylarında azalmanın nedeni bitki yapraklarının ortama uyum sağlamakta zorlandığının bir kanıtıdır. Bu zaman yaprak kenarlarında zamanla sararma ve ardından ölüm gerçekleştiği görülmüştür.

Deneme öncesi ve sonrasında düzenli olarak yapılan boy ölçümlerinde *E. amazonicus* bitkisinin sadece ilk dikimde boyunun uzadığı belirlenmiştir. Diğer haftalarda yapılan ölçüm sonuçlarına göre bitkinin boyunda kısalma görülmüştür. Buna bitki kontrolü ve numune alımı sırasında bitki organlarında kopmaların neden olduğu düşünülmektedir (Çizelge 6. 2).

Çizelge 6. 2 Deney sürecinde *E.amazonicus* bitkisinin boy değişimi (analiz dönemi: 14.08.2012-18.12.2012)

Dikimler	Dikimden Önce				Dikimden Sonra			
	Kök (cm)	Gövde (cm)	Yaprak (cm)	Toplam Boy (cm)	Kök (cm)	Gövde (cm)	Yaprak (cm)	Toplam Boy (cm)
1.Dikim	12,36	18,81	10,26	41,43	12,30	19,25	10,85	42,40
2.Dikim	13,92	23,37	12,38	49,67	14,17	23,41	11,65	49,23
3.Dikim	10,44	24,22	11,96	46,62	11,04	24,25	10,32	45,61
4.Dikim	13,90	21,90	13,08	48,88	13,86	13,10	12,87	39,83

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. İlk sette bitkisiz yürüttüğümüz (Şekil 6.3 - Şekil 6.12), ikinci sette *C. undulata* (Şekil 6.14 - Şekil 6.23) ve *E. amazonicus* (Şekil 6.39 - Şekil 6.48) ile gerçekleştirdiğimiz denemede sediment yapıda haftalık izlenen element miktarlarına bakıldığında:
 - *C. undulata* bitkisiyle yürütülen çalışmada sediment yapıdaki Zn elementi hariç bütün elementlerde, *E. amazonicus* bitkisiyle yürütülen çalışmada ise Cd elementi hariç bütün elementler için sedimentte iyileşme gerçekleştiği;
 - Her iki bitkinin de sedimentten Mg, Fe ve Pb alım kapasitelerinin yakın olduğu;
 - Ca ve Cd elementlerini sedimentten alarak *C. undulata*'nın sedimentte daha iyi iyileştirme gerçekleştirdiği;
 - *E. amazonicus* bitkisinin sedimentte izlenen Cr, Mn, Ni, Cu ve Zn elementlerini diğer deney bitkisine oranla daha fazla alımını gerçekleştirdiği;
 - Genelde Cr elementinin sedimentte kararlı olduğu (Şekil 6.6), deney bitkilerinin sediment yapıda bu elementi hareketlendirdiği (Şekil 6.16 ve Şekil 6.41), çok fazla alamadığıtespit edilmiştir.
2. *C. undulata* ile yürüttüğümüz denemede;

- İzlediğimiz bütün elementleri bitki doğal ortamdan kendi bünyesine almıştır (Şekil 6.24 - Şekil 6.33).
- İzlenen 10 elementin de kökle alımını gerçekleştiren *C. undulata* bitkisi Pb ve Cd elementlerini yaprağa taşımayı başaramamıştır (Şekil 6.32 ve Şekil 6.33). Diğer elementler ise hem kökte hem de yaprakta tespit edilmiştir.
- Deney sürecinde *C. undulata* yapraklarında zaman zaman erimeler görülmüştür. Buna bitki yaprağında diğer elementlerle kıyaslamada daha fazla izlenen Mn ve Fe elementlerinin neden olduğu düşünülmektedir.
- *C. undulata* bitkisi izlenen elementlerden Pb ve Cd' u sadece kökte biriktirmiştir (Şekil 6.32 ve Şekil 6.33).
- ✓ Bu elementlerin bitki kökünde yaşam kalitesine herhangi bir zarar vermediği görülmüştür. Bu süreçte bitki kökünde büyüme gözlemlendiğinden (Çizelge 6.1) *C. undulata'* nın rizostimülasyon sürecini [21] gerçekleştirdiğini düşünmekteyiz.
- ✓ Hiperakümülatör bitkilerin Pb ve Cd elementlerini gövdede diğer organlara göre daha çok biriktirdikleri bilinmektedir [35]. *C. undulata* bitkisi her iki elementi gövdede değil de kökte biriktirdiğinden ve bu elementlerin çok düşük oranda (Pb: %0.0016, Cd: %0.001) alımını gerçekleştirdiğinden bu bitkinin Pb ve Cd elementlerinin hiperakümülasyonu için uygun olmadığı görülmüştür.
- Analizi yapılan bütün elementlerin *C. undulata* kökünde yapraktaki miktardan daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7.1).
- *C. undulata* bitkisinin element alımında seçici olduğu belirlenmiştir. Bitki kendi bünyesinde Mn, Fe ve Ni elementlerini yüksek konsantrasyonda biriktirirken (Şekil 6.34), Cr, Pb ve Cd metalleri diğer elementlere göre daha az tercih etmiştir (Şekil 6.35).
- Bitki kökünde en yüksek konsantrasyonda Fe elementi (Şekil 6.28), en düşük konsantrasyonda Cd elementi (Şekil 6.33) analiz edilmiştir. Bitki yaprağında en yüksek konsantrasyona Fe elementi (Şekil 6.28), en az konsantrasyona Cu elementi (Şekil 6.30) sahip olmuştur.

- Deney sürecinde *C. undulata* bitkisinin element alım hızı izlenen elementler için farklılık göstermiştir. Elementlerin bitki tarafından alım hızı sıralaması Fe (44.57 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Ca (35.1 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Mg (20.4 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Mn (4.08 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Ni (0.6 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Cu (0.41 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Zn (0.3 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Cr (0.04 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Pb (0.0013 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Cd (0.0007 mg/kg kuru ağırlık/hafta) şeklinde olmuştur.
 - Bitkinin, mol ağırlığı 55-60 aralığında olan metalleri (örneğin, Mn:54, Fe:55, Ni:58) daha hızlı bünyesine aldığı görülmüştür.
 - Bitki dokusunda kuru ağırlık olarak %0.1'den fazla ağır metal birikimi yapan bitki hiperakümülatör bitki olarak tanımlanmaktadır [31]. Bu veri Fe ve Mn gibi daha yaygın elementler için %1'den fazla, Cd için %0.01 kabul edilmiştir [36].
 - ✓ Bu araştırmada *C. undulata* bitkisinin Fe (%49.11), Mn (%4.43), Ni (%0,7), Cu (%0.4) ve Zn (%0.36) elementlerini hiperakümüle ettiği belirlenmiştir.
 - ✓ Deney bitkisinin Cr (%0.054), Pb (%0.001) ve Cd (%0.001) elementlerini hiperakümüle edemediği, fakat bu elementlere toleranslı olduğu görülmüştür.
3. *E. amazonicus* bitkisi ile yürüttüğümüz deneyde;
- Bitkinin, izlediğimiz 10 elementin Cd haricinde hepsini doğal ortamdan kendi bünyesine aldığı belirlenmiştir (Şekil 6.50 – Şekil 6.57).
 - Cd elementi haricinde izlenen elementlerin hepsinin kökle alımını gerçekleştiren *E. amazonicus* bitkisi bu elementleri gövde ve yaprağa taşıyabilmiştir (Şekil 6.50 – Şekil 6.57).
 - Cu ve Pb elementlerinin maksimum miktarları *E. amazonicus* bitkisinin kökünde, izlenmiştir. Mg elementinin maksimum miktarı bitki gövdesinde, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni ve Zn elementlerinin maksimum konsantrasyonları ise bitki yaprağında ölçülmüştür (Çizelge 7.1).
 - Cr, Mn, Fe, Ni ve Zn elementlerinin bitki yaprağında yüksek konsantrasyonlarda artışı deney sürecinde *E. amazonicus* yaprağında rastlanan sararmalara neden olduğu düşünülmüştür. Sararmalara rağmen bitki yaprakları deneme sonuna kadar yaşamayı

sürdürmüştür. Bu da *E. amazonicus*' un Cr, Mn, Fe, Ni ve Zn elementlerine toleranslı olduğunu göstermektedir.

- *E. amazonicus* bitkisinin element alımında seçici olduğu belirlenmiştir. Bitki kendi bünyesine yüksek konsantrasyonlarda Mn, Fe ve Ni elementlerini almış (Şekil 6.58), Cr, Cu ve Pb gibi elementleri ise daha az almıştır (Şekil 6.59).
- Bitkinin bütün organlarında (kök, gövde ve yaprak) en yüksek konsantrasyonda Fe elementi (Şekil 6.53), en düşük konsantrasyonda Pb ölçülmüştür (Şekil 6.57).
- Deney sürecinde *E. amazonicus* bitkisinin element alım hızı izlenen elementler için farklılık göstermiştir. Elementlerin bitki tarafından alım hızı sıralaması Ca (24.9 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Fe (21.5 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Mg (4.4 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Mn (1.36 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Ni (0.69 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Cu (0.36 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Cr (0.31 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Zn (0.08 mg/kg kuru ağırlık/hafta) › Pb (0.03 mg/kg kuru ağırlık/hafta) şeklinde olmuştur.
- Bitkinin mol ağırlığı 51-63 aralığında olan elementleri (örneğin, Cr:51, Mn:54, Fe:55, Ni:58, Cu:63) daha hızlı aldığı görülmüştür.
- Deney sonuçlarından *E. amazonicus*'un Fe (%32.37), Mn (%5.9), Cu (%0.76), Ni (%0.66), Cr (%0.45), ve Zn (%0.21) elementlerini hiperakümüle ettiği belirlenmiştir.
- Blaylock ve Huang [37] şimdiye kadar yapılan araştırmalarda Pb elementini kendi bünyesinde biriktiren hiçbir hiperakümülatör bitki tespit edilmediğini ve bu elementin kökten yaprağa taşınmadığını belirtmişler. Buna rağmen deney sürecinde *E. amazonicus* bitkisi Pb elementini yaprağa taşımayı başarmıştır. (Şekil 6.57). Cd gibi Pb elementinin de bitki tarafından hiperakümülyasyon oranının kuru ağırlık olarak %0,01 kabul edildiğini varsayarak *E. amazonicus* bitkisinin Pb elementini (%0.02) hiperakümüle ettiğini söyleyebilir ve sucul sistemlerde Pb iyileştirmede bu bitkinin kullanılmasını önerebiliriz.
- *E. amazonicus* bitkisi;
 - ✓ Mn, Fe ve Ni elementlerini yüksek konsantrasyonlarda gövde ve yaprağa taşıyabildiği için,
 - ✓ Bu elementlere toleranslı olup yaşamını sürdürdüğü için,

- ✓ Her üç elementi de yüksek hızla (Mn: 1.36 mg/kg kuru ağırlık/hafta, Fe: 21.5 mg/kg kuru ağırlık/hafta, Ni: 0.69 mg/kg kuru ağırlık/hafta) kendi bünyesinde biriktirdiği için bu bitkinin Mn, Fe ve Ni elementlerinin hiperakümülatör bitkisi olduğu düşünülmektedir [31].
- 4. *C. undulata* ve *E. amazonicus* bitkilerinin bünyelerinde yapılan elemental analizlerden elde edilen kısmi element oranlarında;
 - Bitkilerin elementler arası alım tercihlerine bakıldığında:
 - ✓ Deney süresince her iki bitki en çok Mn, Fe ve Ni elementlerini tercih etmiş (Şekil 6.34, Şekil 6.58), bu elementlerin alımı diğer elementlerden daha hızlı gerçekleşmiştir.
 - ✓ Hem *C. undulata* hem de *E. amazonicus* Mg, Zn ve Pb elementlerini kendi bünyelerine almayı tercih etmemiş (Şekil 6.34, Şekil 6.35, Şekil 6.58 ve Şekil 6.59), bu nedenle bu üç elementin alım hızı düşük olmuştur.
 - ✓ Analizler sonucunda Ca elementini *C. undulata* bitkisinin tercih etmediği (Şekil 6.34), *E. amazonicus* bitkisinin ise bu elementi daha fazla tercih ettiği görülmüştür (Şekil 6.58).
 - ✓ *C. undulata* bünyesinde Cu metalinin kısmi oranı deney boyunca sabit kalmış (Şekil 6.38), *E. amazonicus* bitkisi tarafından ise tercih edilmemiştir (Şekil 6.62).
 - ✓ Cd iz elementi *E. amazonicus* bünyesinde bulunamamıştır. *C. undulata* bünyesinde Cd elementi Cr, Zn ve Pb elementlerine göre daha fazla tercih edilmiş (Şekil 6.35), bu elementin kısmi oranı ise deney süresince sabit kalmıştır (Şekil 6.38).
 - Elementlerin bitki organlarındaki kısmi birikim oranlarına bakıldığında:
 - ✓ Mg elementi *C. undulata* organlarında (kök ve yaprak) aynı kısmi oranda bulunmuş (Şekil 6.38), *E. amazonicus* bitkisinde ise gövdede daha fazla biriktiği görülmüştür (Şekil 6.62).
 - ✓ Ca elementinin kısmi oranı *C. undulata* yaprağında daha fazla izlenmiş (Şekil 6.38), *E. amazonicus* bitkisinin her üç organında (kök, gövde ve yaprak) aynı seviyede görülmüştür (Şekil 6.62).

- ✓ Fe' in kısmi oranı *C. undulata* kökünde ve *E. amazonicus* yaprağında daha çok olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.38 ve Şekil 6.62).
 - ✓ Cr elementi her iki deney bitkisinin kök ve yaprağında aynı oranlarda izlenmiştir (Şekil 6.38 ve Şekil 6.62). Bu element *E. amazonicus* gövdesinde bitkinin diğer organlarından daha az oranda tespit edilmiştir.
 - ✓ Mn elementi *C. undulata* kökünde (Şekil 6.38) en fazla orana sahipken *E. amazonicus* kökünde en düşük oranda belirlenmiştir. Bu element *E. amazonicus* gövde ve yaprağında daha fazla ve aynı oranlarda görülmüştür (Şekil 6.62).
 - ✓ Her iki deney bitkisinde de Ni' in kısmi oranı yaprakta daha fazla bulunmuştur (Şekil 6.38 ve Şekil 6.62).
 - ✓ Zn elementi de Ni gibi iki bitkide de yapraklarda daha yüksek oranda birikmiştir (Şekil 6.38 ve Şekil 6.62). Aynı zamanda *E. amazonicus* kökündeki Zn oranı yapraktaki oranla aynı bulunmuştur.
 - ✓ Cu ve Pb elementleri hem *C. undulata* hem de *E. amazonicus* bitkisinin köklerinde daha yüksek oranda belirlenmiştir (Şekil 6.38 ve Şekil 6.62).
 - ✓ Cd elementi *E. amazonicus* bünyesinde bulunamazken *C. undulata* bünyesinde sadece kökte analiz edilmiştir (Şekil 6.38).
5. Deney boyunca Ca elementinin sediment yapıdaki miktarında azalma Fe elementinin sedimentten s.a. b.s.' na geçmesini tetiklemiş [52], böylece deney bitkileri tarafından bu elementin alımı daha kolay ve hızlı olmuştur.
6. Denemenin ilk aşamasında *C. undulata'* nın yaşayamamasının sebebi bitkinin ortama uyum sağlamaması olmuştur. Bu süreçte bitki kökleri ile ortamdan besin maddelerini alamamış, kendi bünyesindeki besin deposu bitene kadar(3-4 gün) yaşayabilmiştir.

Çizelge 7.1 Çalışmada izlenen elementlerin maksimum konsantrasyonlarının bitki organlarına göre dağılımı

		Mg	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd
<i>C.undulata</i>	kök	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	yaprak										
<i>E.amazonicus</i>	kök							x		x	
	gövde	x									
	yaprak		x	x	x	x	x		x		

Bu araştırmanın sonucunda:

- Bu çalışmada dört haftalık periyotlarla element alım kapasitelerini izlediğimiz bitkilerin doğal ortamda daha uzun aşamalarda tutularak daha uzun periyotlar için metal alım karakterizasyonlarının çıkarılması,
- Laboratuvar ortamında *C. undulata* ve *E. amazonicus* bitkilerinin elementleri kendi bünyelerine alım süreçlerinin her element için izlenmesi ve bitkilerin ölümüne hangi elementin hangi kısmi dozlarda neden olacağının belirlenmesi,
- Denemelerin yılın farklı mevsimlerinde yürütülerek bitkilerin hangi mevsimlerde daha verimli element alımı yapabildiğinin belirlenmesi,
- Çalışma sürecinde dikim ve kontrol sırasında bitki organlarında hasarın minimuma indirgenmesi için daha pratik dikim ve kontrol yollarının uygulanması,
- Bitkilerin doğal ortamda dikilmeden önce 1-2 hafta adaptasyon sürecinden geçirilmesi ve bu süreçte bitki bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimlerin izlenmesi,
- Doğal ortamdan hasat edilen bitkilerdeki ağır metallerin bertaraf yolları ve geri kazanımının araştırılması,

- Sazlıdere’ de yaşayabilecek ve papülasyonu kontrol edilebilecek farklı makrofitlerin ağır metal alımlarını belirleyecek çalışmalar yapılması,
 - Bitkilerin sucul sistemde kirlilik taşınımını önlemesinin doğal ortama etkisinin belirlenmesi,
 - *C. undulata* bitkisinin Pb ve Cd elementlerinin rizostimülasyonu için kullanılabilirliğinin araştırılması,
- önerilmektedir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Bonanno, G. ve Giudice, R. L. O., (2010). "Heavy Metal Bioaccumulation by the Organs of *Phragmites australis* (Common Reed) and Their Potential Use as Contamination Indicators". *Ecological Indicators*, 10: 639–645.
 - [2] Chabukdhara, M. ve Nema, A., (2012). "Heavy Metals in Water, Sediments, and Aquatic Macrophytes: River Hindon, India." *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 16(3): 273–281.
 - [3] Vicente-Martorell, J. J., Galindo-Riano, M. D., Garcia-Vargas, M. ve Granado-Castro, M. D., (2009). "Bioavailability of Heavy Metals Monitoring Water, Sediments and Fish Species from a Polluted Estuary", *Journal of Hazardous Material*, 162: 823-836.
 - [4] Barcelo, J. ve Poschenrieder, C., (2003). "Phytoremediation: Principles and Perspectives", *Contributions to Science*, 2 (3): 333-344.
 - [5] Lasat, M.M., (2000). "Phytoextraction of Metals from Contaminated Soil: A Review of Plant/Soil/Metal Interaction and Assessment of Pertinent Agronomic Issues", *Journal of Hazardous Substance Research*, 2: 5-25.
 - [6] Nascimento, C.W.A. ve Xing, B., (2006). "Phytoextraction: A Review on Enhanced Metal Availability and Plant Accumulation", *Scientia Agricola*, 63: 299-311.
 - [7] Singh, D., Tiwari, A. ve Gupta, R., (2012). "Phytoremediation of Lead from Wastewater Using Aquatic Plants", *Journal of Agricultural Technology*, 8 (1): 1-11.
 - [8] Rai, P.K., (2009). "Heavy Metal Phytoremediation from Aquatic Ecosystems with Special Reference to Macrophytes", *Environmental Science and Technology*, 39: 697-753.
 - [9] Ismail, S., (2012). "Phytoremediation: A Green Technology", *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3 (1): 567 - 576.
 - [10] Pilon-Smits, E. ve Freeman J.L., (2006). "Environmental Cleanup Using Plants: Biotechnological Advances and Ecological Considerations", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4 (4): 203–210.

- [11] Glick, B.R., (2010). "Using Soil Bacteria to Facilitate Phytoremediation", *Biotechnology Advances*, 28: 367–374.
- [12] Velazquez-Fernandez, J.B., Martinez-Rizo, A.B., Ramirez-Sandoval, M., ve Dominguez-Ojeda, D., (2012), *Biodegradation and Bioremediation of Organic Pesticides*, <http://www.intechopen.com/books/pesticides-recent-trends-in-pesticide-residue-assay>, 10 Ocak 2014.
- [13] Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriansen, K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E., Nehnevajova, E., Lelie, D. ve Mench, M., (2009). "Phytoremediation of Contaminated Soils and Groundwater: Lessons from the Field", *Environmental Science and Pollution Research*, 16 (7): 765-94
- [14] Campos, V. M., Merino, I., Casado, R., Pacios, L. F. ve Gomez L., (2008). "Review. Phytoremediation of Organic Pollutants", *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6: 38-47.
- [15] Nazir, A., Malik, R.N., Ajaib, M., Khan N. ve Siddiqui, M.F., (2011). "Hyperaccumulators of Heavy Metals of Industrial Areas of Islamabad and Rawalpindi", *Pakistan Journal Of Botany*, 43 (4): 1925-1933.
- [16] Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC), (2009). *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees*, Revised.
- [17] Sarma, H., (2011). "Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology". *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2): 118-138.
- [18] Rajakaruna, N., Tompkins, K.M. ve Pavicevic, P.G., (2006). "Phytoremediation: An Affordable Green Technology for the Clean-Up of Metal-Contaminated Sites in Sri Lanka", *Ceylon Journal of Science*, 35 (1): 25-39.
- [19] Hooda, V., (2007). "Phytoremediation of Toxic Metals from Soil and Waste Water", *Journal of Environmental Biology*, 28 (2): 367-376.
- [20] The Institute for Green Energy and Clean Environment, *Rhizofiltration*, <http://www.igece.org/WRKY/BrachyWRKY/WRKY/Rhizofiltration.html>, 13 Ocak 2014.
- [21] Scragg, A.H., (2005). *Environmental Biotechnology*, Second Edition, Oxford University Press, Oxford.
- [22] Pulford, I.D. ve Watson, C., (2003). "Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Land by Trees—A Review", *Environment International*, 29: 529–540.
- [23] Yaapar, M.N., Masri, İ.N.B., Baharom, N.B., Shyi, Y.J. ve Ali, H.B.M., (2008), *Phytoremediation*, <http://www.biology-online.org/articles/phytoremediation-a-lecture/phytostabilization.html>, 13 Ocak 2014.
- [24] Mahmood, T., (2010). "Phytoextraction of Heavy Metals – The Process and Scope for Remediation of Contaminated Soils", *Soil and Environment*, (2): 91-109.

- [25] Vidali, M., (2001). "Bioremediation", XVIII ICCA, 30 July–4 August 2001, Dakar.
- [26] Alford, E.R., (2008), Phytoremediation in the Rhizosphere, <http://rydberg.biology.colostate.edu/Phytoremediation/2008%20websites/Alford%20Phytostimulation%20Webpage/phytostimulation.htm>, 13 Ocak 2014.
- [27] E-Current Affairs, GS Paper III - Environmental Science - Phytovolatilization, <http://ecurrentaffairs.in/blog/gs-paper-iii-s-t-environmental-science-phytovolatilization/>, 13 Ocak 2014.
- [28] Alford, E.R, Pilon-Smits, E. ve Paschke, M.W., (2010). "Metallophytes—a View from the Rhizosphere", Plant Soil, 337: 33–50.
- [29] Lasat, M.M., The Use of Plants for the Removal of Toxic Metals from Contaminated Soil, <http://clu-in.org/download/remed/lasat.pdf>, 25 Ocak 2014.
- [30] Shah, K. ve Nongkynrih J. M., (2007). "Metal Hyperaccumulation and Bioremediation", Biologia Plantarum, 51 (4): 618-634.
- [31] Chaney, R. L., Minnie, M., Li, Y.M., Brown, S.L., Brewer, E.P., Angle, J.C. ve Baker, A.J.M., (1997). "Phytoremediation of Soil Metals", Current Opinion in Biotechnology, 8: 279–284.
- [32] Vamerali, T., Bandiera, M, ve Mosca, G., (2010). "Field Crops for Phytoremediation of Metal-Contaminated Land. A Review", Environmental Chemistry Letters, 8: 1–17.
- [33] Mudgal, V., Madaan, N. ve Mudgal, A., (2010). "Heavy Metals in Plants: Phytoremediation: Plants Used to Remediate Heavy Metal Pollution", Agriculture and Biology Journal of North America, 1 (1): 40-46.
- [34] Malik, R.N., Husain, S.Z. ve Nazir, I., (2010). "Heavy Metal Contamination and Accumulation in Soil and Wild Plant Species from Industrial Area of Islamabad, Pakistan", Pakistan Journal of Botany, 42 (1): 291-301.
- [35] Vahdati Raad L. ve Khara, H., (2012). "Heavy Metals Phytoremediation by Aquatic Plants (*Hydrocotyle ranocloides*, *Ceratophyllum demersum*) of Anzali Lagoon", Journal of Marine Science and Engineering, 2 (4): 249-254.
- [36] Dickinson, N.M., Baker, A.J.M., Doronila, A., Laidlaw, S. ve Reeves, R.D., (2009). "Phytoremediation of Inorganics: Realism and Synergies", International Journal of Phytoremediation, 11: 97–114.
- [37] Raskin, I. ve Ensley, B.D., (1999). Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment, First Edition, John Wiley and Sons, New York; Derleyen: Ghosh, M. ve Singh, S.P., (2005), "A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of It's by Products", Asian Journal on Energy and Environment, 6 (04): 214-231.
- [38] Jankaite, A. ve Vasarevicius, S., (2005). "Remediation Technologies for Soil Contaminated üith Heavy Metals", Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 12 (2): 109a-113a.

- [39] Weis, J.S. ve Weis, P., (2003). "Metal Uptake, Transport and Release by Wetland Plants: Implications for Phytoremediation and Restoration", *Environment International*, 30: 685– 700.
- [40] Rascio, N. ve Navari-Izzo, F., (2011). "Heavy Metal Hyperaccumulating Plants: How and Why Do They Do It? And What Makes Them So Interesting? ", *Plant Science* 180: 169–181.
- [41] Glick, B.R., (2010). "Using Soil Bacteria to Facilitate Phytoremediation", *Biotechnology Advances*, 28: 367–374.
- [42] Akpor, O.B. ve Muchie, M., (2010). "Remediation of Heavy Metals in Drinking Water and Wastewater Treatment Systems: Processes and Applications", *International Journal of the Physical Sciences*, 5 (12): 1807-1817.
- [43] Rai, P.K., (2008). "Heavy Metal Pollution in Aquatic Ecosystems and Its Phytoremediation Using Wetland Plants: An Ecosustainable Approach", *International Journal of Phytoremediation*, 10: 133–160.
- [44] Sekabira, K., Origa, H.O., Basamba, T.A., Mutumba, G. ve Kakudidi, E., (2010), "Assessment of Heavy Metal Pollution in the Urban Stream Sediments and Its Tributaries", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (3): 435-446.
- [45] Ogoyi, D.O., Mwita, C.J., Nguu, E.K. ve Shiundu, P.M., (2011). "Determination of Heavy Metal Content in Water, Sediment and Microalgae from Lake Victoria, East Africa", *The Open Environmental Engineering Journal*, 4: 156-161.
- [46] Taghinia Hejabi, A., Basavarajappa, H.T. ve Qaid Saeed, A. M., (2010). "Heavy Metal Pollution in Kabini River Sediments", *International Journal of Environmental Research*, 4 (4): 629-636.
- [47] Al-Momani, İ. F., (2009). "Assessment of Trace Metal Distribution and Contamination in Surface Soils of Amman, Jordan", *Jordan Journal of Chemistry*, 4 (1): 77-87.
- [48] Singh, R., Gautam, N., Mishra, A. ve Gupta, R., (2011). "Heavy Metals and Living Systems: An Overview", *Indian Journal of Pharmacology*, 43 (3): 246–253.
- [49] Begum, A., HariKrishna, S. ve Khan, I., (2009). "Analysis of Heavy Metals in Water, Sediments and Fish Samples of Madivala Lakes of Bangalore, Karnataka", *International Journal of ChemTech Research*, 1 (2): 245-249.
- [50] Milenkovic, N., Damjanovic, M. ve Ristic, M., (2005), "Study of Heavy Metal Pollution in Sediments from the Iron Gate (Danube River), Serbia and Montenegro", *Polish Journal of Environmental Studies*, 14 (6): 781-787.
- [51] Wickramasinghe, D., (2012). "Impacts of Heavy Metal Pollution on Wetlands ", 32nd Annual Sessions of the Institute of Biology, 28 September 2012, Colombo, 23-31.
- [52] Saeed, S.M. ve Shaker, I.M., (2008). "Assessment of Heavy Metals Pollution in Water and Sediments and Their Effect on *Oreochromis Niloticus* in The Northern Delta

Lakes, Egypt”, 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 12-14 October 2008, Cairo.

- [53] Hasan, Z., Anwar, Z., Khattak, K.U., Islam, M., Khan, R.U. ve Khattak, J.Z.K., (2012). “Civil Pollution and Its Effect on Water Quality of River Toi at District Kohat, NWFP”, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4(3): 334-339.
- [54] Louhi, A., Hammadi, A. ve Achouri, M., (2012). “Determination of Some Heavy Metal Pollutants in Sediments of the Seybouse River in Annaba, Algeria”, *Air, Soil and Water Research*, 5: 91–101.
- [55] Zamani, A.A., Yaftian, M.R. ve Parizanganeh, A., (2012). “Multivariate Statistical Assessment of Heavy Metal Pollution Sources of Groundwater Around a Lead and Zinc Plant”, *Iranian Journal of Environmental Health Sciences and Engineering*, 9:29.
- [56] EPA 822-S-12-001, (2012). *Drinking Water Standards and Health Advisories*, Office of Water U.S. Environmental Protection Agency, First Edition, Washington, DC.
- [57] 98/83/EC, (1998). *Quality of Water Intended for Human Consumption*, The Council of The European Union, Brussels.
- [58] WHO, (1998). *Guidelines for Drinking-Water Quality*, World Health Organization, Second Edition, Geneva.
- [59] Lenntech: Water Treatment and Purification, Calcium (Ca) and Water, <http://www.lenntech.com/periodic/water/calcium/calcium-and-water.htm>, 26 Ocak 2014.
- [60] Government of Nova Scotia, Canada, Calcium and Magnesium, http://www.novascotia.ca/nse/water/docs/droponwaterFAQ_CalciumMagnesium.pdf, 19 Ocak 2014.
- [61] World Health Organization (WHO), (2009). *Calcium and Magnesium in Drinking-Water: Public Health Significance*, Spain.
- [62] Lenntech: Water Treatment and Purification, Magnesium-Mg, <http://www.lenntech.com/periodic/elements/mg.htm>, 26 Ocak 2014.
- [63] Yang, C.Y., (1998). “Calcium and Magnesium in Drinking Water and Risk of Death from Cerebrovascular Disease”, *Stroke*, 29: 411-414.
- [64] Martin, S. ve Griswold, W., (2009). *Human Health Effects of Heavy Metals*, <https://www.engg.ksu.edu/CHSR/outreach/resources/docs/15HumanHealthEffectsofHeavyMetals.pdf>, 17 Ocak 2014.
- [65] MiningWatch Canada, *Potential Toxic Effects of Chromium, Chromite Mining and Ferrochrome Production: A Literature Review*, <http://www.miningwatch.ca/sites/www.miningwatch.ca/files/Chromite%20Review.pdf>, 17 Ocak 2014.

- [66] Santamaria, A.B., (2008). "Manganese Exposure, Essentiality and Toxicity", Indian Journal of Medical Research, 128: 484-500.
- [67] Caruso, B.S., Mirtskhulava, M., Wireman, M., Schroeder, W., Kornilovich, B. ve Griffin, S., (2012). "Effects of Manganese Mining on Water Quality in the Caucasus Mountains, Republic of Georgia", Mine Water and the Environment, 31 (1): 16-28.
- [68] United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Manganese TEACH Chemical Summary, http://www.epa.gov/teach/chem_summ/manganese_summary.pdf, 17 Ocak 2014.
- [69] Government of Nova Scotia, Canada, Iron and Manganese, http://www.novascotia.ca/nse/water/docs/droponwaterFAQ_IronManganese.pdf, 19 Ocak 2014.
- [70] City of Olympia, Iron in Drinking Water, <http://olympiawa.gov/city-utilities/drinking-water/water-quality/~media/Files/PublicWorks/Water-Resources/Iron.ashx>, 17 Ocak 2014.
- [71] Grazuleviciene, R., Nadisauskiene, R., Buinauskiene, J. ve Grazulevicius, T., (2009). "Effects of Elevated Levels of Manganese and Iron in Drinking Water on Birth Outcomes", Polish Journal of Environmental Studies, 18 (5): 819-825.
- [72] Das, K.K., Das, S.N. ve Dhundasi, S.A., (2008). "Nickel, Its Adverse Health Effects & Oxidative Stress", Indian Journal of Medical Research, 128: 412-425.
- [73] Cempel, M. ve Nikel, G., (2006). "Nickel: A Review of Its Sources and Environmental Toxicology", Polish Journal of Environmental Studies, 15 (3): 375-382.
- [74] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), (2005). Public Health Statement for Nickel, Atlanta.
- [75] United States Department of Health and Human Services (HHS), (2004). Toxicological Profile for Copper, Atlanta.
- [76] World Health Organization (WHO), (2003). Copper in Drinking-water. Background Document for Preparation of World Health Organization Guidelines for Drinking-Water Quality, Geneva.
- [77] Minnesota Department of Health, Copper in Drinking Water: Health Effects and How to Reduce Exposure, <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/water/factsheet/com/copper.pdf>, 19 Ocak 2014.
- [78] Department of Health, Western Australia, Copper in Drinking Water, <http://www.public.health.wa.gov.au/cproot/2409/2/Copper%20in%20Drinking%20Water.pdf>, 17 Ocak 2014.
- [79] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), (2005). Public Health Statement: Zinc, Atlanta.

- [80] Nriagu, J.O., (2010). "Zinc Toxicity in Humans", Encyclopedia of Environmental Health, 5: 801-807.
- [81] Florea, A. ve Büsselberg, D., (2006). "Occurrence, Use and Potential Toxic Effects of Metals and Metal Compounds", BioMetals, 19: 419–427.
- [82] Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Singh, R.B. ve Mishra, S., (2010). "Effect of Toxic Metals on Human Health", The Open Nutraceuticals Journal, 3: 94-99.
- [83] Şenduran, C., (2007). Küçükçekmece Lagününde Limnolojik Özellikler ve Sediment Taşınımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [84] Başer, K., (2006). Sazlıdere'nin Azot ve Fosfor Kirliliğinin İncelenmesi ve Etkisinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [85] Küçükçekmece Belediye Başkanlığı, (2006). Küçükçekmece'de Büyük Dönüşüm, Yayın no: 1, İstanbul.
- [86] Okumuş, E., (2007). Küçükçekmece Gölü Sedimentinde Ağır Metal (Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+}) Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [87] Demirel, S., (2009). Doğal Ortamdaki Fizikokimyasal Şartların Ağır Metal Biyosorpsiyonuna Etkisi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [88] Google Maps, Küçükçekmece Gölü, <https://maps.google.com/>, 1 Nisan 2014.
- [89] Üstün, B., Ağcioğlu, B., Akyapı, A., Ziylan, A. ve Oktar, A., (2004). "Küçükçekmece Lagünü Bölgesindeki İSKİ'nin Çalışmaları", Küçükçekmece Lagünü ve Havzası İçin Çevre Yönetim Biriminin Oluşturulması Süreci ve Bölgeye Katkıları Çalıştay, 20-22 Ekim 2004, İstanbul.
- [90] Yıldız, E., (2009). Küçükçekmece Gölü Sediment Matriksindeki Ağır Metal Fraksiyonlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [91] Üstün, B., Kadirgan, N., Oraltay, G., Erdiñler, A., Aslım, B. ve Peker, İ., (2009). "Doğal Ortamda Ağır Metal İzlemesi: Uygulama Alanı- Küçükçekmece Gölü ve Havzası", 105Y116 no'lu TÜBİTAK Proje Sonuç Raporu, İstanbul.
- [92] Gökağaçlı, N.G., (2007). Microcystis Sp. ile Demir, Bakır ve Çinko Metallerinin Giderimi, Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [93] Jacobsen, N., (1981). "Cryptocoryne Undulata Wendt und Bemerkungen Zu Anderen Arten-ein Nachtrag", Aqua Planta, 4(81): 92-94.
- [94] Wikipedia, Cryptocoryne Undulata, http://en.wikipedia.org/wiki/Cryptocoryne_undulata, 12 Mayıs 2013.
- [95] Walstad, D.L., (2003). Ecology of the Planted Aquarium: A Practical Manual and Scientific Treatise For the Home Aquarist, Second Edition, Echinodorus Publishing, Miami.

- [96] Plant Finder, Cryptocoryne Undulata,
<http://www.aquaticplantcentral.com/forumapc/plantfinder/details.php?id=54>, 12
Mayis 2013.
- [97] Aquatic Community, Echinodorus Amazonicus,
<http://www.aquaticcommunity.com/plants/amazonicus.php>, 26 Ağustos 2013.
- [98] Exotema, Echinodorus Amazonicus, [http://exotema.ru/encikl/exinodorus-
amazonskij-echinodorus-amazonicus/](http://exotema.ru/encikl/exinodorus-amazonskij-echinodorus-amazonicus/), 26 Ağustos 2013.
- [99] Zoo Portal Ekzotika, Echinodorus Amazonicus or Brevipedicellatus,
<http://www.ekzotika.com/plant84>, 8 Ağustos 2013.
- [100] Chirling, M.B., (1991). Akvarium Vodnie Rasteniya, Rukovodstvo dlya Lyubitelya,
Pervoe izdanie, Gidrometeoizdat, Sankt-Peterburg.
- [101] Lindstrom-Peters, T., (2004). Peters, Echinodorus Amazonicus and Echinodorus
Bleheri, Second Edition, Fins and Friends, R.A.S. Fins and Friends, Regina.
- [102] The Aquarium Wiki, Amazon Sword Melt,
[http://www.theaquariumwiki.com/Amazon Sword Melt](http://www.theaquariumwiki.com/Amazon_Sword_Melt), , 8 Ağustos 2013.

**2012 YILINDA İSTANBUL'DA ÖLÇÜLMÜŞ ORTALAMA SICAKLIK VE YAĞIŞ
DEĞERLERİ**

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Sıcaklık (°C)	6.5	6.5	8.3	12.7	17.6	22.2	24.5	24.2	20.9	16.4	12.2	8.6
Yağış (kg/m ²)	83.4	69	61.5	53.8	30.3	24.6	21.7	23.6	38.3	68.2	80.1	101.5

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Günel ALİYEVA
Doğum Tarihi ve Yeri :01.09.1985 Azerbaycan
Yabancı Dili :İngilizce, Rusça
E-posta :aliyeva.gunel.m@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Coğrafya ve Ekoloji	Bakü Devlet Üniversitesi	2006
Lise	Doğa bilimleri	19 No'lu Devlet Okulu	2002

YAYINLARI

Proje

- Fitoremediasyon Yöntemi (Bitki) ile Sucul Sistemlerin İyileştirilmesi (2012-05-02-YL01 numaralı YÜLAP projesi)