

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SUCUL ORTAMLARDA DOĞAL GİDERİM
YÖNTEMLERİ İLE METALLERDEKİ DEĞİŞİKLİĞİN
ARAŞTIRILMASI**

Biyolog Zehra ŞAPÇI ZENGİN

FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 17 Eylül 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. E. Beyza ÜSTÜN (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ayşen ERDİNÇLER (BÜ)

: Prof. Dr. BAHAR İNCE (BÜ)

: Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ (YTÜ)

: Yrd. Doç. Dr. Süleyman ŞAKAR (YTÜ)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
İLİŞKİ LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 İz Elementler	4
2.1.1 Metalik İz Elementler (Ağır Metaller).....	5
2.1.1.1 Araştırmada İncelenen Metalik İz Elementler	6
2.1.1.1.1 Demir (Fe).....	6
2.1.1.1.2 Bakır (Cu)	8
2.1.1.1.3 Çinko (Zn).....	10
2.1.1.1.4 Mangan (Mn)	12
2.1.1.1.5 Krom (Cr).....	13
2.1.1.1.6 Nikel (Ni)	14
2.1.1.2 Araştırmada İncelenen Metal Olmayan İz Elementler	16
2.1.1.2.1 Magnezyum (Mg)	16
2.1.1.2.2 Kalsiyum (Ca)	17
2.1.2 Metalik İz Elementlerin Sağlığa Etkileri	18
2.2 Bitki ile Giderim (Fitoremediasyon)	22
2.2.1 Temel Bitki Fizyolojisi	23
2.2.2 Fitoremediasyon mekanizmaları	26
2.2.2.1 Fitostabilizasyon (Phytostabilization)	28
2.2.2.2 Fitoakümülyasyon (Phytoaccumulation veya Phytoextraction)	29
2.2.2.3 Fitodegradasyon (Phytodegradation).....	31
2.2.2.4 Fitovolatilizasyon (Phytovolatilisation).....	33
2.2.2.5 Rizodegradasyon (Rhizodegradation)	34
2.2.2.6 Evapotranspirasyon	35
2.2.3 Fitoremediasyon Tekniğinin Diğer Arıtma Yöntemleri ile Kıyaslanması	35
2.3 Küçükçekmece Gölü ve Havzası.....	37
2.3.1 Genel Bilgi	37
2.3.2 Nüfus Gelişimi	42
2.3.3 Fiziki Yapı.....	43
2.3.3.1 Topoğrafik ve Morfolojik Yapı.....	43
2.3.3.2 İklim Şartları	44
2.3.3.3 Su ve Sediment Kalitesi	47

3.	MATERYAL VE METOT	49
3.1	Deneyisel Çalışmada Kullanılacak Bitkilerin Seçimi ve Deneye Hazırlanması.....	49
3.1.1	Seçilen Bitkilerin Özellikleri.....	50
3.1.1.1	<i>Echinodorus amazonicus</i>	50
3.1.1.2	<i>Crinum thaianum</i>	51
3.1.1.3	<i>Anubia congensis</i>	52
3.1.1.4	<i>Cryptocoryne undulata</i>	53
3.1.1.5	<i>Myriophyllum verticillatum</i> Linnaeus	54
3.1.2	Bitkilerin Laboratuvar Ortamında Adaptasyonu.....	55
3.2	Denemeler için Sediment Numunelerinin Doğal Ortamdan Alınması ve Deneye Hazırlanması	56
3.2.1	Sediment Numunelerinin Alınması	56
3.2.2	Sediment Numunelerinin Element Özelliklerinin Belirlenmesi	57
3.3	Sentetik Besleme Suyunun Hazırlanması	60
3.4	Deney Düzeneklerinin Hazırlanması.....	62
3.4.1	Reaktörlerin Hazırlanması	62
3.4.2	Işık Düzeneklerinin Hazırlanması	65
3.4.3	Bitkilerin Uzunluk Ölçümü ve Reaktöre Yerleştirilmesi	65
3.5	Numunelerin Alımı ve Analizi.....	65
3.5.1	Numunelerin Alımı.....	65
3.5.1.1	Su, Sediment Arası Boşluk suyu ve Sediment Numunelerinin Alımı.....	66
3.5.1.2	Bitki Örneklerinin Alımı ve Hazırlanması.....	66
3.5.2	Analiz Yöntemi	66
3.5.2.1	Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Numunelerinin Analizi.....	66
3.5.2.2	Bitki Numunelerinin Analizi.....	68
4.	DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	70
4.1	<i>Echinodorus amazonicus</i> ile Yapılan Deneme	74
4.1.1	Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler.....	74
4.1.2	Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapıda Metal Değişimleri.....	77
4.1.3	Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler	89
4.1.3.1	Bitki Tarafından Alınan Elementler	90
4.1.3.2	Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler	94
4.1.3.3	Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkideki Elementler	94
4.1.4	Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri	95
4.2	<i>Crinum thaianum</i> ile Yapılan Deneme	98
4.2.1	Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler.....	98
4.2.2	Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapıda Metal Değişimleri.....	101
4.2.3	Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler	114
4.2.3.1	Bitki Tarafından Alınan Elementler	114
4.2.3.2	Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler	117
4.2.3.3	Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkideki Elementler	118
4.2.4	Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri	118
4.3	<i>Anubia congensis</i> ile Yapılan Deneme	120
4.3.1	Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler.....	120
4.3.2	Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapı Metal Değişimleri.....	124
4.3.3	Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler	136

4.3.3.1	Bitki Tarafından Alınan Elementler	136
4.3.3.2	Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler	139
4.3.3.3	Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkideki Elementler	139
4.3.4	Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri	139
4.4	<i>Cryptocoryne undulata</i> ile Yapılan Deneme	142
4.4.1	Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler.....	142
4.4.2	Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sedimentteki Metal Değişimleri.....	145
4.4.3	Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler	158
4.4.3.1	Bitki Tarafından Alınan Elementler	158
4.4.3.2	Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler	161
4.4.3.3	Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkinin Analiz Sonuçları	162
4.4.4	Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri	163
4.5	<i>Cryptocoryne undulata</i> ile Yapılan İkinci Deneme.....	167
4.5.1	Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler.....	168
4.5.2	Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapıda Metal Değişimleri.....	171
4.5.3	Deneme Sonrası Sediment Yapının “ <i>Scanning Elektron Mikroskop</i> ” İncelemesi	184
4.5.4	Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler	187
4.5.4.1	Bitki Tarafından Alınan Elementler	187
4.5.4.2	Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yaprakların Analizi.....	204
4.5.4.3	Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkinin Analiz Sonuçları	204
4.5.5	Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri	204
4.6	<i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile Yapılan Deneme.....	207
4.6.1	Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler.....	207
4.6.2	Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapı Metal Değişimleri.....	211
4.6.3	Deneme Sonrası Sediment Yapının “ <i>Scanning Elektron Mikroskop</i> ” İncelemesi	223
4.6.4	Deneme Sürecinde Bitkideki Metal Değişimleri	225
4.6.4.1	Bitki Tarafından Alınan Elementler	225
4.6.4.2	Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler	235
4.6.4.3	Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkinin Analiz Sonuçları	235
4.6.5	Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri	235

5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	237
----	----------------------------	-----

KAYNAKLAR.....	241
----------------	-----

EKLER.....	250
------------	-----

Ek 1	Sazlıdere’nin Küçükçekmece Gölü’ne döküldüğü bölgeye ait fizikokimyasal parametrelerin Kasım-2005/Mart-2008 tarihleri arasındaki ortalama ve en düşük-en yüksek değerleri (Üstün ve ark., 2008)	250
Ek 2	Bazı bentik bitkilerin yaşadığı habitat, sıcaklık, pH ve ışık ihtiyaçları	251
Ek 3	Sazlıdere’nin Küçükçekmece Gölü’ne döküldüğü bölgeye ait ağır metal ve element değerleri (Üstün ve ark., 2008).....	253
Ek 4	<i>Echinodorus amazonicus</i> , <i>Crinum thaianum</i> , <i>Anubia congensis</i> , <i>Cryptocoryne undulata</i> ve <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemelerdeki her bir	

	reaktörün giriş ve çıkış sularındaki kimyasal parametrelerin ortalama, standart sapma ve ortanca değerleri.....	254
Ek 5	<i>E. amazonicus</i> ile yapılan denemedeki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri.....	255
Ek 8	<i>C.undulata</i> ile yapılan denemedeki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri (758.5 saatlik deneme).....	258
Ek 9	<i>C.undulata</i> ile yapılan denemedeki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri (1057 saatlik deneme).....	259
Ek 10	<i>M. verticillatum</i> ile yapılan denemedeki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri.....	260
Ek 11	“Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” <i>Echinodorus amazonicus</i> , <i>Crinum thaianum</i> , <i>Anubia congensis</i> , <i>Cryptocoryne undulata</i> ve <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. organlarındaki element değişimleri.....	261
Ek 12	“Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” <i>Echinodorus amazonicus</i> , <i>Crinum thaianum</i> , <i>Anubia congensis</i> , <i>Cryptocoryne undulata</i> ve <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.’deki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimleri.....	263
Ek 13	<i>Echinodorus amazonicus</i> , <i>Crinum thaianum</i> , <i>Anubia congensis</i> , <i>Cryptocoryne undulata</i> ve <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan çalışmalarda bitki bünyelerindeki toplam element miktarlarındaki değişim	264
	ÖZGEÇMİŞ.....	265

KISALTMA LİSTESİ

ÇO ₂	Çözünmüş Oksijen
EDS	Element Yoğunluğu Dağılımı
EPS	Hücre Dışı Polimerik Substrat (Extracellular Polymeric Substances)
GB	Güney Batı
GGB	Güney Güney Batı
K	Kirletici Madde (C: Contaminant)
KKF	Kök Konsantrasyon Faktörü (RCF: Root Concentration Factor)
KKB	Kuzey Kuzey Batı
KD	Kuzey Doğu
KKD	Kuzey Kuzey Doğu
M	Molarite (mol/L)
m	Molalite (mol/kg)
SEM	Elektron Mikroskopu (Scanning Electron Microskop)
TA	Toplam Ağırlık
TAKF	Terleme Akış Konsantrasyon Faktörü (TSCF)
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TP	Toplam Fosfor

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Sucul Ortamda Demirin Biojeokimyasal Döngüsü (Canfield vd., 2005).....	7
Şekil 2.2 Demir metalinin çözünürlüğü (Weber, 1972).....	8
Şekil 2.3 Bakır metalinin çözünürlüğü (EPA,2007)	10
Şekil 2.4 Çinko metalinin çözünürlüğü (Ayres vd., 1994)	11
Şekil 2.5 Sucul Ortamlarda Manganın İndirgeyici ve Yükseltgeyicileri (Canfield vd., 2005) 13	
Şekil 2.6 Krom metalinin çözünürlüğü (Ayres vd., 1994).....	14
Şekil 2.7 Nikel metalinin çözünürlüğü (Ayres vd., 1994)	16
Şekil 2.8 Basitleştirilmiş su içi besin zinciri (KKAYG, 2004)	19
Şekil 2.9 Bazı bitkilerin morfolojik özelliklerinin kıyaslaması (ITRC, 2001).....	24
Şekil 2.10 Bitkilerin besin maddesi ve çözünmüş metal alım mekanizmaları (Peer vd., 2005)27	
Şekil 2.11 Organik veya inorganik fitostabilizasyon (phytostabilization) (ITRC, 2001).....	29
Şekil 2.12 Fitoakümüülasyon (phytoaccumulation) mekanizması (ITRC, 2001).....	31
Şekil 2.13 Fitodegradasyon mekanizması (ITRC, 2001).....	32
Şekil 2.14 Fitovolatilizasyon mekanizması (ITRC, 2001).....	33
Şekil 2.15 Bitki yaprağındaki buharlaşma ^[20]	34
Şekil 2.16 Organik kirleticilerin rizodegradasyonu (ITRC, 2001).....	35
Şekil 2.17 Küçükçekmece Gölü'nün uydu görüntüsü (Başer, 2006; Akyapı, 2005)	39
Şekil 2.18 Küçükçekmece havzasındaki su kaynakları ve yerleşim yerleri (Taner, 2007)	40
Şekil 2.19 Hadımköy ilçesindeki endüstri çeşitleri ve sayıları (Üstün vd., 2005)	41
Şekil 2.20 Küçükçekmece havzasındaki arazi kullanımındaki değişim (Demirci vd., 2005)..	41
Şekil 2.21 Küçükçekmece Havzasının Jeolojik Haritası (Pehlivan ve Yılmaz, 2001).....	44
Şekil 3.1 <i>Echinodorus amazonicus</i>	51
Şekil 3.2 <i>Crinum thaianum</i>	52
Şekil 3.3 <i>Anubia congensis</i>	53
Şekil 3.4 <i>Cryptocoryne undulata</i>	53
Şekil 3.5 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	55
Şekil 3.6 Sazlıdereki sediment alım noktası.....	56
Şekil 3.7 Sazlıdere üzerindeki izleme noktası.....	57
Şekil 3.8 Sediment yapının elektron mikroskop görüntüsü	59
Şekil 3.9 Sediment yapının element dağılımı.....	60
Şekil 3.10 Sediment yapıdaki diatomun elektron mikroskop (SEM) görüntüsü.....	60
Şekil 3.11 Laboratuar Ölçekli Sürekli Beslemeli Reaktör Sistemi	64
Şekil 3.12 Klorofil a ve klorofil b'nin absorpsiyon spektrofotometresi	69
Şekil 4.1 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede suda pH değişimi	75

Şekil 4.2 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (CO_2) değişimi	76
Şekil 4.3 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi	76
Şekil 4.4 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi.....	77
Şekil 4.5 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede Mg değişimi.....	82
Şekil 4.6 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede Ca değişimi.....	83
Şekil 4.7 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede Cr değişimi	84
Şekil 4.8 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede Mn değişimi.....	85
Şekil 4.9 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede Fe değişimi	86
Şekil 4.10 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede Ni değişimi	87
Şekil 4.11 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede Cu değişimi.....	88
Şekil 4.12 <i>Echinodorus amazonicus</i> ile yapılan denemede Zn değişimi.....	89
Şekil 4.13 <i>Echinodorus amazonicus</i> bünyesinde bulunan element miktarları.....	93
Şekil 4.14 <i>Echinodorus amazonicus</i> bünyesindeki “Kısmi Element Miktarları”	93
Şekil 4.15 Deneme sürecinde <i>Echinodorus amazonicus</i> reaktöründe kontrol dışı büyüyen bitkinin bünyesindeki metal miktarları	95
Şekil 4.16 Deneme sırasındaki <i>Echinodorus amazonicus</i>	97
Şekil 4.17 <i>Echinodorus amazonicus</i> ’daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimleri	98
Şekil 4.18 <i>Crinum thaianum</i> görüntüsü	99
Şekil 4.19 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede suda pH değişimi	100
Şekil 4.20 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (CO_2) değişimi.....	100
Şekil 4.21 <i>Crinum thaianum</i> bulunan reaktörde tuzluluk değişimi.....	100
Şekil 4.22 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi	101
Şekil 4.23 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi	101
Şekil 4.24 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede Mg değişimi	106
Şekil 4.25 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede Ca değişimi	107
Şekil 4.26 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede Cr değişimi.....	108
Şekil 4.27 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede Mn değişimi	109
Şekil 4.28 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede Fe değişimi.....	110
Şekil 4.29 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede Ni değişimi.....	111
Şekil 4.30 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede Cu değişimi	112
Şekil 4.31 <i>Crinum thaianum</i> ile yapılan denemede Zn değişimi	113
Şekil 4.32 <i>Crinum thaianum</i> bünyesinde ölçülen metal miktarları	116
Şekil 4.33 <i>Crinum thaianum</i> bünyesindeki “Kısmi Element Miktarları”	117
Şekil 4.34 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” <i>Crinum thaianum</i> ’daki klorofil a,	

klorofil b ve klorofil a/b değişimi	119
şekil 4.35 Denemede kullanılan <i>Anubia congensis</i>	121
şekil 4.36 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede suda pH değişimi	122
şekil 4.37 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇO ₂) değişimi	122
şekil 4.38 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede suda tuzluluk değişimi	122
şekil 4.39 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi	123
şekil 4.40 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi	123
şekil 4.41 Reaktöre konulan <i>Anubia congensis</i> bitkilerinin yaşamsal değişimi	123
şekil 4.42 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede Mg değişimi	128
şekil 4.43 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede Ca değişimi	129
şekil 4.44 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede Cr değişimi	130
şekil 4.45 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede Mn değişimi	131
şekil 4.46 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede Fe değişimi	132
şekil 4.47 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede Ni değişimi	133
şekil 4.48 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede Cu değişimi	134
şekil 4.49 <i>Anubia congensis</i> ile yapılan denemede Zn değişimi	135
şekil 4.50 <i>Anubia congensis</i> bünyesindeki metal miktarları	138
şekil 4.51 <i>Anubia congensis</i> 'deki "Kısmi Element Miktarları"	139
şekil 4.52 "Deneme Öncesi" ve "Deneme Sonrası" <i>Anubia congensis</i> 'in klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b deki değişimi	140
şekil 4.53 "Deneme Sonrası" ölen <i>Anubia congensis</i> 'in üzerini örten algin görüntüsü	142
şekil 4.54 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda pH değişimi	143
şekil 4.55 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇO ₂) değişimi	144
şekil 4.56 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda tuzluluk değişimi	144
şekil 4.57 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi	145
şekil 4.58 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi	145
şekil 4.59 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Mg değişimi	150
şekil 4.60 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Ca değişimi	151
şekil 4.61 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Cr değişimi	152
şekil 4.62 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Mn değişimi	153
şekil 4.63 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Fe değişimi	154
şekil 4.64 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Ni değişimi	155
şekil 4.65 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Cu değişimi	156
şekil 4.66 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Zn değişimi	157

Şekil 4.67 <i>Cryptocoryne undulata</i> bünyesinde ölçülen metal miktarları.....	160
Şekil 4.68 <i>Cryptocoryne undulata</i> 'daki "Kısmi Element Miktarları"	161
Şekil 4.69 Deneme sürecinde <i>Cryptocoryne undulata</i> bulunan reaktörde kontrol dışı üreyen bitkinin metal miktarları	162
Şekil 4.70 "Deneme Sonrası" <i>Cryptocoryne undulata</i> 'nın görünüşü.....	165
Şekil 4.71 Deneme Sürecinde <i>Cryptocoryne undulata</i> 'da oluşan yeni yapraklar.....	166
Şekil 4.72 <i>Cryptocoryne undulata</i> 'daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b'deki değişim...	166
Şekil 4.73 Deneme bittikten yaklaşık 330 saat sonraki sediment görüntüsü	167
Şekil 4.74 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda pH değişimi	169
Şekil 4.75 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi.....	169
Şekil 4.76 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (CO_2) değişimi	170
Şekil 4.77 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda tuzluluk değişimi	170
Şekil 4.78 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi.....	171
Şekil 4.79 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Mg değişimi.....	176
Şekil 4.80 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Ca değişimi.....	177
Şekil 4.81 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Cr değişimi	178
Şekil 4.82 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Mn değişimi.....	179
Şekil 4.83 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Fe değişimi	180
Şekil 4.84 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Ni değişimi	181
Şekil 4.85 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Cu değişimi.....	182
Şekil 4.86 <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan denemede Zn değişimi.....	183
Şekil 4.87 <i>Cryptocoryne undulata</i> çalışmasının "Deneme Sonrası" sediment yapısının SEM görüntüsü*	185
Şekil 4.88 "Deneme Sonrası" sedimentin element dağılımı (Şekil 4.87 A analizi)	186
Şekil 4.89 <i>Cryptocoryne undulata</i> bünyesinde ölçülen metal değişimi	192
Şekil 4.90 <i>Cryptocoryne undulata</i> bünyesindeki "Kısmi Element Miktarları"	192
Şekil 4.91 "Deneme Sonrası" <i>Cryptocoryne undulata</i> 'nın eski yaprak yüzey kesitinin SEM görüntüsü	193
Şekil 4.92 Totti vd., 2007 (A ve B), Cornell vd., 2007 (C), Faimali vd., 2004(D), Bahulıkar ve Kroth, 2007 (E)'nin çalışmalarındaki SEM görüntüleri: Diatomalar ve EPS yapısı	195
Şekil 4.93 "Deneme Sonrası" <i>Cryptocoryne undulata</i> 'nın eski yaprak yüzey kesitinin element dağılımı (Şekil 4.91 A).....	196
Şekil 4.94 "Deneme Sonrası" <i>Cryptocoryne undulata</i> 'nın eski yaprak yüzey kesitinde	

görülen mikroorganizmaların SEM görüntüsü	197
Şekil 4.95 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın yeni yaprak yüzey kesitinin SEM görüntüsü	197
Şekil 4.96 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın eski yaprak yüzeyindeki diatomaların element dağılımı (Şekil 4.94 C).....	198
Şekil 4.97 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın yaprak en kesitinin SEM görüntüsü	199
Şekil 4.98 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın eski yaprak en kesitinin element dağılımı.....	200
Şekil 4.99 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın kök yüzey kesitinin SEM görüntüsü	201
Şekil 4.100 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın kök en kesitinin SEM görüntüsü	201
Şekil 4.101 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın kök yüzey kesitinin element dağılımı (Şekil 4.99 A 1).....	202
Şekil 4.102 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın kök en kesitinin element dağılımı (Şekil 4.100 A).....	203
Şekil 4.103 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimi	207
Şekil 4.104 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede suda pH değişimi.....	208
Şekil 4.105 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇO ₂) değişimi	209
Şekil 4.106 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede suda tuzluluk değişimi....	209
Şekil 4.107 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi..	210
Şekil 4.108 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi.	210
Şekil 4.109 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede Mg değişimi.....	215
Şekil 4.110 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede Ca değişimi.....	216
Şekil 4.111 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede Cr değişimi	217
Şekil 4.112 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede Mn değişimi.....	218
Şekil 4.113 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede Fe değişimi	219
Şekil 4.114 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede Ni değişimi	220
Şekil 4.115 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede Cu değişimi.....	221
Şekil 4.116 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan denemede Zn değişimi.....	222
Şekil 4.117 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. çalışmasının “Deneme Sonrası” sediment yapısının SEM görüntüsü	223
Şekil 4.118 “Deneme Sonrası” sedimentin element dağılımı (Şekil 4.117 A analizi)	224
Şekil 4.119 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. bünyesindeki metal miktarları	229

Şekil 4.120 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'nin "Kısmi Element Miktarı"	229
Şekil 4.121 "Deneme Sonrası" <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'nin yaprak yüzey kesitinin SEM görüntüsü	231
Şekil 4.122 "Deneme Sonrası" <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'nin yaprak yüzey kesitinin element dağılımı.....	231
Şekil 4.123 "Deneme Sonrası" <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'nin gövde en kesitinin SEM görüntüsü	232
Şekil 4.124 "Deneme Sonrası" <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'nin gövde en kesitinin element dağılımı.....	232
Şekil 4.125 "Deneme Sonrası" <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'nin kök SEM görüntüsü	233
Şekil 4.126 "Deneme Sonrası" <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'nin kök en kesitinin element dağılımı (Şekil 4.125 B 1)	234
Şekil 4.127 "Deneme Öncesi" ve "Deneme Sonrası" <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimleri	236

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.2 Demir Metalinin Özellikleri ^[4]	6
Çizelge 2.3 Bakır Metalinin Özellikleri ^[4]	9
Çizelge 2.4 Çinko Metalinin Özellikleri ^[4]	10
Çizelge 2.5 Mangan Metalinin Özellikleri ^[4]	12
Çizelge 2.6 Krom Metalinin Özellikleri ^[4]	13
Çizelge 2.7 Nikel Metalinin Özellikleri ^[4]	15
Çizelge 2.8 Magnezyum Metalinin Özellikleri ^[4]	16
Çizelge 2.9 Kalsiyum Elementinin Özellikleri ^[9]	18
Çizelge 2.10 Bazı ağır metallerin hayvansal organizmalara etkisi.....	21
Çizelge 2.11 Genel olarak bitkilerde bulunan besin maddelerinin miktarları ^[12]	23
Çizelge 2.12 Bitkilerde bulunan elementlerin başlıca fonksiyonları.....	25
Çizelge 2.13 Yıllara bağlı olarak Küçükçekmece Gölü'nün yüzey alanındaki değişim	39
Çizelge 2.14 Küçükçekmece Bölgesinin meteorolojik verileri (Taner, 2007).....	46
Çizelge 2.15 Sediment ve sediment arası boşluk suyunun fizikokimyasal karakteri (İnce vd., devam ediyor)	47
Çizelge 2.16 Sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonu (İnce vd., devam ediyor)	48
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan sedimentin ağır metal içeriği	58
Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan sedimentin dane özelliği*	58
Çizelge 3.3 Sedimentin elemental analizi (Tübitak Analiz Laboratuvarı).....	59
Çizelge 3.4 Sediment yapının element dağılım yüzdeleri.....	59
Çizelge 3.5 Çalışmada Kullanılan Stok Çözeltilerin Özellikleri.....	61
Çizelge 3.6 Çalışmada kullanılan sentetik suyun fiziko-kimyasal özelliği.....	62
Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan sentetik suyun karalı hal durumundaki ortalama element konsantrasyonları ve molariteleri.....	73
Çizelge 4.2 Bitki organlarının element alım tercihleri.....	92
Çizelge 4.3 <i>Echinodorus amazonicus</i> 'un boy uzunluklarındaki değişim ve oluşan yeni yaprak sayıları	97
Çizelge 4.4 Bitki organlarının element alım tercihleri.....	117
Çizelge 4.5 <i>Crinum thaianum</i> 'un boy değişimi	119
Çizelge 4.6 Bitki organlarının element alım tercihleri.....	139
Çizelge 4.7 <i>Anubia congensis</i> 'in boy değişimi	141
Çizelge 4.8 Bitki organlarının element alım tercihleri.....	161
Çizelge 4.9 <i>Cryptocoryne undulata</i> 'daki boy değişimi ve oluşan yeni yaprak sayısı.....	165
Çizelge 4.10 "Deneme Sonrası" sedimentin element dağılımı (%).....	186

Çizelge 4.11 Bitki organlarının element alım tercihleri.....	191
Çizelge 4.12 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın eski ve yeni yaprak yüzey kesitinin element dağılımı (%).....	196
Çizelge 4.13 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın eski ve yeni yaprak yüzeyindeki diatomaların element dağılımı (%)	198
Çizelge 4.14 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın eski ve yeni yaprak en kesitinin element dağılımı (%).....	200
Çizelge 4.15 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın kök yüzey kesitinin element dağılımı (%).....	202
Çizelge 4.16 “Deneme Sonrası” <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın kök en kesitinin element dağılımı (%).....	203
Çizelge 4.17 <i>Cryptocoryne undulata</i> ’nın boy değişimi ve yeni yaprak sayıları	205
Çizelge 4.18 “Deneme Sonrası” sedimentin element dağılımı (%).....	224
Çizelge 4.19 Bitki organlarının element alım tercihleri.....	230
Çizelge 4.20 “Deneme Sonrası” <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.’nin yaprak yüzey kesitinin element dağılımı (%).....	231
Çizelge 4.21 “Deneme Sonrası” <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.’nin gövde en kesitinin element dağılımı (%).....	232
Çizelge 4.22 “Deneme Sonrası” <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.’nin kök en kesitinin element dağılımı (%).....	234
Çizelge 4.23 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.’nin boy değişimi	236

İLİŞKİ LİSTESİ

[i-1] Deneme sonunda <i>Echinodorus amazonicus</i> 'un eski yaprağındaki element sıralaması	94
[i-2] Deneme sonunda <i>Echinodorus amazonicu</i> 'un yeni yaprağındaki element sıralaması	94
[i-3] Kontrol dışı üreyen bitkinin element sıralaması	94
[i-4] Besleme suyundaki element sıralaması	95
[i-5] <i>Echinodorus amazonicus</i> 'un kısmi element sıralaması	96
[i-6] <i>Crinum thaianum</i> 'un kısmi element sıralaması	1115
[i-7] Besleme suyundaki element sıralaması	115
[i-8] Deneme sonunda <i>Cryptocoryne undulata</i> eski yaprağı element sıralaması	161
[i-9] Deneme sonunda <i>Cryptocoryne undulata</i> yeni yaprağı element sıralaması	161
[i-10] Kontrol dışı üreyen bitkinin element sıralaması	162
[i-11] Besleme suyundaki element sıralaması	190
[i-12] <i>Cryptocoryne undulata</i> 'nın kısmi element sıralaması	190
[i-13] Deneme sonunda <i>Cryptocoryne undulata</i> 'nın eski yaprağındaki element sıralaması	204
[i-14] Deneme sonunda <i>Cryptocoryne undulata</i> 'nın yeni yaprağındaki element sıralaması	204
[i-15] <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.'nin kısmi element sıralaması	228

ÖZET

Metallerin suyla kaynağından uzağa taşınması, sediment yapıda birikmesi ve fizikokimyasal süreçlere bağlı olarak tekrar suya geçmesi ve besin zinciri yoluyla canlı bünyesinde birikmesi nedeniyle, içinde bulundukları sucul ortamdan uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Son yıllarda, doğal ve ekonomik yöntem olan doğal ortamlardaki metallerin bitkiyle uzaklaştırılması tekniği tercih edilmektedir. Bu çalışmada, bentik bitkilerin kullanımıyla demir, bakır, çinko, nikel ve krom metallerinin doğal ortamlardan uzaklaştırılmasındaki esasların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Araştırma, Küçükçekmece Gölü'nü temsil eden laboratuvar şartlarında (pH, sıcaklık gibi), Sazlıdere'nin Küçükçekmece Gölü'ne döküldüğü bölgeden alınan sedimentin konulduğu reaktörlerde yapılmıştır. Çalışmadaki her denemede bir tür olmak üzere beş farklı bentik bitki türü (*Echinodorus amazonicus*, *Cryptocoryne undulata*, *Anubia congensis*, *Crinum thaianum* ve *Myriophyllum verticillatum* L.) kullanılmıştır. Reaktörler demir, bakır, çinko, nikel ve krom stok çözeltileri ile hazırlanan sentetik suyla beslenmiştir. *Echinodorus amazonicus*, *Cryptocoryne undulata*, *Anubia congensis*, *Crinum thaianum* ile yapılan denemelerde göl suyunun metal karakteri dikkate alınarak hazırlanan besleme suyu, *Cryptocoryne undulata* ve *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan çalışmalarda ise eşit molaritede metal içerecek şekilde hazırlanan besleme suyuyla çalışma yürütülmüştür. Çalışmada sentetik besleme suyu çeşme suyu ile hazırlanmış, bu nedenle besleme suyunda bulunan ağır metaller dışında çeşme suyundan gelen ve doğal sedimentte de bulunan kalsiyum, mangan ve magnezyum elementleri de izlenmiştir. Araştırma da, incelenen elementlerin reaktör içindeki davranışları, element davranışlarına ve bitkinin yaşam kalitesine etki eden fizikokimyasal koşulların sudaki değişimleri, bu ortamda yaşayan bitkilerin fiziksel değişimleri ve bitkilerin morfolojik yapılarındaki element değişimleri irdelenmiştir.

Denemeye başlamadan önce bitki bünyelerinde bulunan elementler ile deneme bittikten sonra bitki bünyelerinde bulunan elementlerin miktarları ve sistemdeki (su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentteki) element değerleri karşılaştırıldığında, bitkilerin ortamdaki elementleri bünyelerine aldığı gözlenmiştir. Bitki bünyesine alınan elementlerin özelliği ve bitkinin yaşadığı ortamda birden çok elementin var oluşuna bağlı olarak, bitkilerin element alımında seçiciliği olduğu tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, element, *Echinodorus amazonicus*, *Cryptocoryne undulata*, *Anubia congensis*, *Crinum thaianum*, *Myriophyllum verticillatum* L.

ABSTRACT

The removal of heavy metals has become inevitable due to transportation from their sources by water, accumulation in sediment structure, entering into the water bodies depending on the physicochemical processes, and also accumulation in the organisms throughout the food chain. Therefore, in recent years, phytoremediation has been regarded as a natural and economical method in the removal of heavy metals from natural wetlands. The main objective of this study is to explore the principles of the removal of heavy metals such as iron, copper, zinc, nickel and chromium from natural wetlands by the phytoremediation technique.

The experimental studies were conducted in laboratory conditions representing Kucukcekmece Lake (pH, temperature etc) by using surface-flow reactors including natural sediment structure. The sediment structure used in the reactors was collected from the discharge point (Kucukcekmece Lake) of Sazlidere Creek. Five different benthic test plants (*Echinodorus amazonicus*, *Cryptocoryne undulata*, *Anubia congensis*, *Crinum thaianum* and *Myriophyllum verticillatum* L.) were selected for experimental studies, and one species was used in each run. Reactors were fed with synthetic water prepared by stock solutions of iron, copper, zinc, nickel and chromium. The feeding water representing heavy metal characteristics of the lake was used in experimental studies conducted with *Echinodorus amazonicus*, *Cryptocoryne undulata*, *Anubia congensis*, and *Crinum thaianum*. In addition, the feeding water including equal molarity of heavy metals was used in experimental studies performed with *Cryptocoryne undulata* and *Myriophyllum verticillatum* L. The synthetic feeding water was prepared by using tap water, and therefore calcium, manganese, and magnesium elements were also monitored due to presence of these elements in both tap water and the sediment structure. Furthermore, behaviours of elements in test reactors, variations of physicochemical conditions effecting the life quality of plants in the water, physical variations of plants living in this environment, and variations of elements in the morphological structure of plants were also investigated in this study.

When comparing the values of elements in test plants before and after the experimental studies and also the variations of elements in the system (water, pore water and sediment), it was observed that elements were accumulated by the test plants used in this study. To conclude, it was presumed that test plants may show a selectivity in the accumulation of elements, depending on the presence of various elements in the environment and also the property of element accumulated by the plant.

Keywords:. Heavy metal, element, *Echinodorus amazonicus*, *Cryptocoryne undulata*, *Anubia congensis*, *Crinum thaianum*, *Myriophyllum verticillatum* L.

TEŞEKKÜR

Çalışmamda sağladığı uygun çalışma ortamı ve çalışmam boyunca büyük özveri ile bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım değerli Tez Danışmanım Prof. Dr. E. Beyza ÜSTÜN’e,

Metal analizlerinin yapılmasına yardımcı olan Prof. Dr. Gürcan ORALTAY ve Öğretim Gör. Esin YILMAZ, Gökçe GÖKAĞAÇLI’ya,

Çalışmada kullandığım araziden toplanan bitkinin tür tespitini yapan Prof. Dr. Celal YARCI’ya,

Denemeler sırasında sistemlerde varlığının tespit ettiğim mikroorganizmaların tanımlanmasını yapan Yrd. Doç. Dr. Tahir ATICI’ya,

Elektron Mikroskop İncelemeleri ve Elementel Yoğunluk Analizlerini sabırla yapan Mustafa İLHAN’a

Beni sürekli destekleyen ve yardımcı olan eşim M. Özgür ZENGİN’e, ailem Afet ŞAPÇI, Niyazi ŞAPÇI, Naciye ZENGİN, İhsan ZENGİN, Özlem ZENGİN, arkadaşlarım Dr. Kerem O. DERYA, Dr. Kaan YETİLMEZSOY, Müge ÖZGÜR, Suat ÖZGÜR, Banu SUER ve “Küçükçekmece Proje Grubu”ndaki tüm arkadaşlarıma ve Şükrü ÜNAL amcam’a,

Teşekkür eder şükranlarımı sunarım.

1. GİRİŞ

Sulak alanlar, ekolojik sistemde önemli bir yere sahiptir. Kontrolsüz sanayileşme ve atık su deşarjları sonucunda oluşan aşırı kirlilik nedeniyle sulak alanların özelliklerinin değiştiği görülmektedir. Sulak alanlardaki bu değişimin başlıca kaynağını ağır metaller, petrol hidrokarbonları, organik kirleticiler, poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlu bifeniller (PCB), antibiyotikler, pestisitler ve benzeri kirleticiler oluşturmaktadır. Bu kirleticiler, su kalitesinin yanında sediment kalitesini de olumsuz yönde etkilemekte ve bu etki, bentik bölge ekosistemi başta olmak üzere ekolojik silsile üzerinde önemli değişikliklere sebep olmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Sulak alanlara zarar veren en önemli kirletici gruplarından birini ağır metaller oluşturur. Özellikle sulak alanlardaki sediment yapıların ağır metalleri tutma kapasitelerinin fazla olduğu, sedimentteki ağır metallerin sulak alandaki suya geçebildiği ve bu sürecin de ekosistemdeki canlı yaşamını olumsuz yönde etkilediği bilinen bir gerçektir. Günümüzde, ağır metallerin sucul ortamdan uzaklaştırılmasında, metallerin besin zincirine geçebilme özelliği göz önüne alınarak farklı canlıların (bakteriler, algler, funguslar, bitkiler) kullanıldığı yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri, ekonomik oluşu ve doğaya kolay adapte edilebilmesi nedeniyle tercih edilen ve sulak alanlardaki kirletici yükünün azaltılmasında bitkilerin kullanıldığı tekniktir (fitoremediasyon). Sucul ortamlardaki metallerin bitkiyle giderimi konusunda, özellikle yüzen su bitkileri ve yarı batık su bitkileri ile birçok araştırmalar yapılmaktadır.

Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biri olan Küçükçekmece Gölü ve havzasında yapılmış olan çalışmalar, havzanın ağır metallerle kirlendiğini ve bu kalıcı kirliliği göle taşıyan önemli derelerden birinin Sazlıdere olduğunu göstermiştir (Üstün vd., 2002; Üstün vd., 2008). Kirliliğin azaltılması için gölün tamamına ait çözümler üretilebileceği düşünülmüş, bu nedenle bu çalışmada;

1. Ekolojik dengeyi bozan ve insan hayatını tehdit eden en önemli kirleticilerden biri olan ağır metallerin, Sazlıdere'nin Küçükçekmece Gölü'ne döküldüğü bölgedeki sulak alandan, doğal bir yöntem olan bitkilerin kullanımıyla uzaklaştırılabilirliğinin laboratuvar çalışmasıyla araştırılması,

2. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre, ağır metallerin sucul ortamdan uzaklaştırılması amacıyla saha uygulamalarında kullanılabilecek bentik bitki türünün/türlerinin önerilmesi,
3. Sucul ortamdaki metallerin, bentik bitkiler kullanılarak doğal sulak alanlardan uzaklaştırılma (fitoremediasyon tekniği) esaslarının belirlenerek literatüre katkı sağlanması

amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

“Doğal Ortamda Ağır Metal İzlemesi: Uygulama Alanı Küçükçekmece Gölü ve Havzası” isimli ulusal TÜBİTAK projesi (Proje No: 105Y116) ile desteklenmiş olan bu araştırmada, yukarıda sayılan amaçlara ulaşmak için bu çalışma kapsamında;

1. Çalışmanın, Sazlıdere'nin Küçükçekmece Gölü'ne döküldüğü bölgenin ortam özelliklerini (sıcaklık, pH, tuzluluk, akış hızı, vs.) temsil eden şartlarda ve laboratuvar ölçekli reaktör sisteminde sürdürülmesi,
2. Bölgenin ortam koşulları dikkate alınarak, yaşamsal etkinliklerini bu koşullarda sürdürebilecek farklı bentik bitki türleri ile çalışılması,
3. Bölgede 2002–2008 yılları arasında yapılmış olan çalışmalarda, su ve sediment yapıda önemli miktarda demir (Fe), bakır (Cu), inko (Zn), krom (Cr) ve nikel (Ni) ağır metalleri ile magnezyum (Mg), mangan (Mn) ve kalsiyum (Ca) elementlerine rastlanmış olmasına dayanılarak, bu sekiz elementin laboratuvar koşullarındaki davranışlarının izlenmesi,
4. Çalışmada kullanılacak bentik bitkilerin metal tutma kapasitelerindeki değişimin izlenmesi

esas alınmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu çalışmada iz elementler olan demir, bakır, çinko, nikel, krom, kalsiyum, mangan ve magnezyum elementlerinin izlenmesi nedeniyle iz elementler hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmada kirleticilerin bitkilerle doğal ortamlardan uzaklaştırılma (fitoremediasyon tekniği) esasları konusunda başka araştırmacıların yaptıkları çalışmalar ve çalışmalardan elde edilen önemli bulgular özetlenmiştir. Bu alt bölümde ayrıca, bu tekniğin laboratuvar uygulanmasında dikkate alınan doğal sulak alanın bulunduğu Küçükçekmece Havzası hakkındaki bilgiler de verilmiştir.

2.1 İz Elementler

Yer kabuğunda ve dolaylı olarak yiyeceklerde az miktarlarda bulunan demir, bakır, mangan ve çinko gibi bazı ağır metaller ile kalsiyum, magnezyum gibi minareller “iz elementler” olarak isimlendirilmektedir. İz elementler enzimleri aktive etmeleri, enzimlerin ve hormonların yapısına katılmaları, nükleik asit döngüsünde görev almaları ve bağışıklık sisteminde rol almaları nedeniyle canlılığın devamı için gereklidir. Örneğin, birçok bitki ve hayvanın sağlıklı yaşamı için askorbik asit, oksidaz, tirozinaz, laktoz ve monoamin oksidaz gibi yükseltgeyici enzimlerin bir parçası olarak çok az miktarda bakır bulunmalıdır. Fotosentez ve solunum için gerekli olan bakır, proteinlerin oksijen, kükürt ya da azot atomları içeren bağlanma bölgelerine sıkıca bağlanır ^[1]. Klorofil oluşumu için gerekli olan demir, hayvanlarda hemoglobin yapısına katılır ^[2]. Çinko, bitkilerde suyun alınımı ve kullanımında görev alır. Mangan, bitkilerde çeşitli enzimlerin işleyişinde ve aynı zamanda protein ve karbonhidrat oluşumunda etkilidir ^[3]. Krom ise kandaki şekeri alıp hücrelere transfer eder ^[1]. Bu elementler meyve, sebze gibi besin maddeleri dışında ticari olarak satılan bazı multivitamin ürünlerinin yapısında bulunmaktadır.

Metalik iz elementler yaşamın temel taşı (metal proteinler ve enzimler için kofaktör) niteliğinde olsalar da, yüksek konsantrasyon düzeylerinde temel fonksiyon gruplarını bloke etmek, diğer metal iyonlarının yerine geçmek veya aktif biyolojik moleküllerin uygunluğunu değiştirmek suretiyle olumsuz yönde etkili olabilmektedirler (Collins ve Stotzky, 1989). Örneğin, endüstriyel atık sularla kirlenen tarım alanlarında yetişen bitkilerde, ürün kayıpları görülmektedir. Bitki çeşidine bağlı olarak tarımsal alanlarda ağır metal iyon (Cd^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) konsantrasyonlarının yüksek düzeyde bulunması ile bitkide bazı olumsuzlukların görülmesine neden olan olay ağır metal stresi olarak tanımlanır. Bitkilerde ağır metal stresi,

serbest radikal (singlet oksijen, süperoksit radikali, hidroksil radikali ve hidrojen peroksit gibi sorbent radikal) oluşumunu teşvik ederek bitki dokularına zarar vermekte ve oksidatif zararlara yol açmaktadır (Foyer vd., 1997; Halliwell ve Gutteridge, 2002).

2.1.1 Metalik İz Elementler (Ağır Metaller)

Ağır metaller atom ağırlığı 20'den (Duffus, 2002) ve spesifik yoğunluğu 5 gr/cm³'den büyük (Lide, 1992) olan, besin zincirine katılarak canlılara zarar veren metaller olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, kadmiyumun atom ağırlığı 48, spesifik yoğunluğu 8.65 gr/cm³'dür.

Ağır metaller; metal kaplama, metal son işlemleri, tekstil, akü, kurşun izabe, kimya, madencilik, pestisit, seramik ve cam endüstrisi gibi endüstrilerin üretim atıklarının deşarjları ile doğal ortamlara karışmaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Bazı endüstrilerin atıklarında bulunan ağır metaller (Kahvecioğlu vd., 2002)

Endüstri	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-alkali Üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-Çelik San	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji Üretimi (Termik)		+	+	+	+	+	+	+

Doğal ortama giren ağır metaller, suyla taşınabilmekte (Kennicutt vd., 1994; Cheggour vd., 2000), sedimentte (dip çamuru) birikebilmekte (Chasterworth ve Foster, 1999), sedimentten suya geçebilmekte (Benamar vd., 1999) ve besin zincirine katılabilmektedir. Ayrıca, endüstriyel kaynaklı ağır metaller atmosferik yolla taşınarak, toprak ve besin zincirine geçebilmektedir. Roberts ve arkadaşları (1970), Kanada Toronto'da trafik kökenli kurşunun (Pb), bitkilerde birikime neden olduğunu rapor etmişlerdir. Çalışmalarında otoyola yakın olan bölgeden alınan çimlerin, otoyoldan uzak olan parktaki çimlere göre 5 kat daha fazla Pb içerdiğini ve otoyolun uzağındaki bu parkta bulunan çimlerin ise temiz ortamdaki çimlere

göre 10 kat daha fazla Pb biriktirdiği belirtilmişlerdir. Böylece, zamansal ve mekansal taşınimleri mümkün olan ağır metaller ekosistemleri olumsuz etkilemektedirler.

2.1.1.1 Araştırmada İncelenen Metalik İz Elementler

Bu çalışmada, “fitoremediasyon tekniği” ile metallerin doğal ortamlardan uzaklaştırılma esaslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada sentetik olarak hazırlanan demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), krom (Cr) ve nikel (Ni) metalleri incelenmiştir. Araştırmada incelenen bu iz elementlerin özellikleri bölüm içinde verilmiştir.

2.1.1.1.1 Demir (Fe)

Dört farklı kristal formda bulunan demire ^[4] ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Demir Metalinin Özellikleri ^[4]

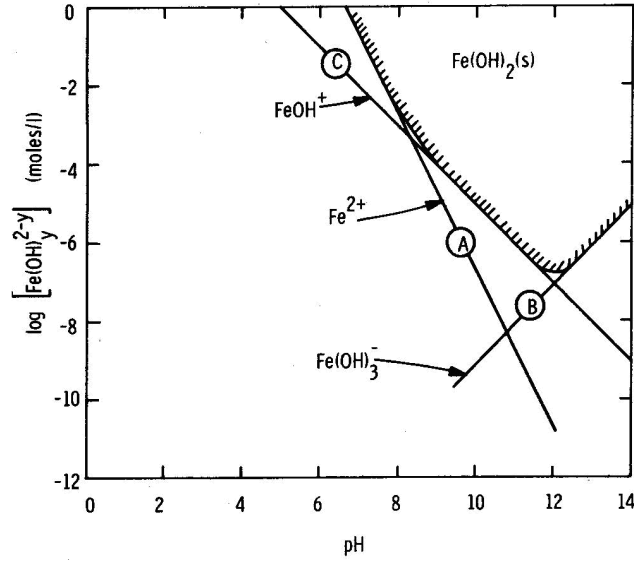
İsim	Demir
Sembol	Fe
Atom numarası	26
Atom ağırlığı	55,845 gr/mol
Yoğunluğu	7,8 gr/cm ³ (20°C)

Doğada bulunuşu

Doğadaki en yaygın şekli hematit (Fe₂O₃) ve magnetittir (Fe₃O₄) (Denklem 2.1). Diğer önemli demir kaynakları ise takonit, limonit (FeO(OH)·nH₂O) ve siderittir (FeCO₃) ^[5].

Su ile reaksiyonu;

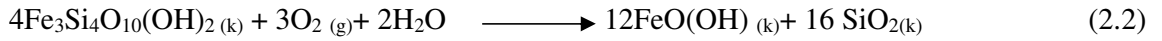




Şekil 2.2 Demir metalinin çözünürlüğü (Weber, 1972)

Bileşikleri

Demir oksitlerin düşük çözünürlüğü nedeniyle, demir, doğadaki döngüsünde ağırlıklı olarak içinde bulunduğu fiziksel koşullardan etkilenir (Canfield vd., 2005) (Denklem 2.1). Bu nedenle doğada oksitler, hidroksitler, asetatlar, karbonatlar, sülfidler, nitratlar ve sülfatlar gibi farklı demir bileşikleri oluştur ^[6]. Örneğin, oksijenli ve pH'ın nötre yakın olduğu ortamlarda, kayalardaki silikat ile bileşik oluşturmuş demir bileşikleri, hızlı çökebilir farklı bir forma dönüşebilmektedir (Denklem 2.2).



2.1.1.1.2 Bakır (Cu)

Kızılımsı renkte olan bakır toprak, kaya, sediment ve suda bulunmaktadır ^[7]. Kübik kristal yapıda olan bakırın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir ^[4].

Çizelge 2.3 Bakır Metalinin Özellikleri ^[4]

İsim	Bakır
Sembol	Cu
Atom numarası	29
Atom ağırlığı	63,546 gr/mol
Yoğunluğu	8,9 gr/cm ³

Doğada bulunuşu

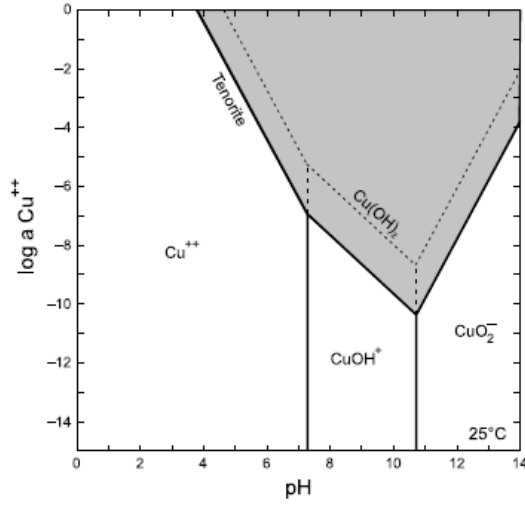
Pek çok mineralin önemli bir bileşeni olduğu için bakır metali endüstriyel öneme sahiptir. Dünya bakır üretiminde kullanılan minerallerin yaklaşık %50'sini kalkozit (chalcocite) (Cu₂S), %25'ini kalkopirit (chalcopyrite) (CuFeS₂), %3'ünü enargit (enargite) (Cu₃AsS₄), %1'ini diğer sülfür mineralleri, %6-7'sini nabit (doğal) bakır ve %15'ini de oksit mineralleri oluşturur ^[1].

Sucul ortamlardaki dip çamuru ve askıdaki katı maddeler, bakır için önemli depo görevi görmektedirler. Bu metal, katyon değiştiren killerde tutunabilmekte, demir mangan oksitlerle bağ yapabilmekte ve humik maddelerle şelatlar halinde bulunabilmektedir (Manahan, 1994). Anaerobik özellikteki sedimentlerde, sülfatın sülfüre indirgenmesiyle Cu₂S oluşabilmektedir (Kaplan, 2004).

Bileşikleri

Metallerin çökelmeleri genellikle iki faktöre bağlıdır. Bunlar metalin içinde bulunduğu sıvı ortamdaki konsantrasyonu ve ortamın pH'ıdır. Şekil 2.3'te sudaki pH ve çözünmüş bakır konsantrasyonuna bağlı metalin davranışı verilmiştir (Ayres vd., 1994). Şekilde koyu renkle gösterilen alan bakır hidroksit oluşumu (Denklem 2.3) sonucunda çökelmenin olduğu bölgedir.





Şekil 2.3 Bakır metalinin çözünürlüğü (EPA,2007)

2.1.1.1.3 Çinko (Zn)

Bileşiklerinde 2+ değerlikli olarak bulunan çinko metalinin özellikleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 Çinko Metalinin Özellikleri ^[4]

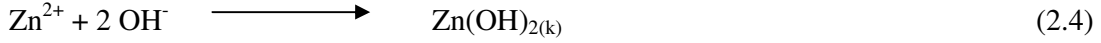
İsim	Çinko
Sembol	Zn
Atom numarası	30
Atom ağırlığı	65.37 gr/mol
Yoğunluğu	7.11 gr/cm ³

Doğada bulunuşu

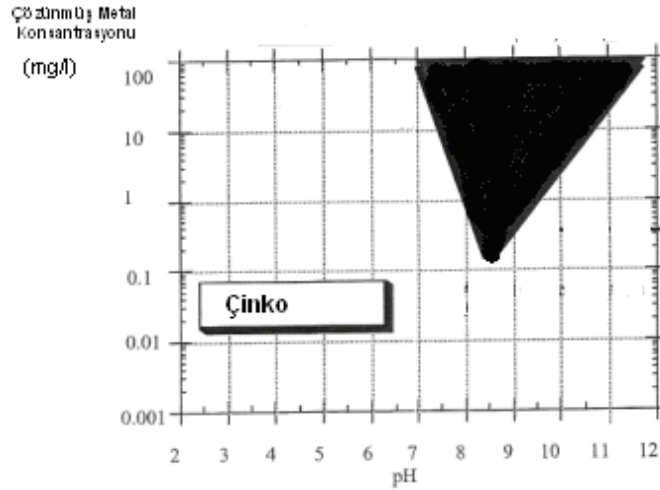
Çinko doğada mineraller şeklinde bulunur. En önemli çinko mineralleri şunlardır: ZnS çinko blendi (Wurtzit), ZnCO₃ çinko spat (Smithsonit), Zn₂SiO₄·H₂O çinko silikat (Willemenit). Çinko mineralleri doğada genellikle kurşun mineralleri ile birlikte bulunurlar.

Bileşikleri

Amonyum, amin, siyanür ve halojen iyonları ile kompleks bileşikler meydana getirir. Oluşturduğu bileşiklerde kovalent bağ yapar. Asitli ortamda çözünerek çözeltide Zn^{2+} iyonu ($[Zn(OH_2)_6]^{2+}$ kompleksi şeklinde) ve H_2 gazı üretir ^[1]. Çinkonun sucul ortamlardaki reaksiyonu $Zn(OH)_{2(k)}$ oluşur (Denklem 2.4).



Klorür ve sülfat tuzları suda yüksek miktarda çözünür. Buna karşılık çinko oksit, silikat, fosfat ve organik kompleksleri ya suda hiç çözünmezler ya da çok ağır çözünürler ^[1]. Xue ve arkadaşları (2003) sucul ortamlarda yaptıkları çalışmada, ortamdaki çinko ve bakır transferinde organik madde varlığının önemli olduğunu ve çinkonun bakıra göre organik maddelerle zayıf organometalik yapılar oluşturduğunu belirtmişlerdir. Suda çözünür formda bulunan çinkonun, konsantrasyona ve suyun pH'ına bağlı olarak hidroksit oluşturduğu koşullar Şekil 2.4'te koyu bölgeyle gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Çinko metalinin çözünürlüğü (Ayres vd., 1994)

2.1.1.1.4 Mangan (Mn)

Mangan metalinin özellikleri Çizelge 2.5'te ^[4] verilmiştir.

Çizelge 2.5 Mangan Metalinin Özellikleri ^[4]

İsim	Mangan
Sembol	Mn
Atom numarası	25
Atom ağırlığı	54,94 gr/mol
Yoğunluğu	7,43 gr/cm ³

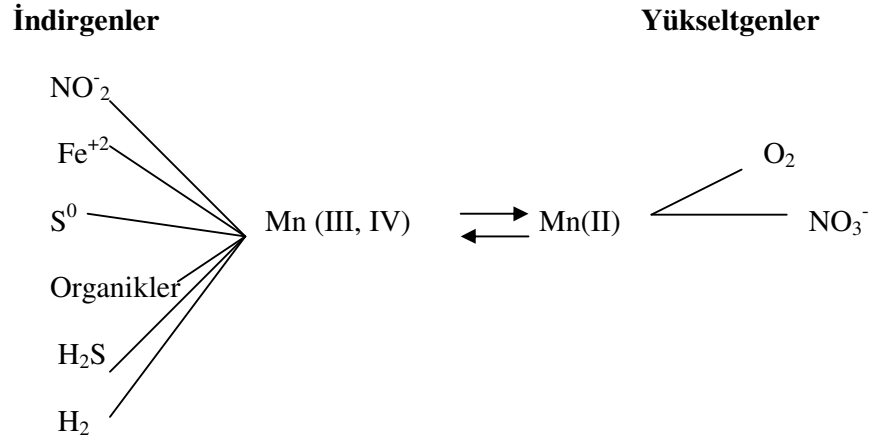
Doğada bulunuşu

Yer kabuğunda en yaygın mangan bileşiği mangan dioksittir (MnO₂). Bunun dışında piroluzit (MnO₂), hausmannit (Mn₃O₄), manganit (Mn₂O₃.H₂O) ve mangat spat (MnCO₃) mineralleri olarak doğada bulunur ^[5].

Mangan, demir gibi karalardan ve atmosferden sucul ortamlara taşınmaktadır. Doğal ortamda mangan iyonları, diğer iyonlarla reaksiyona girebilmektedir.

Bileşikleri

Okside formu olan Mn⁺³ ve Mn⁺⁴ nötral pH'larda düşük çözünürlüğe sahiptir ve hidroksitler, oksihidroksitler gibi oksitler olarak çökelir. İndirgenmiş formu olan Mn⁺², suda çözünmüş olarak bulunur, fakat sülfidler ve karbonatlarla hızlıca çökebilir. Şekil 2.5'te manganın abiyotik ve biyotik şartlardaki önemli çevresel redoks reaksiyonları verilmiştir (Canfield vd., 2005).



Şekil 2.5 Sucul Ortamlarda Manganın İndirgeyici ve Yükseltgeyicileri (Canfield vd., 2005)

2.1.1.1.5 Krom (Cr)

Doğada oksitlenmiş ortamlarda +6 ve +3 formda bulunan krom meteline ait özellikler Çizelge 2.6'de verilmiştir.

Çizelge 2.6 Krom Metalinin Özellikleri ^[4]

İsim	Krom
Sembol	Cr
Atom numarası	24
Atom ağırlığı	51,996 gr/mol
Yoğunluğu	7,19 gr/cm ³

Doğada bulunuşu

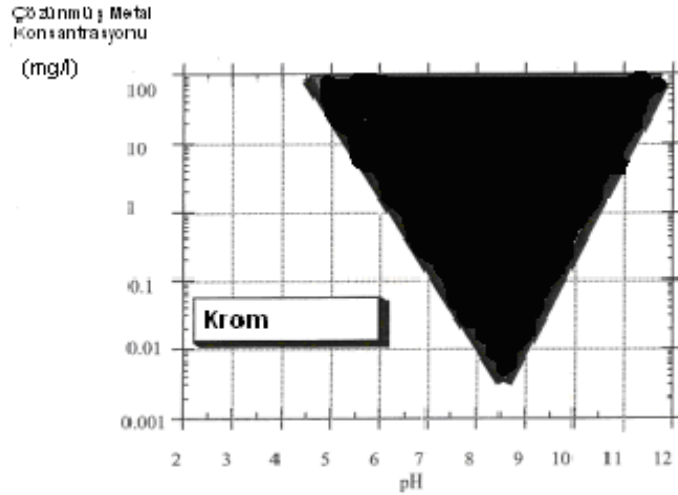
Sucul ortamlardaki dip çamuru ve askıdaki katı maddeler, bakırda olduğu gibi krom için de önemli depo görevi görmektedir. Dip çamuru ve askıda katı maddelerde krom, tutunma yoluyla (adsorpsiyon), organik maddelerle şelat oluşturarak ve metal oksitlerle bağ yapmış halde bulunabilirler (Manahan, 1994).

Bileşikleri

Krom erime noktası 1857°C olan sert bir metaldir (Çizelge 2.6). Normal olarak krom, sulu hidroklorik asit ve sülfürik asitte çözünür. Bununla beraber, şayet ilk önce konsantre nitrik

asit, hidrojen peroksit veya kuvvetli oksitleyici bir madde ile muamele edilirse sulu asitlerde çözünmez hale gelir. Metalin bu haline pasif hali denir. Bunun sebebi ise metal yüzeyinde meydana gelen oksit tabakasının metali iyi bir şekilde kaplamasından, yani metale çok iyi tutunmasıdır. Pasif hali geçici olup, metal ısıtıldığında, mekanik darbeye maruz kaldığında veya aktif bir metal ile temasa getirildiğinde kaybolur. Krom, diğer metallerden daha büyük pasiflik göstermektedir. Düşük sıcaklıkta kırılgan olduğu halde korozyona dayanıklıdır. 325°C civarında kolaylıkla işlenebilir [8].

-2'den +6'ya kadar oksitlenebilme özelliğinde olan kromun -1 ve -2 yüklü iyonları, +2, +3 ve +6 yüklü krom iyonlarına göre daha az görülmektedir. Özellikle +6 yüklü krom iyonu yüksek oksidasyon potansiyeli nedeniyle büyük önem taşımaktadır. +6 yüklü krom iyonu, kromat (CrO_4^{2-}) ve dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) anyonu olarak termodinamik açıdan kararlıdır. Aynı zamanda bu anyonlar, sulu çözeltilerde çözünebilmektedirler. Suda çözünür formda bulunan kromun, sudaki konsantrasyonuna ve suyun pH'ına bağlı olarak hidroksit oluşturduğu koşullar Şekil 2.6 de koyu bölgeyle gösterilmiştir (Ayres vd., 1994).



Şekil 2.6 Krom metalinin çözünürlüğü (Ayres vd., 1994)

2.1.1.1.6 Nikel (Ni)

Nikel metaline ait özellikler Çizelge 2.7'da verilmiştir.

Çizelge 2.7 Nikel Metalinin Özellikleri ^[4]

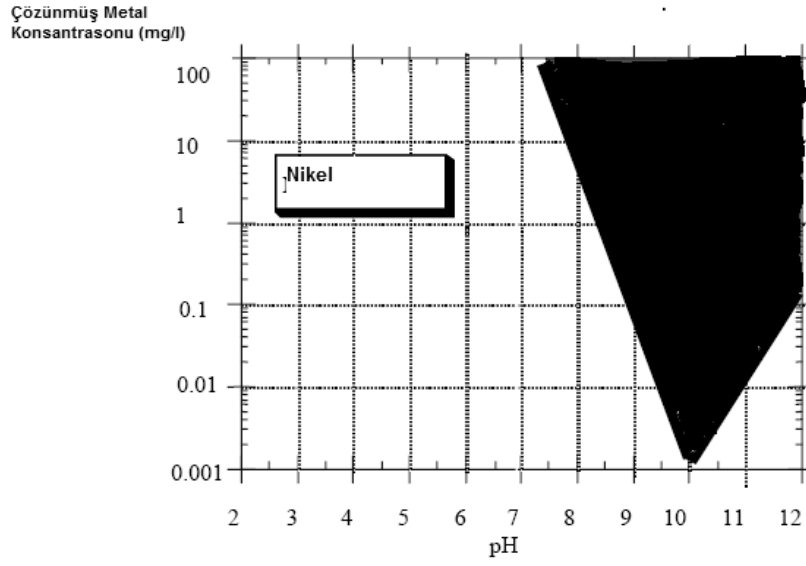
İsim	Nikel
Sembol	Ni
Atom numarası	28
Atom ağırlığı	58.71 gr/mol
Yoğunluğu	8.9 gr/cm ³

Doğada bulunuşu

Nikelin en önemli kaynağı kükürt ihtiva eden cevherlerdir. Başlıca mineralleri pentlandit [(Fe,Ni)₉S₈], millerit (NiS), nikolit (NiAs), maşarıt (Ni₁₁As₈), gersdorfit (NiAsS), garnierit, vermükülitler, polidimit, violarit [(Ni, Fe)₃S₄] ve ulmanittir (NiSbS) ^[8].

Bileşikleri

Normal koşullar altında su ile reaksiyona girmez. Atmosferik etkiyle yüzeyinde bir oksit tabakası meydana gelir ve bu film halindeki oksit tabakası, oksitlenmenin ilerlemesini önler^[8]. Bazik ortamlarda nikel hidroksitle reaksiyona girer. Nikel'in, sudaki konsantrasyonuna ve suyun pH'ına bağlı olarak hidroksit oluşturduğu koşullar Şekil 2.7'de koyu bölgeyle gösterilmiştir (Ayres vd., 1994).



Şekil 2.7 Nikel metalinin çözünürlüğü (Ayres vd., 1994)

2.1.1.2 Araştırmada İncelenen Metal Olmayan İz Elementler

Çalışmada, musluk suyundan gelen ve sediment yapıda bulunan kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) elementleri incelenmiştir. Araştırmada incelenen bu iz elementlerin özellikleri bu altkısımda verilmiştir.

2.1.1.2.1 Magnezyum (Mg)

Magnezyum elementine ait özellikler Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Magnezyum Metalinin Özellikleri ^[4]

İsim	Magnezyum
Sembol	Mg
Atom numarası	12
Atom ağırlığı	24.305 gr/mol
Yoğunluğu	1.738 gr/cm ³

Doğada bulunuşu

Magnezyumun en çok bilinen mineralleri temel olarak üç gruba ayrılır. Bunlar;

1. Karbonat mineralleri: Magnezit (MgCO_3), Dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).
2. Çift tuz mineralleri: Karnalit ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Kizerit ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Kainit ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), Langbain ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$), Şönit ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Epsomit ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).
3. Silikat mineralleri: Alivin (Krizotil) ($\text{Mg} \cdot \text{Fe})_2 \cdot (\text{SiO}_4)$, Serpantin ($\text{Mg}_2\text{H}_3 (\text{MgOH}) (\text{SiO}_4)_2$), Talk ($4\text{MgSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{SiO}_3$).

Bileşikleri

Magnezyum karbonat, MgCO_3 : Tabiatta magnezit minerali hâlinde bulunur ve magnezyum elementi üretiminde kullanılan en önemli cevherdir.

Magnezyum hidroksit, $\text{Mg}(\text{OH})_2$: Deniz suyunda çok bulunur. Magnezyum elementinin elde edilmesinde kullanılan bir cevherdir. Suda magnezya sütü olarak bilinen bir süspansiyon teşekkül ettirir.

Magnezyum sülfat, MgSO_4 : Kizerit denilen hidratlı bileşiği ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), tabiatta mineral olarak bulunur.

2.1.1.2.2 Kalsiyum (Ca)

Volkanik kayaların %3-63'ünü teşkil eden Ca elementinin özellikleri Çizelge 2.9'de verilmiştir.

Çizelge 2.9 Kalsiyum Elementinin Özellikleri ^[9]

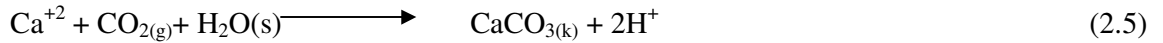
İsim	Kalsiyum
Sembol	Ca
Atom numarası	20
Atom ağırlığı	40.08 gr/mol
Yoğunluğu	1.550 gr/cm ³

Doğada bulunuşu

Kimyevi reaktivitesi yüksek olduğundan serbest halde bulunmaz. En çok rastlanan mineralleri kireçtaşı, mermer, dolomit (MgCO₃·CaCO₃) (Denklem 2.5), fluorit, fluspat (CaF₂), apatit (Ca₃(PO₄)₂Ca(FCI)₂), gips (CaSO₄·2H₂O) ve fosfrit (Ca₃(PO₄)₂) (Schwartzman, 2006). Ayrıca deniz suyunda çözünmüş olarak ve kemiklerde kalsiyum fosfat, kabuklu hayvanların kabuklarında ise kalsiyum karbonat halinde bulunmaktadır ^[8].

Bileşikler

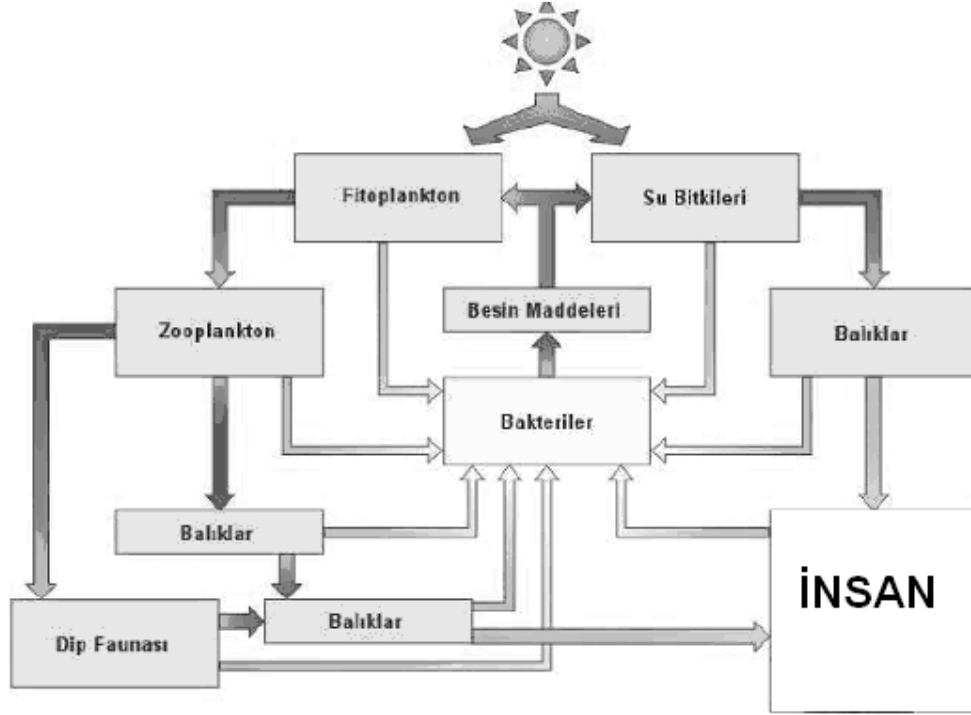
Yer kabuğunda genellikle karbonat (Denklem 2.5), sülfat (Denklem 2.6), silikat ve fosfat bileşikler şeklinde bulunur.



2.1.2 Metalik İz Elementlerin Sağlığa Etkileri

Gerek doğal, gerekse antropojenik faktörlerin etkisi ile ekolojik sistemlerde derişimi artan metalik iz elementler (ağır metaller), canlılar tarafından ortamdan alınmakta ve Şekil 2.8’de gösterildiği gibi besin zinciri aracılığı ile üst trofik düzeylere artan derişimlerde iletilerek

diğer canlıların da olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Tinger ve Koncan, 1997; Şapçı ve Üstün, 2002). Bu nedenle ağır metaller hava, toprak ve suda düşük konsantrasyonlarda bulunsalar bile artan konsantrasyonlarla insana kadar ulaşip insan yaşamını tehdit edebilirler. İzmir körfezinde yapılan bir araştırmada, derelerle taşınan ağır metallerin sediment yapıda biriktiği ve bu suyla sulanan sebzelerde de ağır metal birikimi olduğu tespit edilmiştir (Özer, 1987). Yemen’de (Aden körfezi) yapılan çalışma, sedimentte yüksek oranda bulunan metallerin sudaki canlıların yumuşak dokularında da fazla olduğunu göstermiştir (Soto-Jimenez ve Morales-Hernandez (2000).



Şekil 2.8 Basitleştirilmiş su içi besin zinciri (KKAYG, 2004)

Canlı bünyesinde biriken ağır metaller toplum sağlığını olumsuz etkilemektedir. Genel olarak ağır metaller insanlarda uyku bozukluklarına, yorgunluk, baş ağrısı, baş dönmesi, iştahsızlık, hafıza yetersizliği gibi belirtilere yol açar. Aynı şekilde merkezi sinir sisteminde de düzensizliklere, kalp ve damar hastalıklarına ve kan oluşum sisteminin bozulmasına neden olurlar (Çizelge 2.10). Yapılan çalışmalar metallerin toksik etkilerine maruz kalan bazı bitkilerin büyümelerinin de olumsuz etkilendiğini göstermiştir. Powell K. (2002), arseniğe maruz kalan *Arabidopsis thaliana* bitkisinin, temiz suda yaşayan aynı tür bitkiye göre daha az

büyüdüğünü belirtmiştir. Bazı bitkilerin ise diğer canlılar için toksik etkiye sahip olan bu metallere etkilenmediği, hatta bünyelerinde biriktirdiği belirlenmiştir (Arthur, 2005).

Yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı, ağır metal kirlenmelerinin ekolojik sistem içinden uzaklaştırılması için ağır metallerin canlılarda birikme özelliğinden yararlanılarak bitkiyle doğal ortamın iyileştirilmesi (fitoremediasyon) tekniği geliştirilmektedir.

Çizelge 2.10 Bazı ağır metallerin hayvansal organizmalara etkisi

A. Metal	Canlıya Etkisi	Kaynaklar
Pb	Zeka geriliği Kan basıncında artma Kreatinde azalma Konuşma ve davranışlarda bozukluk	Cremin vd., 1998 HMH, 2003
Fe	Hidroksil radikal hücresel elemanlar için toksiktir, Gen mutasyonuna neden olur	Uysal, 2007
Cr	Kanserojen etki	Losi vd., 1994
Cd	Kanserojen etki Kansızlık Diş sararması Hipertansiyon Akciğer fonksiyonlarında bozulma Koku kaybı Böbrek bozukluğu	Losi vd., 1994 HMH, 2003
Ni	Kanserojen etki	Losi vd., 1994
As	Kanserojen etki Deri ve tırnakta değişiklik Baş ağrısı Bilinçte karışıklık Kansızlık Akciğer fonksiyonlarında bozukluk	Losi vd., 1994 HMH, 2003
Cu	Hücre DNA'sı üzerinde hasar Enzimin aktivitesinin engellenmesi Lösemi ve siroz	Schneider vd., 2001 Ekmekci ve Erk'akan , 1989
Zn	Hücre DNA'sı üzerinde hasar	Schneider vd., 2001
Mn	Halüsinasyonlar Unutkanlık Sinir hasarları Uykusuzluk Güçsüzlük Duygusal bozukluk	Orhun, 2007

2.2 Bitki ile Giderim (Fitoremediasyon)

Bitki ile giderimi, yani fitoremediasyon, kirleticilerin ekosisteme etkilerinin “bitki” kullanarak azaltılmasıdır. Bitki yöntemi ile iyileştirme; kirlenmiş topraklara, dip çamurlarına (sediment), yüzeysel sulara yerinde uygulanabildiği gibi atık suların kalitesinin iyileştirilmesinde arıtma öncesi ve/veya sonrasında uygulanabilmektedir. Arıtma öncesi örneklerinden biri olan yapay sulak alanlar 70–80 santimetre derinliğinde belli bir alan içerisine kurulan doğal bir arıtma tesisidir. Çakıllarla doldurulan ve üzerine su bitkilerinin ekildiği bu doğal arıtma sisteminde, bitkiler ve çakıl taşlarının arasında oluşan organizmalar suyun arıtılmasına yardımcı olur ^[10].

Fitoremediasyon tekniğinin ana bileşeni olan bitkiler farklı türlerde (sucul veya karasal bitkiler) olabilirler. Sucul bitkiler, sulak alanların önemli bileşenlerindendir. Besinleri kendi büyümeleri için kullanır, biyokimyasal süreçler sonucunda bünyelerinde depolarlar. Ayrıca, sulak alan içinde, su akışına direnç gösterirler, bekleme sürelerini artırırlar ve askıda katı maddelerin çökmesini kolaylaştırırlar ^[11], sucul bitkilerle simbiyotik ilişkide bulunan mikroorganizmalarla birlikte kirlenmiş su, toprak ve sedimentteki kirleticiler azaltılmış olur.

Fitoremediasyon tekniği ağır metaller (Merkle, 2007; Blaylock vd., 2005; Echevarria vd., 2003) için kullanıldığı gibi organik kirleticiler, TNT (trinitrotoluen) ve 2,4-DNT (2,4-dinitrotoluen) gibi patlayıcılar (Yoon vd., 2007; Riefler ve Medina, 2005), ham petrol ile petrol hidrokarbonları (Gregory vd., 2005; Kulakow ve Erickson, 2000), klorlanmış bileşikler (Bos, 2002), radyoaktif maddeler (EPA, 2004), tuz ve pestisitler gibi arıtımı zor ve/veya pahalı olan pek çok kirletici için de uygulanabilmektedir (Peer vd., 2005).

Fitoremediasyon tekniği, kirletici maddenin olumsuz etkisini azaltmak için asimilasyon, stabilizasyon, indirgeme (reduction), toksik etki giderimi (detoxification), mineralizasyon, metabolizasyon gibi çeşitli bitki mekanizmalarını kapsar (Ghosh ve Singh, 2005). Bu bitki mekanizmalarına bitkinin ve toprağın özellikleri ile kirleticinin toprak içindeki fiziksel ve kimyasal özellikleri de etki etmektedir. Örneğin, organik kirletici bitki bünyesine alındığında, bitki biyokütlesi veya odunlaşma (lignification) mekanizmasıyla yan ürün olarak depolanabilir, karbondioksit ve suya kadar mineralize olabilir veya bitki cinsine bağlı özel enzimlerle parçalanarak giderilebilir. Örneğin, çevre için olumsuz etkisi olan herbisitleri nitrilaz enzimi parçalayabilmektedir (EPA, 2000).

Bu bölümde temel bitki fizyolojisi, fitoremediasyon mekanizmaları ve bu tekniğin diğer arıtma yöntemleri ile kıyaslaması verilmiştir.

2.2.1 Temel Bitki Fizyolojisi

Bitkilerin morfolojik özellikleri türlere bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.9’de görüldüğü gibi her bitki türü farklı boyut ve biçimde toprak üstü ve toprak altı yapılara sahiptir.

Bitki türüne bağlı olarak bitkilerin ihtiyaç duydukları metaller de değişmektedir. Genel olarak bitkilerde bulunan elementlerin sayıları yaklaşık 60 kadardır ^[12]. Aşağıda açıklanan bu elementler bitkinin ağırlığına ve bitkinin toplam ağırlığının içerdiği organ, doku, hücre ve organel ağırlıklarının oranına göre değişmektedir (ITRC, 2001).

Yeşil bitkilerin yaşamında miktar açısından en önemli temel besinler su, karbon dioksit ve oksijendir. Ayrıca, bitkiler için genellikle 13 adet temel inorganik besin maddesi gereklidir. Bunlar N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cl, Zn, Mn, Cu, B ve Mo’dur ^[12]. Bitkide bulunan bu elementlerin genel olarak miktarları Çizelge 2.11’de verilmiştir.

Çizelge 2.11 Genel olarak bitkilerde bulunan besin maddelerinin miktarları ^[12]

Besin Maddesi	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cl	Zn	Mn	Cu	B	Mo
Miktar (mg/kg kuru ağırlık)	15	2	10	5	1	1	0.1	0.1	0.02	0.05	0.006	0.0001	0.0001

Bitkide bulunan bu 13 adet temel inorganik besin maddesi, bitkinin farklı biyokimyasal reaksiyonlarında görev alır. Örneğin, fotosentez için gerekli olan elementlerden biri demirdir. Demirin bitki bünyesine alımını ise klor dengelemektedir.

İnorganik besin maddelerinin bitki bünyesindeki işlevleri birden fazla olabilmektedir. Örneğin, sülfür (S) protein yapısında bulunduğu gibi koenzim yapısına da katılmaktadır. DNA ve RNA üretimini kontrol eden Cu aynı zamanda bitkideki su hareketinin dengelenmesine yardımcı olur, klorofil ve tohum üretiminde görev alır.

Bitkinin biyokimyasal reaksiyon sonucunda sentezlenen ürünleri için birden fazla besin maddesi gerekmektedir. Örneğin klorofil a yapısını birçok organik yapılarda bulunan karbon (C), oksijen (O), hidrojen (H), azot (N) ve Mg oluşturmaktadır. Çizelge 2.12’de bitki yapısında bulunan elementlerin başlıca görevleri verilmiştir.

Çizelge 2.12 Bitkilerde bulunan elementlerin başlıca fonksiyonları

Element	Elementlerin Başlıca Fonksiyonları	Kaynaklar
Karbon (C)	Bütün organik moleküllerin içinde	[13]
Oksijen (O)	Birçok organik molekülün içinde	[13]
Hidrojen (H)	Birçok organik molekülün içinde	[13]
Azot (N)	Proteinler, nükleik asitler ve benzerlerinin içinde	[13]
Fosfor (P)	Nükleik asitlerin, ATP, fosfolipidlerin içinde enzim aktivasyonu, su dengesi, demir dengesi	[13]
Potasyum (K)	Enzim aktivasyonu, su dengesi, demir dengesi	[13]
Sülfür (S)	Proteinlerin ve koenzimlerin içinde	[13]
Kalsiyum (Ca)	Hücre duvarlarını güçlendirir, hücre bölünmesi ve hücrelerin büyümesine yardımcı olur	[14]
Magnezyum (Mg)	Klorofilin içinde; birçok enzim için gereklidir; ribozomları dengeler	[13]
Demir (Fe)	Fotosenteze, protein ve karbonhidrat oluşumuna, solunuma ve çoğu enzimin faaliyetine yardımcı olur	[14]
	Nükleik asit metabolizmasına doğrudan dahil olur	[15]
Klor (Cl)	Fotosentezde demir dengesinin sağlanmasında kullanılır	[13]
Mangan (Mn)	Birçok enzimi harekete geçirir	[13]
	Demir ile birlikte klorofil oluşumuna yardım eder, protein ve karbonhidrat oluşumunda rol oynar	[14]
Bor (B)	Karbonhidrat iletimi için gerekli olabilir	[13]
	DNA, RNA ve bitki hormonlarının sentezi, hücre duvarlarının yapımı, doku oluşumu	[15]
Çinko (Zn)	Enzim aktivasyonu, auksin hormonu sentezi için gerekir	[13]
Bakır (Cu)	Klorofil üretimi ve tohum üretimi için gereklidir, su hareketinin dengelenmesine yardımcı olmaktadır	[14]
	DNA ve RNA üretimini kontrol eder	[15]
Molibden (Mo)	Azot sabitleştirme; nitrat azaltma için gereklidir	[13]

Bitkiler topraktan gerekli çözünmüş inorganik besin maddeleri aktif veya pasif taşıma yaparak kökleriyle alırlar. Pasif taşıma yapraklardan buharlaşan suyun oluşturduğu basıncın neden olduğu akışla meydana gelen bir taşımadır. Aktif taşıma ise kök mebranındaki proteinlerle maddelerin enerji harcanarak (ATP) taşınmasıdır.

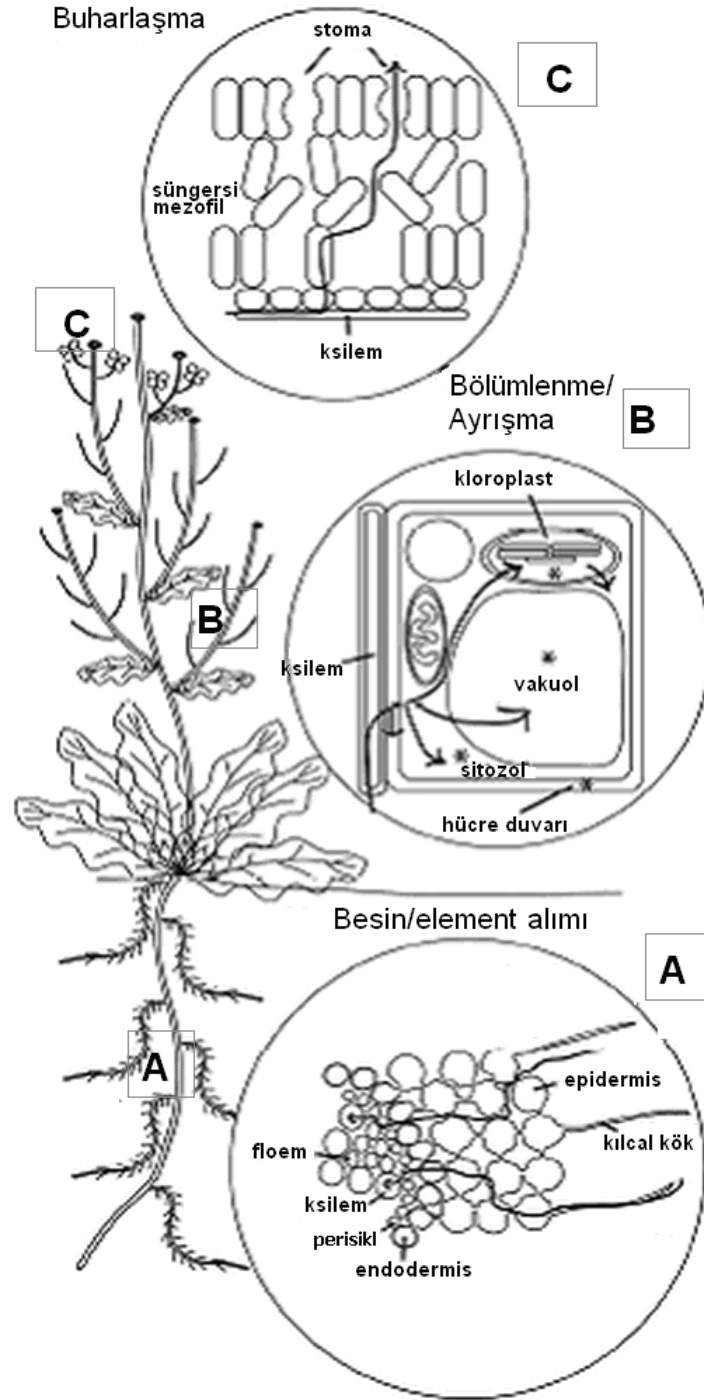
Yukarıda verilen temel besin maddeleri dışındaki bazı elementler bitkiler için gerekli olmasa da metabolik veya pasif yolla alınabilmektedir. Örneğin, kadmiyum bitki içerisine kolaylıkla taşınır. Özellikle organik maddeler tarafından kolayca adsorbe edilir, yaprak ve kökte yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir. Zurayk ve arkadaşları (2001) *Mentha aquatica* bitkisinin kök ve gövdesinde önemli miktarda Cd biriktiğini belirtmişlerdir.

Bitkilerde çözünmüş besin maddeleri (nutrientleri) taşıyan vasküler (kapiler) sistemin adı ksilemdir. Ksilem sadece su ve içinde çözülmüş olan inorganik maddeleri taşımaktadır. Bitkilerde bulunan diğer vasküler sistem ise floemdir. Floem, fotosentez sonucunda üretilen organik maddelerin kök ve gövdedeki taşınmasında kullanılır ^[16].

Fotosentez sonucu elde edilen organik bileşikler (aminoasit, protein, organik asit, karbonhidrat ve diğer hücresel maddeler) bitki köklerinden sızar. Bitki tarafından üretilen toplam fotosentetik ürünlerin %20'si bitki hücresinden dışarıya (kökü çevreleyen sediment yapıya) sızar (Erickson vd., 1994). Bitki köklerinin çevresi bu sızıntıdan dolayı karbon kaynağınca zengin olduğundan, toprak organizmalarının (bakteri, mantar ve fungi) yaşaması için uygun ortam oluşturur. Rizosferde yaşayan bu toprak organizmaları da bitki kökleri için patojenlere karşı koruyucu bir bariyer oluşturur. Sonuç olarak, toprak organizmaları ile bitki arasında simbiyotik bir ilişki mevcuttur (Erickson vd., 1994). Bitkiyle doğal ortamın iyileştirildiği bu yöntemde, çevredeki organik bileşiklerin parçalanmasını açıklayan ilk mekanizma bu simbiyotik ilişkidir.

2.2.2 Fitoremediasyon Mekanizmaları

Bitkiler kirleticilerin olumsuz etkisini çeşitli yollarla giderirler. Bu mekanizmalarda bitki türü, kirleticinin türü, ortam koşulları gibi çeşitli faktörler rol oynar. Bütün bu etkilere bağlı olarak bitkinin kirleticiyi etkisiz hale getirme veya giderme yolları değişmektedir. Örneğin, kirletici kök membranına bağlanabilir, kök hücresine alınıp vakuolde tutulabilir, akümüle olabilir veya stabilize edebilir ya da mineralize ederek CO₂ ve suya kadar parçalanarak yapraklardan havaya verilebilir (Şekil 2.10) (Arthur vd., 2005; Baud-Grasset, 2003).



Şekil 2.10 Bitkilerin besin maddesi ve çözünmüş metal alım mekanizmaları (Peer vd., 2005)

A: Besin maddeleri ve çözünmüş metallerin bitki köküyle alınması B: Besin maddeleri ve çözünmüş metallerin hücre içine alınması C: Bitki yüzeyinden buharlaştırma

Fitoremediasyon (phytoremediation) mekanizmaları,

- Fitostabilizasyon (Phytostabilization),
- Fitoakümülyasyon (Phytoaccumulation) (Phytoextraction),
- Fitodegradasyon (Phytodegradation),
- Fitovolatilizasyon (phytovolatilization),
- Rizodegradasyon (rhizodegradation),
- Evapotranspiration

olmak üzere 6 gruba ayrılmaktadır.

2.2.2.1 Fitostabilizasyon (Phytostabilization)

Önceleri toprak erozyonunu önlemek için kullanılan bitkilerle yapılan araştırmalar sonucunda topraktaki kirleticilerin bitki kökleriyle temas edilmesi sonucunda giderildiği görülmüştür. Toprak erozyonu ve akışkan etkisiyle hareket ederek farklı bölgelere yayılabilen bu kirleticiler, bitkinin özelliği ve kirleticinin tipi ve türüne bağlı olarak farklı bitki mekanizmalarıyla stabil hale gelmektedir ^[17]. Kirleticilerin stabil hale getirilmesi üç şekilde olmaktadır (Arthur vd., 2005; Baud-Grasset, 2003, ITRC, 2001):

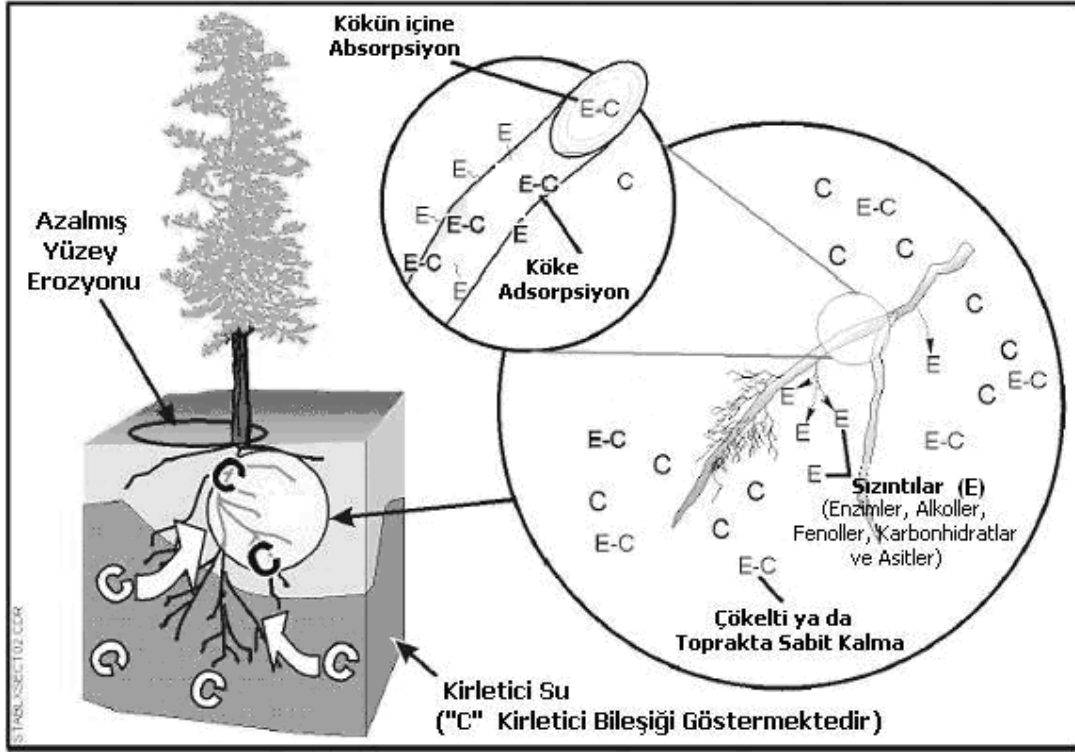
1. Kök bölgesindeki stabilizasyon: Bitki tarafından üretilen enzimler, proteinler, fenoller, karbonhidratlar ve asitler rizosfere (kök bölgesi) sızarlar. Bu sızıntılar kök bölgesindeki kirleticilerin immobilize olmasına veya çökmesine yol açar.

2. Kök membranındaki stabilizasyon: Hücre duvarının dış kısmı ile bağlantılı olan sızıntılara topraktaki kirleticinin bağlanması sonucunda stabil hale getirilmesidir.

3. Kök hücrelerinin stabilizasyonu: Kök hücre duvarındaki sızıntılar, kirleticin kök membranından geçişini kolaylaştırabilir. Kök membranından geçen kirleticiler kök hücrelerindeki vakuollere alınarak stabil hale getirilebilir.

Benzer olarak kök çevresindeki akışkanda bulunan kirletici köke absorbe olarak ya da bitki kökü üzerinde çökerek veya adsorbe olarak giderilebilir. Bu mekanizmaya “rizofiltrasyon” (rhizofiltration) denir (Arthur vd., 2005). Bitki köklerinin absorpsiyon ve adsorpsiyonun önemli rol oynadığı bu teknikte geniş kök yüzey alanı gerekmektedir (Peer vd., 2005). Bu işlemler doğal ortamlarda biyotik veya abiyotik olabilirler. Eğer işlem biyotik ise kirletici, türüne bağlı olarak bitki tarafından alınabilir. Eğer işlem bitki dışında

gerçekleşiyorsa, bitki köklerindeki sızıntılar kirleticinin çökmesine neden olabilir ^[17]. Çeşitli petrol rafinerilerinden bırakılan selenit içeren atık sulardaki selenyumun %89'unun yapay sulak alanlarda rizofiltrasyon mekanizmasıyla giderildiği belirtilmiştir (Peer vd., 2005).



Şekil 2.11 Organik veya inorganik fitostabilizasyon (phytostabilization) (ITRC, 2001)

2.2.2.2 Fitoakümüülasyon (Phytoaccumulation veya Phytoextraction)

Bitkilerde metal veya tuz kullanımında görülen metot “fitoakümüülasyon” metodudur. Birçok enzim ve proteinin yapısına katılan Cu, Zn gibi ağır metaller, bitki büyümesi ve gelişimi için gereklidir. Ancak, yüksek konsantrasyonda alınan ağır metaller (iz elementler ve diğer ağır metaller) bitkinin büyümesini engelleyici ve toksik etkili olabilmektedir. Toksik etki göstermesi moleküler seviyedeki hücre-ağır metal etkileşimine bağlı olabilir. Çünkü ağır metaller proteinlerin sülfidril gruplarına bağlanarak proteinlerin aktifliğini veya yapısını bozarak ya da gerekli iz elementler ile yer değiştirerek proteinin eksikliğine neden olabilir (Hall, 2002). Bazen bitkiler toksik olan bu metallerin kimyasal formlarını zararsız metal biçimine dönüştürerek bünyelerinde biriktirirler. Örneğin, toksik olan Cr^{+6} ’yı Cr^{+3} ’e dönüştürerek bitki bünyesine alırlar (Arthur, 2005; Dushenkov, 1995).

Bazı bitkiler diğer bitkilerden daha yüksek ağır metal toleransına sahiptirler. Bunun nedeni kesin olarak bilinmemektedir. Macnair ve arkadaşları (2000) bitkilerdeki ağır metal toleransını içinde bulunduğu toprakta yaşayabilme yeteneğine ve genetik özelliği ile çevresel faktörler arasındaki ilişkiye bağlı olarak tanımlamışlardır (Hall, 2002).

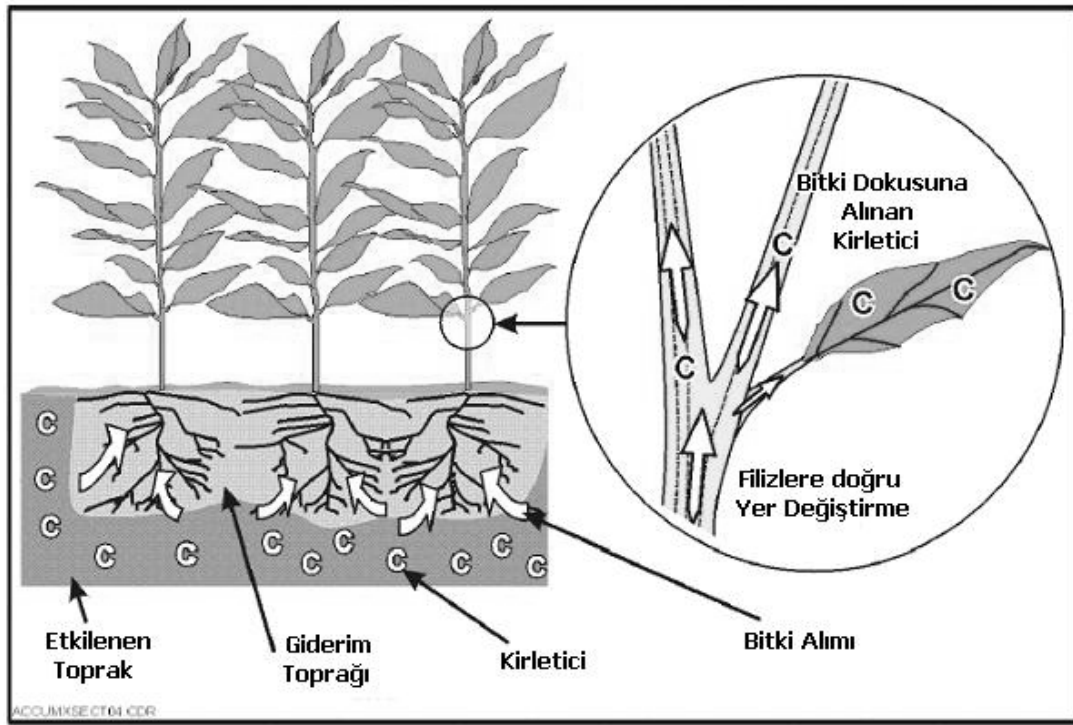
Yüksek miktarda ağır metal akümüle eden bitkilere hiperakümülatör (hyperaccumulator) bitki denir. Kamal ve arkadaşları (2003) bitkiyi hiperakümülatör olarak sınıflandırmada bitki yaprağının 100 mg/kg'dan daha yüksek oranda metal içermesi gerektiğini söylerken, Peng ve arkadaşları (2005) en az 1000 mg/kg (kuru ağırlık) metali akümüle edebilme yeteneğinde olması gerektiğini söylemektedir. Bazı kaynaklar ise metal cinslerine bağlı olarak bitkide bulunduğu miktarı değerlendirerek bitkinin hiperakümülatör olup olmadığını değerlendirmektedir. Örneğin, bitkinin hiperakümülatör olması için bünyesine en az Cd, As ve bazı metaller için 100 mg/g (% 0,01 kuru ağırlık); Co, Cu, Cr, Ni ve Pb için 1000 mg/g (% 0,1 kuru ağırlık); Mn ve Ni için 10.000 mg/g (% 1 kuru ağırlık) akümüle etmesi gerekmektedir (Prasad ve Freitas, 2003). Cardwell ve arkadaşları da (2002) adapte olmuş sucül bitkilerin, bulunduğu suya göre 100.000 kez daha büyük metal konsantrasyonu içerebildiğini vurgulamışlardır.

Her bir bitki türü için metallerin bulunduğu yer ve biriktiği miktar değişmektedir. Bitkiye akümüle olan kirletici maddeler bitkilerde ya yaprak ya da sürgünlerin üstünde veya kök içinde bulunurlar (Şekil 2.12). Kirleticinin hücre içine akümüle olma ve organlara doğru taşınma mekanizmaları araştırılmaktadır. Metal iyonları için hücre içindeki vakuolün önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Vakuol içindeki organik asitler (sitrat, malat gibi) ile metallerin şelat yaptığı veya enzimatik sentezlenen (γ -EC)-izopeptidlerle fitoşelatlar (phytochelatın) oluşturduğu düşünülmektedir. Organik asit kompleksleri ve fitoşelatların bitkideki metal taşınımıyla ilgisi olabileceği sanılmaktadır (Dushenkov, 1995).

Yapılan araştırmalar, metal stresinde bulunan bitkilerde, hücre organeli olan kloroplast içindeki klorofil pigmentinin merkezinde olan Mg atomunun diğer ağır metallerle (Cu, Ni, Zn gibi) yer değiştirdiğini göstermiştir. Klorofil yapısının bozulması sonucunda genellikle toplam klorofil ve klorofil a/b oranını azalmakta ve yaşam için gerekli olan fotosenteze engel olmaktadır (Prasad, 1998). Ağır metal stresine bağlı olarak klorofil içeriğinde görülen azalmanın, yalnızca klorofil yapısının değişmesinden değil, klorofil biyosentezinde iş gören enzimlerin ağır metaller tarafından engellenmesinin bir sonucu olabileceği de bulunmuştur. Örneğin, kadmiyumun klorofil biyosentezi üzerine etki yaptığı ve protoklorofil redüktaz ile aminolevulinik asit sentezini engellediği kaydedilmiştir. *Pennisetum typhoideum* ve

Phaseolus vulgaris bitkilerine yüksek konsantrasyonda kurşun uygulandığında ALA (aminolevulinic acid) miktarının değişmediği, fakat aktivitesinin azaldığı, bunun sebebinin ise enzimin aktif bölgesindeki SH gruplarıyla kurşunun birleşmesi ve böylece aktivitesinin engellenmesi olduğu rapor edilmiştir. Ağır metal uygulanması sonucu ALA sentezinin ve dolayısıyla klorofil biyosentezinin engellendiği bildirilmiştir (Kırbağ Zengin ve Munzuroğlu, 2005).

Yüksek miktarda ağır metal akümüle eden bitkilere hiperakümülatör denildiği gibi, yüksek oranda tuz akümüle edebilen ve tuza toleransı olan bitkilere de halofit bitki adı verilmektedir (ITRC, 2001) .

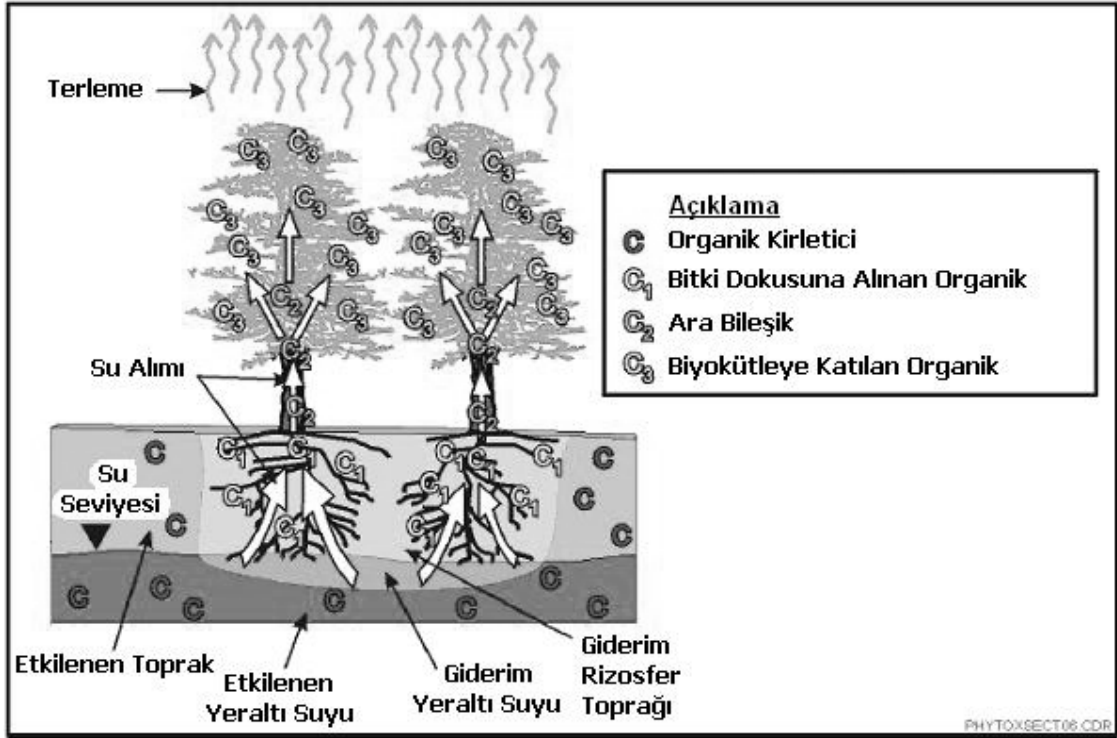


Şekil 2.12 Fitoakümüülasyon (phytoaccumulation) mekanizması (ITRC, 2001)

2.2.2.3 Fitodegradasyon (Phytodegradation)

Fitodegradasyon, su, sediment veya topraktaki organik kirlenici maddelerin bitkideki enzimlerle parçalanarak toksik etkisinin giderilmesidir (Şekil 2.13). Fitodegradasyonda, bitki türü ve bulunduğu ortam koşulları ile organik kirlenicinin konsantrasyon ve kompozisyonu önemlidir. Rizosfer bariyerini geçen kirleniciler bitkiye çeşitli yollarla geçerler. Bitkinin metabolik süreçleri bu geçişe yardımcı olabilmektedir. Örneğin, bitkinin biyokimyasal reaksiyonlarında kullanılan dehalojenaz, oksijenaz, redüktaz ve katalaz enzimleri organik

kimyasalın indirgenmesine yardımcı olabilir, vakuolde indirgenebilir ya da bitki dokusunda ürünlere bozularak giderilebilir (Ghosh ve Singh, 2005).



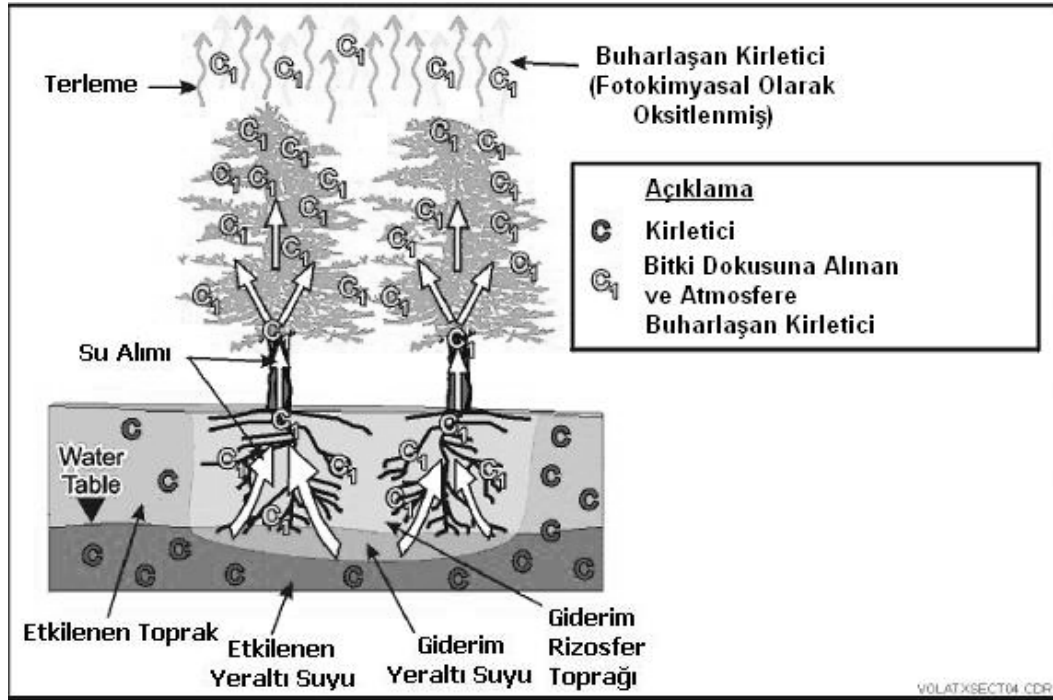
Şekil 2.13 Fitodegradasyon mekanizması (ITRC, 2001)

Toprak veya yeraltı suyundan alınan kimyasallar bitkinin bağıl-nisbi yeteneğine bağlıdır. Bu özelliği belirlemek için kök konsantrasyon faktörü (RCF) ile terleme akış konsantrasyon faktörü (TSCF) gibi tanımlar kullanılmaktadır. Kök konsantrasyonu ve gövde ksilemi olarak bitki içinde bulunan kirletici konsantrasyonlar, dışarıdaki kirletici içeren çözelti ile ilişkilendirilir (Yoon vd., 2007).

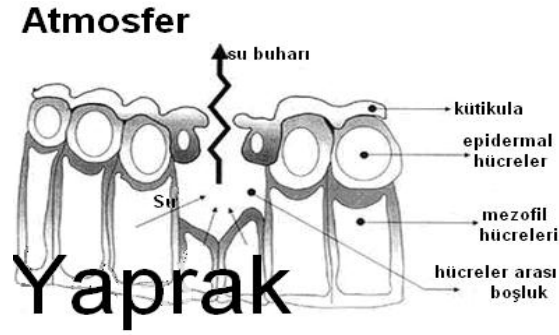
Kirleticinin bitki bünyesine alınmasında, bitkinin özelliği, toprağın özelliği, kirleticinin toprak içindeki fiziksel ve kimyasal özellikleri etkili olmaktadır. Örneğin organik kirletici bitki bünyesine alındığında bitki biyokütlesi veya odunlaşma (lignification) mekanizmasıyla yan ürün olarak depolanabilir veya karbondioksit ve suya kadar mineralize olabilir. Bitkiye özel üretilen enzimler organik kirleticinin bozunmasını sağlayabilirler. Örneğin, dehalojenaz enzimi klorlanmış çözeltiler gibi halojen alt grup içerenlerin gideriminde, oksijenaz enzimi alifatik hidrokarbonlar gibi organik kirleticilerin oksidasyonunda, nitroredüktaz enzimi trinitrotoluen (TNT) gibi patlayıcı bileşiklerin içerdiği nitronun redüklenmesinde (ITRC, 2001), nitrilaz ise herbisitler üzerinde etkilidir (EPA, 2000).

2.2.2.4 Fitovolatilizasyon (Phytovolatilisation)

Çeşitli organik ve inorganik kirleticilerin giderimine yardımcı olan metottur. Toprakтан çözünmüş kirleticilerin alınmasıyla başlar. Kirletici veya kirleticinin bir formu bitkiden içeriye girer ve bitki yaprağından terlemeyle atmosfere geçer (Şekil 2.14) (EPA, 1998). Özellikle tropikal bitkilerde bazı kimyasallar, yaprakların stomalarından dışarıya sıvı fazda çıkmaktadır (Şekil 2.15). Daha sonra atmosferle temasında oksidant veya hidroksil radikalleri oluşturmaktadır (ITRC, 2001). Örneğin, sucul bitkilerin tarımsal ve endüstriyel atık sulardan gelen selenyumu bünyelerinde biriktirerek ve buharlaştırarak giderdiği belirlenmiştir. Pilon-Smits (2005) yaptıkları çalışmada *Myriophyllum brasiliense*, *Juncus xiphioides*, *Typha latifolia* gibi sucul bitkilerin selenyumu giderdiğini göstermişlerdir. De Souza ve arkadaşları (1999) *Brassica juncea*'nın selenyumu bünyesinde biriktirerek ve selenatın (selenate) buharlaşmasıyla giderdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, bitkinin Se gideriminde rizosferindeki bakterilerin etkili olduğu tespit edilmiştir (Arthur vd., 2005).



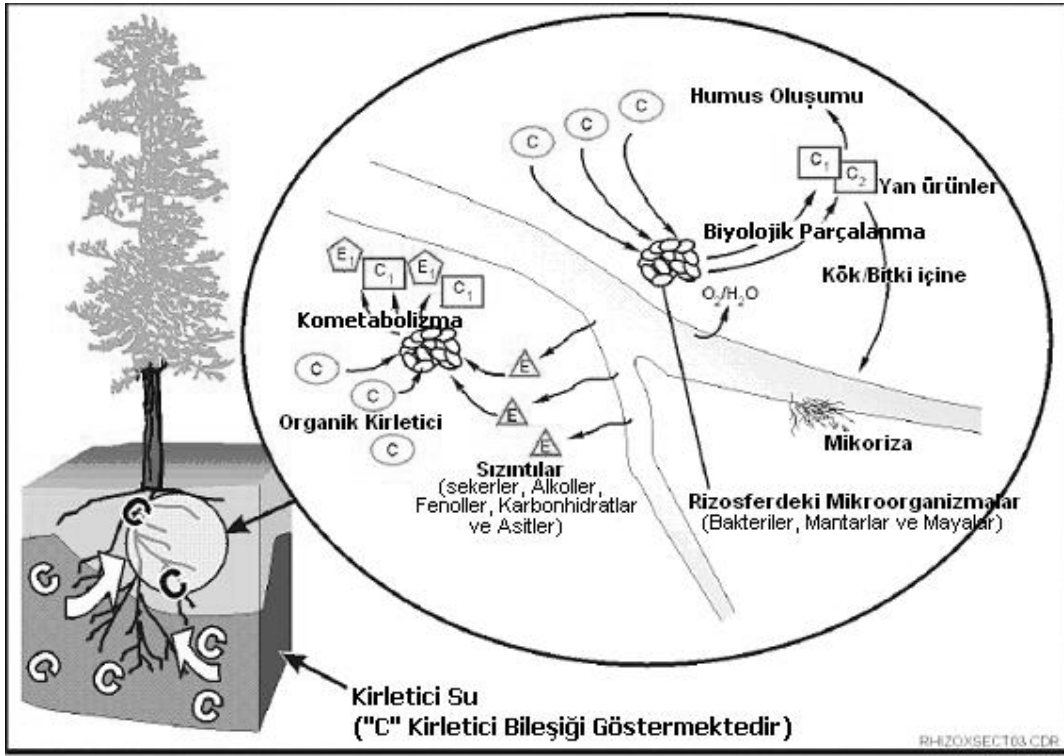
Şekil 2.14 Fitovolatilizasyon mekanizması (ITRC, 2001)



Şekil 2.15 Bitki yaprağındaki buharlaşma ^[20]

2.2.2.5 Rizodegradasyon (Rhizodegradation)

Biyolojik aktivite ile topraktaki kirleticinin bozulmasını sağlayan fitoremediasyon (phytoremediation) mekanizmasıdır. Biyolojik aktivitenin olması için özellikle protein ve enzim gereklidir. Bitki ile toprak organizmaları arasında simbiyotik bir ilişki vardır (Peer vd., 2005). Bu ilişkide bitkiden sızan fotosentetik ürünler, toprak organizmaları için besin kaynağı olmaktadır. Toprak organizmaları ise kök etrafında bir bariyer oluşturarak patojenlere karşı kök hücrelerini de korur (Peer vd., 2005). Toprakta bulunan protein ve enzimler ya bitkilerin fotosentetik sızıntılarından ya da bu sızıntılarla beslenen bakteri, mantar gibi toprak organizmalarının biyokimyasal reaksiyonlarının ürünlerinden elde edilmektedir (Şekil 2.16). Bu ürünler topraktaki kirleticilerin parçalanmasını sağlar. Biyolojik aktivite sonucunda giderilen organik kirleticilerin bazıları canlılar için zararlı olduğu düşünülen petrol hidrokarbonları ve klorlu çözücüler gibi kimyasallar olabilmektedir. Bu kirleticiler, bitki veya toprak organizmalarının protein ve enzimleriyle doğrudan metabolize edilebilir ^[19,20], yiyecek ve enerji kaynağı olarak mineralizasyona uğrayabilirler (ITRC, 2001).



Şekil 2.16 Organik kirlenicilerin rizodegradasyonu (ITRC, 2001)

2.2.2.6 Evapotranspirasyon

Evapotranspirasyon, toprak yüzeyinden oluşan buharlaşma (evaporasyon) ve bitki yapraklarından oluşan terleme (transpirasyon) ile atmosfere verilen toplam su miktarı olarak tanımlanır (Aydınşakir, 2003). Bitkinin içinde bulunduğu hidrolik durum önemlidir. Özellikle yapraklar üzerindeki yağmur suyu etkili olmaktadır. Bu nedenle yaprağın morfolojik yapısı, örneğin yaprağın yatay veya yayvan oluşu veya yaprak sayısındaki yoğunluk, etkili olmaktadır.

2.2.3 Fitoremediasyon Tekniğinin Diğer Arıtma Yöntemleri İle Kıyaslanması

Tüm tekniklerde olduğu gibi bitkiyle arıtım tekniğinin de hem olumlu, hem de olumsuz yanları vardır. Bunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Olumlu yanları;

1. Çevre dostu olan bu teknoloji, klasik arıtma sistemlerine göre ekonomiktir (Schnoor, 1998; Glass, 1999). Kullanılan malzemelerin tarımdakilerle aynı olması

ekonomik olmasının en önemli nedenidir ^[21].

2. Kirleticinin bulunduğu doğal ortama doğrudan müdahale edilebilir. Toprak, sediment, su ve havadaki kirleticilerin kirlilik yükünün azaltımında etkilidir. Örneğin havadaki NO_x, SO₂, CO₂'i kolaylıkla alabilen bitkiler, hava kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılabilir (Pilon-Smits 2005).
3. Geleneksel tekniklerle etkileri kolaylıkla giderilemeyen kompleks kirleticilerin ortamdaki uzaklaştırılmasında etkin rol oynarlar. Örneğin, trikloroetilen (TCE) gibi organik solventler, trinitrotoluen (TNT) gibi patlayıcılar, atrazin gibi herbisitler, benzen, toluen, benzin, yağ, poliaromatik hidrokarbon (PAH) gibi petrol hidrokarbonlarının gideriminde başarıyla kullanılmaktadır (Pilon-Smits 2005).
4. Birden fazla ve farklı türlerde kirleticisi içeren alanlarda uygulanabilir ^[21].
5. Bitkiyle giderim yöntemi klasik arıtma tesislerine göre toplum tarafından daha kolay kabul edilebilir ^[21].

Olumsuz yanları;

1. Fitoremediasyonun uygulanacağı ortamın bitkinin yaşaması için gerekli olan sıcaklık ve nem gibi iklim, dağlık, ovalık alan gibi yükseklik ve basınç gibi coğrafi koşulların, toprak yapısının uygun olması ve ortamda toksisite etkisi yapabilecek kirleticinin olmaması gerekmektedir (Pilon-Smits, 2005).
2. Uygulama için bitki seçiminde, yalnızca kirleticinin olumsuz etkilerini gidermesine değil, toprak içindeki kirleticisi ulaşabilecek kök boyuna sahip olup olmadığına da dikkat edilmesi gereklidir (Pilon-Smits, 2005).
3. Eğer fitoremediasyon tekniği geniş ölçekli alanlarda uygulanacaksa, uygulayıcının tarım bilgisine sahip olması ve geniş alanlarda uygulama için uygun donanımın olması gereklidir ^[21]. Bu durumda kullanılacak ekipmandaki teknolojilerin geliştirilmesi gerekecektir. Araştırma ve uygulamalar için bütçeye ihtiyaç duyulacaktır.
4. Kirleticiler odunsu dokular içinde toplanabilir ^[21] ve bu odunsu dokuların yakıt olarak kullanılması sonucu ekolojik sisteme zarar verilebilir. Bu nedenle uygulama alanlarının kontrol altında tutulması gerekmektedir.
5. Geleneksel kirleticisi giderim teknikleri ile kirleticisi giderimi gün, ay gibi kısa sürelerde olabilirken, kirleticinin bitkiyle giderimi yıllar gibi uzun süreler alabilir

(Pilon-Smits, 2005).

6. Bitki enzimlerine bağılı olarak kirleticinin rizosfer bölgesinde çözünürlüğünün artabileceğı, bunun da sızıntılarla daha büyük çevre sorunlarına neden olabileceğı düşünülerek, uygulama alanlarında gerekli önlemlerin alınması gerekebilir.

7. Bitki popülasyonu hızlı ve kontrolsüz çoğalmalarla artabilir ve ekolojik dengenin bozulmasına neden olabilir.

8. Uygulama için bitkinin polenlerle dağılabileceğı düşünülerek seçim yapılmalıdır. Bu polenler kontrolsüz çoğalmaya neden olabileceğı gibi bölge halkının sağlığını da olumsuz etkileyebilir (örneğin polen alerjisi yapabilir).

9. Kirleticinin bitkiyle besin zincirine geçişi düşünülerek fitoremediasyon uygulamaları kontrol altında tutulmalıdır. Örneğin, uygulama alanlarına hayvan girişleri engellenmelidir.

Fitoremediasyon (phytoremediation) uygulamasında bitkinin yaşam koşulları ve yaşam döngüsü dikkate alınarak uygun bitkinin seçimi yapılmalıdır. Uygulama esnasında bitkinin kullandığı mekanizmalar ve uygulama sonrasında bitkinin uygulama alanından uzaklaştırılma yöntemi belirlendikten sonra çalışmaya başlanmalıdır.

2.3 Küçükçekmece Gölü ve Havzası

Çalışmada Sazlıdere deresinin Küçükçekmece Gölü'ne döküldüğü bölgedeki kalıcı kirleticilerden biri olan metallerin bitki alımı ile uzaklaştırılması irdelendiğı için bu bölümde Küçükçekmece Gölü ve havzası hakkında bilgi verilmiştir.

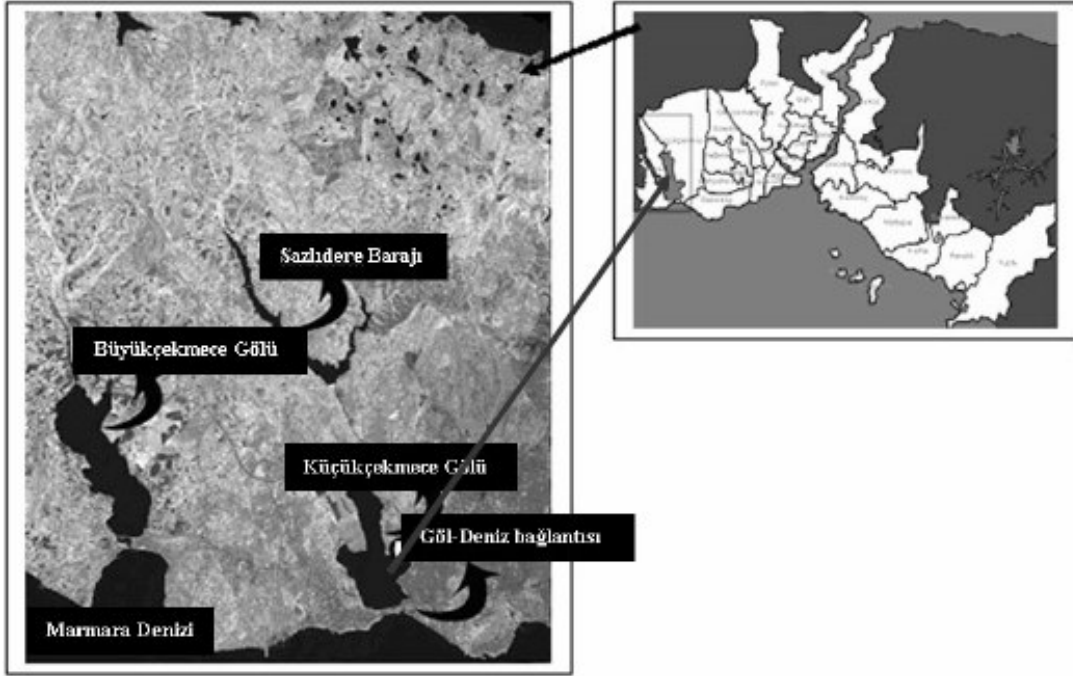
2.3.1 Genel Bilgi

Küçükçekmece Gölü, İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde yer alan ve B sınıfı sulak alan olarak kabul edilen önemli sulak alanlardan biridir (Albay, 2004). Özellikle 1994 yılı itibariyle ülkemizin taraf olduğı Ramsar Sözleşmesi (Özellikle Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Öneme Sahip Sulak Alanlar Hakkında Sözleşme) kapsamında değerlendirilebilecek, Türkiye'deki nadir lagün ekosistemlerinden birisidir (Okumuş, 2007).

Küçükçekmece Gölü, Küçükçekmece İlçesi batı sınırı ile Avcılar İlçesi doğu sınırları içinde (K 40.59"24; D 28.45"57) yer almaktadır (Demirci vd., 2006) (Şekil 2.17). Havza, Sazlıdere

Baraj Gölü Havzası ile birlikte 340 km² alan kaplamaktadır. Küçükçekmece Gölü'nün kuzey-güney doğrultusundaki uzunluğu 10 km, en geniş yeri yaklaşık 6 km'dir. Gölün derinliği güney kıyı yakınlarında 21 m'ye ulaşmaktadır. Küçükçekmece Gölü'nü, Çatalca Yarımadası'nın iç kesimlerinden kaynaklanan üç küçük akarsu beslemektedir. Bunlar Nakkaşdere, Sazlıdere ve Eşkinöz Deresi'dir. Kuzeyden güneye akan ve yerleşim bölgelerinden geçen üç dere Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Gölün güney kısmında Florya-Avcılar sahil hattı, kuzeyinde Sazlıdere drenaj bölgesi, doğusunda İkitelli-Halkalı-Sefaköy, batısında ise Hoşdere-Eşkinöz-Firuzköy yer almaktadır (Üstün vd., 2005).

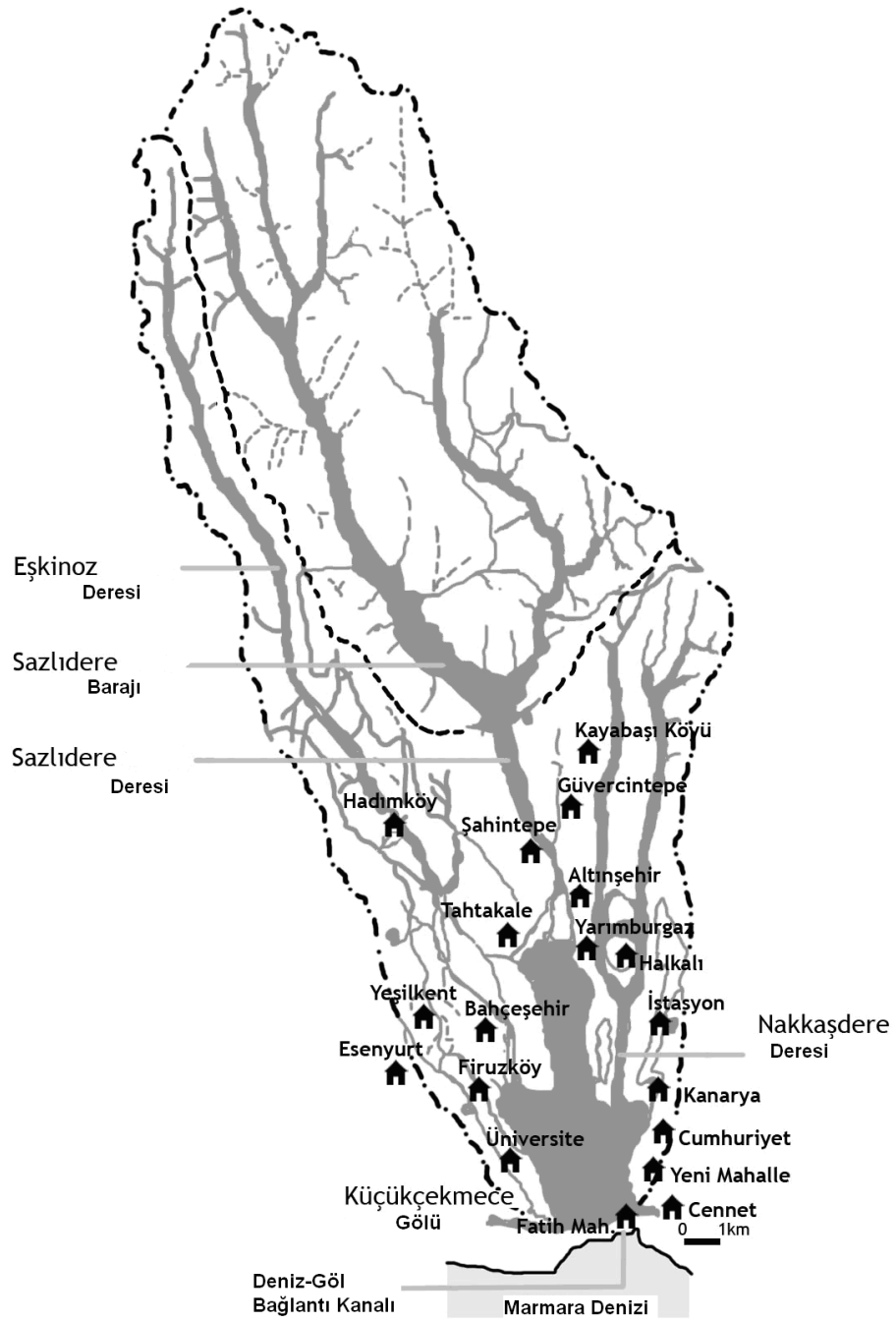
Son yıllarda, özellikle 2007'de yaşanan mevsim ortalamasının üstündeki sıcaklıklar bölgedeki derelerin cıvılaşmasına, Sazlıdere barajı ve Küçükçekmece Gölü'nün su hacminin azalmasına neden olmuştur. 2005 yılından önce Sazlıdere'nin göle döküldüğü alana bataklık nedeniyle gidilemezken, burası 2005 yılının sonları ile 2006 arasında yürüyerek, 2006 sonundan itibaren araçla gidilebilen bir bölge olmuştur. Benzer olarak 2007 yazında, azalan su hacminden dolayı Sazlıdere barajının içinde eskiden kalan elektrik direkleri ortaya çıkmıştır. Bu gözlemler ve araştırmacıların yaptığı çalışmalar göl alanının küçüldüğünü göstermiştir (Çizelge 2.13). Göl alanının azalmasında dört temel neden olduğu düşünülmektedir. Birinci etken, küresel ısınmaya bağlı olarak azalan yağış ve artan sıcaklıktan dolayı artan buharlaşmadır. İkinci etken gölün doldurulmasından dolayı azalan göl hacmidir. Üçüncü etken ise göl kirlenmesinden dolayı artan sazlık popülasyonunun etkisidir. Çünkü sazlıklar fazla besin maddesi bulunan sulak alanda hızlı çoğalırlar ve sulak alanın suyunu kullanarak bölgenin bataklığa dönüşmesine ve daha sonrada karasallaşmasına neden olurlar. Son etken ise Marmara denizi ile göl arasındaki su akıntısıyla taşınan sedimentler nedeniyle Marmara deniziyle bağlantısının azalmasıdır.



Şekil 2.17 Küçükçekmece Gölü'nün uydu görüntüsü (Başer, 2006; Akyapı, 2005)

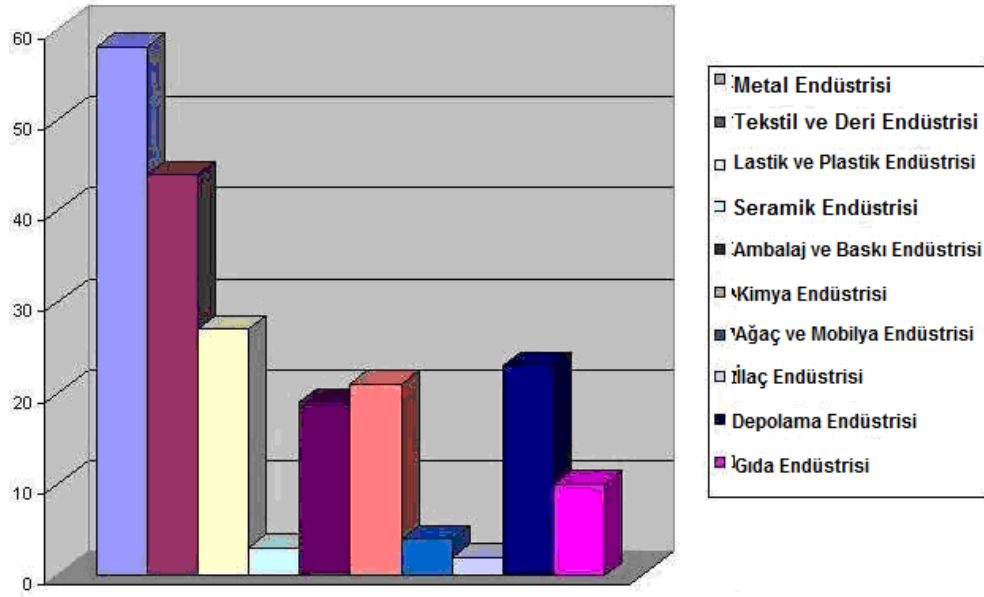
Çizelge 2.13 Yıllara bağlı olarak Küçükçekmece Gölü'nün yüzey alanındaki değişim

Yıl	Gölün yüzey alanı (ha)	Kaynak
1992	1616	Yüzbaşıoğulları, 2004
1997	1612	Yüzbaşıoğulları, 2004
2001	1626	Yüzbaşıoğulları, 2004
2004	1522	Moarof, 2004
2007	1400	Okumuş, 2007



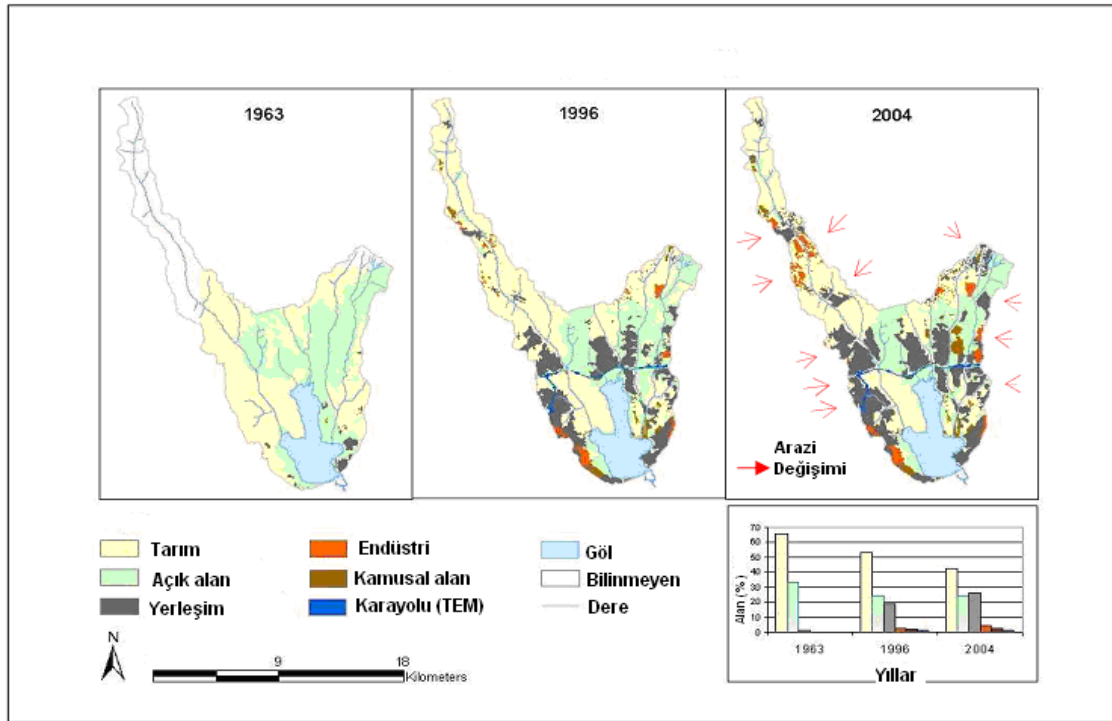
Şekil 2.18 Küçükçekmece havzasındaki su kaynakları ve yerleşim yerleri (Taner, 2007)

1990'lara kadar hayvancılık ve tarımsal faaliyetler yapılan havza daha sonraları endüstrileşme ve yerleşim yeri olmuştur. Havza sınırları içindeki Hadımköy ilçesindeki mevcut endüstriler Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19 Hadımköy ilçesindeki endüstri çeşitleri ve sayıları (Üstün vd., 2005)

Demirci vd. (2005) yaptıkları çalışmada 1963, 1996 ve 2004 yıllarındaki havza arazisinin kullanımındaki değişimi harita üzerinde (Şekil 2.19) göstermiştir (Taner, 2007).



Şekil 2.20 Küçükçekmece havzasındaki arazi kullanımındaki değişim (Demirci vd., 2005)

Havzada gerekli kontroller alınmadan artan sanayileşme ve yapılaşmalar sonucunda göl, endüstriyel ve evsel atıklarla kirlenmektedir. Kirlenmeyi hızlandırıcı en önemli etken, yörenin göle bakan yamaç ve sırt düzlüklerini oluşturan topoğrafyada yer alan yoğun yerleşim alanları ile bu alanların jeolojik ve yapısal konumudur (Moarof, 2004). Göldeki kirlenmenin sadece yüzeysel sulardan değil aynı zamanda yeraltı sularına sızmalar (örneğin kapatılan Halkalı çöplüğünden olabilecek sızıntılar) neticesinde olduğu tahmin edilmektedir. Tüm bu kirletici etkiler sonucunda su alma havzası olan Küçükçekmece Gölü'nün önce su toplama havzası olmasına karar verilmiş, daha sonra da tamamen havza statüsünden çıkarılmıştır (Orhun, 2007).

2.3.2 Nüfus Gelişimi

Küçükçekmece Kasabası 19. yy'da Çatalca'ya bağlı bir köy statüsündedir. 1908'de aynı statü ile Bakırköy'e bağlanan Küçükçekmece, Cumhuriyet'in ilk döneminde de bu konumunu korumuştur. 1951'de çift hat olan banliyö treni ve sonrasında Türkiye'yi Avrupa'ya bağlayan karayolunun (Londra Asfaltı) tamamlanması Küçükçekmece'nin gelişmesinde önemli rol oynamıştır (Tunçer, 1999).

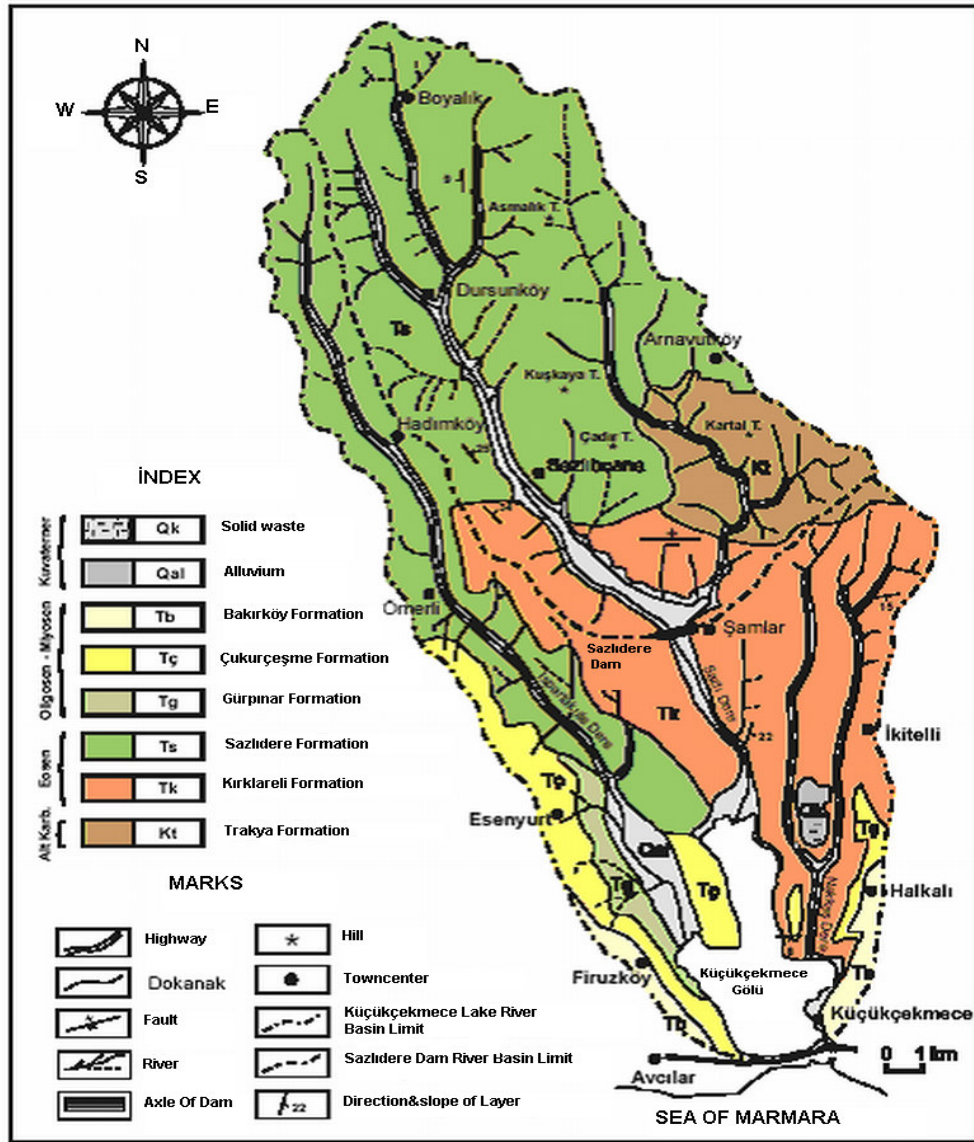
Türkiye Cumhuriyeti'nin ilanından itibaren Küçükçekmece bölgesine göçlerin gerçekleşmesi nüfusun artışında etkili olmuştur. Temel olarak üç göç dönemi yaşanmıştır. İlk göç Cumhuriyetin kuruluşu sırasında olmuştur. Bu dönemde Avrupa'da, özellikle Selanik'te yaşayan Türkler Küçükçekmece bölgesinde yaşayan Yunanlılarla yer değiştirmişlerdir. İkinci göç dönemi, 1950 ve 1960'lı yıllar arasında yaşanmıştır. Bu dönemde gölün batı kısmında Cumhuriyet Mahallesi, Yeni Mahalle, Kanarya Mahallesi, İstasyon Mahallesi ve Altınşehir Mahallesi gibi yerleşimler kurulmuştur (Üstün vd., 2005). Üçüncü göç dönemi ise 1970'lerde başlamış ve halen devam etmektedir. Bu dönemde Anadolu'dan, özellikle Güneydoğu Anadolu'dan insanlar Küçükçekmece bölgesine gelmiştir. 1935'lerde 707 olan nüfus 1970'lerde 433.370 olmuş ve 2000'lerde 600.000'e ulaşmıştır (Başer, 2006). Çevresel ve sosyal problemlerin kaynağı olan kontrolsüz nüfus artışı bu dönemde ortaya çıkmıştır (Üstün vd., 2005).

2.3.3 Fiziki Yapı

2.3.3.1 Topoğrafik ve Morfolojik Yapı

Küçükçekmece Gölü, yüksekliği deniz yüzeyi ile yaklaşık +100 m kotu arasında değişen kuzey-güney doğrultuda uzanan iki yayvan sırtın arasında yer almaktadır. Bu sırtın üst kolları yatay ya da yataya yakın yayvan düzlükleri oluşturmakta, göle bakan batıya ve doğuya eğimli yamaçları ise %20 veya daha fazla yüksek eğimlere ulaşmaktadır. Yüksek eğimli yamaçların son bulduğu ve alüvyal çökeltilerin egemen olduğu alt kotlar deniz seviyesine yakın düzlük alanları oluşturmaktadır (Yıldırım ve Adatepe, 2004).

Havzanın jeolojik yapısı incelendiğinde ise, bölgedeki jeolojik formasyonların Trakya, Kırklareli, Gürpınar, Çukurçeşme, Sazlıdere ve Bakırköy formasyonları olmak üzere farklı şekillerde olduğu görülmektedir (Şekil 2.21) (Pehlivan ve Yılmaz, 2001). Trakya formasyonu kumtaşı-silttaşından, Kırklareli formasyonu karstik kireç taşından, Gürpınar ve Çukurçeşme formasyonları kumlu-killi yapıdan oluşmaktadır (Yıldırım ve Adatepe, 2004). Bu formasyonlar göl tabanında biriken sediment yapının özelliğini belirlemektedir. Bu özelliklere bağlı olarak sedimentin su içindeki maddelere karşı davranışı değişmektedir. Örneğin, organik maddece zengin ve geçirgenliği düşük sediment yapı, su içindeki maddeleri uygun şartlar altında daha çok adsorplama eğilimi göstermektedir (Okumuş, 2007).



Şekil 2.21 Küçükçekmece Havzasının Jeolojik Haritası (Pehlivan ve Yılmaz, 2001)

2.3.3.2 İklim Şartları

Topoğrafik yapı, göl ve barajların varlığı bölgedeki iklimi etkilemektedir. Bölgedeki dağlar kıyı çizgisi boyunca ve kıyıya paralel uzanmaktadır. Küçükçekmece Havzası'nda Marmara ve Batı Karadeniz iklimi görülmektedir. Bu iklimde yazlar sıcak ve az yağışlı, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Karadeniz üzerinden gelen yağmur bulutlarının iç kesimlere ulaşmasını dağlar engellediğinden, kıyı kesimler iç kesimlerinden daha fazla yağış almaktadır. Bölgede yıllık yağış 500 mm ile 1000 mm arasında değişmektedir. Yıllık ortalama yağış 781 mm'dir. Toplam yağışın yaklaşık %85'i Eylül-Mayıs ayları arasında düşmektedir (Üstün vd., 2005).

Bölgede etkin rüzgâr yönü kuzey, kuzeydoğudur. Yıl içinde hava koşullarına ve mevsimlere bağlı olarak rüzgâr yönünde değişiklikler olmaktadır (Akyapı, 2005). Bölgenin 2004- 2005 yıllarına ait sıcaklık, nem, toplam yağış, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönleri aylara bağlı olarak Çizelge 2.14’de verilmiştir (Taner, 2007).

Son yıllarda, özellikle 2007’de yaşanan mevsim ortalamasının üstündeki sıcaklıklar bölgedeki derelerin cıızlaşmasına, Sazlıdere barajı ve Küçükçekmece Gölü’nün su hacminin azalmasında etkili olmuştur. 2005 yılından önce Sazlıdere’nin göle döküldüğü alana bataklık nedeniyle gidilemezken, bu alan 2005 yılının sonları ile 2006 arasında yürüyerek, 2006 sonundan itibaren araçla gidilebilen bir bölge olmuştur. Benzer olarak 2007 yazında, azalan su hacminden dolayı Sazlıdere barajının içinde eskiden kalan elektrik direkleri ortaya çıkmıştır.

İklimsel şartlar göl, dere ve baraj sularını içeren ekosistemi etkilemektedir. Sıcaklık, rüzgâr yönü ve hızı, su sistemi içinde bulunan canlıları etkilediği gibi sediment yapının davranışları üzerinde de etkili olabilmektedir.

Çizelge 2.14 Küçükçekmece Bölgesinin meteorolojik verileri (Taner, 2007)

		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz		Ağustos		Eylül		Ekim		Kasım		Aralık	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Sıcaklık (°C)	Ort.alama	4,9	6,8	5,5	5,8	8,3	7,1	12	12,1	16,4	16,7	21,2	20,8	23,9	24,6	23,5	25,4	20,8	-	14,2	14,9	12,1	10	8,7	8,2
	En düşük	-6,1	-1	-7,2	-2,4	-1,7	-2	1,3	1	1,4	7,8	14	13	16,3	15,8	16,2	19,3	11,4	-	11,1	7	-0,8	0	0,1	-3
	En yüksek	13,8	16,1	19,6	1,7	21,8	17,5	24	25,8	25	27	29,9	30,4	31,6	31,3	32,8	34,4	32	-	26,2	25,2	24	19	17,9	14,8
Nem (%)	Ort.alama	76,1	80,6	73,3	72,6	70,4	71,8	66,8	67,4	67,8	73,3	69,4	62,7	62,9	68,4	70,9	67,3	68,9	-	75,3	72,5	70,2	79,3	73,2	77
	En düşük	5,6	49	51	36	45	47	46,7	46	43,7	45	52,7	42	48,7	54	58	48	52,7	-	58	61	8,3	58,7	52,7	62
	En yüksek	94,7	94,3	95	95	95	93,3	91,3	89	95,3	93	89,3	84,3	75	90,7	89,3	85,3	83	-	93,7	90,7	94,3	96,3	93	95
Toplam Yağış (mm)		153,5	113	70,2	151	66,2	45,1	22,4	21,7	25,1	21,7	58,5	20,2	25,2	67,5	69,5	27,4	2,8	-	142,1	42,7	56,6	75,9	45,1	88,2
Rüzgâr Hızı (m/s)		8,03	6,73	7,27	8,08	8,04	7,88	5,86	7,01	4,66	5,96	4,07	6,89	5,68	7,08	4,7	6,61	6,05	-	5,18	6,7	7,22	6,97	6,16	2,66
Rüzgâr Yönü		KKB	KKB	GB	GB	KKD	KD	KKD	KKB	GGB	KKD	KD	KD	KD	KD	KD/K	KD	KKD	-	KD	KD	KD	KKB	GGB	KD

2.3.3.3 Su ve Sediment Kalitesi

Küçükçekmece gölü, uluslararası öneme sahip bir sulak alan, çok sayıda su kuşu için barınma ve beslenme kaynağı, biyolojik çeşitlilik açısından zengin bir alan olup, dünyada denizle bağlantısı olan nadir lagün göllerinden biridir. Bu özelliklerinden dolayı Küçükçekmece Gölü ve havzasında su ve sediment kalitesi üzerine araştırmalar yapılmış (Üstün vd., 2005, Üstün vd., 2008) ve yapılmaya devam etmektedir (İnce vd.,devam ediyor).

Yapılan literatür çalışmalarında havzanın organik ve inorganik kirleticilerle kirlendiği anlaşılmıştır. Bu kirleticilerin bölgenin sadece su kütlesinde değil sediment yapısında da birikerek gölün sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir (Çizelge 2.15). Ayrıca gölün su ve sediment kalitesini etkileyen bir diğer önemli faktör de Küçükçekmece Gölü'ne temiz su taşıyan Sazlıdere Deresi üzerinde 1996 yılında inşa edilen Sazlıdere Barajı'dır. Bu barajın yapımıyla birlikte göle temiz su akışı engellenmiş ve dolayısıyla gölün özümleme kapasitesi azalmıştır (Üstün vd., 2006).

Çizelge 2.15 Sediment ve sediment arası boşluk suyunun fizikokimyasal karakteri (İnce vd., devam ediyor)

	Sediment Arası Boşluk Suyu							Sediment			
	pH	T (°C)	Cl- (mg/l)	NO3- (µM)	NH4+ (µM)	PO ₄ ²⁻ (µM)	SO ₄ ³⁻ (mg/l)	TK (mg/l)	TUK (mg/l)	TUK/ TK (%)	TOK/ TC (%)
K.cekmece	8.8	17	21811± 1267	9.8± 0.9	3.3± 0.3	2.8± 0.2	252± 23	378± 25	28±2. 7	7	93

TK: Toplam Katı, TUK: Toplam Uçucu Katı, TOK: Toplam Organik Karbon, TC: Toplam Karbon

Yapılan çalışmalar, Küçükçekmece havzasına kontrolsüz evsel ve endüstriyel deşarjlarla gelen organik ve inorganik maddelerin suyla taşındığını ve sedimentte biriktiğini göstermiştir. Örneğin Üstün vd., (2005) yaptıkları çalışmalarında metallerin suyla taşınıp sediment arası boşluk suyuna geçtiğini ve oradan da sedimentte birikerek kirletici özelliklerini arttırdıklarını göstermiştir. Bu birikimler ekolojik sistem üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Örneğin, bölgede artan organik kirlilik sonucunda Küçükçekmece Gölü'nde alg patlamaları yaşanmıştır (Ağustos ve Kasım 2004, Ekim ve Kasım 2005,

Ağustos 2006). Alg patlamaları suda yaşayan canlılar ve kuşlar dışında, oluşan kokudan dolayı çevre halkını da olumsuz etkilemiştir.

Havzadaki en önemli inorganik kirleticilerden olan ağır metaller kalıcılık ve birikme özelliklerinden dolayı canlı yaşamı için tehlike oluşturmaktadır. İnce vd. (devam ediyor) çalışmalarında, Marmara bölgesinde bulunan farklı bölgelere ait sedimentlerin metal kalitesi ile Küçükçekmece'nin sediment metal kalitesini çizelgeyle (Çizelge 2.16) kıyaslamışlardır. Bu çizelgede (Çizelge 2.16) ayrıca, Türkiye ve Dünyadaki sedimentin metal kalitesine ait aralık değerleri verilmiştir. Küçükçekmece sedimentinde yüksek oranda bulunan Fe'in, Türkiye'deki ve Dünya'daki sediment değerleri ile kıyaslandığında fazla olmadığı, Zn'nın ise Türkiye'de görülen genel değerinden fazla olduğu Çizelge 2.16'dan anlaşılmaktadır.

Çizelge 2.16 Sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonu (İnce vd., devam ediyor)

	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
Gemlik	55±4	21±1	164±14	16±2	104±9	376±32	28715±1560
İzmit	44±3	104±9	249±14	48±3	45±4	204±17	23515±890
Küçükçekmece	13±1	38±3	178±13	16±1	34±2	162±12	8725±560
Tuzla	86±6	52±4	308±22	57±4	32±2	166±11	18060±670
Türkiyedeki Denizlerde	10-166	4-92	3-96	<0.1-92	8-161	114- 5720	3000-47000
Dünya literatüründe	10-233	5-601	15-1165	1-455	2-79	7-1111	2000-90000

3. MATERYAL VE METOT

Fitoremediasyon yöntemi ile doğal ortamları kirleten ağır metallerin uzaklaştırılmasının araştırıldığı bu çalışmada uygulanan yöntemler aşağıda verilmiştir.

1. Deneysel çalışmada kullanılacak bitkilerin seçimi ve deneye hazırlanması
 - i) Bitkilerin seçimi ve seçilen bitkilerin özellikleri
 - ii) Bitkilerin laboratuvar ortamına adaptasyonu
2. Deneme için sediment numunelerinin doğal ortamdan alınması ve deneye hazırlanması
 - i) Sediment numunelerinin alınması
 - ii) Sediment numunelerinin element özelliklerinin belirlenmesi
3. Sentetik besleme suyunun hazırlanması
4. Deney düzeneğinin hazırlanması
 - i) Reaktörlerin hazırlanması
 - ii) Işık düzeneğinin hazırlanması
 - iii) Bitkilerin boy ölçümü ve reaktöre yerleştirilmesi
5. Numunelerin alımı ve analizi
 - a) Numunelerin alımı
 - i) Su, sediment arası boşluk suyu ve sediment numunelerinin alımı
 - ii) Bitki örneklerinin alımı
 - b) Analiz yöntemi
 - i) Su, sediment arası boşluk suyu ve sediment numunelerinin analizi
 - ii) Bitki örneklerinin analizi

3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılacak Bitkilerin Seçimi ve Deneye Hazırlanması

Labratuar koşullarında yapılan bu çalışmada belirlenen pilot sulakalana (Sazlıdere deresi) ait ortam şartları literatür araştırmasıyla belirlenmiş (Üstün vd., 2005, Taner 2007, Üstün vd., 2008) ve deneysel düzenek bu koşulları sağlayacak biçimde yapılmıştır. Çalışmada kullanılacak bitki seçiminde de seçilen sulakalan olan Sazlıdere'nin ortam koşulları dikkate alınmıştır (Ek 1). Literatürde verilen bentik bitkilerin özellikleri göz önüne alınarak (Ek 2),

doğal ortamın ortalama pH, tuzluluk değerleri ve ortalama yaz aylarındaki sıcaklığında yaşayabilecek bentik bitkiler araştırılmıştır. Seçilen dip bitkilerinin sulak alanın yaklaşık 1 m derinliğinde kullanılması planlandığı ve sulak alandaki suyun renk ve bulanıklığı göz önüne alındığında yoğun ışığa ihtiyaç duymamaları gerekmektedir (Ek 1). Bu nedenle belirlenen bitkilerin ışık ihtiyacı da göz önüne alınarak ikinci bir eleme yapılmıştır. İkinci elemenden sonra kalan bitkilerin üreme hızları ve üreme şekilleri göz önüne alınarak son eleme yapılmıştır. Bu elemelerden sonra elde kalan bitkilerden dört tanesi,

- *Echinodorus amazonicus*,
- *Anubia congensis*,
- *Crinum thaianum*,
- *Cryptocoryne undulata*,

bitkileri araştırma için seçilmiştir.

Bu bitkilerin yanı sıra bölgede yaşayan *Myriophyllum verticillatum* L. ile ağır metal sorpsiyonunun araştırılmasına karar verilmiştir.

3.1.1 Seçilen Bitkilerin Özellikleri

Çalışmada kullanılan beş farklı türdeki bitkilerin özellikleri ve sistematikleri hakkında bilgiler bu bölümde verilmiştir. Deneyde kullanılan bitkilerin deneme öncesi ve deneme sonrasındaki organlarının uzunluklarındaki değişimler Bölüm 6'da irdelenmiştir.

3.1.1.1 *Echinodorus amazonicus*

Echinodorus amazonicus besin maddeleri bakımından zengin sedimentlerde, ortalama pH 6,3-7,2 ile 23-25 °C arasında yaşayan, yüksekliği yaklaşık 40 cm olan bir dip bitkisidir (Şekil 3.1). Işık ihtiyacı ise orta düzeydedir^[22]. Sistematığı (taksonomisi) aşağıda verilmiştir^[23].

Alem : Bitki
Bölüm: Magnoliophyta
Sınıf: Liliopsida
Takım: Alismatales
Aile: Alismataceae
Cins: *Echinodorus*
Tür: *Amazonicus*



Şekil 3.1 *Echinodorus amazonicus* ^[24]

Mızrak şeklinde uzun lanseolat yapıda yaprakları bulunur. Yaprakların ortasında bir ana damar bulunur. Kolaylıkla yakın türleri ile karışabilir. *Echinodorus*'un yakın türlerden ayıran en önemli karakteristik özelliği iki eşeyli (bisexual) çiçeklere sahip olmasıdır. Bu çiçek yapıların üç parçalı taç yaprağı ve çanak yapraklar içerdiği görülmektedir. Suyun yüzeyine çıkan ince bir çiçek sapı üzerinde 4 ile 9 adet beyaz çiçek oluşur. Her bir çiçek, 10 mm çapındadır ve 6-9 adet erkek organ içerirler. Kontrollü ortamlarda tomurcuk gelişir, çiçek aksilinde iki veya üç yeni bitki gelişmeye başlar. Çiçekler açılmaz ve tohum oluşmaz. Fakat yavru bitkiler ayrılarak ekilirse, vejetatif üretim sağlanır. Bu yolla yılda 60 yeni bitki elde edilir (Cirik vd., 2001).

Echinodorus ile ilgili çeşitli kaynaklarda yapılan literatür taramalarında bitkinin elementi bünyesine alma mekanizması veya element alım kapasitesi ile ilgili yeterli sayıda araştırmanın olmadığı görülmüştür. Araştırmaların özellikle *Echinodorus*'un farklı türleri üzerinde yapılan tıbbi çalışmaları kapsadığı belirlenmiştir. Örneğin; *E. macrophyllus* bitkisinin insan bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi (Pinto vd., 2007), *E. grandiflorus*'un iltihablı hastalıklar, kan basıncı ve idrar sökücü özelliği (Tibiric vd., 2007), *E. berteroi*'nin böbrek ve safra taşı ile kolera ve epilepsi tedavileri üzerindeki etkileri (Buznego ve Peerez-Saad, 2006) incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, araştırmacılar bu bitkilerin yukarıda belirtilen hastalıklar için ilaç olarak kullanılıp kullanılamayacağını belirlemek için araştırmaların yeterli olmadığını bu nedenle devam etmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

3.1.1.2 *Crinum thaianum*

Asya (bazı kaynaklara göre Afrika) kökenli olan ve 21–28 °C lik suları seven bu bitki, asidik ve bazik (pH'ı 5.5-9 arasında) sularda yaşayabilmektedir. Taksonomik sınıflandırılması

aşağıda verilen bitki özellikle nutrient bakımından zengin alanlarda sağlıklı olarak gelişmektedir. *Crinum thaianum*'un en önemli özelliği soğanlı bir bitki olmasıdır (Şekil 3.2)^[26]. Ayrıca en hassas kısmı da bu soğandır, diğer bitki kısımlarına göre daha kolay çürüyebilmektedir. Bu bitkinin yaprakları 2–3 m kadar uzayabilmektedir. Bitkinin yaprakları balıklar tarafından yenmemekte ve balık yavruları için saklanma yeri oluşturmaktadır.

Alem : Bitki
Bölüm: Magnoliophyta
Sınıf: Liliopsida
Takım: Alismatales
Aile: Amaryllidaceae
Cins: *Crinum*
Tür: *thaianum*



Şekil 3.2 *Crinum thaianum*

Crinum thaianum'un bulunduğu Amaryllidaceae ailesinin en önemli özelliği bitkiye ait alkaloid oluşturmalarıdır. Yapılan tıbbi araştırmalar bitkinin içerdiği Amaryllidaceae alkaloidlerinin kanser, Alzheimer ve diğer sinir dejeneratifliklerinde tedavi edici (McNulty vd., 2007), bazı yılan zehirlerine karşı etkili bir tedavi olarak kullanılabileceğini (Ode ve Asuzu, 2006), ağrılara karşı sakinleştirici etkisi olduğunu ve antioksidan içerdiğini göstermiştir (Ratnasooriya vd., 2005). Ancak bu dip bitkisinin element alım mekanizmaları ile ilgili yeterli sayıda bilgi bulunamamıştır.

3.1.1.3 *Anubia congensis*

Doğu Afrika kökenli olan ve taksonomisi aşağıda verilen *Anubia congensis* bitkisi özellikle nehir ve derelerde yaşamaktadır. 3–5 cm uzunluğunda olup pH 5.5–9 arasında yaşayan bir bitkidir (Şekil 3.3)^[26]. İnce bir gövde geniş ve sert yapraklara sahiptir. Yapılan incelemelerde yeterli sayıda *Anubia sp.* ile ilgili kaynağa rastlanamamıştır.

Alem: Bitki
Bölüm: Magnoliophyta
Sınıf: Liliopsida
Takım: Alismatales
Aile: Araceae
Cins: *Anubia*
Tür: *congensis*



Şekil 3.3 *Anubia congenis*

3.1.1.4 *Cryptocoryne undulata*

Vatanı Güney Asya ve Endonezya olan *Cryptocoryne* bitkisi çok nadiren tohumla, daha çok yavaş gerçekleşen kök bölünmesiyle çoğalan bir bitkidir (Kane vd., 1999). Yavaş akan nehir sularında yaşayan *Cryptocoryne*'in 50 ile 60 arasında türü bulunmaktadır. İncelenen *Cryptocoryne undulata*'nın (Şekil 3.4) sistematigi aşağıda verilmiştir ^[25]. Genellikle kısa yapraklar ile yatay veya düşey şekle sahip rhizomu vardır (Orgaard ve Jacobsen, 1998). İlk dikildiği dönemde 1–2 haftalık uyum süresi gereklidir. 15–25 cm yüksekliğe sahip olan bitki pH'ın 5,5–8 arasında ve sıcaklığın 20–33 °C olduğu ortamlarda yaşamaktadır. Kireçli suları sevmektedir ^[25]. Yapraklarındaki biçim genetik özelliklerinden çok çevresel faktörlere bağlıdır (Costa ve Forni-Martins, 2004).

Alem: Bitki
Bölüm: Magnoliophyta
Sınıf: Liliopsida
Takım: Alismatales
Aile: Araceae
Cins: *Cryptocoryne*
Tür: *Undulata*



Şekil 3.4 *Cryptocoryne undulata*

Yapılan araştırmalarda *Cryptocoryne undulata*'nın içinde bulunduğu “Araceae” ailesinin fotokimyasal özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli ekstraksiyon çalışmaları yapıldığı görülmüş (Franke vd., 2006; Cook, 1978; Gupta vd., 1984), ancak bu araştırmalarda *C. undulata*'nın metal alım mekanizmaları ile ilgili yeterli sayıda bilgiye ulaşılamamıştır.

3.1.1.5 *Myriophyllum verticillatum* Linnaeus

Myriophyllum verticillatum Linnaeus (Halkalı su civanperçemi)'nin yaşam alanı Kuzey Amerika, Avrupa, Kuzey Afrika ve Asya'daki ^[27] göl ve bataklık alanlardır ^[28]. Su tabanındaki çamurda köklenen ve toprak altı gövdeleri bulunan, çok yıllık bir su altı bitkisidir. Deniz seviyesinin 1500 m altını geçmeyen derinliklerde yaşamaktadır. 2,5 m'den uzun olabilen sapın ^[28] üzerinde 4–5 adet helezonel olarak dizilmiş (NPWRC, 2006) yapraklar bulunmaktadır. Yaprakları yalın tüysü yapraktır, gövde de halkalar biçiminde dizilmiştir. Bu yaprakların üzerinde 0,5–5 cm uzunluğunda ^[27] ve 9–13 adet segmentten oluşan tüysü yaprakçıklar vardır (NPWRC, 2006) (Şekil 3.5). Pulsu yapraklar her halkadaki 5 adet çiçeğe taşıyıcı görev yapar. Başağın üst bölümünde bulunan erkek çiçekler, yeşilimsi sarı renkli, ender olarak kırmızımsı renklidir. Dişi çiçekler başakçığın alt bölümündedir. Fındıkçık tipindeki meyvalar, yarı küreseldir (Altınayar). Kök birçok ince kökçükten oluşmaktadır. Ekim-Kasım aylarında sürgünler vererek çoğalmaktadırlar (Caffrey ve Monahan, 2006).

Bazı su canlıları için bitkinin varlığı hem olumlu hemde olumsuzdur. Örneğın zooplanktonlar için yaşam yeri oluşururlar. Sudaki besin maddeleri bitki yüzeyine çökelirler ve çözünmüş besin maddelerinin azalmasına neden olurlar bu da zooplanktonların büyümesini kısıtlarlar. Diğeri olumsuzluk ise bitki çevresindeki zooplanktonların, yüzmek için daha fazla enerji harcamaları gerekmesidir (Cerbin vd., 2007).

M. verticillatum L. bitkisi genellikle *M. spicatum* ile karıştırılmaktadır ^[27]. Bunun nedeni fizyolojilerinin benzer olması ve kirli sularda da yaşayabilmeleridir. *M. spicatum* kirli sularda yaşayabilmesi nedeniyle “kirli su indikatör bitkisi” olarak literatüre geçmiştir (Öztürk vd., 1996). Her iki bitki türünde yüksek Ca içeren ortamlarda ve geniş pH aralıklarında yaşayabilmektedir. *M. verticillatum* L. bitkisi 5.8 ve 9 pH aralığında genellikle yaşasada düşük pH'larda da yaşayabildiği belirlenmiştir (Hutchinson, 1970).

Lewander ve arkadaşları (1996) kirli ve temiz sediment yapıda büyüyen *M. verticillatum* bitkisinin Cd, Pb ve Zn metallerinin alınımındaki değışikliğı incelemişlerdir. Bitkinin özellikle yapraklarında metal birikimi olduğunu tespit etmişlerdir.

Pilon-Smits ve arkadaşları (1999) *Myriophyllum*'un bir türü olan *M. brasiliense* üzerinde yaptıkları çalışmalarda Se'un bitki tarafından akümüle edildiğini belirtmişlerdir (Arthur vd., 2005).

Alem : Bitki
Bölüm: Magnoliophyta
Sınıf: Magnoliopsida
Takım: Haloragales
Aile: Haloragaceae
Cins: *Myriophyllum*
Tür: *verticillatum* L.



Şekil 3.5 *Myriophyllum verticillatum* L.

Çalışmada kullanılan ve Küçükçekmece gölünden alınan *M. verticillatum* L. bitkisinin ülkemizin farklı bölgelerinde de yaşadığı rapor edilmiştir (Elmacı ve Obalı, 1998).

Bu çalışmada tıbbi alanda kullanılan, tıbbi kullanımı için araştırmalar yapılan ve bünyelerine element alım mekanizmaları hakkında yeterli bilginin olmadığı bitkiler seçilmiştir.

3.1.2 Bitkilerin Laboratuvar Ortamında Adaptasyonu

Belirlenen dört tip dip bitkisinin yurt içi ve yurt dışı siparişleri verilip, hasarsız olarak laboratuara ulaştırılması sağlanmıştır. Doğal ortamdan alınan bitki (*Myriophyllum verticillatum* L.) ise laboratuvar koşullarında yetiştirilmek üzere arazi çalışmaları sonucunda bölgeden toplanmıştır. Bitkiler alındığı ortamdan hasar görmeden en kısa zamanda (~3 saat) laboratuara getirilmiştir.

Bitkiler laboratuara gelince saksıları ve kök etrafındaki koruyucu malzemeleri dikkatlice çıkarıldıktan sonra kökler birbirinden ayrılmıştır. Prasad ve arkadaşlarının (2001) yaptığı gibi bitkiler önce adaptasyon akvaryumuna alınmıştır. Adaptasyon akvaryumunda bitkinin türüne bağlı olarak 2 ile 4 hafta tutulmuştur. Bu süre zarfında bitkinin ihtiyacı olan besin maddesi

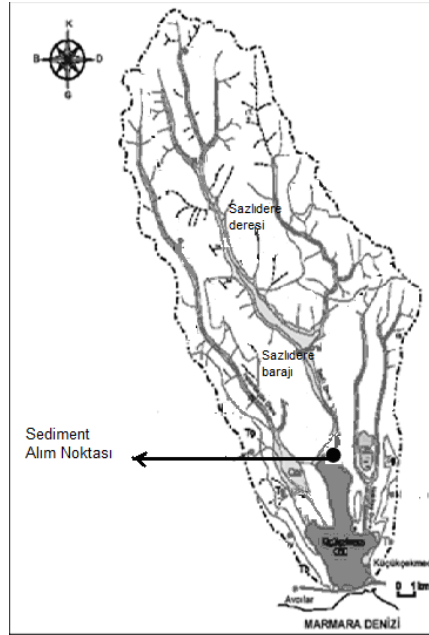
(demir ve mineral içeren Sera Florenette A tablet) adaptasyon akvaryumuna ilave edilmiştir.

Çalışmanın başlangıcından itibaren deneysel çalışmada kullanılan her bitki türünden birkaç adet, maksimum çoğalma koşullarında üreme ve büyümelerini gözlemek için adaptasyon akvaryumunda izlenmiştir. Burada literatürde verilen bitkilere ait özelliklerin doğrulanması amaçlanmıştır.

3.2 Denemeler için Sediment Numunelerinin Doğal Ortamdan Alınması ve Deneye Hazırlanması

3.2.1 Sediment Numunelerinin Alınması

Bu çalışmada, TÜBİTAK-GSRT, 2005 projesi kapsamında, su ve sediment kalitesi izlenerek belirlenen, düşük akış hızına ($0,4\text{m}^2/\text{s}$) ^[29] sahip olan Sazlıdere Deresi'nin Küçükçekmece Lagünü'ne döküldüğü bölgeden (Şekil 3.6 ve 5.7) sediment (dip çamuru) örnekleri alınmıştır. Derenin yaklaşık 75 cm derinliğinden kürek yardımıyla alınan sediment örnekleri, altı tane 5 l'lik plastik taşıma kabına konarak laboratora getirilmiştir. İlk dört deneme için aynı tarihte alınan bu sedimentler çalışmada kullanılmıştır. Sonraki iki deneme için bölgeden ikinci defa sediment örneği alınmıştır.



Şekil 3.6 Sazlıdereki sediment alım noktası



Şekil 3.7 Sazlıdere üzerindeki izleme noktası

3.2.2 Sediment Numunelerinin Element Özelliklerinin Belirlenmesi

Denemeler için doğal ortamdan alınan sediment numuneleri laboratuara getirilip, element özellikleri belirlenmesi için analiz edilmiştir. Denemelerde kullanılan sediment yapı doğal ortamdan farklı zamanlarda iki defa alınmıştır. Bu nedenle doğal ortamdan farklı zamanlarda alınan sedimentlerin içerikleri ayrı ayrı analiz edilmiştir. Sedimentin metal içeriği ıslak ağırlık olarak EPA 3050 metoduna göre parçalandıktan sonra Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya ve Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki Agilent Tec. 7500A marka ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir. Stuart Scientific Oven 251 marka etüvde sediment kurutulduktan ($100 \pm 7,5^\circ\text{C}$) sonra sediment örneklerinin su içeriğinin $\sim\%34$ olduğu belirlenmiştir. Sediment içindeki elementlerin miktarları kuru ağırlığa göre hesaplanarak Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kurutulan sediment örnekleri Endecotts marka BS410/1986 çelik elek ile elenerek dane çapı özellikleri (Çizelge 3.2) belirlenmiştir. Kuru sedimentin elementel analizi, TÜBİTAK ATAL laboratuvarına “Elementar Analysen Systeme GmbH varioMICRO CHNS cihazı ile yaptırılmıştır (Çizelge 3.3). Marmara Üniversitesi’nde kuru sedimentin elektron mikroskop (SEM) (Jeol JSM-5910 LV) görüntüleri (Şekil 3.8) ve görüntü alanındaki element dağılımları (Şekil 3.9 ve Çizelge 3.4) incelenmiştir. Mikroskobun büyütme oranı arttırıldığında sediment yapı içindeki diatomalar (örneğin *Navicula sp.*) gözlemlenmiştir (Şekil 3.10).

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan sedimentin ağır metal içeriği

Ağır metal	µg/kg-kuru ağırlık ± SS*	
	<i>Echinodorus amazonicus</i> , <i>Crinum thaianum</i> , <i>Anubia congensis</i> ve <i>Cryptocoryne undulata</i> ile yapılan (~750 saat) çalışmalarda kullanılan sediment	<i>Cryptocoryne undulata</i> ve <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. ile yapılan (~1050 saat) çalışmalarda kullanılan sediment
Mg	32359,8±459	36709,2±183,54
Cr	50,259±0,42	221,892±1,79
Mn	3136,32±45,7	4342,8±41,69
Fe	120582±385,8	216414±1082
Ni	37,7124±1.21	277,332±1,1
Cu	44,1342±0,82	216,15±1,75
Zn	105,072±0,73	531,696±8,82

*SS: Standart Sapma

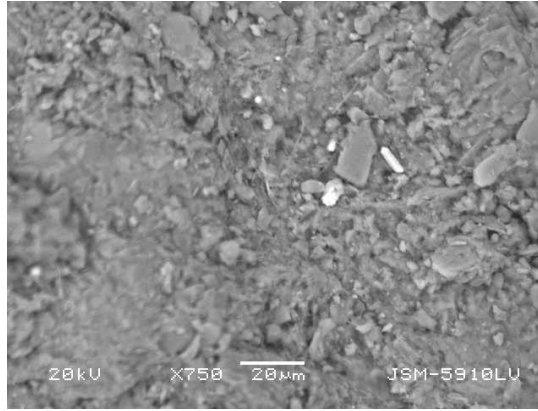
Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan sedimentin dane özelliği*

Boyut (µm)		<75	75-150	150-300	300-600	600-1.180	1.180-4.750	4.750-10.000
Sediment Örneği	<i>E. amazonicus</i> , <i>C. thaianum</i> , <i>A. congensis</i> ve <i>C. undulata</i> ile yapılan çalışmalar (~750 saat)	14,603	6,732	8,137	8,00	19,44	29,9	13,185
	<i>C. undulata</i> ve <i>M. verticillatum</i> L. ile yapılan çalışmalar (~1050 saat)	15,205	6,952	8,643	8,56	11,35	32,14	17,15

* ağırlık %'sine göre verilmiştir

Çizelge 3.3 Sedimentin elemental analizi (Tübitak Analiz Laboratuvarı)

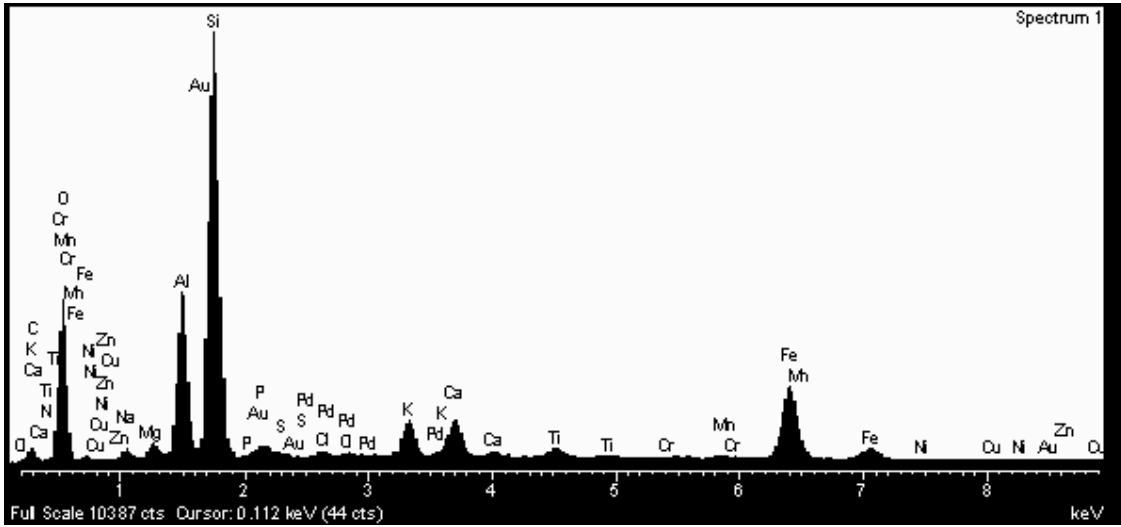
Element		%C	%H	%N	%S
Sediment Örneği	<i>E. amazonicus</i> , <i>C. thalianum</i> , <i>A. congensis</i> ve <i>C. undulata</i> ile yapılan (~750 saat) çalışmalarda kullanılan sediment	1,89	0,31	0,25	-
	<i>C. undulata</i> ve <i>M. verticillatum</i> ile yapılan (~1050 saat) çalışmalarda kullanılan sediment	2,85	0,79	-	-



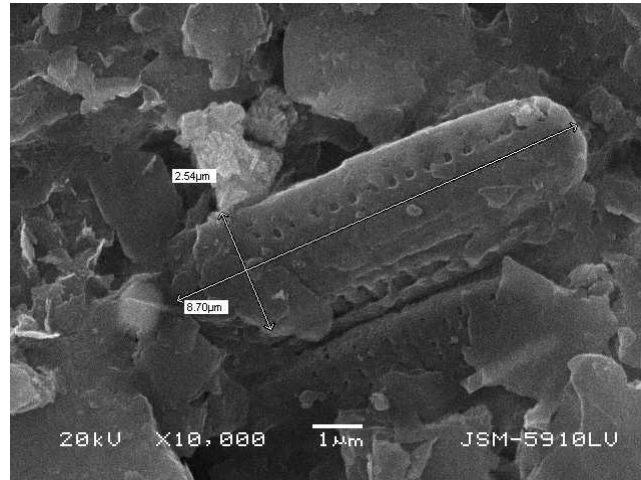
Şekil 3.8 Sediment yapının elektron mikroskop görüntüsü

Çizelge 3.4 Sediment yapının element dağılım yüzdeleri

Element	O (%)	Na (%)	Mg (%)	Si (%)	Cl (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	Toplam (%)
Sediment Örneği	40.55	0.84	2.05	28.82	0.48	3.36	3.48	1.22	0.37	18.82	100.00



Şekil 3.9 Sediment yapının element dağılımı



Şekil 3.10 Sediment yapıdaki diatomun elektron mikroskop (SEM) görüntüsü

3.3 Sentetik Besleme Suyunun Hazırlanması

Çalışmada beş farklı bentik bitki türü ile altı deneme yapılmıştır. *E. amazonicus*, *C. thalassium*, *A. congensis* ve *C. undulata* ile yapılan ilk dört denemede Sazlıdere deresindeki ağır metal konsantrasyonu (Üstün vd., 2008, Zengin ve Üstün, 2005) dikkate alınarak sentetik su hazırlanmıştır (Ek 3). *C. undulata* ve *M. verticillatum* L. ile yapılan son iki denemede ise eşit molaritede ($2 \cdot 10^{-6}$ M) hazırlanan sentetik su ile besleme yapılmıştır (Çizelge 4.1).

Metal stok çözeltileri, standart metodların 3120B Inductively Coupled Plasma (ICP) yönergesi uyarınca, 3111B Metoduna göre (Çizelge 3.5) hazırlanmıştır (APHA, 1995).

Çözeltilerin hazırlanmasında ve kullanılan tüm malzemelerin yıkanmasında TKA marka Gen–Pure adlı cihazdan elde edilen çift distile saf su (23 °C’de 0,056 µS/cm iletkenliğe sahip) kullanılmıştır.

Yapılan araştırmalarda araştırmacıların farklı normalitelerde (N) NaOH kullanarak suyun pH’ını ayarladıkları belirlenmiştir (Jeffers vd., 1991; Lens vd., (2003). Örneğin, Omil vd. (1997) bakterilerle yaptıkları çalışmada 0.1 N NaOH, Lou vd. (2006) 0.5N NaOH, Camacho-Ruiz vd. (2003) *Saccharomyces cerevisiae* ile yaptıkları çalışmada 1N NaOH, Jia vd. (2007) ise *Saccharomyces cerevisiae* ve *Coriolus versicolor* ile yaptıkları araştırmada 10N NaOH’i kullanarak pH ayarlaması yapmışlardır. Bu çalışmada hazırlanan su asidik olduğu için 6N NaOH çözeltisi ile pH ayarı yapılarak yaklaşık nötr değere getirilmiştir. Hazırlanan suya ait fiziko-kimyasal özellikler ise Çizelge 3.6’da belirtilmiştir.

Çizelge 3.5 Çalışmada Kullanılan Stok Çözeltilerin Özellikleri

Metaller	Stok Çözeltinin Hazırlandığı Madde (MERCK)	Stok Çözeltinin İçerdiği Konsantrasyon (mg/l) ±SS
Ni	Ni(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	985 ± 15
Cr	CrN ₃ O ₉ . 9H ₂ O	990 ± 10
Zn	Saf	9750 ± 250
Fe	Saf	1000
Cu	Saf	998,5 ± 1,5

Çizelge 3.6 Çalışmada kullanılan sentetik suyun fiziko-kimyasal özelliği

Parametre	Değer ±SS	
	<i>E. amazonicus</i> , <i>C. thalium</i> , <i>A. congensis</i> ve <i>C. undulata</i> ile yapılan çalışmalar	<i>C. undulata</i> ve <i>M. verticillatum</i> L. ile yapılan çalışmalar
Sıcaklık (°C)	22 ± 2	22 ± 2
pH	7,6 ± 0,7	8,06 ± 0,3
Alkalinite (mg CaCO ₃ /l)	93 ± 31	112,5 ± 14,5
Tuzluluk (‰)	2,15 ± 1,45	0,05 ± 0,05
İletkenlik (mS/cm)	4,075 ± 2,4	0,486 – 0,631
Sülfat (mg/l)	110 ± 5,5	57 ± 2,8
TKN (mg/l)	<5	<5
Nitrat (mg/l)	13,5 ± 1,2	4,26 ± 0,08
TP (mg/l)	<0,02	<0,02
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	4,65 ± 2,45	7,16 ± 1,46

3.4 Deney Düzeneginin Hazırlanması

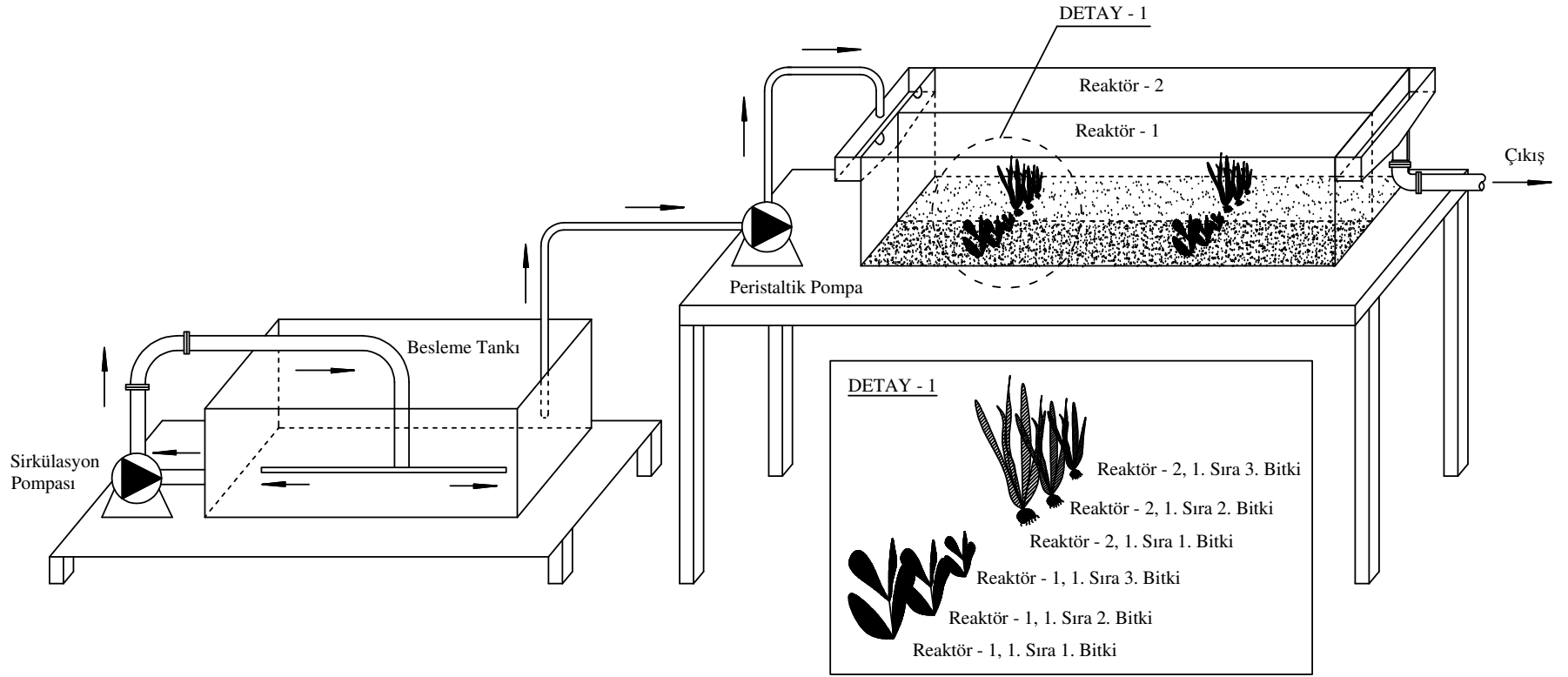
Çalışmada yüzeysel akışlı reaktörler kullanılmıştır. Bu bölümde, reaktörlerin ve besleme sularının hazırlanması, besleme suyunu reaktöre taşıyan pompanın özellikleri, bitkiler için gerekli güneş ışığını sağlayan ekipmanlar hakkında bilgi verilmiştir.

3.4.1 Reaktörlerin Hazırlanması

Beslemenin eşit yapılabilmesi için önceden hazırlanan reaktör, savaktan sonra boylamasına bölünerek iki tane eşit hacimli reaktör elde edilmiştir (Şekil 3.11). 120 litrelik besleme tankında hazırlanan sentetik su peristaltik pompa ile 45 litrelik hacme sahip olan reaktörlerin ortak savağına gelmektedir. Su doğal ortama benzer olarak Watson-Marlow marka peristaltik pompa ile her reaktöre 2 L/gün olacak şekilde beslenmiştir. Böylece 22,5 günlük hidrolik bekletme süresi ile sistem işletilmiştir. Pompadan beslenen su iki reaktöre eşit olarak dağılmaktadır. Çıkış suyu çıkışta bulunan savaktan dışarı verilmektedir. Sulak alandan (Sazlıdere'nin Küçükçekmece Lagünü'ne döküldüğü noktadan) (Şekil 3.7) alınan sediment, reaktörlere mümkün olduğunca homojen olarak yaklaşık 5 cm'lik kalınlıkta yayılmıştır.

E. amazonicus, *C. thaianum*, *A. congensis* ve *C. undulata* ile yapılan ilk dört denemede görülen besleme suyundaki homojen olmayan karışımın olumsuz etkisinin giderilmesi için deney düzeneğine sirkülasyon pompası (Beresford marka) ilave edilmiştir (Şekil 3.11).

Temiz ortamdaki bitki büyümeleri ve morfolojilerinin izlenmesi için üçüncü reaktör olan kontrol reaktörü hazırlanmıştır. Burada amaç, temiz ortamdaki büyüme ile doğal ortam koşullarının sağlanmaya çalışıldığı (sentetik suyla beslenen) reaktörlerdeki bitkilerin büyümelerini kıyaslayabilmek ve mevcut kirletici koşullarının bitki üzerindeki etkisini belirleyebilmektir. Bu sebeple kontrol reaktörü ilk iki reaktör ile benzer ortam koşullarına (sıcaklık, ışık alımı, bitki tipi) sahip olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu reaktörde sediment olarak kum kullanılmıştır. Kum reaktöre konmadan önce iyice yıkanmış ve daha sonra suyla kaynatılmıştır. Kontrol reaktörüne temiz su doldurulduktan sonra incelenen dip bitkisi ekilmiş, gerekli besi maddesi (demir ve mineral içeren Sera Florenette A tablet) sisteme ilave edilmiştir.



Şekil 3.11 Laboratuvar Ölçekli Sürekli Beslemeli Reaktör Sistemi

3.4.2 Işıık Düzeneginin Hazırlanması

Üç reaktör düzenegine gün ışııı veren düzenek (Pan Light 3011 T8 36 W) sisteme ilave edilmiştir. 12 saat süreyle gün ışııı vermesi için zamanlayıcı kullanılmıştır. Zamanlayıcının çalışma saati izlenerek araştırmanın kontrol edilemediğı gece saatlerinde elektrik kesintisi olup olmadığı belirlenebilmiştir.

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında, elektrik kesintilerinin deney üzerindeki olumsuz etkisinden korunmak amacıyla güç kaynağı (Tunçmatik marka) sisteme monte edilmiştir

3.4.3 Bitkilerin Uzunluk Ölçümü Ve Reaktöre Yerleştirilmesi

Her çalışma öncesi, incelenecek türe ait bitkilerin kök, gövde ve yaprak boyları ölçülmüştür. Reaktörler sentetik su ile doldurulduktan sonra boyu ölçülen bitkilerin kökleri dikkatlice sediment yapının içine konularak ekim yapılmıştır. Her çalışmada 6 adet aynı tür bitki kullanılmıştır. Bitkilerin yeterli büyüme alanlarına sahip olmaları için 3'erli iki sıra halinde ekilmiştir. İki sıra arasında 30 cm boşluk bırakılmıştır (Şekil 3.3, Detay1).

3.5 Numunelerin Alımı ve Analizi

Deneyler önce metal içeriğı doğal sulakalana benzer sentetik su kullanılarak *E. amazonicus*, *C. thaianum*, *A. congensis* ve *C. undulata* bitkileri ile yürütölmüştür.

İlk dört denemede kullanılan besleme suyundan farklı metal içeriğı olan sentetik besleme suyu hazırlanmıştır. Bu yeni besleme suyu ile *C. undulata* ve *M. verticillatum* L. bitkileri ile çalışma sürdürölmüştür.

3.5.1 Numunelerin Alımı

Denemelerde, doğal ortamdan alınan sediment yaklaşık 5 cm kalınlığında reaktöre (Şekil 3.11) konduktan sonra, reaktör sentetik su ile doldurulmuş ve bitkiler ekilmiştir. Bu işlemler her deney seti için farklı olmakla beraber 10 dakikadan kısa sürmüştür. Başlangıçta geçen bu süre sonunda alınan ilk giriş ve çıkış suyu ile sediment numunelerinin deneme başlangıcını (t=0) temsil ettiğı kabul edilerek analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

3.5.1.1 Su, Sediment Arası Boşluk Suyu Ve Sediment Numunelerinin Alımı

Su, sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element kalitesindeki değişimin izelenmesi için bu üç yapıdan numuneler alınarak analizler yapılmıştır.

Su numuneleri reaktörlerin giriş savak kısmından ve çıkış savağına en yakın üst bölgesinden olacak şekilde iki yerden alınmıştır.

Sediment örnekleri ise reaktöre ekilen bitkilerin kök bölgelerine (rizosfer) yakın bölümden alınmıştır.

Alınan sediment örneklerinin 2000 rpm'de 10 dk santirfüjleme (Centrurion 4000 r) işlemine tabi tutulması sonucunda sediment içine hapsolan sediment arası boşluk suyu elde edilmiştir.

3.5.1.2 Bitki Örneklerinin Alımı ve Hazırlanması

Her deney setinin başlangıcı ve deney tamamlandıktan sonra, reaktörden alınan bitkilerin kök, gövde ve yapraklarının boyu ölçülmüştür.

Deney başlanmadan (deneme öncesi) ve deneysel çalışmanın sonrasında (deneme sonrası) her bitkinin organ boyları ayrı ayrı ölçülmüştür. Boy ölçümü yapılan bitki örnekleri, reaktörden çıkarılırken ve deneme esnasında bitki yüzeyine tutunabilecek partiküllerden temizlenmesi için su ve %3'lük HCl ile yıkanmıştır. Bitkilerdeki metal miktarları kuru ağılık üzerinden değerlendirilmektedir. Bu nedenle, bitki örnekleri 60-80 °C'de kurutulduktan sonra oda sıcaklığına gelmesi beklenmiş, daha sonra kök, gövde, yaprak gibi organlara ayrılarak asitle parçalama işlemi yapılmıştır.

3.5.2 Analiz Yöntemi

Su, sediment arası boşluk suyu ve sediment numunelerinde yapılan analiz yöntemleri ile bitkide uygulanan analiz yöntemleri hakkında bilgiler bu bölümde verilmiştir.

3.5.2.1 Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Numunelerinin Analizi

Deneyler aynı tip bitkilerle yaklaşık bir buçuk ay süre sürdürülmüştür. Her denemenin deneme süresi içinde alınan su numunelerinde günlük olarak iletkenlik, tuzluluk, çözünmüş oksijen, pH ve alkalinite ölçülmüştür.

Her set denemelerinin başlangıcında; suda sülfat, orto-fosfat ve nitrat, su ve sedimentte

toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (TKOİ), Toplam Kjeldal Azotu (TKN) ve Toplam Fosfor (TP) analizleri de yapılmıştır.

Alkalinite (titrimetrik yöntem), TKOİ (açık yöntem), TKN (Macro- Kjeldahl yöntem), TP (persulfate ile ayrıştırma yöntemi) analizleri standart metotlara (APHA,1995) göre; pH (WTW-pH 330i/SET), oksijen (WTW-Oxi 330i/SET), iletkenlik (WTW-Cond 330i/SET), tuzluluk (WTW-Cond 330i/SET), sıcaklık değerleri yerinde ölçüm cihazları ile ölçülmüştür. Marmara Üniversitesi'ndeki HACK Spektrofotometresi ile orto-fosfat ve sülfat, Agilent Chem-station Spektrofotometresi ile nitrat konsantrasyonları ölçülmüştür. Her analizden önce kullanılan aletler kendi standartları ile kalibre edilmiştir.

Sediment örnekleri 2000 rpm'de 10 dk santirfüjleme işlemine tabi tutulup, sediment arası boşluk suyu elde edilmiştir.

Su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentte artan zaman dilimleriyle örnekler alınmıştır. Alınan örnekler ağır metal analizi için alt kısımda açıklanan parçalama işlemine tabi tutulmuştur.

Su ve sediment arası boşluk suyu numunelerinde ise 10 ml örnek alınarak 3 ml konsantre HNO_3 ilave edilerek kabın ağzı saat camı ile kapatılarak ısıtıcıya konulmuştur. 5 ml numune kalana kadar buharlaşması sağlandıktan sonra numune soğutulmuş 3 ml daha konsantre HNO_3 ilave edilmiştir. Son çözeltide 10 ml/100 ml 1:1 HCl'i geçmeyecek biçimde eklendikten sonra ılık ısıtıcının üzerinde 15 dk tutulmuştur. Saat camı ve kap çift distile saf su ile yıkanarak tüm numunenin filtre kağıdından (Schleicher & Schuell Blau band 589/3) geçmesi sağlanmıştır. Parçalanmış örnekler daha sonra 100 ml'ye tamamlanmıştır (EPA 3010 Methodu).

Sediment örneklerinin asitle parçalanma işleminde, 1 g ıslak ağırlık alınan numune ve 10 ml lik 1:1 HNO_3 ilave edilmiştir. Numune kabının üstü saat camı ile kapatılarak 95°C de 10 dk ile 15 dk arasında ısıtıcıda kaynamadan tutulmuştur. Örnek soğutulduktan sonra 5 ml konsantre HNO_3 ilave edilerek 30 dk lık işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra numunenin kaynatılmadan buharlaştırılarak 5 ml kalması sağlanmıştır. Numuneler soğutulduktan sonra 2 ml çift distile saf su ve 3 ml H_2O_2 (%30) ilave edilerek ısıtıcıya tekrar yerleştirilmiştir. Isıtıcıdan alınan örnekler 5 ml konsantre HCl ve 10 ml çift distile saf su ilave edilip ağzı kapatılarak tekrardan ısıtıcıya konulmuştur. Parçalanmış örnekler filtre kağıdından (Schleicher & Schuell Blau band 589/3) geçirildikten sonra 100 ml ye tamamlanıp, ölçüme kadar ışıktan geçirmeyen bir ortamda ve oda sıcaklığında saklanmıştır (EPA 3050 Methodu).

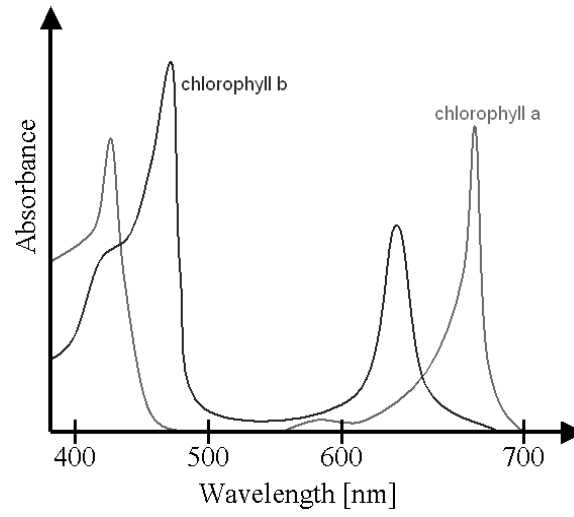
Asitle parçalanmış ve analize hazırlanmış olan su, sediment arası boşluk suyu ve sediment örneklerinin ağır metal analizleri Marmara Üniversitesi'ndeki ICP-MS ile yapılmıştır. SS

(Standart Sapma) değerleri %3'ten küçük olan değer elde edilene kadar ölçüm tekrarlanmış ve sonuçlar kıyaslanabilir olması için birim hacimdeki veya birim kütledeki mol olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, su ve sediment arası boşluk suyunda molarite ($M=\text{mol/L}$) ve sedimentte molalite ($m=\text{mol/kg-ıslak ağırlık}$) olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar grafik olarak "Bölüm 6" da verilmiştir.

3.5.2.2 Bitki Numunelerinin Analizi

Başka araştırmacıların çalışmaları incelenerek, bitkideki ağır metal miktarının tespiti için yapılan paralamalarda farklı kimyasallar ve farklı oranlar kullanıldığı grlmştir. Yapılan çalışmalarda bitkiyi ağır metal analizine hazır hale getirmek için değişen oranlarda HNO_3 ile H_2O_2 yada HNO_3 ile HCl kullanıldığı rapor edilmiştir (Yang vd., 2006; Almeida vd., 2006; Kamal vd., 2004, Prasad vd., 2001). Bu alışmada HNO_3 , H_2O_2 ve HCl beraber kullanılmıştır. Kullanılan oran HNO_3 , H_2O_2 ve HCl için sırasıyla 5/1/1 (v/v/v) dir. Organlarına ayrılan bitki parçaları parçalandıktan sonra, örnekler analize kadar plastik kaplarda, ışık geçirmeyen yerde saklanmıştır. Erns (1982) alışmasında gram ile belirlenen konsantrasyonların biyolojik olarak uygun olmadığını belirtmiş ve konsantrasyonların mol olarak verilmesini önermiştir (Evirgen, 2003). Bu nedenle bitkilerin farklı organlarını (kök, gövde, yaprak) içeren rnekler ICP-MS'de ölçülüp molalite ($m=\text{mol/kg-kuru ağırlık}$) olarak hesaplanmıştır.

Yaprak dokularında klorofil a ve klorofil b miktarları Lichtenthaler'in (1987) yöntemine göre belirlenmiştir. Yaprak dokularından alınan örnekler tartıldıktan sonra sıvı azotla dondurulup parçalanmıştır. Parçalanan yaprak örnekleri falkon tüplerine konularak, üzerine 5 ml %99 aseton ilave edilmiştir. Dokular tamamen beyazlaşıp pigmentlerini kaybettiğinde elde edilen duru fazdan spektrofotometrede absorbansları okunmuştur. Lichtenthaler'in (1987) yönteminde 661,6 ve 644,8'de ölçüm yapılmıştır. Ancak kullanılan YTÜ evre Mühendisliği'ndeki Novespec II spektrofotometre cihazı ondalık değerdeki dalga boylarını (λ) lçemediğinden, 661,6 nm dalga boyu spektrum üzerindeki 662 nm olarak klorofil a'nın, 644,8 nm dalga boyu ise spektrum zertindeki 645 nm olarak klorofil b'nin pik yaptığı değer olarak kabul edilmiştir (şekil 3.12). Klorofil a ve klorofil b miktarları Denklem 3.1 ve 3.2 kullanarak $\text{mg.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$ TA (Toplam Ağırlık) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.12 Klorofil a ve klorofil b'nin absorpsiyon spektrofotometresi

$$\text{Klorofil a} = (11,24 \times \lambda_{662}) + (2,04 \times \lambda_{645}) \quad (3.1)$$

$$\text{Klorofil b} = (20,13 \times \lambda_{645}) - (4,19 \times \lambda_{662}) \quad (3.2)$$

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu araştırmada *Echinodorus amazonicus*, *Crinum thaianum*, *Anubia congensis*, *Cryptocoryne undulata*, *Myriophyllum verticillatum* L. bentik bitkileri kullanılarak altı deneme yapılmıştır.

Denemelerde demir, bakır, çinko, nikel ve krom metallerini içeren stok çözeltilerden hazırlanan sentetik besleme suyuna ait metal karakterleri ppm (mg/l) ve molarite olarak Çizelge 4.1’de her deneme için ayrı ayrı verilmiştir. Sentetik su çeşme suyu ile hazırlanmıştır. Sentetik sudaki metaller ile çeşme suyundan gelen ve çalışmada kullanılan sediment yapıda da bulunduğu belirlenen bazı Mn, Mg, Ca elementlerinin çalışmaya etkisi araştırma süresince incelenmiştir.

Echinodorus amazonicus, *Crinum thaianum*, *Anubia congensis* ve *Cryptocoryne undulata* ile yapılan ilk dört denemenin besleme suyunda Fe konsantrasyonu yüksek olduğundan zamanla çökme oluşmuştur. Çökme ve benzeri nedenlerle besleme suyu karakterinde kararlılık bu ilk dört sette sağlanamadığından, besleme suyunun bulunduğu tanka sirkülasyon pompası (Beresford marka) konarak besleme suyu kompozisyonu son iki sette (*C. undulata* ve *M. verticillatum* L. ile yapılan denemeler) olabildiğince dengede tutulmuştur. Sirkülasyon pompasının besleme suyu tankına konmasından önceki denemelerde (*E. amazonicus*, *C. thaianum*, *A. congensis*, *C. undulata* ile yapılan denemeler) besleme tankının manüel karıştırıldığı periyotta besleme suyu karakteri salınım göstermiştir. Bu nedenle manüel karıştırmaya son verilmiş, bundan sonraki konsantrasyon giriş suyu konsantrasyonu olarak kabul edilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kararlı hal konsantrasyonu giriş suyu konsantrasyonu olarak kullanılması nedeniyle ilk dört denemede besleme suyu karakterlerinde farklılık meydana gelmiştir. Sirkülasyon pompası kullanıldıktan sonra *C. undulata* ve *M. verticillatum* L. ile yapılan denemelerde besleme suyu karakterisindeki değişim izlendiğinde, kullanılan sentetik besleme suyunun %95 güven aralığında ağırlıklı ortalama standart sapma değerinin $0,1 \times 10^{-6}$ M’den küçük olduğu görülmüştür.

Denemede, doğal ortamdan alınan sediment yaklaşık 5 cm kalınlığında reaktöre (Şekil 3.11) konduktan sonra reaktör sentetik su ile doldurulmuş daha sonra aynı türde 6 adet bitki ekilmiştir. Bu işlemler ortalama 8 dakika sürmüştür. Başlangıçta geçen ortalama 8 dakikalık süre sonunda alınan ilk giriş ve çıkış suyu ile sediment numunelerinin deneme başlangıcını ($t=0$) temsil ettiği kabul edilerek edilerek, bir başka deyişle yaklaşık 8 dakika hazırlık süresinde oluşan reaksiyonlar ihmal edilerek analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Çalışmada, deneme sürecinde bitkinin yaşamı için gerekli olan, sucul ortamlardaki ağır

metallerin su ile sediment yapı arasındaki ilişkisinde etkili olan fiziksel koşullar, su kalitesindeki değişimle izlenmiştir. Böylece bu koşulların;

- bitkinin yaşamında,
- bitkinin metali bünyesine alımında,
- sucul ortamdaki su-sediment-bitki arasındaki fizikokimyasal ve biyokimyasal değişikliklerin belirlenmesindeki etkisi yorumlanmıştır.

Çalışmada, denemeye başlanmadan önce, Bölüm 3.5.2.2’de anlatıldığı gibi incelenen tüm bitkilerden kök, gövde ve yaprak numuneleri alınmış ve numunelerde metal analizi yapılmıştır. Bu sonuçlar “Deneme Öncesi” değerler olarak değerlendirilmiştir. Denemeler sonunda, reaktörden alınan bitkilerde yapılan analizler ise “Deneme Sonrası” değerler olarak incelenmiştir. Böylece çalışmada kullanılan bitkilerin bünyelerindeki element miktarlarındaki değişim izlenebilmiştir. Çalışmada kullanılan bitki bünyesi ifadesi; bitkinin iç yapısı (dokusu), bitkinin dış yüzeyi ve bitkinin dış yüzeyine tutunmuş olan mikroorganizmaları ve yüzeyinde bulunabilecek diğer yapıların tamamını temsil etmektedir.

Deneme öncesinde ve deneme sonunda, kullanılan bitkilerin tüm organlarındaki metal analiz sonuçları, konsantrasyon-metal olarak grafiklerde gösterilmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.32, Şekil 4.50, Şekil 4.67, Şekil 4.89, Şekil 4.119). Mg, Ca ve Fe metallerinin bitkide birikimi ile diğer metallerin birikimi arasındaki farklılık nedeniyle, bu üç metalin bitkideki değişimi şekillerin A sütununda ve diğer elementlerin ki (Cr, Mn, Ni, Cu ve Zn) B sütununda iki farklı grafik olarak yan yana verilmiştir.

Bitkinin ortamdan aldığı elementler arasındaki tercih sırasının belirlenmesi için, bitkinin tamamındaki her elementin, toplam element miktarı içindeki oranları (*Elementin Bitki Bünyesindeki Miktarı/Bitkideki Elementlerin Toplamı*) hesaplanarak bitkinin toplamında elde edilen “Kısmi Element Miktarı”, Şekil 4.14 , Şekil 4.33, Şekil 4.51, Şekil 4.68, Şekil 4.90, Şekil 4.120’de gösterilmiştir.

Denemeye başlamadan önce bitkide yapılan analiz sonuçlarından elde edilen molalite değerleri bitkinin sahip olduğu her morfolojik yapı (organ) için büyükten küçüğe doğru sıralanarak çizelgelerin ilk sütununda “Deneme Öncesi” başlığı altında gösterilmiştir. Deneme süresi sonunda bitkinin her organında ayrı ayrı yapılan metal analizlerinden elde edilen molalite değerleri de, büyükten küçüğe doğru sıralanarak aynı çizelgelerin ikinci sütununda “Deneme Sonrası” başlığı altında verilmiştir. Denemeler sonunda, bitkinin hangi organın hangi elementi daha fazla aldığını belirlemek için, elementlerin “Rölatif Birikim” değerleri

(Deneme Sonrası Molalitesi/Deneme Öncesi Molalitesi) büyükten küçüğe doğru sıralanarak aynı çizelgelerin üçüncü sütununda gösterilmiştir (Çizelge 4.2, Çizelge 4.4, Çizelge 4.6, Çizelge 4.8, Çizelge 4.11, Çizelge 4.19).

Erns (1982) çalışmasında gram ile belirlenen konsantrasyonların biyolojik olarak uygun olmadığını belirtmiş ve konsantrasyonların mol olarak verilmesini önermiştir (Evirgen, 2003). Bu çalışmada da bitkideki element konsantrasyonları molalite ($m=\text{mol/kg}$) olarak verilmiştir. Çalışmada izlenen diğer fazlardaki (su, sediment arası boşluk suyu ve sediment) element değerleride birbirleri ile kıyaslanabilir olmaları için birim hacim ($M=\text{mol/L}$) veya birim kütledeki mol değeri ($m=\text{mol/kg}$) olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu analizlerle, deneme öncesi sudaki ve sedimentteki ağır metalin bitkiye, suya, sedimente geçişi izlenmeye çalışılmış, bu geçişe diğer kimyasal parametrelerin etkisi irdelenmiştir.

Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan sentetik suyun karalı hal durumundaki ortalama element konsantrasyonları ve molariteleri

Elementler		<i>E. amazonicus</i> ile yapılan deneme	<i>C. thailanum</i> ile yapılan deneme	<i>A. congensis</i> ile yapılan deneme	<i>C. undulata</i> ile yapılan deneme	<i>C. undulata</i> ile yapılan deneme	<i>M. verticillatum</i> L. ile yapılan deneme	AA
Sentetik Hazırlanan	Fe (ppm) (Molarite)	1,2±0,8 (21(± 14)x10 ⁻⁶)	1,23±0,33 (22(± 5,9)x10 ⁻⁶)	1,23±0,33 (22(± 5,9)x10 ⁻⁶)	1,2±0,8 (21(± 14)x10 ⁻⁶)	0,12±0,01 (2(± 0,1)x10 ⁻⁶)	0,12±0,01 (2(± 0,1)x10 ⁻⁶)	55,85
	Cu (ppm) (Molarite)	0,065±0,01 (1(±0,15)x10 ⁻⁶)	0,064±0,01 (1(±0,15)x10 ⁻⁶)	0,064±0,01 (1(±0,15)x10 ⁻⁶)	0,065±0,01 (1(±0,15)x10 ⁻⁶)	0,14±0,01 (2(± 0,1)x10 ⁻⁶)	0,14±0,01 (2(± 0,1)x10 ⁻⁶)	63,55
	Zn (ppm) (Molarite)	0,11±0,02 (1(±0,3)x10 ⁻⁶)	0,26±0,12 (4(± 1,8)x10 ⁻⁶)	0,26±0,12 (4(± 1,8)x10 ⁻⁶)	0,11±0,02 (1(±0,3)x10 ⁻⁶)	0,13±0,01 (2(± 0,1)x10 ⁻⁶)	0,13±0,01 (2(± 0,1)x10 ⁻⁶)	65,37
	Cr (ppm) (Molarite)	0,27±0,031 (5(±0,6)x10 ⁻⁶)	0,22±0,03 (4(±0,58)x10 ⁻⁶)	0,22±0,03 (4(±0,58)x10 ⁻⁶)	0,27±0,031 (5(±0,6)x10 ⁻⁶)	0,11±0,01 (2(±0,2)x10 ⁻⁶)	0,11±0,01 (2(±0,2)x10 ⁻⁶)	51,99
	Ni (ppm) (Molarite)	0,048±0,017 (0,8(±0,3)x10 ⁻⁶)	0,07±0,01 (1(±0,17)x10 ⁻⁶)	0,07±0,01 (1(±0,17)x10 ⁻⁶)	0,048±0,017 (0,8(±0,3)x10 ⁻⁶)	0,11±0,01 (2(±0,2)x10 ⁻⁶)	0,11±0,01 (2(±0,2)x10 ⁻⁶)	58,71
Çeşme Suyundan Gelen	Mg (ppm) (Molarite)	0,90±0, 079 (37(± 3,2)x10 ⁻⁶)	1,3±0,24 (53(±9,8)x10 ⁻⁶)	1,3±0,24 (53(±9,8)x10 ⁻⁶)	0,90±0, 079 (37(± 3,2)x10 ⁻⁶)	7,67±0,8 (310(±33)x10 ⁻⁶)	7,67±0,8 (310(±33)x10 ⁻⁶)	24,3
	Mn (ppm) (Molarite)	0,058±0,0032 (1(±0,05)x10 ⁻⁶)	0,41±0,01 (7(±0.18)x10 ⁻⁶)	0,41±0,01 (7(±0.18)x10 ⁻⁶)	0,058±0,0032 (1(±0,05)x10 ⁻⁶)	0,01±0,008 (0,2(± 0,1)x10 ⁻⁶)	0,01±0,008 (0,2(± 0,1)x10 ⁻⁶)	54,94
	Ca (ppm) (Molarite)	3,1±0,32 (77(±8)x10 ⁻⁶)	3,6±0,88 (90(±22)x10 ⁻⁶)	3,6±0,88 (90(±22)x10 ⁻⁶)	3,1±0,32 (77(±8)x10 ⁻⁶)	19,14±1,00 (478(±25)x10 ⁻⁶)	19,14±1,00 (478(±25)x10 ⁻⁶)	40,07

AA: Atom Ağırlığı (gr/mol)

4.1 *Echinodorus amazonicus* ile Yapılan Deneme

Echinodorus amazinocus ile yapılan çalışmada elde edilen reaktör suyundaki kimyasal değişiklikler, reaktördeki su, sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri, *E. amazinocus*'un element değişimleri, reaktörde kontrol dışı üreyen bitkinin element miktarları ve *E. amazinocus*'daki fiziksel değişimlere ait bulgular bu bölümde irdelenmiştir.

4.1.1 Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler

Su kalitesinin denemeler sırasındaki değişimini belirlenmesi için reaktöre giren ve reaktörden çıkan sulardaki pH, çözülmüş oksijen, iletkenlik ve alkalinite analizleri yapılmış, bulgular da bu bölümde verilmiştir. İncelenen reaktör giriş ve çıkış suyu parametrelerinin zamana bağlı korelasyonları grafiklerde gösterilmiştir.

Echinodorus amazinocus bitkisiyle yapılan denemeler sonucunda, reaktör çıkışındaki pH değerinin, giriş suyu değerine göre arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Reaktör çıkış suyundaki pH değerinin giriş suyuna göre daha yüksek olmasının alkaliniteadaki artışla ilişkili olduğu tahmin edilmektedir.

Çözülmüş oksijen grafiği incelemeleri (200. saat ile 300. saatler arasındaki veriler, ölçüm cihazındaki arızadan dolayı grafiğe eklenmemiştir), reaktör çıkış suyundaki çözülmüş oksijenin reaktör giriş suyundan fazla olduğunu göstermektedir (Şekil 4.2).

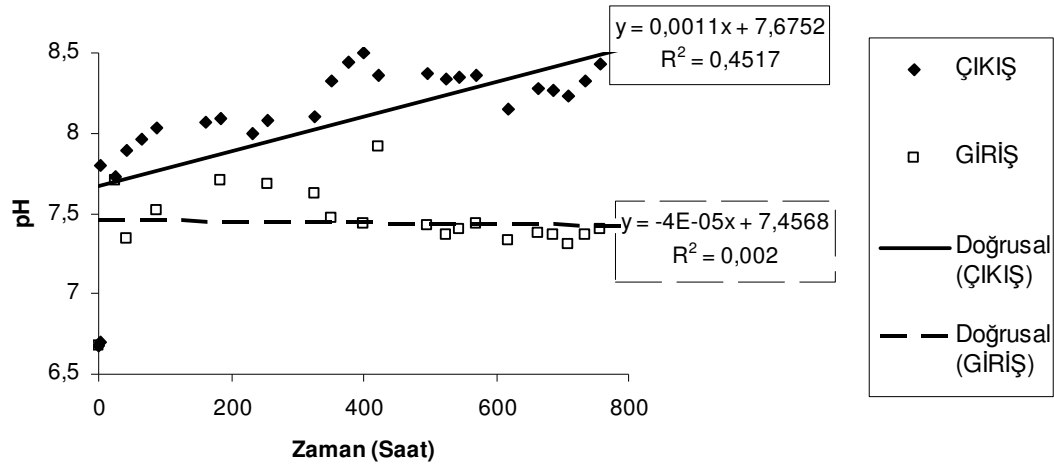
Çıkış suyunda oksijen miktarının giriş suyuna göre yüksek olması, bitkinin içinde bulunduğu ortama uyum sağlayarak fotosentez yapabilmesi olabilir. Çünkü bitkiler, bilindiği gibi fotosentez sırasında karbondioksit (CO₂) kullanırken, çevrelerine oksijen verdikleri için, içinde bulundukları sistemin oksijen miktarının artmasına neden olurlar.

Reaktörün giriş ve çıkış suyunda yapılan iletkenlik analizlerinde, çıkış suyundaki iletkenliğin giriş suyundakine (5,72±0,4 mS/cm) göre az olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3).

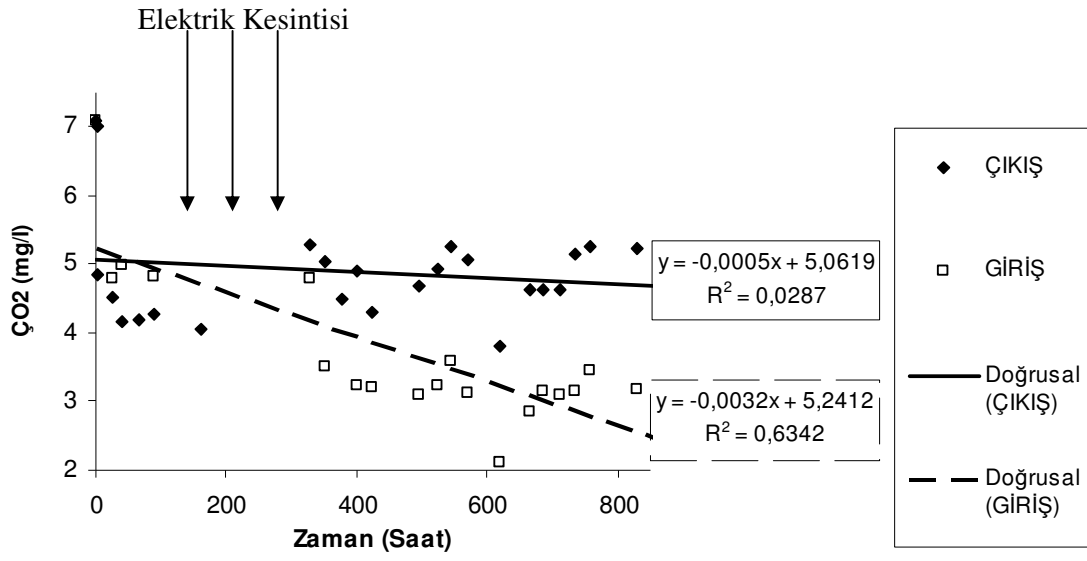
Reaktör çıkış suyundaki iletkenliğin, giriş suyuna göre az olmasında, *E. amazinocus*'un iletkenliğe neden olan makronütrient (Ca, Mg v.s.) ve mikronütrientleri (Fe, Mn v.s.) yaşam sürecinde kullanmasının etkisi olduğu tahmin edilmektedir. İletkenliğin azalmasında çalışmada izlenmeyen diğer iyonların bitki tarafından alınması veya çökmesi sonucunda sudan uzaklaşmasının etkisi de olabilir. Şekil 4.3'te gösterilen iletkenliğin zamansal incelemelerinde, çıkış suyundaki iletkenlik değerlerinde artış görülmektedir. Bu artışta, sedimentten suya geçen toplam çözülmüş katılar ile elementlerin, özellikle Mg'nin etkili

olduğu tahmin edilmektedir. İletkenliği arttırıcı etken olarak özellikle Mg elementinin düşünülmesinin nedeni, giriş ve çıkış sularında yapılan metal analizleri sonucunda, Mg miktarının çıkış suyunda fazla olduğunun belirlenmesidir (Şekil 4.5). Soltan ve Rashed (2001), su sümbülü ile yaptıkları çalışmalarında iletkenliğin ağır metal konsantrasyonu ve maruz kalma süresindeki artışa paralel olarak arttığını belirtmişlerdir (Artan, 2007).

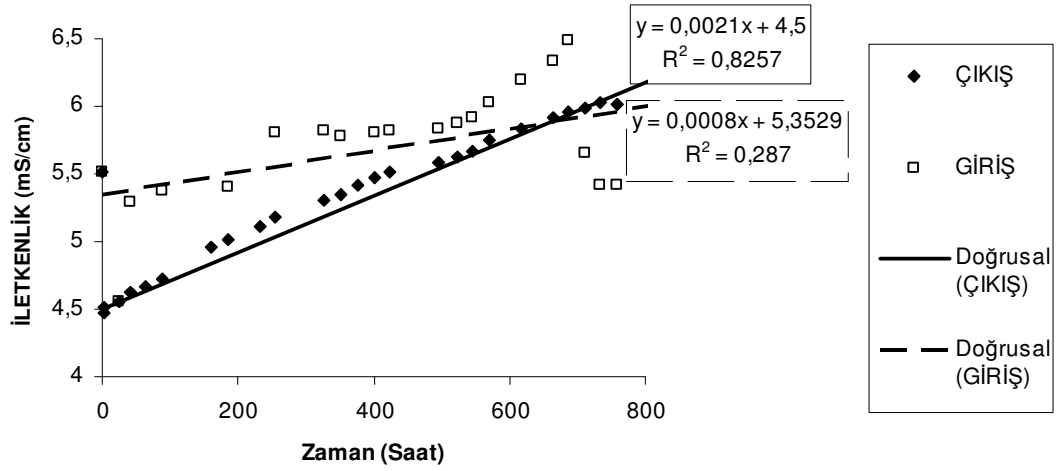
Alkalinite analizleri reaktörün giriş ve çıkış suyunda yapılmış ve alkalinite miktarının çıkış suyunda arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Alkalinite artışının reaktör çıkış suyundaki pH değerinin artmasına neden olduğu tahmin edilmektedir.



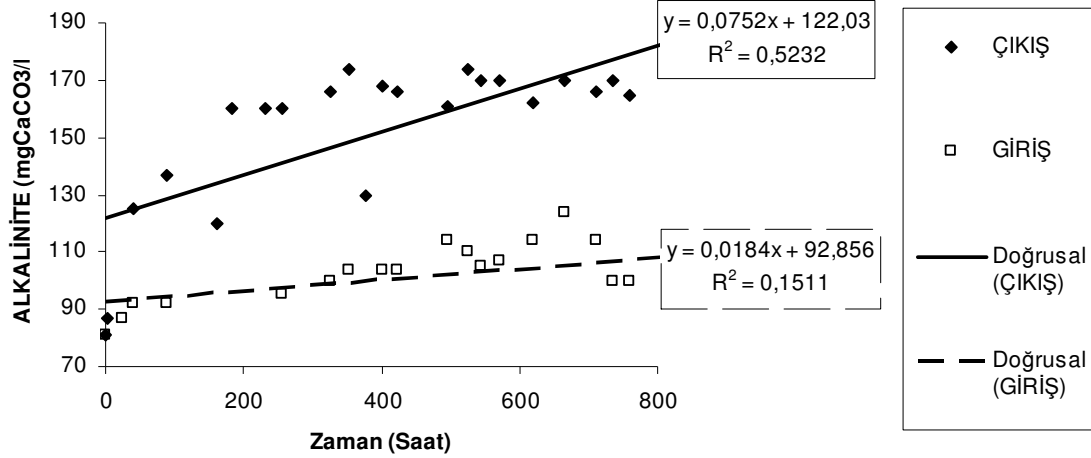
Şekil 4.1 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede suda pH değişimi



Şekil 4.2 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇO₂) değişimi



Şekil 4.3 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi



Şekil 4.4 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi

4.1.2 Reaktördeki Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapıda Metal Değişimleri

Çıkış suyu ile bitki köküne en yakın bölgeden (rizosfer) alınan sediment ve sediment arası boşluk suyu numunelerinde metal analizleri yapılmış ve bu veriler Şekil 4.5'den Şekil 4.12'ye kadar grafiklenmiştir.

Mg:

Yapılan element analizleri sonucunda, Mg'un sediment, sediment arası boşluk suyu ve su arasında hareket ettiği belirlenmiştir (Şekil 4.5). Çıkış suyunda Mg konsantrasyonunun giriş suyundan fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın, sedimentteki Mg'un suya geçmesine bağlı olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.5). Gosh ve Singh (2005), element çözünürlüğüne element miktarı ile pH, katyon değiştirme kapasitesi, organik karbon içeriği, mineralli bileşiklerin oksidasyonu ve sistemdeki redoks potansiyelin etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Denemenin başlangıcında, reaktör çıkış suyunda ölçülen Mg miktarında salınımlar tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Bu salınımların, reaktörün deneme için hazırlanma sürecinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlara bağlı olduğu tahmin edilmektedir (reaktörün besleme suyu ile doldurulma ve bitkilerin ekilmesi işlemi yaklaşık 7 dakikada yapılmıştır).

NOT: Yaklaşık 700. saatte, besleme tankına yeni hazırlanan sentetik su ilave edilmiştir.

Deneme başladıktan yaklaşık 70 saat sonra, çıkış suyundaki Mg miktarında görülen salınımların azaldığı Şekil 4.5’de izlenmektedir.

Su ve sediment arasında hareketi belirlenen Mg’un, çıkış suyunda 70. saatten sonraki miktarının fazla değişmediği, sediment arası boşluk suyunda 70. saat ile 250. saatler arasındaki miktarının azaldığı ve bu süreçte sedimentte yaklaşık aynı miktarlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu zaman diliminde sediment arası boşluk suyunda görülen Mg miktarının azalmasında, bitkinin sediment arası boşluk suyundaki Mg elementini köküyle bünyesine almasının etkili olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.5). Jackson ve arkadaşları (1993) yaptıkları çalışmalarında su altı bitkileri için sedimentteki elementlerinin alımının mümkün olmadığını bildirmiştir (Ekmekçi, 2007). Bentik bitkilerin elementleri sucul ortamın hangi fazından ve hangi mekanizmayla aldığını belirten yeterli sayıda kaynak olmadığından literatür bilgileri ile bu yorum beraber irdelenememiştir.

Ca:

Çalışmada incelenen diğer element olan Ca’a ait verileri gösteren Şekil 4.6 incelendiğinde, Ca’ın sudan sediment arası boşluk suyuna, oradan da sediment yapıya geçerek biriktiği tahmin edilmektedir.

Ca’un bu üç faz (su, sediment arası boşluk suyu ve sediment) arasındaki hareketi incelendiğinde, sediment arası boşluk suyundaki miktarında azalma olduğu görülmektedir.

Ca’un sediment arası boşluk suyundaki miktarındaki azalmada, elementin sediment yapıya geçerek birikmesi dışında, bitkinin de etkili olduğu tahmin edilmektedir. Sediment arası boşluk suyundaki azalma miktarları göz önüne alındığında, bitkinin Ca’u 250. saate kadar hızlı aldığı, 250. saat ile 600. saat arasında alım hızında azalma olduğu ve 600. saatten sonra bitki bünyesine alımın çok az olduğu veya tamamen durduğu tahmin edilmektedir.

Cr:

Cr’ın su ile sediment yapı arasında hareket eden bir ağır metal olduğu Şekil 4.7’de görülmektedir.

Bu deneme sırasında merkezi elektrik kesintileri olmuş, bu nedenle sentetik suyun reaktörü beslemesi durmuş ve reaktör içindeki herhangi bir kesitte, kirleticinin geçeceği fazlar (bitki, sediment vs) arasındaki temas süresi artmıştır. Sediment arası boşluk suyundaki Cr miktarındaki azalmalar diğer fazlardaki metal miktarı ile beraber incelendiğinde, bitkinin özellikle temas süresinin arttığı bu dönemde (90. saat ile 270. saat arası) köküyle bünyesine aldığı tahmin edilmektedir. 270. saatten itibaren sediment arası boşluk suyunda miktarı artan

Cr'un, 620. saatten sonra sedimentte birikmeye başladığı Şekil 4.7'den anlaşılmaktadır.

Manahan (1994) yaptığı araştırmada sedimentin Cr için depo görevini gördüğünü ve sedimentte tutunma yoluyla (adsorpsiyon), organik maddelerle şelat oluşturarak ve metal oksitlerle bağ yapmış halde bulunabildiğini ifade etmiştir. Yaklaşık 760 saat süren bu denemede de, bu ağır metalin sediment yapıdaki miktarının arttığı yani depolandığı belirlenmiştir.

Mn:

Yapılan incelemelerde, Mn'ın sediment ile sediment arası boşluk suyu arasında hareketi izlenmektedir (Şekil 4.8).

Mn elementinin de Cr elementinde olduğu gibi elektrik kesintileri nedeniyle temas süresinin arttığı dönemde (90. saat ile 270. saat arası), bitkinin sediment arası boşluk suyundaki metali köküyle bünyesine aldığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.8). Önceden de bahsedildiği gibi bentik bitkilerin elementleri sucul ortamdaki su ve sediment arası boşluk suyu fazlarının hangisinden aldığını belirten yeterli sayıda kaynak olmadığından, bu çalışmada tahmin edilen sediment arası boşluk suyundan elementi alma fikri başka çalışmalarla kıyaslanamamıştır.

Fe:

Fe'in sediment yapıda biriken, sediment arası boşluk suyuna geçebilen bir metal olduğu Şekil 4.9'dan anlaşılmaktadır.

Demirin, reaktöre verilen sudaki miktarından az olarak reaktör çıkış suyunda bulunduğu ve sedimentteki miktarının arttığı Şekil 4.9'da izlenmektedir. Wilkin (2001), suda çözülmüş olarak bulunan demir sülfidler ve karbonatlarla reaksiyona girerek hızlıca çökelebildiklerini, sedimentlerde görülen demir bileşiklerinin genelde bunlar olduğunu belirtmiştir.

Fotosentez ürünlerinin bitki köklerinden sızması (Erickson vd., 1994) nedeniyle organik madde bakımından zengin olan rizosfer tabakasından sediment örnekleri alınmıştır. Bu fotosentetik ürünlerin kirleticinin çözünürlüğünü etkileyerek bitki bünyesine alınımı kolaylaştırabileceği araştırmacılarca ifade edilmiştir (Peer vd., 2005, Duman, 2005, ITRC, 2001). Bu nedenle, kökten sızan fotosentetik ürünlere bağlı olarak demirin sediment arası boşluk suyundan bitki bünyesine alındığı, özellikle elektrik kesintisi nedeniyle hidrolik bekleme süresinin dolayısıyla temas süresinin arttığı dönemde bitki bünyesine alınımın fazla olduğu tahmin edilmektedir. Benzer olarak, Srivastav ve arkadaşları (1994) sentetik su ve bitkiler kullanarak yaptıkları araştırmalarında metal giderimi üzerinde hidrolik bekleme süresinin etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Ni:

Çıkış suyunda Ni miktarının giriş suyuna göre arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.10). Deneme sırasında, sediment arası boşluk suyundaki Ni miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

Sediment arası boşluk suyundaki Ni miktarının azalmasının, bitki bünyesine alınması ile ilgili olduğu ve deneme süreci sonunda bitki alımının azaldığı ve bu nedenle denemenin sonunda sedimentte biriktiği tahmin edilmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında bitkinin elementi sucul ortamlarda hangi fazdan aldığına dair yeterli bilgiye ulaşılamadığından bu yorum literatür bilgileri ile mukayese edilememiştir.

Cu:

Çıkış suyundaki Cu miktarının başlangıçta salınım gösterdiği, daha sonra giriş suyuna yakın değerlerde reaktörden çıktığı Şekil 4.11’de görülmektedir.

Denemenin başında görülen çıkış suyundaki salınımların, Mg’da ki salınımlarla benzer nedenden (reaktörün deneme için hazırlanma sürecinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar) olduğu tahmin edilmektedir.

Xue vd. (2003) sucul ortamlarda yaptıkları çalışmada, ortamdaki bakır transferinde organik madde varlığının önemli olduğunu ve organometalik yapılar oluşturduğunu belirtmişlerdir. Fotosentetik ürünlerin bir kısmının bitki köklerinden sızması (Erickson vd., 1994) sonucunda rizosfer tabakası organik madde bakımından zengin hale gelmektedir. Dushenkov (1995) yaptığı çalışmasında organik metal komplekslerin bitkideki metal alımı ve taşınımında etkisi olduğunu tahmin ettiğini belirtmiştir.

Bu çalışmada 300. saatten sonra rizosfer tabakasından alınan sediment arası boşluk suyunda Cu metalinin azaldığı belirlenmiştir. Sediment boşluk suyu numunelerinde görülen bu azalmada bitkinin metali köküyle almasının etkili olduğu tahmin edilmektedir.

Zn:

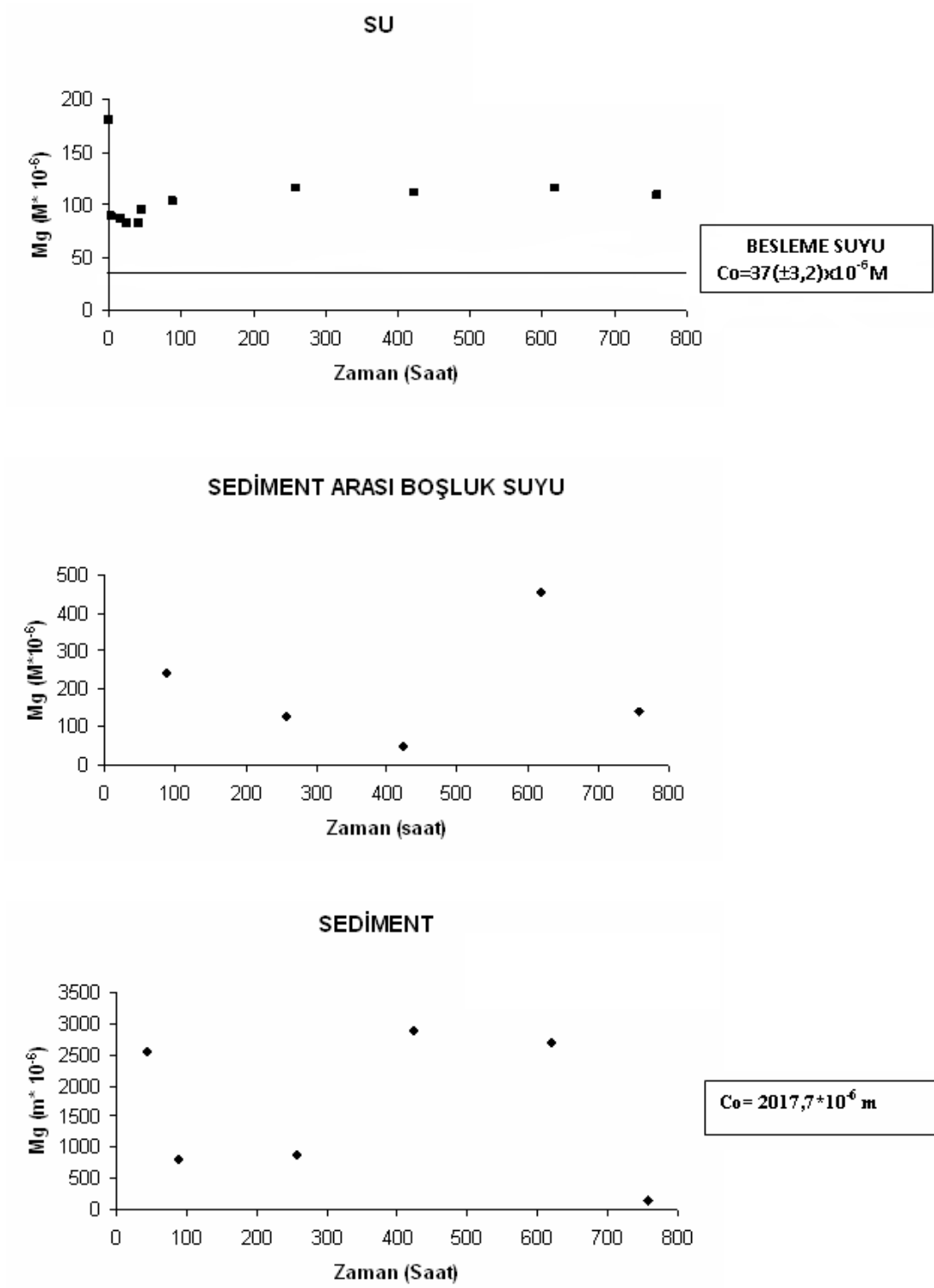
Zn’nun özellikle rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ile sediment arasında hareket ettiği Şekil 4.12’de görülmektedir. Zn’nun 600. saatten itibaren sediment yapıda biriktiği aynı şekilde izlenmektedir.

Zn’nun sediment yapıya zayıf bağlandığı bu nedenle sediment ile sediment arası boşluk suyu arasında hareket ettiği tahmin edilmektedir. Bitkilerin fotosentez sonucu elde ettikleri organik bileşiklerin köklerinden sızması nedeniyle (Erickson vd., 1994) rizosfer tabakası organik madde bakımından zengindir. Xue ve arkadaşları (2003) sucul ortamlarda yaptıkları

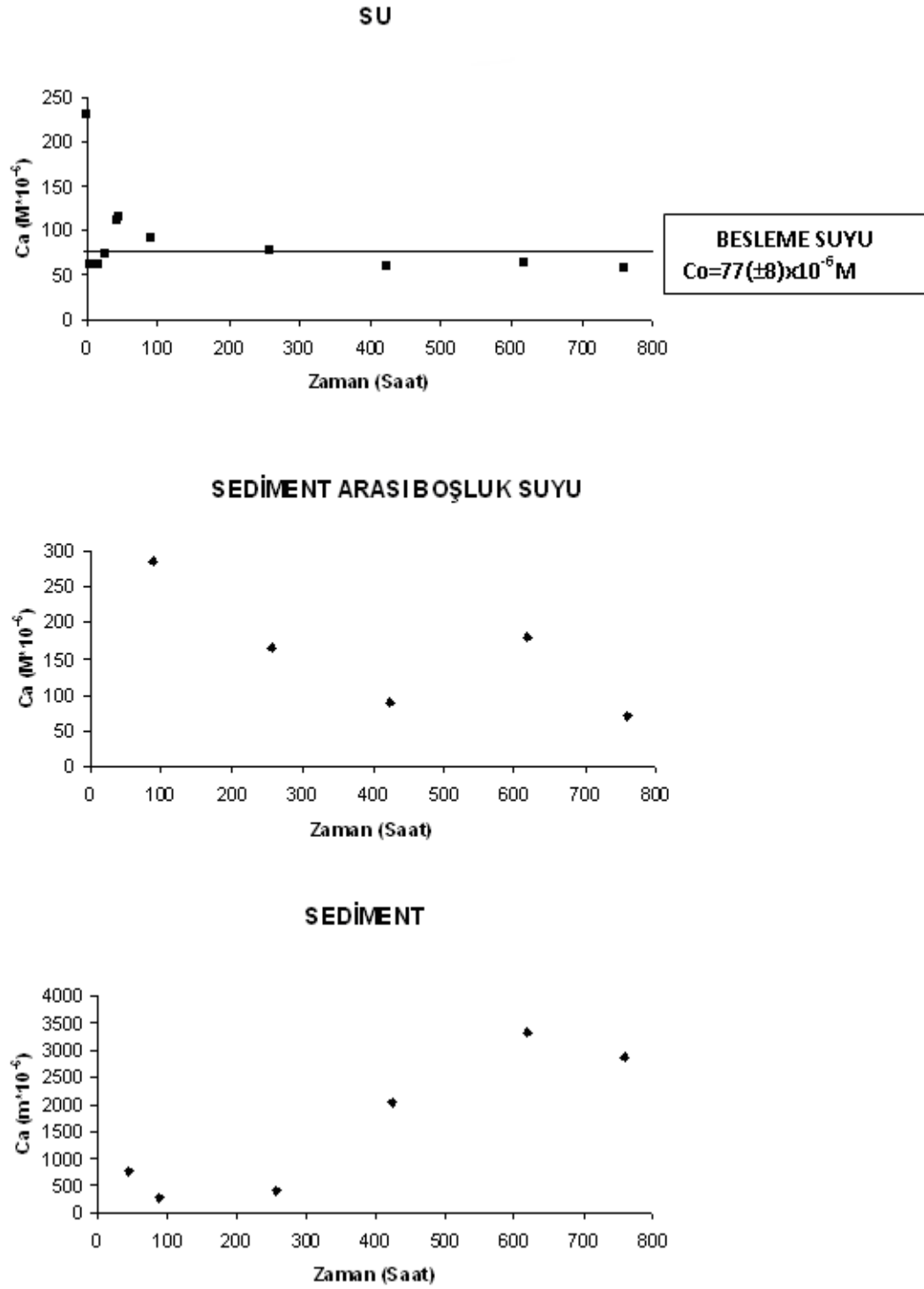
Çalışmada, ortamdaki çinko transferinde organik madde varlığının önemli olduğunu ve çinkonun bakıra göre organik maddelere zayıf organometalik yapılar oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada kullanılan *Echinodorus amazonicus*'un ortamdaki Zn'yu bünyesine aldığı Şekil 4.13'de görölmektedir. Hinsinger (1998), oluşan metal komplekslerin bitkinin alım yeteneğini arttırdığını çalışmasında ifade etmiştir (Duman, 2005).

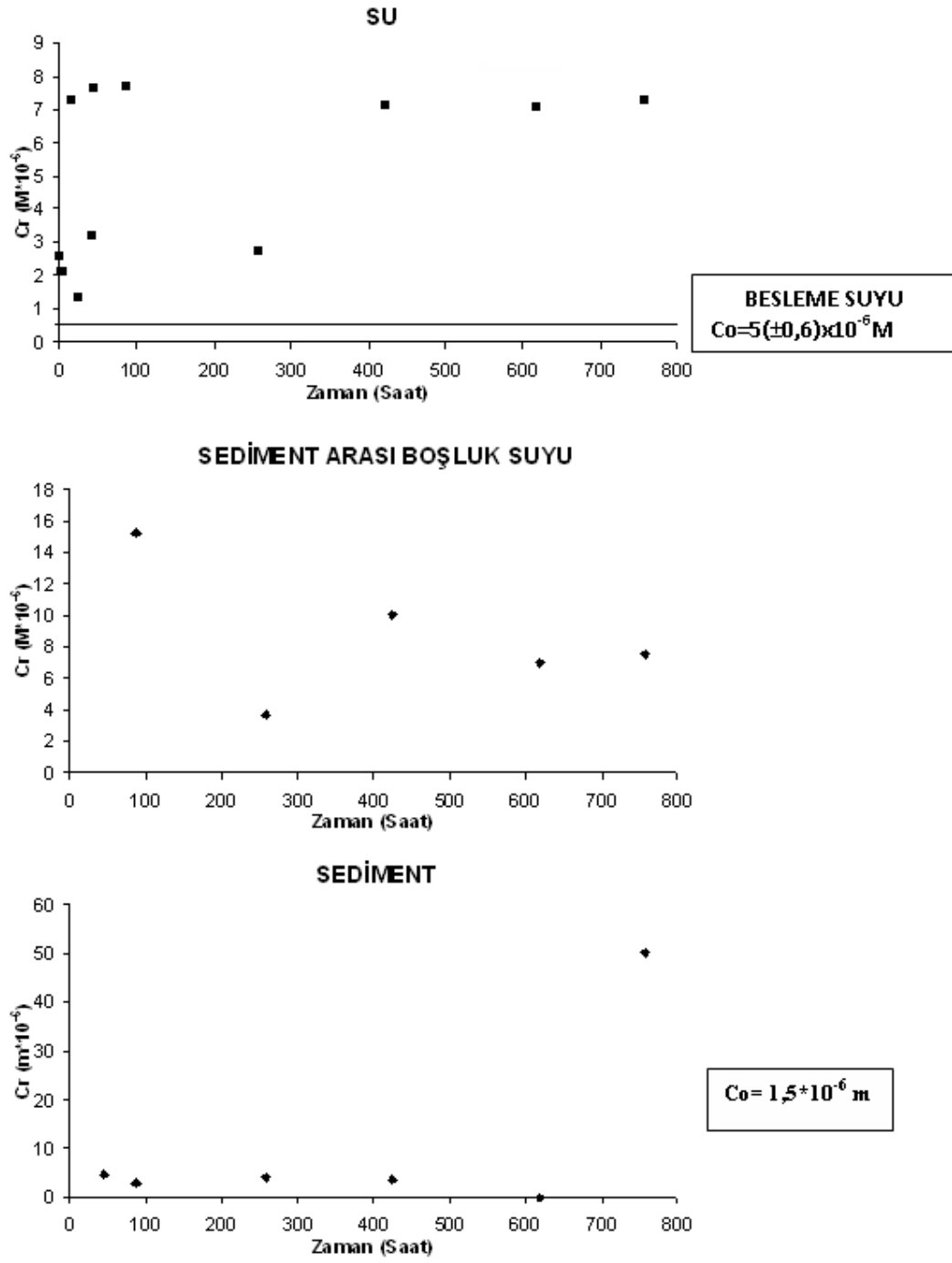
Yukarıda sözü edilen elektrik kesintisi nedeniyle temas süresinin arttığı dönemde, sediment arası boşluk suyundaki Zn'nun miktarında azalma görölmektedir. Bu nedenle bu dönemde bitkinin sediment arası boşluk suyundaki bu ağır metali bünyesine daha fazla aldığı tahmin edilmektedir. Srivastav ve arkadaşları (1994) sentetik su ve bitkiler kullanarak yaptıkları araştırmalarında metal giderimi üzerinde hidrolik bekleme süresinin etkili olduğunu bildirmişlerdir.



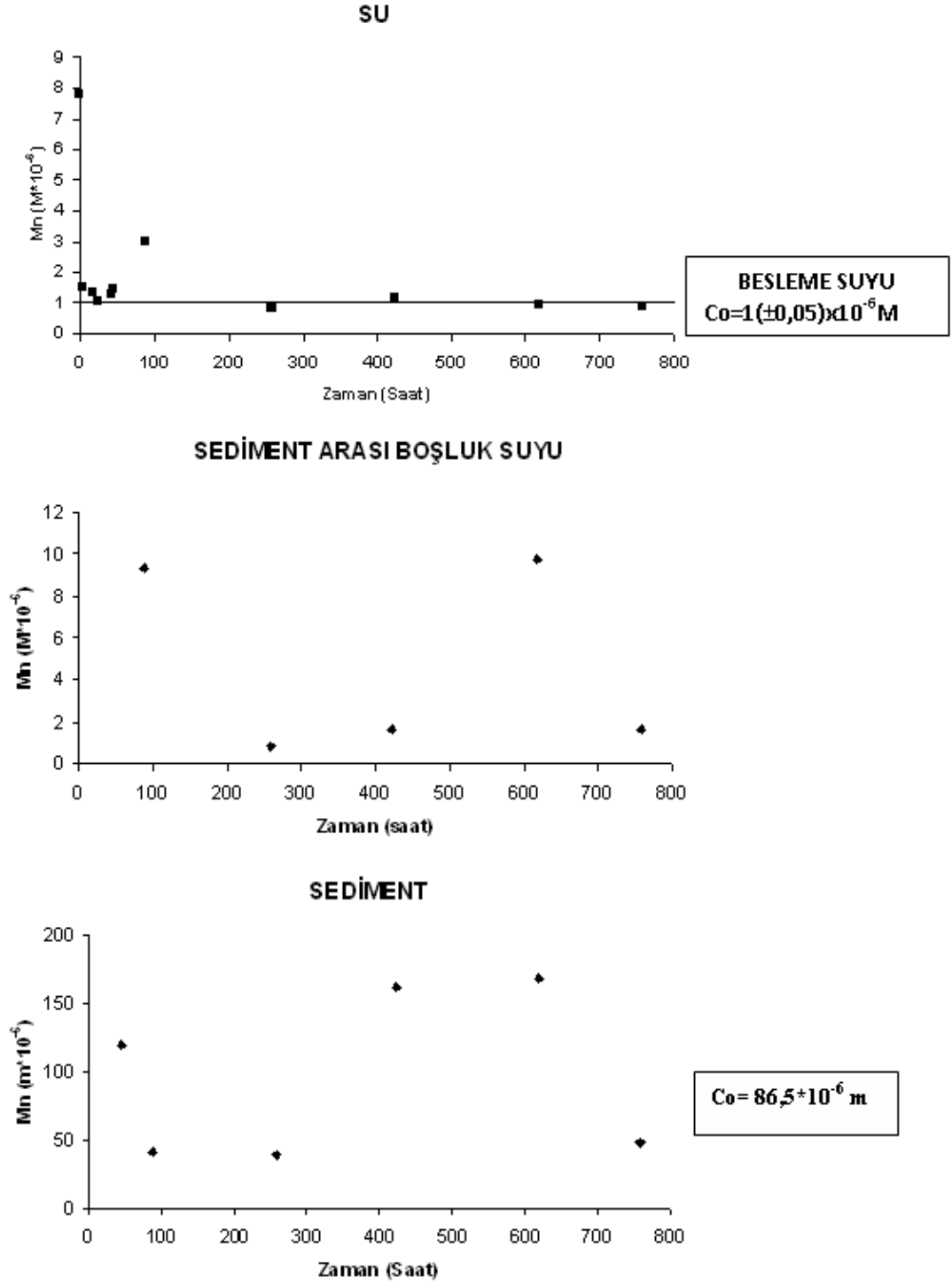
Şekil 4.5 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede Mg değişimi



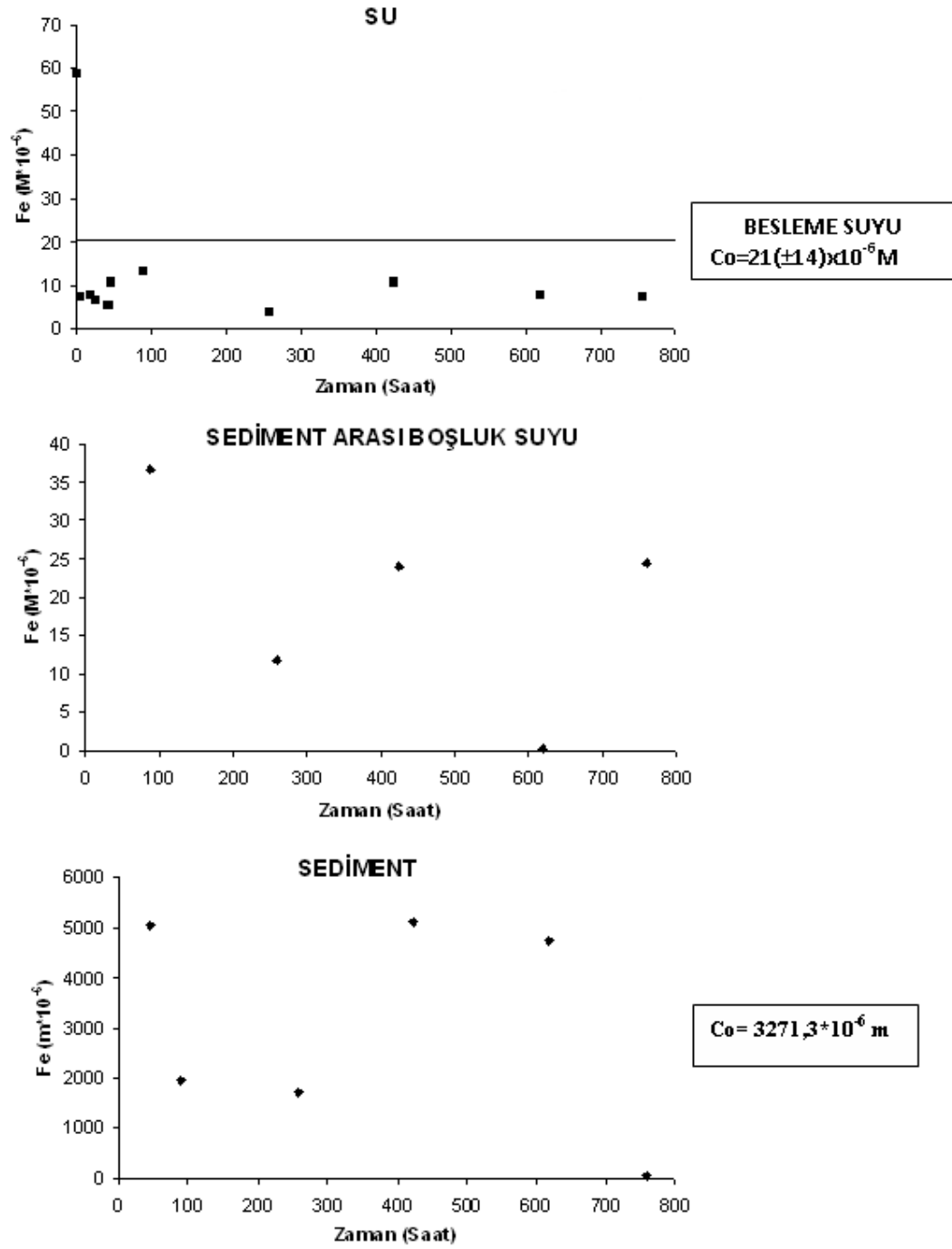
Şekil 4.6 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede Ca değişimi



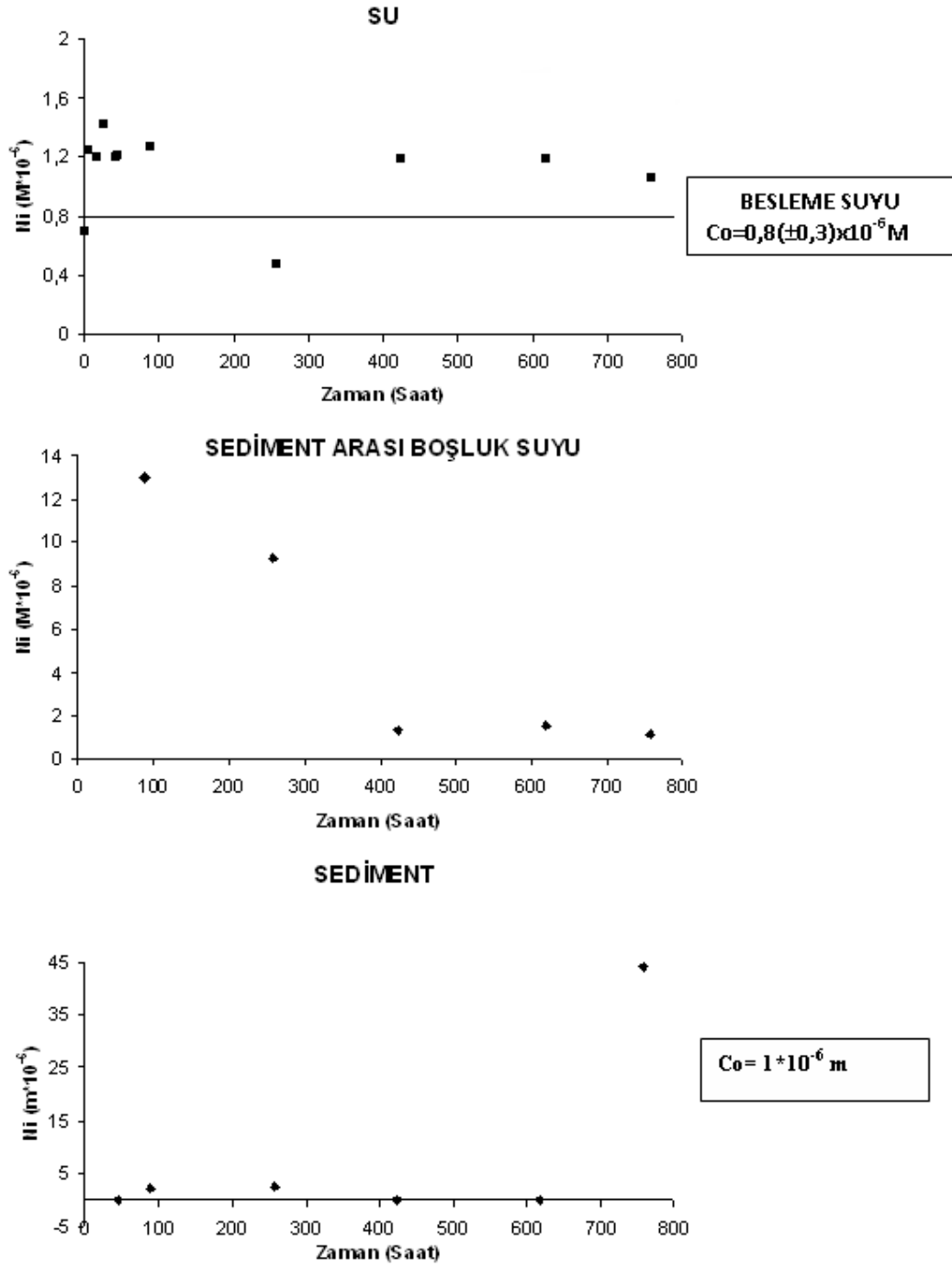
Şekil 4.7 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede Cr değişimi



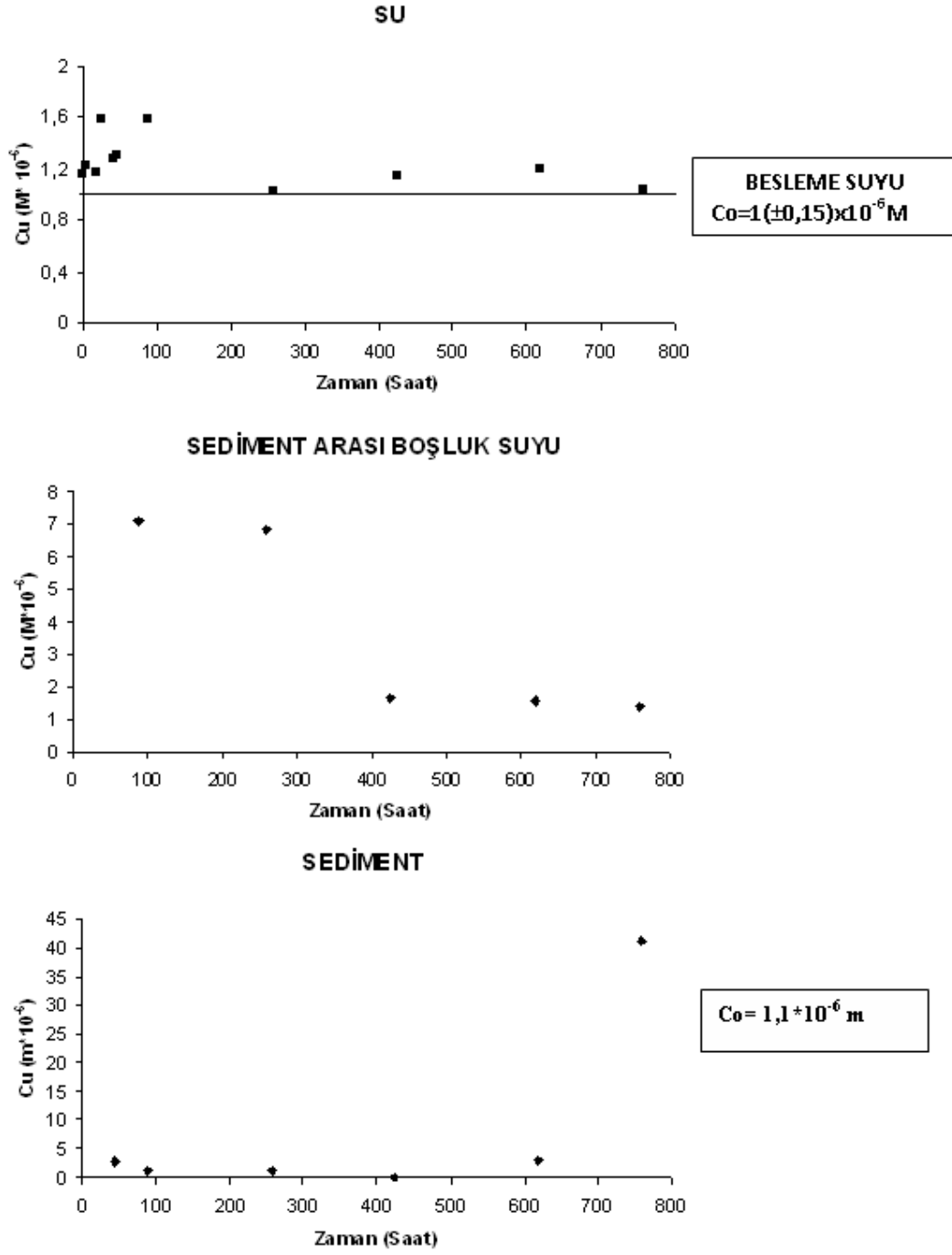
Şekil 4.8 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede Mn değişimi



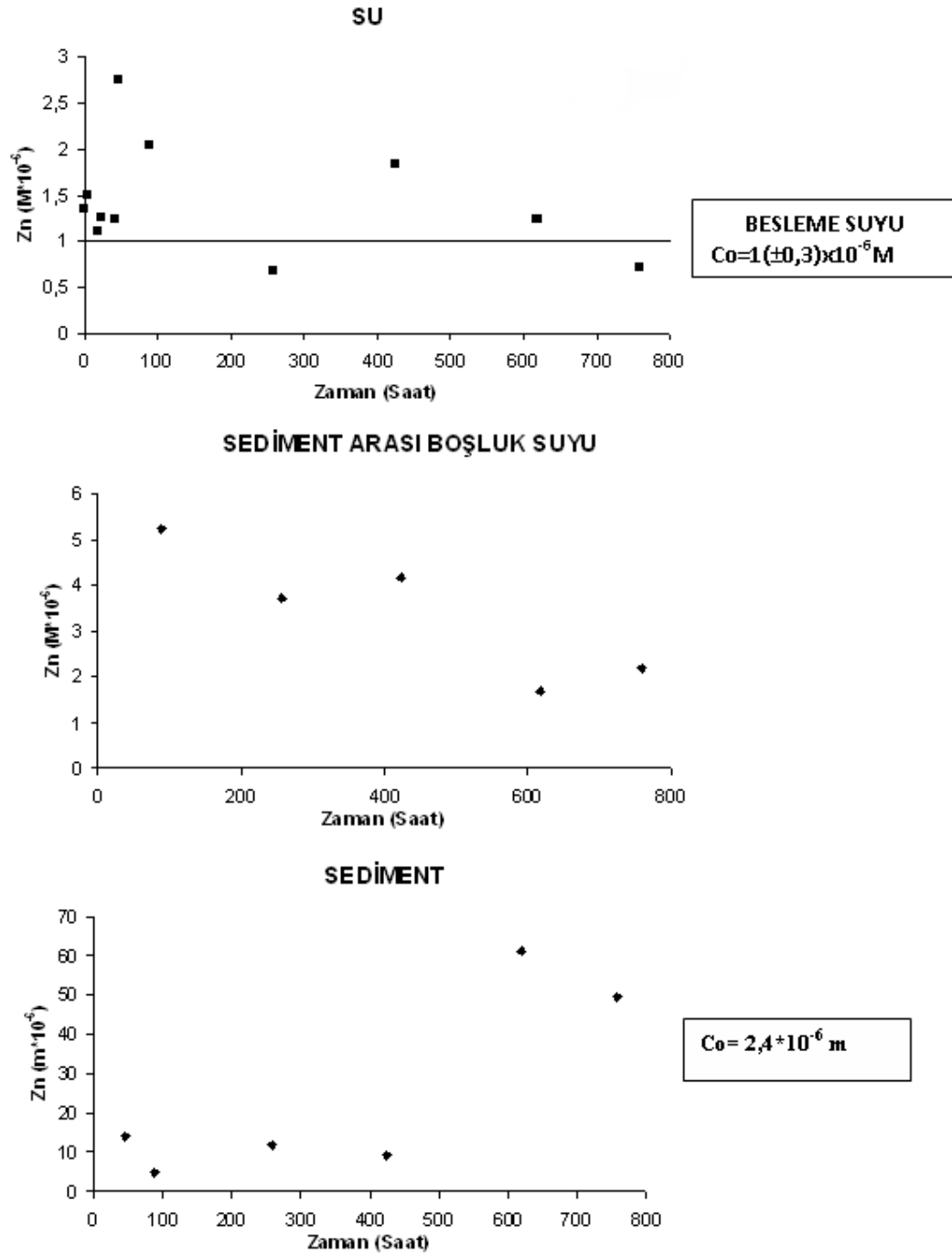
Şekil 4.9 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede Fe değişimi



Şekil 4.10 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede Ni değişimi



Şekil 4.11 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede Cu değişimi



Şekil 4.12 *Echinodorus amazonicus* ile yapılan denemede Zn değişimi

4.1.3 Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler

Denemeye başlanmadan önce *Echinodorus amazonicus* bitkisinden kök, gövde ve yaprak numuneleri alınmış ve numunelerde metal analizi yapılmıştır. Bu sonuçlar “Deneme Öncesi”

değerler olarak değerlendirilmiştir. “Deneme Sonrası” değerler ise yaklaşık 800 saat süren bu deneme sonunda, reaktörden alınan bitkilerde yapılan analizlerin sonuçlarıdır.

4.1.3.1 Bitki Tarafından Alınan Elementler

“Deneme Öncesi”nde *Echinodorus amazonicus*’da; *incelenen bütün elementlerin*, bitkinin *tüm organlarında* bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 4.13).

“Deneme Sonrası”nda, bitki bünyesinde

- “Deneme Öncesi”nde bulunan *bütün metallerin* var olduğu,
- *Metal miktarlarının rölatif olarak değiştiği* görülmüştür (Şekil 4.13).

Bitkinin tüm organlarındaki element değişimleri izlendiğinde, elementlerin kapiler sistemle taşınma özelliklerine bağlı olarak, aynı element için *her organdaki birikimin* farklı olduğu Şekil 4.13’de izlenmektedir. Örneğin,

- Ca ve Fe’in, bitkinin kök ve gövdesine göre yaprakta daha fazla biriktiği (Şekil 4.13 A),
- Cr metalinin yaprağa ulaşamadığı (Şekil 4.13 B),
- Cu metalinin de özellikle bitkinin kökünde biriktiği (~19 kat) ve kapiler sistemle yaprağa taşınamadığı (Şekil 4.13 B),
- Mg’in ise kapiler sistemle kökten gövdeye taşındığı, ancak gövdeden yaprağa fazla taşınamadığı (Şekil 4.13 A) görülmektedir.

Bitki organlarında, “Deneme Öncesi”ndeki ve “Deneme Sonrası”ndaki *element sıralamalarının*, bitkinin bulunduğu *ortamdaki element miktarına* bağlı olarak değiştiği Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de izlenmektedir. Yoon vd. (2007) de yaptıkları çalışmalarında benzer bir sonuca varmışlar ve bitki gövdesindeki kapiler sistemin ve bitki kökünün içindeki kirletici konsantrasyonların, dışarıdaki kirletici içeren çözelti ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan analizler sonucunda, bitkinin element alımında bir tercihi olduğu ve ortamda var olan metallerin bu tercihte etkili olduğu tahmin edilmektedir. *Elementler arasındaki tercih sırasının* belirlenmesi için, bitki bünyesinde her elementin “Kısmi Miktarı” hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada Şekil 4.14’da görüldüğü gibi, bitkinin Cr alımını azaltıp, su ve sediment ortamında bulunan Ca, Fe, Mn, Cu ve Ni alımını arttırdığı görülmektedir.

E. amazonicus için başka bir değerlendirmede, bitkinin her bir organı için hangi elementin daha fazla aldığı belirlenmesi amacıyla “Rölatif Birikim” değerleri hesaplanıp sıralanmış ve çizelgelere aktarılmıştır. *E. amazonicus*’un “Rölatif Birikim” değerlendirmesi sonucunda,

- Elementlerin bitki organlarına göre değişen farklı *alım öncelikleri* olduğu ,
- Bitkinin tüm organlarında, “Deneme Öncesi” miktarına göre en fazla biriken ilk iki elementin Ni ve Mn olduğu,
- En az tercih edilen metalin ise Cr olduğu Çizelge 4.2’deki “Rölatif Birikim”de görülmektedir.

Bitki bünyesine en fazla biriken iki elementin; Ni ve Mn, her ne kadar bünyeye en fazla alınan elementler olsa da, deneme sonunda bitkinin bünyesinde en fazla bulunan elementler olmadıkları Çizelge 4.2 “Rölatif Birikim” ve “Deneme Sonrası Metal Birikimi”nden anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde, Cu’nın bitki bünyesine alınım tercihinin Mg’a göre fazla olduğu belirlenmiştir. Mg, “Deneme Öncesi”nde olduğu gibi, “Deneme Sonrası”nda da bitki bünyesinde en fazla bulunan elementlerden biridir (Çizelge 4.2 “Rölatif Birikim” ve “Deneme Sonrası Metal Birikimi”).

Bitkinin tüm organlarındaki “Rölatif Birikim” incelendiğinde, bitkinin tüm organlarında en fazla biriken ilk iki elementin Mn ve Ni olduğu görülmektedir. Bu nedenle metal bileşiklerin *yüksek moleküler ağırlıklı metalleri* öncelikli olarak tercih edildiği tahmin edilmektedir. Örneğin,

- Mn’in “Deneme Öncesi” değerine göre bitki kökünde ~28 kat fazlasını biriktirdiği,
- Ni’in ise “Deneme Öncesi”ne göre yaprakta ~23 kat biriktiği görülmektedir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.13).

Bitki köküyle alınan metaller bitkinin kapiler sistemiyle taşınması sonucunda yaprak hücrelerine ulaşmaktadırlar ^[30]. Kısmi element miktarındaki değişim ile element alımında tercihi olduğu belirlenen bu bitkinin, kapiler sistemle elementlerin taşınmasında metal bileşiklerin molekül ağırlıklarının da etkili olduğu tahmin edilmektedir. Bitki bünyesine öncelikli olarak alınan elementlerin alım sırasını elementlerin moleküler ağırlıklarının etkilediği tahmin edilmektedir. Petersen vd. (1980), elementin atom ağırlığının bitki üzerindeki toksisite etkisi ile ilgili olduğunu ifade etmiştir.

Bitki bünyesindeki Şekil 4.13 A ve B’de gösterilen elementlerin “Deneme Öncesi” ve

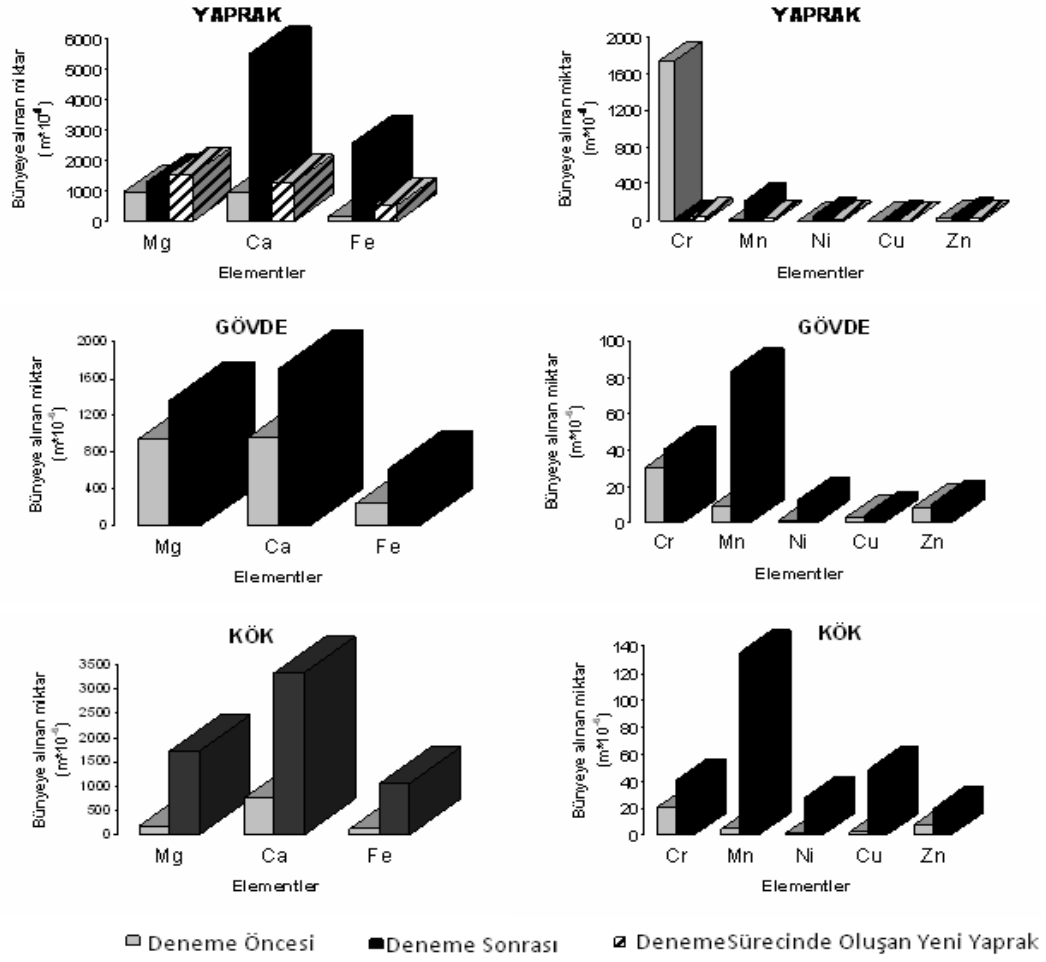
“Deneme Sonrası” değerleri karşılaştırıldığında, *E. amazonicus*’un; aldığı elementlerin özelliğine bağlı olarak, bitkinin beslendiği ortamda birden çok elementin var oluşuna bağlı olarak, elementler arası seçiciliği olduğu, biriktirdiği elementin birikim oranına bakıldığında, kendi kapiler sistemine ve metal bileşiklerin moleküler ağırlığına bağlı olarak bu seçiciliği önceliğe dönüştürdüğü tahmin edilmektedir.

Çalışmada bitki izlemenin yanı sıra deneme sürecince reaktördeki su, sediment arası boşluk suyu ve sediment kalitesindeki değişimde izlenmiştir. Bu analizlerde bitkinin özellikle sediment arası boşluk suyundan bu elementleri aldığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).

Çizelge 4.2 Bitki organlarının element alım tercihleri

Bitki Organları	Deneme Öncesi Metal Birikimi (m)	Deneme Sonrası Metal Birikimi (m)	Rölatif Birikim
Yaprakta	Cr>Ca>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu>Ni	Ca > Fe > Mg > Mn > Ni > Zn > Cr > Cu	Ni > Mn > Fe > Ca > Cu > Zn > Mg > Cr
Gövdede	Ca>Mg>Fe>Cr>Mn>Zn>Cu>Ni	Ca > Mg > Fe > Mn > Cr > Ni > Zn > Cu	Mn > Ni > Fe > Ca > Cu > Mg > Cr ~ Zn
Kökte	Ca>Mg>Fe>Cr>Zn>Mn>Cu>Ni	Ca > Mg > Fe > Mn > Cu > Cr > Ni > Zn	Mn > Ni > Cu > Mg > Fe > Ca > Zn > Cr

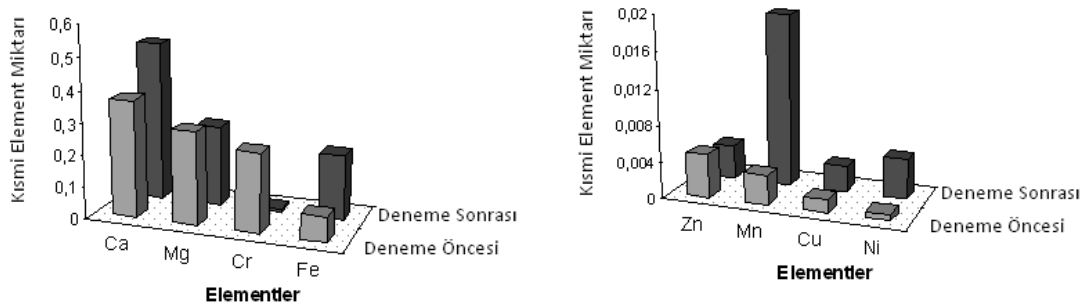
Rölatif birikim: Deneme Sonrası / Deneme Öncesi



A

B

Şekil 4.13 *Echinodorus amazonicus* bünyesinde bulunan element miktarları



A

B

Şekil 4.14 *Echinodorus amazonicus* bünyesindeki “Kısmi Element Miktarları”

4.1.3.2 Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler

Echinodorus amazonicus'la yapılan deneme süresince yeni yaprakların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Deneme sonunda bitkide var olan eski yapraklarda ve yeni yapraklarda yapılan ağır metal analizi sonuçları ayrı ayrı tespit edilmiştir. Analizler sonunda; bitkinin yaprağında bulunan miktara bağlı sıralamada;

Deneme sonunda eski yaprakta; $\text{Ca} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cu}$ [i-1]

Deneme sonunda yeni yaprakta; $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Cr} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cu}$ [i-2]

olduğu belirlenmiştir.

Deneme sırasında bitkide var olan yapraklar ile denemede yeni oluşan yapraklarda en fazla Ca, Fe, Mg elementlerinin biriktiği, ancak Cu'nın kapiler sistemle yaprağa kadar taşınmadığı bu nedenle yapraklarda en az bulunan element olduğu tahmin edilmektedir.

Deneme sırasında ortama adapte olan bitkide oluşan yeni yaprakların diğer yapraklardan daha fazla Mg içerdiği belirlenmiştir. Yeni ve eski yaprakların büyümede etkili olan Ca'ı Fe'den daha fazla bünyelerine aldığı görülmektedir. Bu nedenle, bitkinin öncelikle büyüme için gerekli elementleri aldığı ve büyümede kullanacağı karbonhidratı yapabilmek içinde fotosentez için gerekli olan klorofilin yapı taşı olan Mg elementini de bünyesine öncelikli olarak aldığı belirlenmiştir.

4.1.3.3 Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkideki Elementler

Çalışma başladıktan bir müddet sonra sedimentten geldiği düşünülen kontrol dışı üreyen bir bitki türü reaktörde üremeye başlamıştır. Deneme sonunda reaktörde üreyen bu kontrol dışı üreyen bitkinin tamamı toplanmaya çalışılıp ağır metal analizi için kurutulmuştur. Bitki çok küçük olduğu için elde edilen toplam kuru ağırlık 0,6 mg olarak ölçülmüş ve bu nedenle analiz tek tekrarlı ve tüm bitkide (organlara ayrılmadan) yapılmıştır. Bu kontrol dışı üreyen bitkinin metal içeriği (Şekil 4.15) ve büyükten küçüğe doğru sıralanışı [i-3] verilmiştir.

Kontrol dışı üreyen bitki; $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cu}$ [i-3]

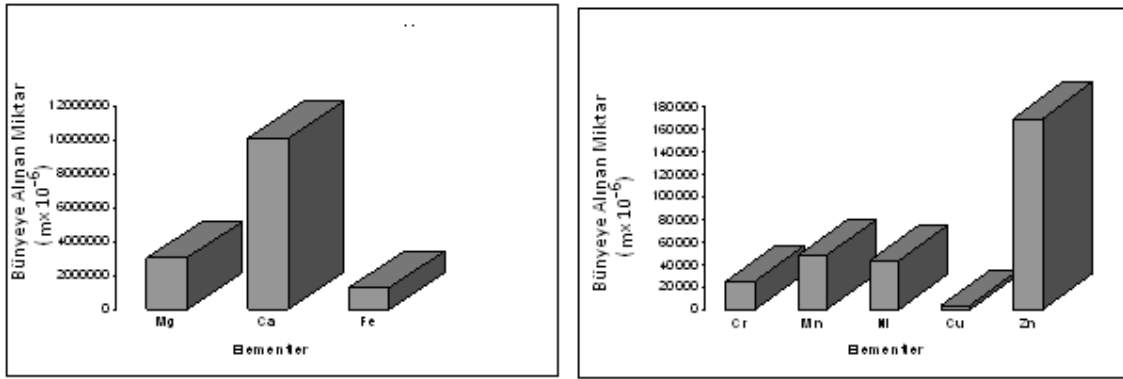
Besleme suyundaki molalitelere göre element sıralaması;

$$Ca > Mg > Fe > Cr > Cu \sim Zn \sim Mn > Ni \quad [i-4]$$

şeklindedir.

Bu kontrol dışı üreyen bitkinin besleme suyunda yüksek oranda bulunan ilk üç elementi aynı sırayla aldığı görülmektedir ([i-3] ve [i-4]). Bitkinin eşit molalitelere bulunan Cu, Zn ve Mn'dan Zn'yi daha çok tercih ettiği, Cu'ı ise en az tercih ettiği belirlenmiştir.

Kontrol dışı üreyen bitki ile *E. amazonicus*'un bünyesinde bulunan Mg, Ca, Fe, Cr, Mn, Ni ve Cu'nun kuru ağırlık başına miktarları kıyaslandığında, kontrol dışı üreyen bitkide metallerin *E. amazonicus*'dan daha yüksek molalitede olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Deneme sürecinde *Echinodorus amazonicus* reaktöründe kontrol dışı büyüyen bitkinin bünyesindeki metal miktarları

4.1.4 Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri

Sentetik suyla beslemenin başlangıcında, *Echinodorus amazonicus* yapraklarında sararma meydana gelmiştir (Şekil 4.16 A). Bu gözlemi, deneysel çalışmanın sonunda bitki yaprağında ölçülen klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b oranlarındaki değişim de doğrulamaktadır (Şekil 4.17). Bu çalışmada ayrıca, klorofil b'nin klorofil a'ya göre daha fazla olumsuz etkilendiği görülmüştür. Prasad (1998), ağır metal stresi altında bitkilerin pigment yapısının temelini oluşturan elementlerle ağır metallerin yer değiştirdiğini, bozulan pigment yapısı nedeniyle ışık alımı engellendiğinden fotosentezin yapılamadığını ve bunun bitkinin ölümüne neden olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada bitkide, klorofil a ve klorofil b toplamında görülen azalma nedeninin, metal stresi olduğu tahmin edilmektedir. Metal stresini daha iyi anlayabilmek için gözlenen elementin bitki bünyesindeki değişimi, o elementin “Kısmi Alım

Miktarındaki” değişimine göre değerlendirilmiştir.

Deneme başlamadan (bitki reaktöre ekilmeden) alınan bitki örneğinde ve deney süresi sonunda (yaklaşık 800 saat) reaktörden alınan bitki örneğinde yapılan elementel analiz sonuçları “Kısmi Element Miktarı” olarak şekil 4.17’da A ve B olarak verilmiştir.

Her bir metalin kısmi oranına göre bitkinin tercih sıralamasının;

$$\text{Ca} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Cu}$$

[i-5]

şeklinde olduğu, Cr ve Mg tercihinin ise azaldığı belirlenmiştir (şekil 4.17 A). Çalışmada klorofilin temel elementlerinden olan Mg’un özellikle kökte biriktiği, kapiler sistemle kökten gövdeye taşındığı ama yaprağa fazla taşınmadığı şekil 4.16 A’dan anlaşılmaktadır.

Echinodorus amazonicus’un [i-5]’deki bu sıralama klorofilin temel yapı taşı olan Mg’dan vazgeçerken, büyüme elementi olan Ca’u aldığını, korofil üretimi yerine büyümeyi tercih ettiğini göstermektedir (şekil 4.17 A). *E. amazonicus*’un kısmi Ca’ın alım oranındaki artışın, bitkinin büyümesini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Çalışmanın ilerleyen zamanlarında bitkide yeni sağlıklı yaprakların oluştuğu görölmüştür (şekil 4.16 B).

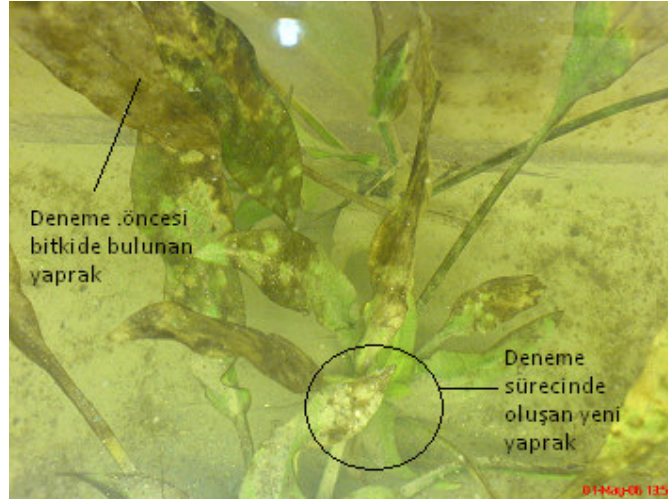
Deneme sürecinde oluşan bu yeni yaprakların, klorofilin temel yapı taşlarından olan Mg elementini, eski yaprakların “Deneme Öncesi”nde “Deneme Sonrası”ndaki miktarından daha fazla içerdıği belirlenmiştir. Bunun nedeni, yeni yaprakların köke yakın olması sebebiyle Mg’un kapiler sistemle yeni yapraklara daha kolay taşınması olabilir.

Yeni yaprağın molalite olarak Fe, Ca ve Ni içeriğinin, eski yaprağın “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası”ndaki miktarlarından daha az olduğu şekil 4.23’te görölmektedir.

Deneysel çalışmanın başlangıcında ve çalışma sonrasında bitkinin her bir organındaki boy değişimleri incelenmiştir (izelge 4.3). Deneme sürecinde bitki organlarının boylarının genel olarak arttığı görölmektedir. Bitki yapısı gereği çok ince olan köklerinin sediment yapıya sıkı tutunmaları nedeniyle reaktörden çıkarılma sırasında köklerinde kopmalar meydana gelmiş, bu nedenle kök boylarındaki değişim sağlıklı bir biçimde ölçölememiştir.

Besleme suyunda ve sedimentte bulunan metallerin önceleri bitki üzerinde stres yarattığı (eski yaprakların sararması), deneysel çalışmanın sonlarına doğru hem yeni yaprakların oluşması hem de özönmüş oksijen değerinin çıkış suyunda besleme suyuna göre fazla olmasından dolayı bitkinin bu ortama adapte olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, *E. amazonicus*’un

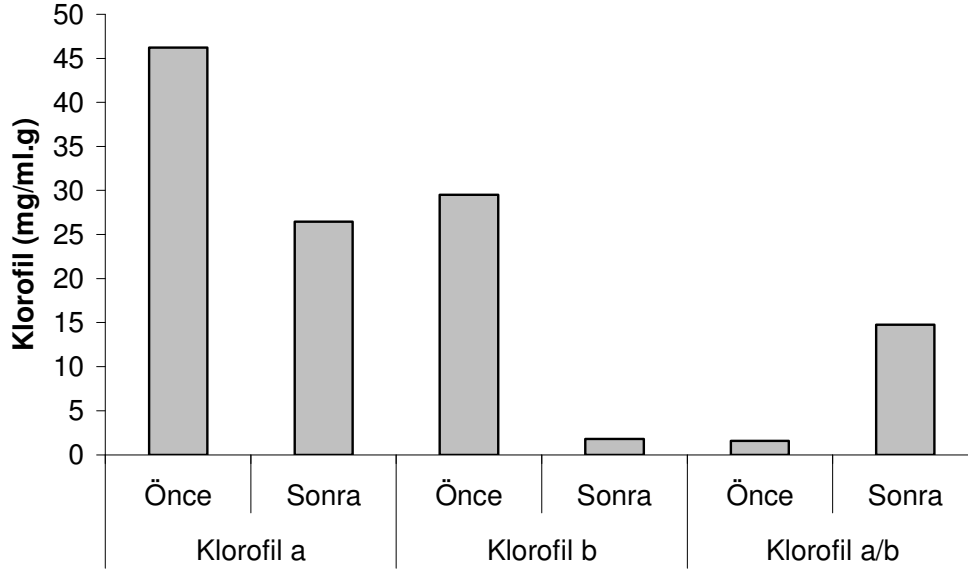
doğal ortamı simüle eden bu sisteme adapte olabildiği, sistemde var olan metal miktarlarının da bitkinin yaşayabileceği değerler arasında olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 4.16 Deneme sırasındaki *Echinodorus amazonicus*

Çizelge 4.3 *Echinodorus amazonicus*'un boy uzunluklarındaki değişim ve oluşan yeni yaprak sayıları

	DENEME ÖNCESİ			DENEME SONRASI			YENİ YAPRAK (Adet)
	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)	
1. Sıra							
1.Bitki	17	25	13	17	26	16	10
2.Bitki	13,5	25	11	7,5	25	16,5	2
3.Bitki	11	29	11,5	3	28	13	1
2. Sıra							
1.Bitki	11	25	16	12	21	13	29
2.Bitki	11	25	12	17,5	27	14	0
3.Bitki	12	24	10	12,5	24	10	0



Şekil 4.17 *Echinodorus amazonicus*'daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimleri

4.2 *Crinum thaianum* ile Yapılan Deneme

Crinum thaianum ile yapılan çalışmada elde edilen; reaktör suyundaki kimyasal değişiklikler, reaktördeki su, sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri, *Crinum thaianum*'un element değişimleri, reaktörde kontrol dışı üreyen bitkinin element miktarları ve *C. thaianum*'daki fiziksel değişimler bu bölümde irdelenmiştir.

4.2.1 Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler

Sentetik suyla beslenen *Crinum thaianum* bitkisinin bulunduğu reaktörde suyun kalitesinin deneme sırasındaki değişiminin belirlenmesi için reaktör giriş ve çıkış sularında pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik ve alkalinite analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen bulgular bu bölümde grafiklerle gösterilerek irdelenmiştir. İncelenen reaktör giriş ve çıkış suyu parametrelerinin zamana bağlı korelasyonları grafiklerde gösterilmiştir.

C. thaianum bitkisiyle yapılan deneme sonucunda (Şekil 4.18), reaktör giriş ve çıkış suyundaki pH değerlerinin yakın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.19).

Reaktöre verilen suyun çözünmüş oksijen değerlerinin ($4,7 \pm 1$) sürekli değişerek salınmasına rağmen, reaktörden çıkan suyunun çözünmüş oksijen değerinin yaklaşık aynı değerlerde ($3,5 \pm 0,02$ mg/l) olduğu görülmektedir (Şekil 4. 59).

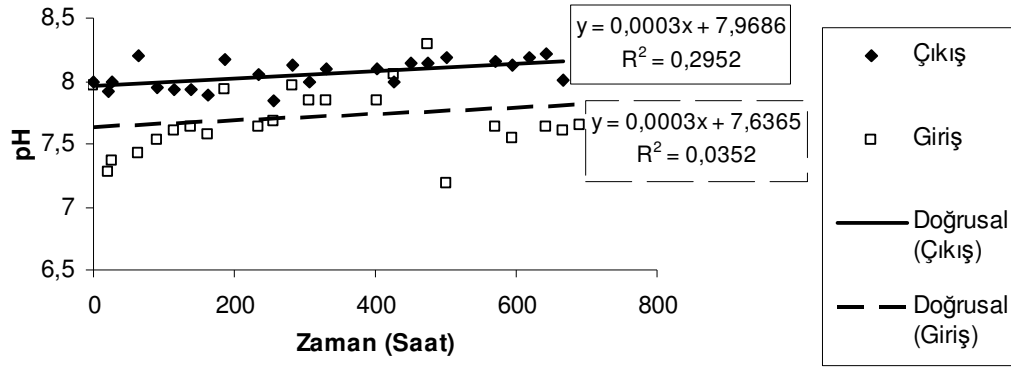
C. thaianum ile yapılan bu çalışmada tuzluluk ve iletkenlik değerlerinin reaktör giriş ve çıkış suyuunda değişmediği belirlenmiştir (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22).



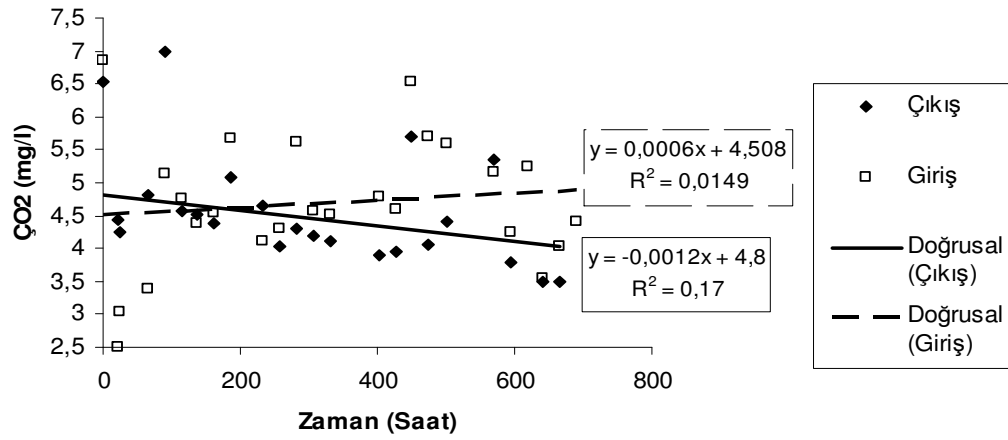
Şekil 4.18 *Crinum thaianum* görüntüsü

Crinum thaianum ile yapılan bu denemede Şekil 4.23’de görüldüğü gibi giriş suyu alkalinite değerleri zamanla azalmaktadır. Sentetik suyun pH’ını ayarlamak için suya ilave edilen NaOH’in besleme tankında metallerin metal oksitler olarak çöküp sudan uzaklaştırıldığı gözlemlenmiştir. Aynı sonuç besleme suyuındaki metal konsantrasyonunda da izlenmiş, bu nedenle besleme suyu karakterinde kararlılık sağlanamamış ve besleme suyunun kararlı hale gelmesi için daha sonraki denemelerde sisteme sirkülasyon pompası ilave edilmiştir (Şekil 3.11).

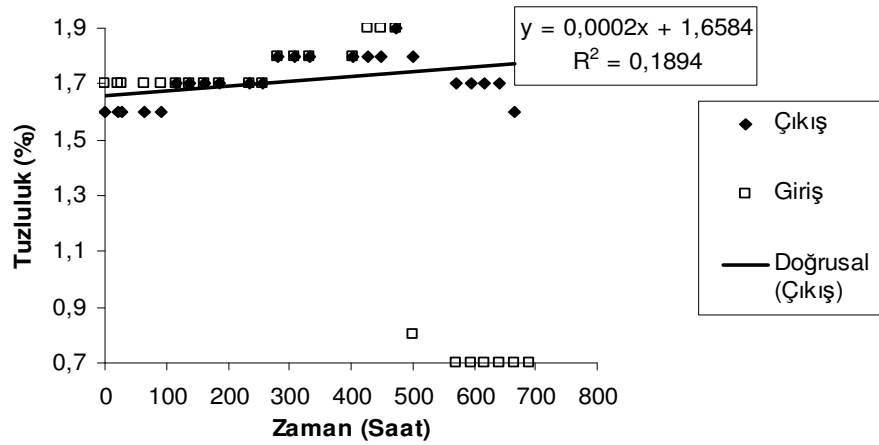
Giriş suyuunda azalan alkalinite değerine karşın, çıkış suyuunda alkalinite değerinin giderek arttığı görülmektedir (Şekil 4.23). Bu durumun özellikle sedimentteki $MgCO_3$ ’ın çözünerek Mg ve CO_3^{2-} iyonları şeklinde suya geçmesine, karbonat alkalinitesinin ve diğer bitkilerle yapılan çalışmalarda olduğu gibi reaktör çıkış suyuunda Mg miktarının artmasına neden olduğu tahmin edilmektedir.



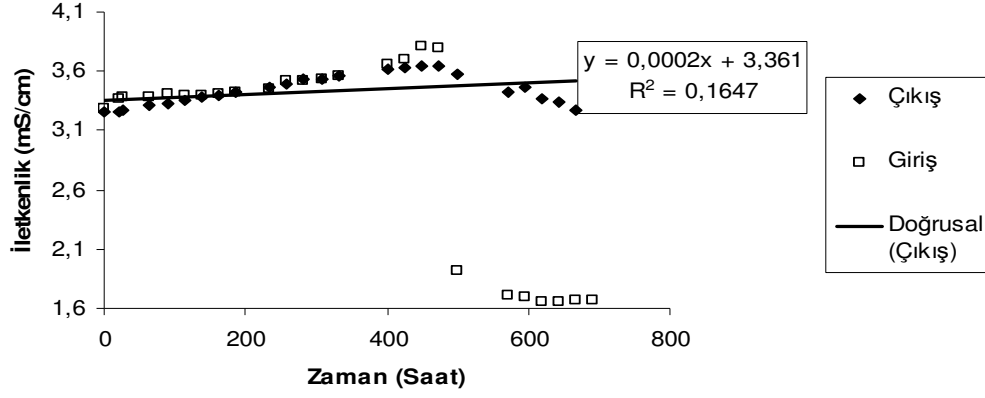
Şekil 4.19 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede suda pH değişimi



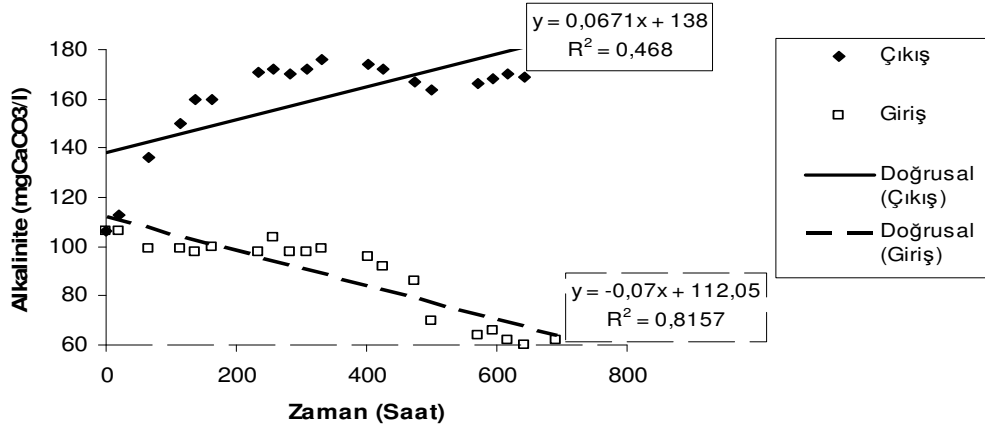
Şekil 4.20 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇO₂) değişimi



Şekil 4.21 *Crinum thaianum* bulunan reaktörde tuzluluk değişimi



Şekil 4.22 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi



Şekil 4.23 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi

4.2.2 Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapıda Metal Değişimleri

Çalışmada incelenen sediment örnekleri rizosfer bölgesinden, su örnekleri ise reaktörün giriş ve çıkışındaki sudan alınmıştır. Sediment arası boşluk suyu ise Bölüm 3.5.2.1'de anlatılan yöntemle sedimentin içinde hapsolan sudan alınmıştır.

Bu üç yapıda biriken metal analizleri standart metotlara uygun olarak yapılmış ve sonuçları Şekil 4.24'ten Şekil 4.31'e grafiklerde verilmiştir. Bu sonuçlar irdelendiğinde:

NOT: 500. saatte, besleme tankına yeni sentetik besleme su eklenmiştir

Mg:

Crinum thaianum ile yapılan denemenin başlangıcında alınan ilk su numunesinde, reaktör çıkış suyundaki Mg miktarının reaktöre verilen giriş suyundaki Mg miktarından fazla olduğu Şekil 4.24’de görülmektedir.

Sediment arası boşluk suyundaki Mg miktarının, denemenin ilk saatlerinde (ilk 400 saat) azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.24).

Sedimentteki Mg miktarının, denemenin ilk saatlerinde (ilk 400 saat) azaldığı, daha sonra sedimentteki miktarının arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.24).

Spagnoli ve Bergamini (1997), biyolojik ortam olan sediment içinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucunda değişen organik madde bozulmalarının, pH ve redoks potansiyellerini etkilediği ve bunun boşluk suyu ile su arasında çözünürlük konsantrasyonlarında farklılıklara neden olduğunu belirtmişlerdir. Reaktör içindeki Mg miktarının yapılar arasındaki değişimi izlendiğinde, sedimentteki Mg’un suya geçerek reaktör çıkış suyundaki Mg miktarını arttırdığı tahmin edilmektedir. Elementlerin su, rizosfer tabakasındaki sediment ve sediment arası boşluk suyu arasındaki hareketleri hakkında yeterli kaynak bulunmadığı için literatür bilgileri ile çalışmada incelenen elementlerin bu üç faz arasındaki hareketleri beraber yorumlanamamıştır.

Ca:

Crinum thaianum ile yapılan denemenin başlangıcında reaktör çıkışından alınan ilk su numunesinde (t=0) Ca miktarının reaktöre giren sudan fazla olduğu, sonraki 8 günlük (~200 saat) dönemde Ca miktarının azaldığı ve bu değer reaktöre giren sudan az olduğu, daha sonra reaktör çıkış suyunda miktarının tekrar arttığı ve denemenin sonlarına doğru (400. saatten sonra) yeniden azaldığı Şekil 4.25’de izlenmektedir.

C. thaianum ile yapılan denemede rizosfer bölgesinden alınan sediment ve sediment arası boşluk suyundaki Ca miktarının denemenin ilk günlerinde (ilk 400 saat) azaldığı ve daha sonra her iki yapıda da arttığı görülmektedir (Şekil 4.25).

Reaktör içindeki Ca miktarının yapılar arasındaki değişimi izlendiğinde, Ca’un su ile sediment yapı arasında hareket ettiği tahmin edilmektedir. Bu çalışmada olduğu gibi su ve sediment yapıda yapılan araştırmalarda da elementlerin suyla taşınıp sediment arası boşluk suyuna geçtiğini ve oradan da sedimentte birikebildiği ifade edilmektedir (Üstün vd., 2005).

Cr:

Denemenin başlangıcında ($t=0$), reaktör çıkış suyundaki Cr miktarının giriş suyu değerinin altında olduğu, sonraki 4 günlük (~90 saatlik) dönemde çıkış suyundaki miktarının arttığı ve giriş suyu değerini geçtiği, daha sonra (90. saatten sonra) tekrardan çıkış suyundaki miktarının azaldığı ve giriş suyuna yakın değere indiği, denemenin 16. gününden sonra (~400. saat) tekrar çıkış suyundaki miktarının arttığı ve bunu takip eden 13 gün (400.saat-700.saat) boyunca çıkış suyundaki Cr miktarının dengelendiği ve giriş değerine yakın değerlerde olduğu izlenmektedir (Şekil 4.26).

Cr metalinin sedimentte azaldığı dönemlerde sediment arası boşluk suyu ve çıkış suyunda Cr miktarlarının arttığı Şekil 4.26'da görülmektedir.

Cr'un sudan sediment arası boşluk suyuna geçtiği, sedimente zayıf olarak bağlandığı ve sedimentten çözülerek tekrar sediment arası boşluk suyuna ve oradan da hem suya hem de bitki bünyesine geçtiği tahmin edilmektedir. Bitkide yapılan element analizleri de bitkideki Cr miktarının "Deneme Öncesi"ne göre "Deneme Sonrası"nda arttığını göstermektedir (Şekil 4.32 B). Jackson ve arkadaşları (1993), su altı bitkileri için sedimentteki elementlerinin alımının mümkün olmadığını, bu bitkiler için sudaki elementlerinin önemli olduğunu bildirmiştir (Ekmekçi, 2007). Bu çalışmada da *Crinum thaianum*'un sedimentteki Cr'u değil, sediment içindeki hapsolmuş suya geçen Cr'u aldığı tahmin edilmektedir.

Mn:

Crinum thaianum ile yapılan denemenin başlangıcında ($t=0$) reaktör çıkış suyundaki Mn miktarının reaktöre giren sudaki miktarından fazla olduğu, daha sonra (denemenin ~200. saatine kadar) reaktörden çıkan sudaki Mn'in reaktöre giren miktarından daha az değerlere indiği ve zamanla artarak reaktör giriş suyundaki değerine ulaştığı izlenmektedir (Şekil 4.27).

Deneme başladıktan yaklaşık 17 gün (ilk ~400 saat) sonra sediment arası boşluk suyundaki Mn miktarının arttığı, daha sonra azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.27).

Denemenin ilk yarısında (yaklaşık denemenin ilk 400 saati) rizosfer bölgesinden alınan sedimentteki Mn miktarının giriş sedimentindeki miktarından az olduğu, 400. saatten sonra Mn'in sedimentte biriktiği Şekil 4.27'de görülmektedir.

Ortamdaki Mn'in *C. thaianum* tarafından alındığı bu yüzden bitkideki Mn miktarının "Deneme Öncesi"ne göre "Deneme Sonrası"nda arttığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.32 B).

Fe:

C. thaianum ile yapılan denemede, reaktör çıkış suyundaki Fe miktarının denemenin başında (t=0) reaktör giriş suyundan fazla olduğu, sonra Fe miktarının azalarak reaktöre giren sudaki Fe miktarının da altına indiği, bunu takip eden günlerde reaktör çıkış suyundaki miktarının arttığı ve reaktör giriş suyuna yakın değerlere ulaştığı izlenmektedir (Şekil 4.28).

Sediment arası boşluk suyundaki Fe miktarının, denemenin yaklaşık 21. günü (~ 500. saat) dışında deneme süresince yaklaşık aynı olduğu Şekil 4.28’de görülmektedir.

Denemenin ilk 21 günlük (ilk ~500 saat) döneminde sedimentteki Fe miktarının, denemenin hazırlık aşamasında reaktöre yerleştirilen sedimentteki Fe miktarından az olduğu, daha sonra Fe’in sedimentte biriktiği izlenmektedir (Şekil 4.28).

Denemenin başında, giriş sedimentindeki Fe’in sediment arası boşluk suyuna ve orada suya geçmesi sonucu reaktör çıkış suyunda Fe miktarının arttığı tahmin edilmektedir. Ayrıca denemenin 21. gününe kadar (ilk ~500 saat), reaktördeki üç yapıdaki toplam Fe miktarının reaktöre giren miktardan az olması nedeniyle bitkinin Fe’i bünyesine aldığı, bunu takip eden dönem de sediment arası boşluk suyunda Fe miktarının artması nedeniyle de bitki alımının durduğu, bu nedenle sediment arası boşluk suyunda Fe’in arttığı daha sonra sedimente geçtiği tahmin edilmektedir. Bu nedenle deneme sonunda alınan sediment örneğinde sedimentin başlangıç değerinden daha fazla Fe’i bulundurduğu tahmin edilmektedir.

Ni:

Crinum thaianum ile yapılan denemenin başında (t=0), reaktör çıkış suyundaki Ni miktarının reaktöre giren sudaki miktarından yüksek olduğu, zamanla bu değer azaldığı, deneme başladıktan 17 gün (~400 saat) sonra tekrar çıkış suyundaki miktarının tekrar arttığı ve yeniden azaldığı böylece giriş suyu değerine ulaştığı Şekil 4.29’da izlenmektedir.

Sediment arası boşluk suyundaki Ni miktarının deneme başlangıcında (yaklaşık ilk 6 gün) arttığı, daha sonraki 15 gün boyunca (150.saat-500.saat arası) azaldığı ve tekrardan arttığı (500. saatten sonra) görülmektedir (Şekil 4.29).

Rizosfer bölgesinden alınan sediment numunelerinde yapılan analizlerde, sediment yapıdaki Ni’in önceleri arttığı (ilk 100 saat), sonra azaldığı ve denemenin 17. gününden (~400. saat) sonra tekrar arttığı izlenmektedir (Şekil 4.29).

Sediment arası boşluk suyundaki Ni miktarının deneme başladıktan yaklaşık 6 gün sonra azalması, bu dönemde sedimentteki miktarının dengede kalması ve çıkış suyundaki miktarın giriş suyundan az olması nedeniyle *C. thaianum*’un Ni’i bünyesine aldığı, denemenin 17.

gününde sedimentteki miktarının artması nedeniyle bitkinin Ni'i bünyesine almaya başladıktan yaklaşık 11 gün sonra alımını durduğu tahmin edilmektedir. Bitkide yapılan element analizleri de "Deneme Öncesi"ne göre "Deneme Sonrası"nda bitkideki Ni miktarının arttığını göstermesi bitki tarafından Ni'in alındığı fikrini desteklemektedir (Şekil 4.32 B).

Cu:

Crinum thaianum ile yapılan denemenin ilk günlerinde (ilk ~200 saat), Cu miktarının reaktör çıkış suyu ve sediment yapıda azaldığı ve bunu takip eden saatlerde Cu miktarının hem reaktör çıkış suyunun reaktöre giren suya göre, hem de rizosfer bölgesindeki sedimentin denemenin hazırlık aşamasında reaktöre konan sedimentteki miktarına göre daha az değerlere indiğini göstermektedir (Şekil 4.30).

Sediment arası boşluk suyundaki Cu miktarının; denemenin ilk günlerinde (ilk ~200 saat) arttığı, sonraki yaklaşık 13 gün boyunca azaldığı ve sonra tekrar arttığı izlenmektedir (Şekil 4.30).

Deneme başladıktan yaklaşık 8 gün (~200 saat) sonra sediment arası boşluk suyunda 13 gün boyunca izlenen Cu miktarındaki azalma, aynı dönemde sediment ve reaktör çıkış suyundaki Cu miktarının fazla değişmemesi nedeniyle, bu dönemde *C. thaianum*'un Cu'ı bünyesine aldığı tahmin edilmektedir. Bitkideki element değişiminin izlendiği diğer çalışmada da "Deneme Öncesi"ne göre "Deneme Sonrası"nda *C. thaianum* bünyesindeki Cu miktarının arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.32 B).

Zn:

Bu denemede, reaktörden çıkan sudaki Zn miktarının denemenin yaklaşık 17. günü (400. saat) dışında reaktöre giren sudaki Zn miktarından az olduğu izlenmektedir (Şekil 4.31).

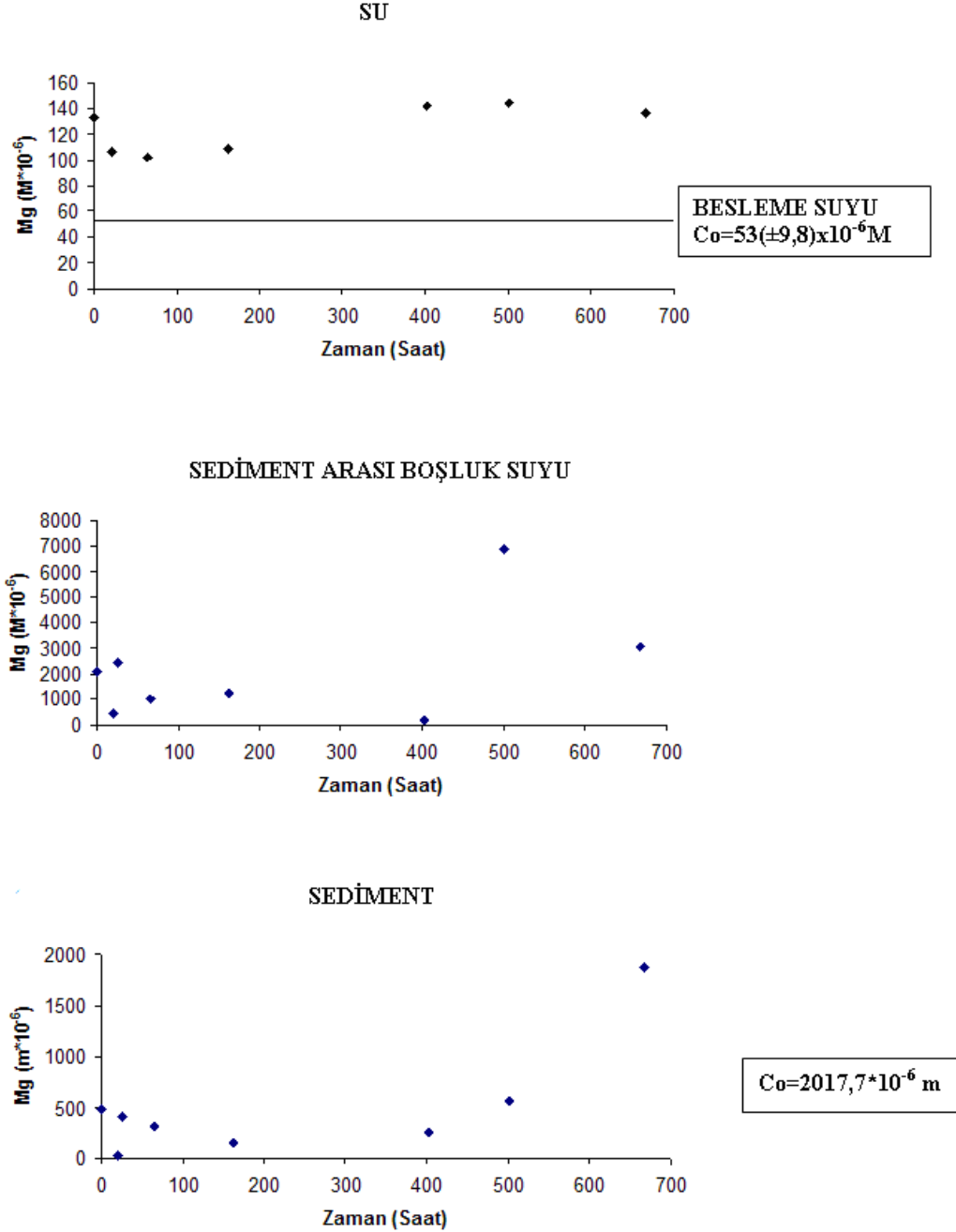
Reaktör çıkış suyundaki Zn miktarının reaktör giriş suyundan fazla olduğu dönemde (~400. saat), sediment ve sediment arası boşluk suyundaki Zn miktarının önceki değerine göre azaldığı görülmektedir (Şekil 4.31).

Sediment arası boşluk suyundaki Zn'nin deneme başladıktan 8 gün (~200. saat) sonra azaldığı, daha sonra arttığı izlenmektedir (Şekil 4.31).

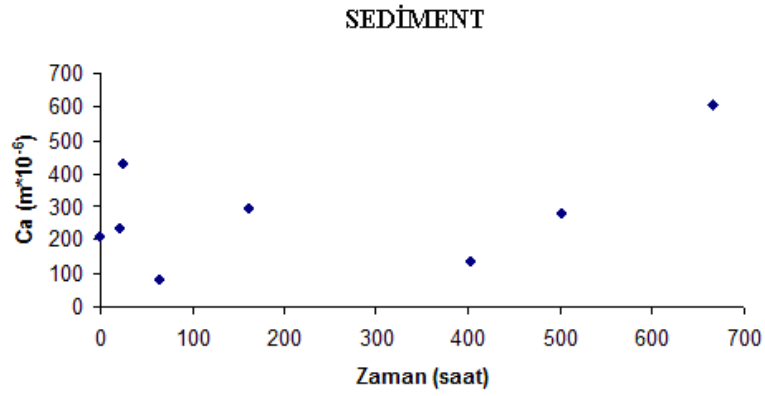
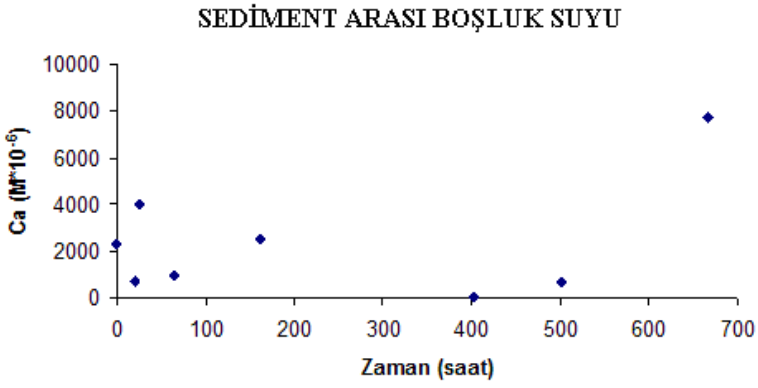
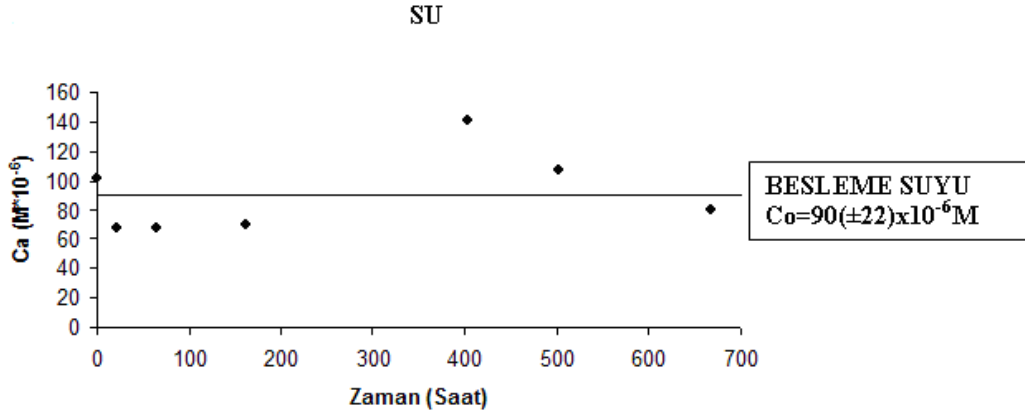
Sedimentteki Zn'nun denemenin başlangıcında (t=0) giriş sedimentindeki değerinden fazla olduğu, sonra azaldığı, denemenin sonlarında tekrardan biriktiği Şekil 4.31'de görülmektedir.

Deneme başladıktan 8 gün sonra görülen sediment arası boşluk suyundaki ve sedimentteki Zn miktarındaki azalmada, *C. thaianum*'un Zn'yu bünyesine almasının etkisi olduğu tahmin

edilmektedir. Bitkide yapılan element analizleri, *C. thaianum* bünyesindeki Zn miktarının deneme sonunda arttığını göstermiştir (Şekil 4.32 B). Denememenin yaklaşık 17. gününden (~400.saat) sonra sediment arası boşluk suyunda Zn miktarının artması nedeniyle de *C. thaianum*'un Zn'yu artık bünyesine almadığı ve sediment arası boşluk suyundaki Zn'nun sediment yapıya geçerek biriktiği tahmin edilmektedir.

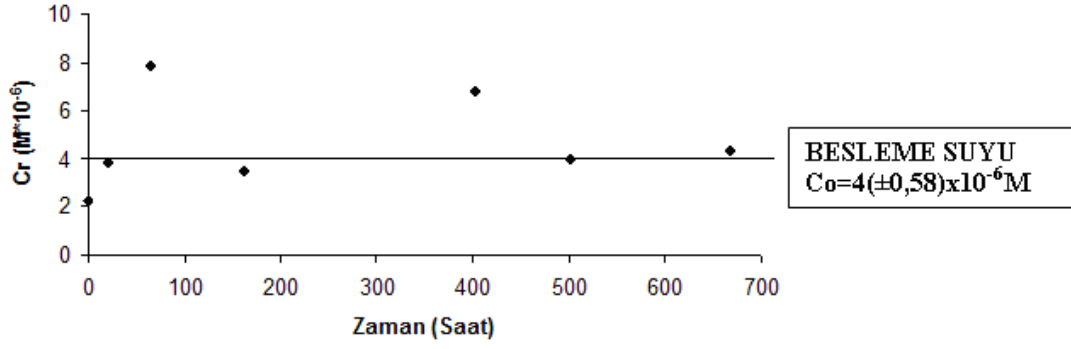


Şekil 4.24 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede Mg değişimi

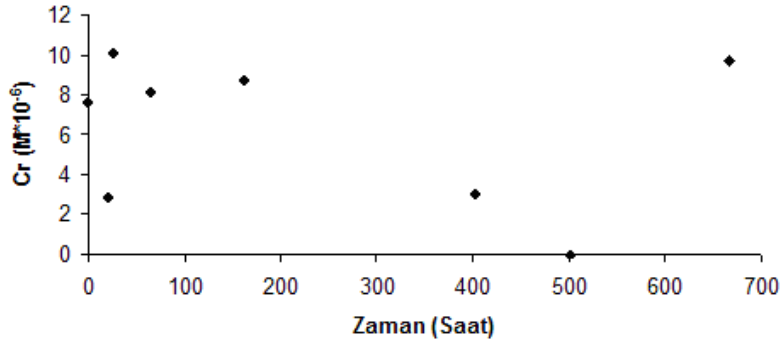


Şekil 4.25 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede Ca değişimi

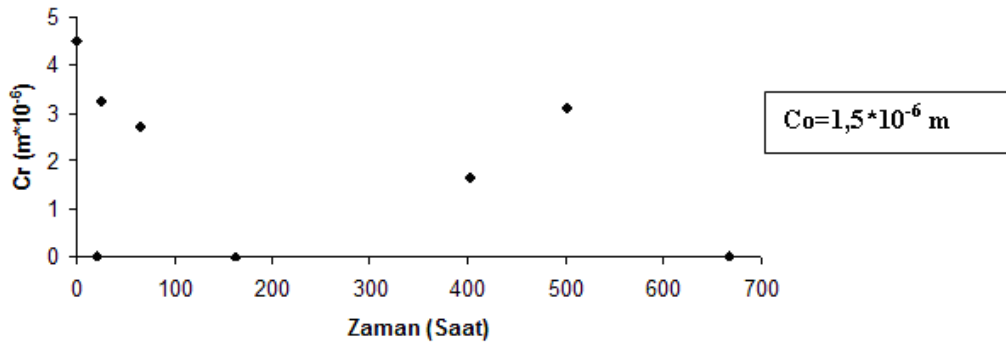
SU



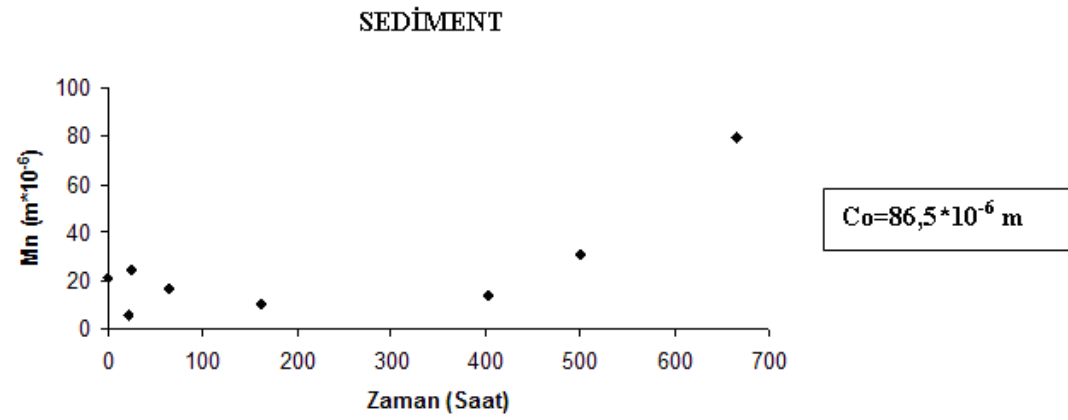
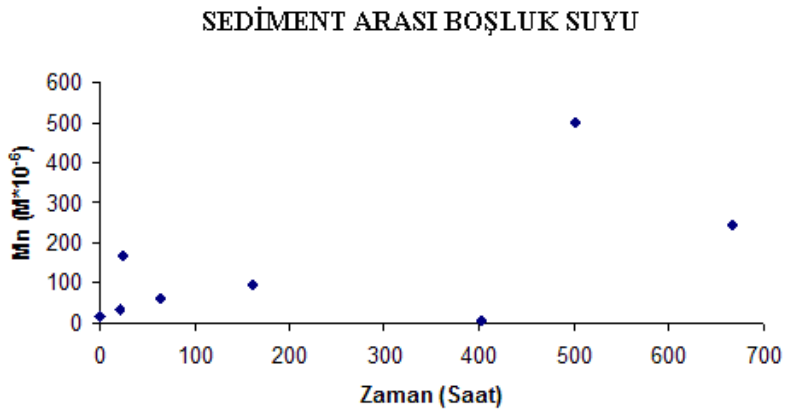
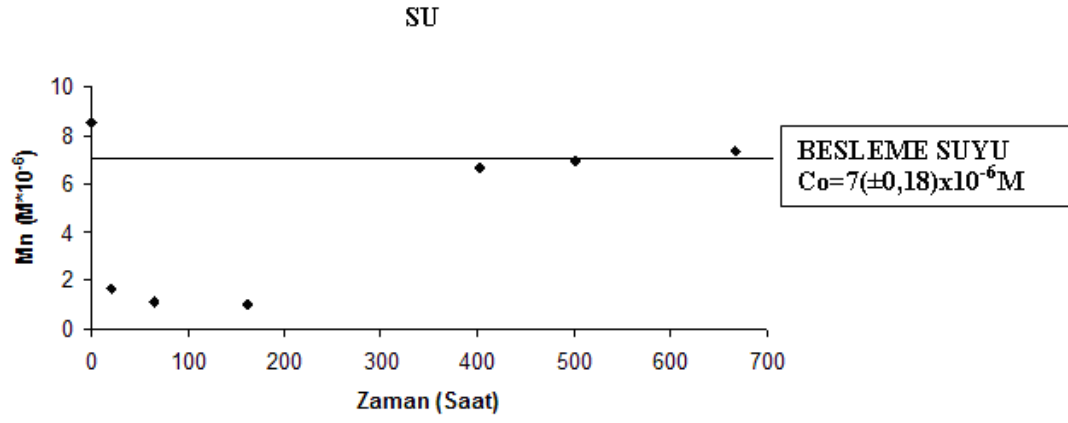
SEDİMENT ARASI BOŞLUK SUYU



SEDİMENT

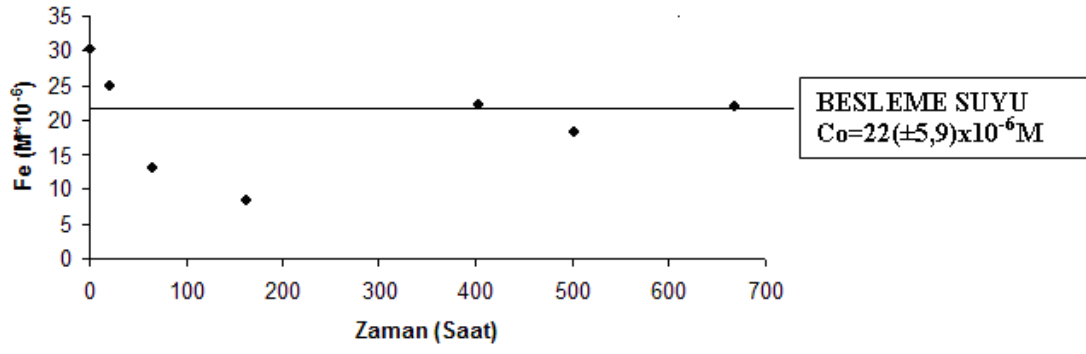


Şekil 4.26 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede Cr değişimi

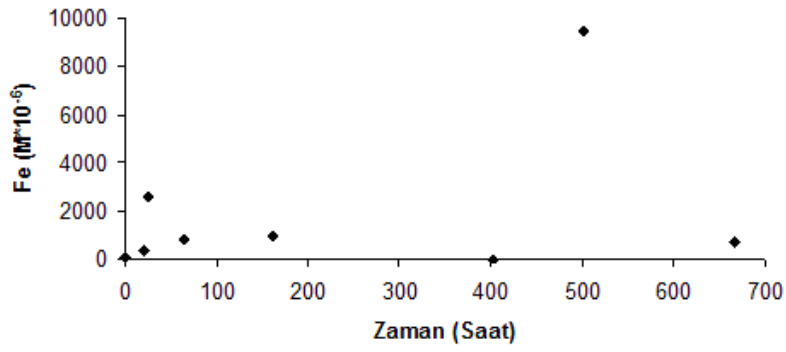


Şekil 4.27 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede Mn değişimi

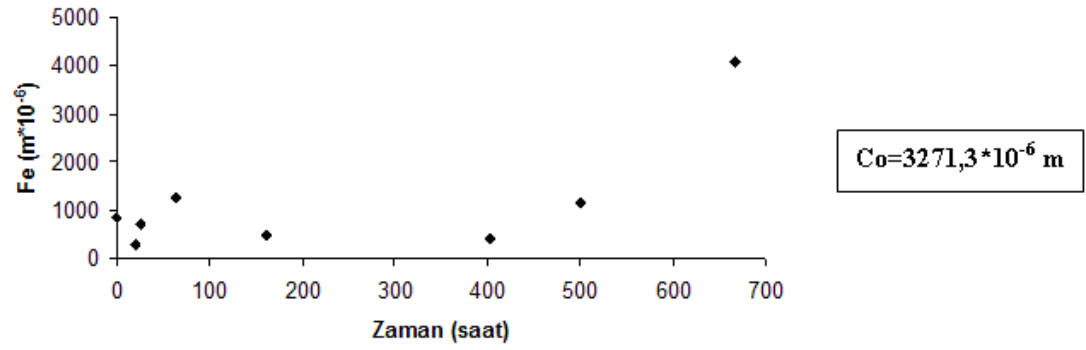
SU



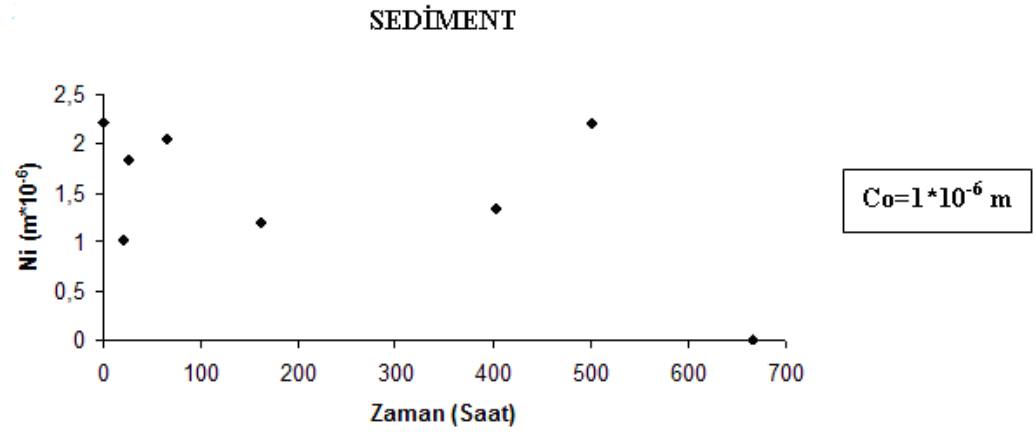
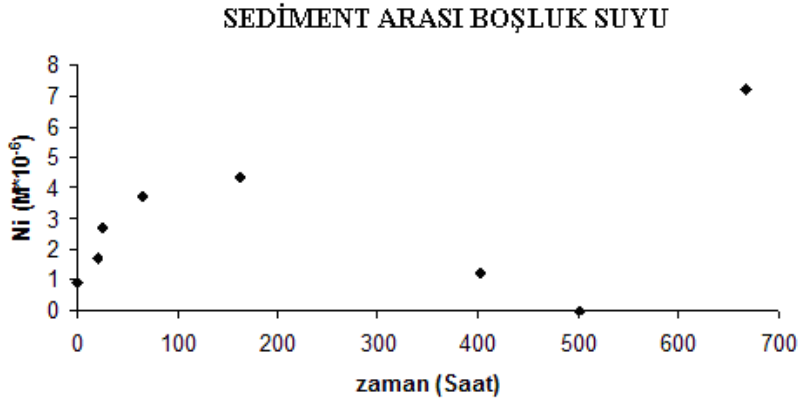
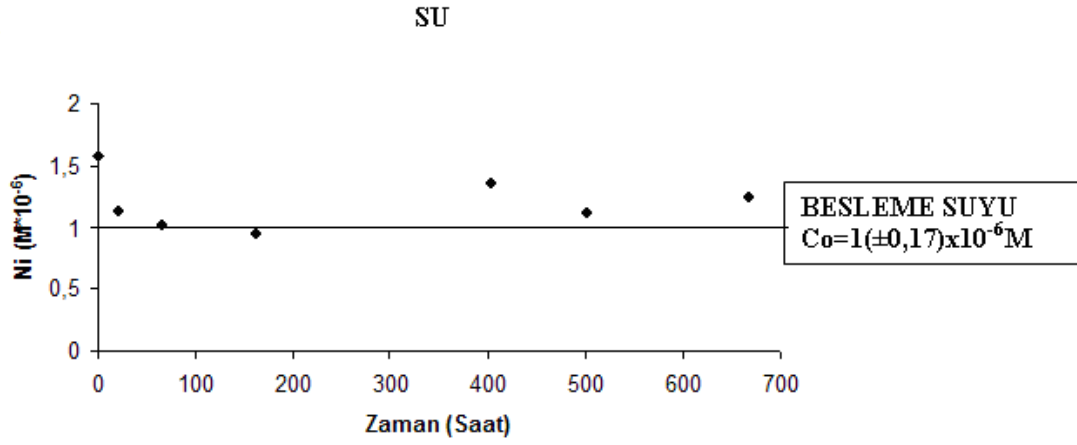
SEDİMENT ARASI BOŞLUK SUYU



SEDİMENT

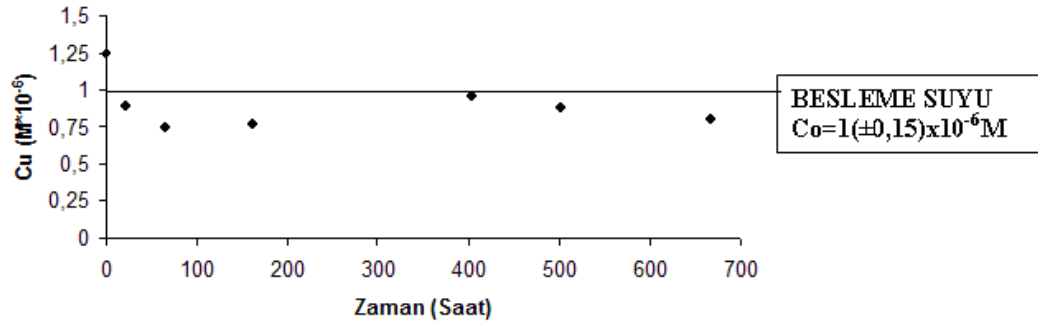


Şekil 4.28 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede Fe değişimi

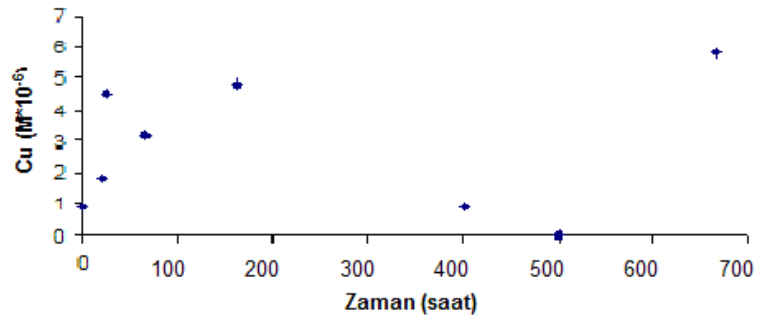


Şekil 4.29 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede Ni değişimi

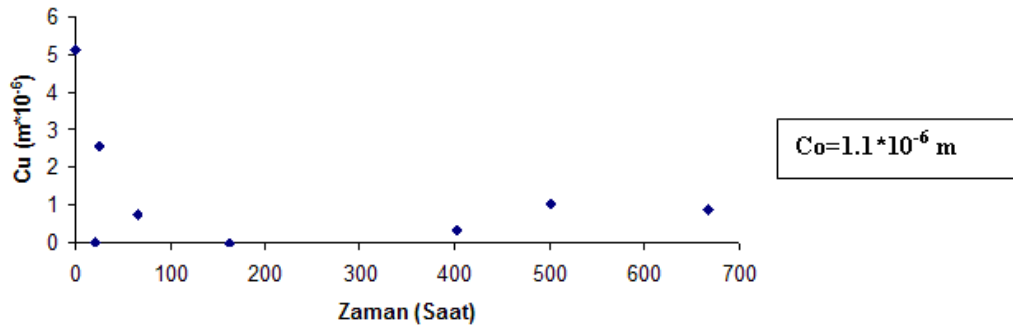
SU



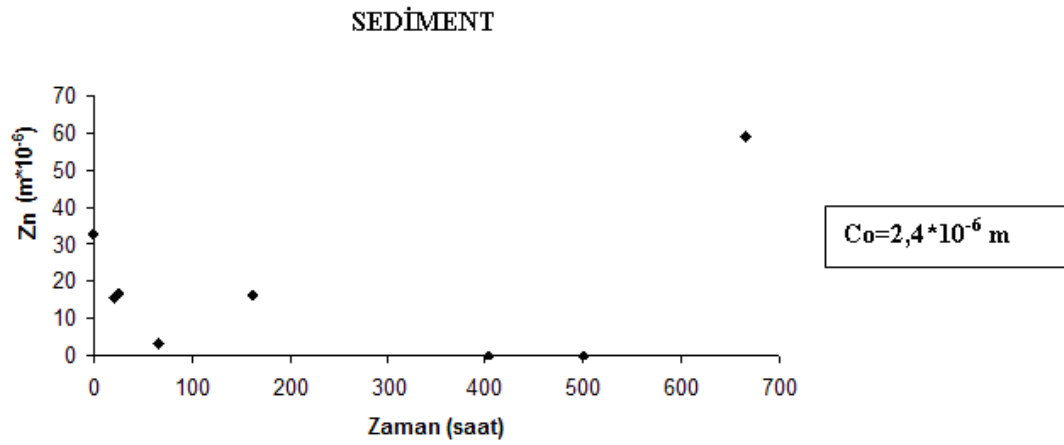
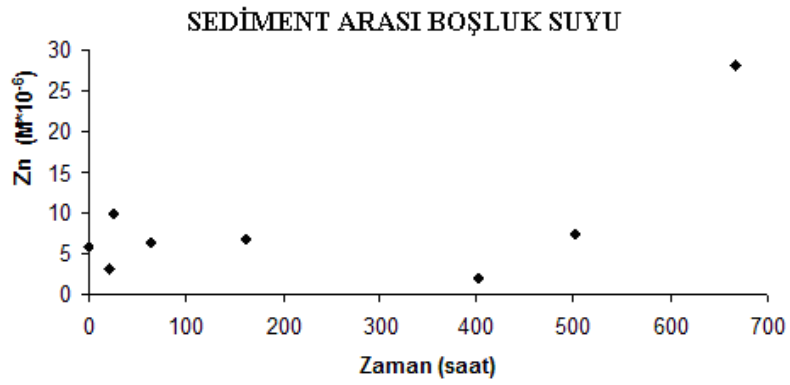
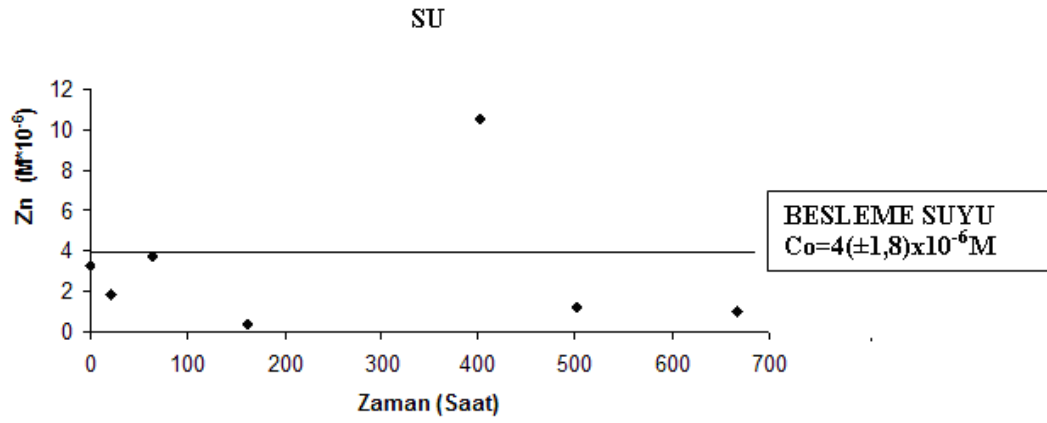
SEDİMENT ARASI BOŞLUK SUYU



SEDİMENT



Şekil 4.30 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede Cu değişimi



Şekil 4.31 *Crinum thaianum* ile yapılan denemede Zn değişimi

4.2.3 Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler

Denemeye başlanmadan önce ve deneme bittikten sonra çalışmada kullanılan *Crinum thaianum* bitkisinin kökünden, gövdesinden ve yaprağından alınan numunelerde yapılan metal analizlerinin sonuçları bu bölümde irdelenmiştir.

4.2.3.1 Bitki Tarafından Alınan Elementler

Deneme başlamadan *Crinum thaianum* bitkisinden alınan örneklerde yapılan elementel analizlerde, bu çalışmada *izlenen tüm elementlerin* (Mg, Ca, Fe, Cr, Mn, Zn, Ni ve Cu) bitki bünyesinde bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 4.32 A ve B).

Çalışma tamamlandıktan sonra reaktörden alınan bitki örneğinde ise;

- “Deneme Öncesi”nde bünyesinde var olduğu tespit edilen *tüm elementlerin* olduğu (Çizelge 4.4 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası”),
- Ancak tüm elementlerin *bitki bünyesindeki miktarlarının* *rölatif olarak değiştiği* tespit edilmiştir (Şekil 4.32 A ve B).

C. thaianum’un tüm organlardaki element miktarları incelendiğinde, hem “Deneme Öncesi” hem de “Deneme Sonrası”nda;

- *Büyüme için gerekli olan Ca ile enzim ve klorofil yapısına katılan Mg ve Fe’in en fazla bulunan elementler olduğu* (Şekil 4.32A),
- Bitkinin her organı için *element birikimlerinin farklı olduğu* gözlenmiştir (Şekil 4.32 A ve B). Örneğin,
 - ✓ Mn kapiler sistemle kökten yaprağa kadar taşınmasına rağmen en fazla kökte bulunduğu,
 - ✓ Cr’un ise yapraktaki miktarının yaklaşık kökteki ile aynı olduğu belirlenmiştir.

Elementlerin organlardaki birikiminde görülen bu farklılığın nedeninin, *C. thaianum*’un kapiler sistemiyle *elementi taşınmasındaki farklılık* olduğu tahmin edilmektedir.

Elementler arasındaki tercih sırasının belirlenmesi için, *Crinum thaianum* bünyesindeki her elementin “Kısmi Miktarı” hesaplanmıştır. Bitkideki her elementin biriken toplam element miktarına oranının (Elementin Kısmi Miktarı) başlangıç değeri ile kıyaslanması sonucunda,

Crinum thaianum’un;

$$\text{Mg} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Cu}$$

[i-6]

şeklindeki element sırasıyla elementleri bünyesinde bulundurmayı tercih ederken, Ca’u tercih etmediği, başka bir deyişle “Deneme Sonrası” Ca’u “Deneme Öncesi”ndeki “Kısmi Miktarı”ndan daha az bünyesinde tuttuğu belirlenmiştir (Şekil 4.33 A ve B).

Reaktör giriş suyundaki elementlerin miktarları ile;

$$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} \sim \text{Cr} > \text{Cu} \sim \text{Ni}^*$$

[i-7]

Crinum thaianum’un “Deneme Öncesi”ne göre “Deneme Sonrası”nda bünyesindeki elementlerin “Kısmi Miktar”larındaki değişimi [i-6]* beraber incelendiğinde;

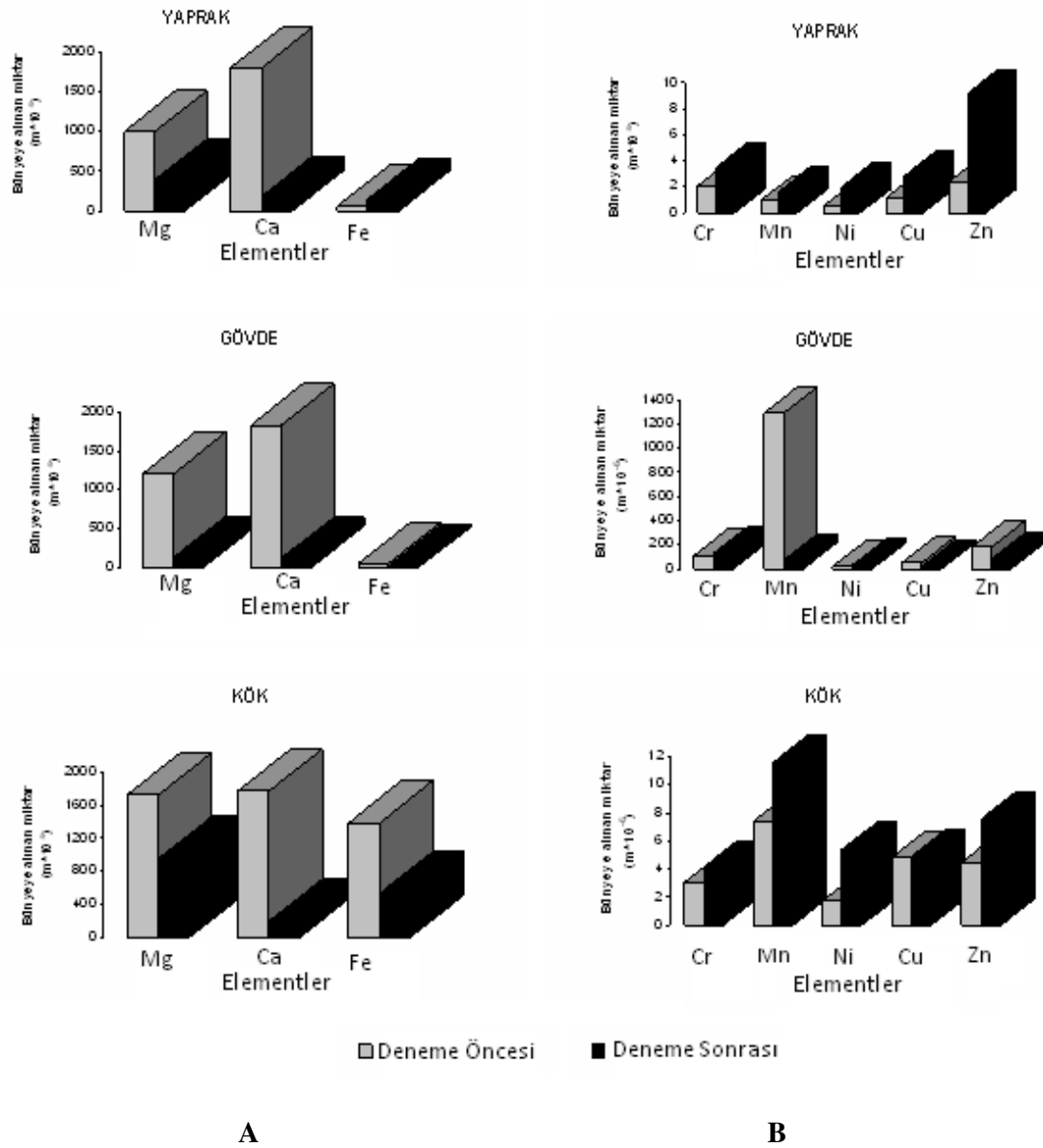
- Bitkinin reaktör besleme suyunda en fazla bulunan Ca’u tercih etmediği,
- Besleme suyunda Fe’den fazla bulunan Mg’u bünyesine öncelikli olarak aldığı,
- Bitki bünyesine alımda besleme suyunda eşit molalitede bulunan Zn ve Cr metallerinden Zn’nun önceliği olduğu,
- Besleme suyunda eşit molalitede bulunan Cu ve Ni metallerinde ise bitkinin öncelikle Ni’i tercih ettiği görülmektedir.

“Rölatif Birikim” değerlendirmeleri sonucunda, *bitki organlarına göre değişen farklı element alımları* olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4 “Rölatif Birikim”). Bitkinin “Deneme Öncesi”ndeki miktarına göre;

- Yaprığında en fazla Zn,
- Kökünde en fazla Ni metalini biriktirdiği belirlenmiştir.

Bitkinin tüm organlarındaki “Rölatif Birikim” incelendiğinde, *bitki organlarının element alım öncelikleri* olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4 “Rölatif Birikim”). Bitkinin incelenen elementler içinde metal bileşikler içerisinde *yüksek moleküler ağırlığa* sahip olan Ni, Cu ve Zn’yu *düşük molekül ağırlığına* sahip olan Mg ve Ca’dan daha çok tercih ettiği anlaşılmaktadır.

* giriş suyunda mevcut elementlerin konsantrasyonlarına göre sıralaması



Şekil 4.32 *Crinum thaianum* bünyesinde ölçülen metal miktarları

Bitki bünyesindeki elementlerin Şekil 4.32 A ve B’de verilen “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” değerleri karşılaştırıldığında, *C. thaianum*’un, aldığı elementlerin özelliğine ve bitkinin beslendiği ortamda birden çok elementin var oluşuna bağlı olarak elementler arası seçiciliği olduğu, biriktirdiği elementin birikim oranına bakıldığında ise kendi kapiler sistemine bağlı olarak bu seçiciliği önceliğe dönüştürdüğü tahmin edilmektedir.

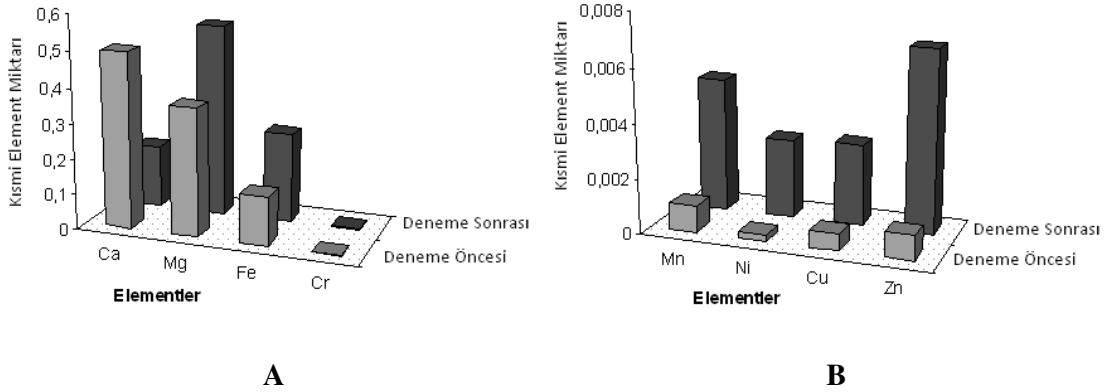
Çalışmada bitkideki element değişiminin izlenmesinin yanı sıra deneme sürecince reaktördeki

su, sediment arası boşluk suyu ve sediment kalitesindeki değişim de izlenmiştir. Bu analizlerde, sediment arası boşluk suyundaki elementlerin azaldığı belirlenmiştir. Azalan bu elementlerin, örneğin Cu, Ni ve Mn'in bitki bünyesine alındığı Şekil 4.32'de görülmektedir. Sediment arası boşluk suyundaki element miktarlarının azalmasında, bitkinin bünyesine element almasının etkili olduğu tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.4 Bitki organlarının element alım tercihleri

Bitki Organları	Deneme Öncesi Metal Birikimi (m)	Deneme Sonrası Metal Birikimi (m)	Rölatif Birikim*
Yaprakta	Ca > Mg > Fe > Zn > Cr > Cu > Mn > Ni	Mg > Ca > Fe > Zn > Cr > Cu > Ni > Mn	Zn > Ni > Cu ~ Fe > Cr ~ Mn > Mg > Ca
Gövdede	Ca > Mg > Fe > Zn > Mn > Cr > Cu > Ni	Mg > Ca > Fe > Cr > Zn > Ni > Cu > Mn	Ni > Cr > Zn > Cu > Fe > Mg - Ca - Mn
Kökte	Ca > Mg > Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni	Mg > Fe > Ca > Mn > Zn > Ni > Cu > Cr	Ni > Zn > Mn > Cr > Cu > Mg > Fe > Ca

*Rölatif Birikim: Deneme Sonrası/Deneme Öncesi



Şekil 4.33 *Crinum thaianum* bünyesindeki “Kısmi Element Miktarları”

4.2.3.2 Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler

Deneme sırasında *C. thaianum*'da yeni yaprak oluşumu belirlenememiştir.

4.2.3.3 Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkideki Elementler

Diğer bitkilerle yapılan çalışmalarda gözlemlenen kontrol dışı üreyen bitki bu çalışmada oluşmamıştır.

4.2.4 Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri

Ağır metal içeren sentetik suyla beslenen 6 adet *C. thaianum* ile yapılan deneme sonunda bitki kökünün uzadığı, gövde uzunluğunun değişmediği belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Bitki yapısı gereği uzun olan yaprakların (yarım metreden uzundur) reaktör yüzeyini örttükleri için düzenekteki ışık kaynağından direkt olarak etkilenmiş ve bu yüzden deneme sonundaki yaprak boyu ölçümlerinden sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir.

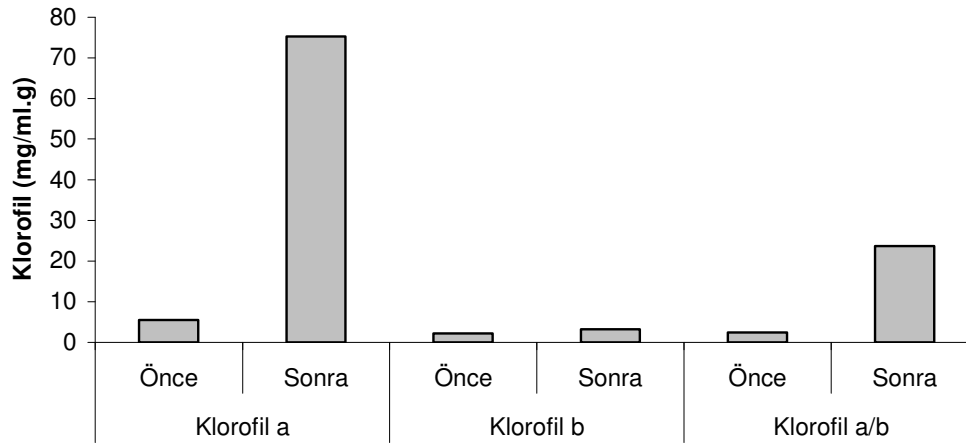
Denemeye başlamadan önce bitki yapraklarında klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b miktarları belirlenmiştir. Deneme süresi sonunda reaktörden çıkarılan bitkilerde de aynı klorofil analizleri yapılmıştır. Ancak bitkinin reaktör yüzeyinin üstünde kalan ve direkt gelen ışıktan etkilenerek sararmış yaprak kısımları dışında kalan bölümleri klorofil analizi için kullanılmıştır.

“Deneme Sonrası” yaprakta yapılan klorofil analizleri, hem klorofil a hem de klorofil b miktarlarının “Deneme Öncesi”ne göre arttığını göstermektedir (Şekil 4.34). Klorofil a ve klorofil b’deki artışın paralel olmadığı, klorofil a’nın klorofil b’ye göre daha fazla artış gösterdiği, buna bağlı olarak Şekil 4.34’te de görüldüğü gibi klorofil a/b oranının arttığı belirlenmiştir.

Bitkideki klorofil oluşumuna etki eden elementlerden Mn ve Fe ^[14]’in bitki bünyesindeki “Kısmi Miktar”larının deneme sonunda arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.33). Ayrıca, “Deneme Sonrası”nda bünyedeki “Kısmi Ca Miktarı”nın azaldığı ve klorofil a miktarının arttığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 *Crinum thaianum*'un boy değişimi

	Önce			Sonra		
<u>1. Sıra</u>	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)
1.Bitki	16	7	35	19	6	44
2.Bitki	16	5,5	82	20	6	73
3.Bitki	9	4,5	50	18	4	79
<u>2. Sıra</u>	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)
1.Bitki	20	4,5	64	20	4,5	35
2.Bitki	10	3,5	54	12	3,5	59
3.Bitki	9	3	71,5	20	4	68



Şekil 4.34 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” *Crinum thaianum*'daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimi.

4.3 *Anubia congensis* ile Yapılan Deneme

Anubia congensis ile yapılan çalışmada elde edilen; reaktör suyundaki kimyasal değişiklikler, reaktördeki su, sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri, *Anubia congensis*'in bünyesindeki element değişimleri ve *A. congensis*'deki fiziksel değişimler bu bölümde irdelenmiştir. İncelenen reaktör çıkış suyu parametrelerinin zamana bağlı korelasyonları grafiklerde gösterilmiştir.

4.3.1 Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler

Bu çalışmada, oluşacak biyokimyasal, fizikokimyasal reaksiyonların suyun kalitesine etkisini izleyebilmek için reaktörün girişinde ve çıkışında suda pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik ve alkalinite analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen bulgular bu bölümde irdelenmiştir.

Çalışmada pH'ın çıkış suyunda arttığı belirlenmiştir (giriş suyunda 7.7 olan pH değeri çıkış suyunda 8.3'e kadar yükselmiştir) (Şekil 4.36). alkalinite artışına bağlı olarak reaktör çıkış suyunda pH'ın arttığı tahmin edilmektedir.

Bunun aksine çözünmüş oksijen analizlerinde, suyun çözünmüş oksijen değerleri reaktörden çıkış noktasında girişe göre daha az olduğu tüm deneme sürecinde tespit edilmiştir (Şekil 4.37).

Reaktördeki bitkilerde yapılan gözlemler, suyun reaktöre girişine yakın olan bitkilerde diğerlerine oranla daha çok sarardığı, yaprakların şeffaflaşp daha sonra eridiği, dolayısıyla bitkinin öldüğü gözlenmiştir (Şekil 4.41).

Çıkış suyundaki çözünmüş oksijen değerinin başlangıca göre daha az olmasının nedenleri arasında, bitkilerin çalışma süresince reaktörde ölen bir kısım bitkilerin fotosentez gerçekleştirmemesi nedeniyle fotosentez ürünü olan oksijeni üretmediği tahmin edilmektedir.

Anubia congensis'le yapılan bu çalışmada reaktör giriş ve çıkış suyundaki tuzluluk ve iletkenlik miktarlarının fazla değişiklik göstermemesinin nedeni, *A. congensis*'in yaşam sürecinde Ca, Mg gibi makronütrientler ve Fe, Mn gibi mikronütrientleri kullanmamasından olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.38 ve Şekil 4.39).

Anubia congensis'le yapılan bu denemede Şekil 4.41'de görüldüğü gibi giriş suyu alkalinite değerleri zamanla azalmaktadır. Bunun nedeni olarak; reaktör girişi öncesi besleme tankında pH ayarlayıcısı olarak kullanılan NaOH etkisiyle bu tankta sudaki metallerin metal oksitler olarak zamanla çökmesi, metal oksitlerin çökmesine bağlı olarak sudaki hidroksil iyonlarındaki azalma nedeniyle alkalinitenin de suda azalmış olabileceği tahmin edilmektedir

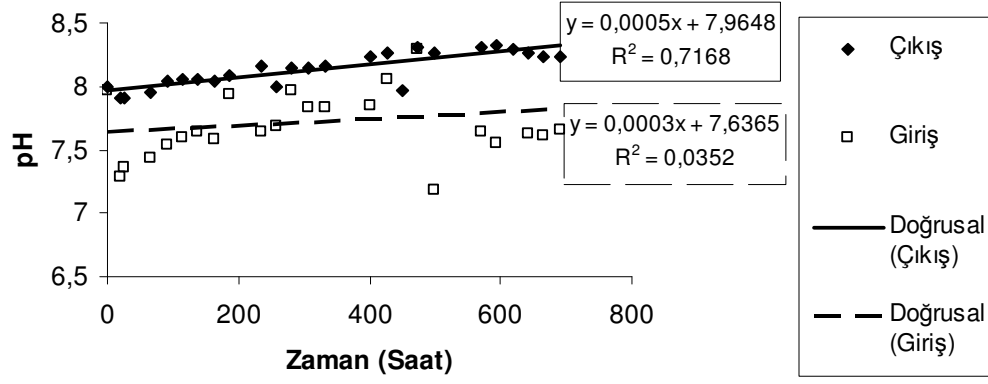
(Şekil 4.43).

Reaktör çıkışında suda alkalinitenin önceki denemelerde olduğu gibi arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.40).

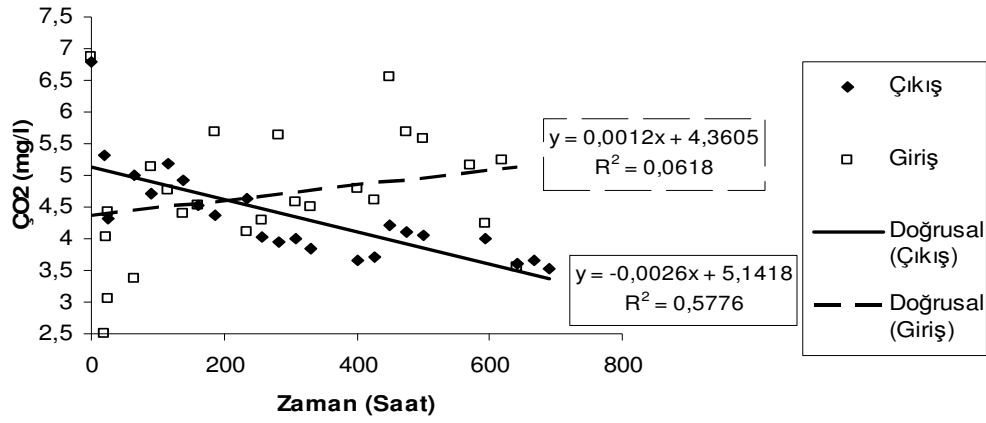
A. congensis'le yapılan bu denemede giriş suyu alkalinitesindeki azalma ve çıkış suyu alkalinitesindeki artma nedeniyle giriş ve çıkış suyu alkalinite değerleri arasındaki fark artmıştır. Bu farkın artmasının nedeni olarakta; diğer bitkilerle yapılan çalışmalarda olduğu gibi Mg miktarının arttığı, özellikle sedimentteki $MgCO_3$ 'ın çözünerek Mg ve CO_3^{2-} iyonları şeklinde suya geçtiği ve karbonat alkalinitesinin artmasına neden olduğu tahmin edilmektedir. Alkalinite değerinin artmasında ayrıca, çürüyen bitki yapraklarındaki proteinlerin biyolojik dönüşümü sonucunda oluşan amonyak hidrolizinin de (Metcalf ve Eddy, 2003) etkili olduğu tahmin edilmektedir.



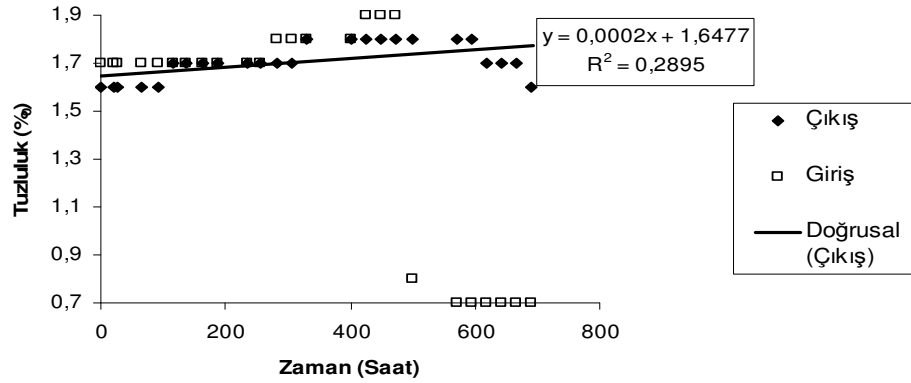
Şekil 4.35 Denemede kullanılan *Anubia congensis*



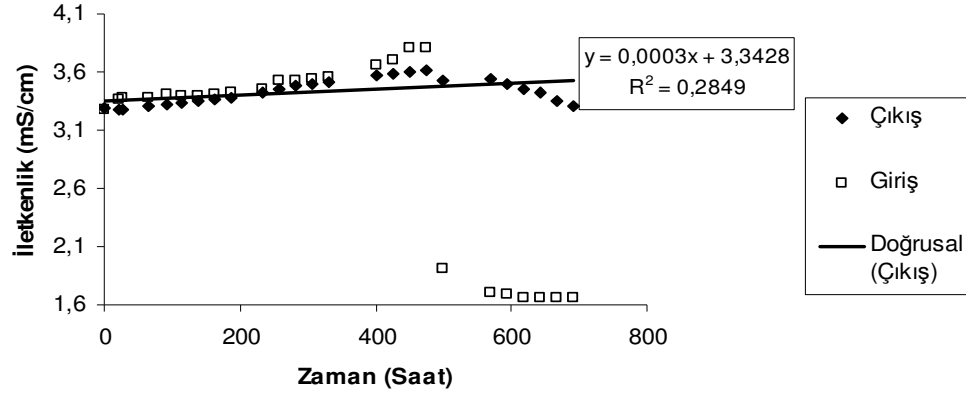
Şekil 4.36 *Anubia congensis* ile yapılan denemede suda pH değişimi



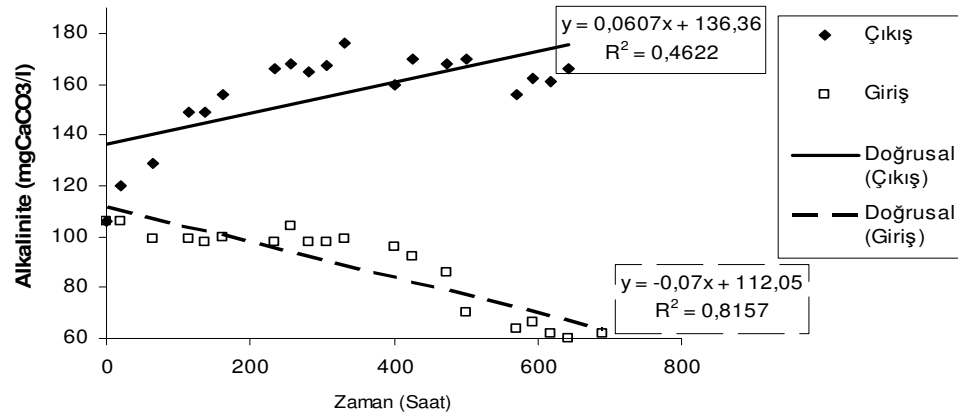
Şekil 4.37 *Anubia congensis* ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇO₂) değişimi



Şekil 4.38 *Anubia congensis* ile yapılan denemede suda tuzluluk değişimi



Şekil 4.39 *Anubia congensis* ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi



Şekil 4.40 *Anubia congensis* ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi



Şekil 4.41 Reaktöre konulan *Anubia congensis* bitkilerinin yaşamsal değişimi

NOT: Yaklaşık 500. saatte, besleme tankına yeni hazırlanan sentetik su ilave edilmiştir.

4.3.2 Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapı Metal Değişimleri

Bu üç yapıda (su, sediment arası boşluk suyu ve sediment) biriken metal analizleri standart metotlara uygun olarak yapılmış ve sonuçları Şekil 4.42'den Şekil 4.49'ye grafiklerde verilmiştir. Elde edilen verilere göre:

Mg:

Çalışma süresince Mg'un deneme başlamadan önce reaktöre yerleştirilen sedimentteki miktarına göre azaldığı, reaktör çıkış suyundaki miktarının ise reaktör giriş suyuna göre arttığı izlenmektedir (Şekil 4.42).

A. congensis'de yapılan elementel analizlerde ise "Deneme Sonrası"ndaki Mg miktarının "Deneme Öncesi"ne göre arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.50 A). *A. congensis*'in sediment arası boşluk suyundaki Mg'ı köküyle aldığı tahmin edilmektedir.

Bu bilgiler ışığında, Mg'un su ortamındaki hareketinin sedimentten, sediment arası boşluk suyuna, oradan da hem suya geçtiği hem de bitki tarafından alındığı tahmin edilmektedir. Benamar vd., (1999) bu çalışmada da tahmin edildiği gibi elementlerin sedimentten suya geçebildiğini rapor etmişlerdir. Bentik bitkilerin sucul ortamdaki elementleri sucul ortamın hangi fazından aldığına dair yapılan araştırmalar yetersiz olduğu için bitkinin elementi sediment arası boşluk suyundan aldığı hakkındaki tahmin literatür bilgileri ile birlikte yorumlanamamıştır.

Ca:

Ca'un sudan sediment arası boşluk suyuna geçen ve sediment yapıda biriken bir element olduğu Şekil 4.43'da izlenmektedir. Üstün vd., (2005) yaptıkları araştırmalarında, elementlerin suyla taşınıp sediment arası boşluk suyuna geçtiğini ve oradan da sedimentte birikerek kirletici özelliklerini arttırdıklarını rapor etmişlerdir.

Bu elementin en yüksek miktarda bulunduğu fazın rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu olduğu tespit edilmiştir. Bu tabaka fotosentez ürünlerinin bitki köklerinden sızması nedeniyle organik maddelerce zengindir (Erickson vd., 1994). Bu fotosentetik ürünlerin kirleticinin çözünürlüğünü etkilediği çeşitli araştırmacılarla ifade edilmektedir (Peer vd., 2005, Duman, 2005, ITRC, 2001).

Ayrıca sediment arası boşluk suyundaki Ca miktarının, diğer bitkilerle yapılan çalışmalarda sediment arası boşluk suyundaki Ca miktarından da fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin, bitkilerin çürümesiyle sedimente tutunmuş köklerdeki Ca'un sediment arası boşluk suyuna geçmesi olduğu tahmin edilmektedir.

Cr:

Çalışma süresince incelenen diğer metallerde olduğu gibi Cr metalinin de sucul ortamdaki fazlar arasında hareket ettiği Şekil 4.44’de izlenmektedir. Bu hareketin özellikle sediment arası boşluk suyu ile su arasında olduğu aynı şekilde görülmektedir.

Mn:

Mn’in sudan boşluk suyuna, oradan sedimente geçtiği, özellikle sediment yapı ile sediment arası boşluk suyu arasında hareket ettiği Şekil 4.45’de izlenmektedir.

Ca’da olduğu gibi Mn’in da sediment arası boşluk suyundaki miktarının, su ve sedimentteki miktarından fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada sediment arası boşluk suyunda diğer bitkilerle yapılan çalışmalardan daha fazla oranda Mn bulunma nedeninin, Ca’da olduğu gibi bitkilerin çürümesi esnasında kökten boşluk suyuna doğru bu elementlerin geçmesi olduğu tahmin edilmektedir.

Fe:

Fe’in ilk 100 saat içinde sudaki miktarının azaldığı, sediment arası boşluk suyundaki Fe miktarının ise arttığı Şekil 4.46’da izlenmektedir.

Bu sonuç pH’a bağlı demir çözünürlüğünü gösteren Şekil 2.2 ile beraber irdelendiğinde, denemenin ilk 100 saatte fizikokimyasal süreçlere bağlı olarak (pH 8 civarında) Fe’in çöktüğü ve sediment arası boşluk suyundaki miktarının böylece arttığı tahmin edilmektedir. Denemenin 100. saatinden sonra çıkış suyundaki Fe miktarının yaklaşık giriş suyu değerlerine indiği belirlenmiştir.

Deneme sürecinde rizosfer bölgesinden alınan sedimentteki Fe miktarının, giriş sedimentindeki Fe miktarından az olduğu görülmüştür. Bu nedenle, denemenin ilerleyen sürelerinde sedimentteki Fe’in sediment arası boşluk suyuna geçtiği, sediment arası boşluk suyundaki metalin de bitki bünyesine alındığı tahmin edilmektedir. Fotosentetik ürünlerin bir kısmının bitki köklerinden sızması (Erickson vd., 1994) sonucunda rizosfer tabakası organik madde bakımından zengin hale gelmekte, organometalik yapılar oluşmaktadır. Dushenkov (1995) organometalik yapıların bitkideki metal alımı ve taşınımında etkisi olduğunu tahmin ettiğini belirtmiştir. *Anubia congensis* ile yapılan bu denemede, rizosfer bölgesinden alınan sediment arası boşluk suyundaki element azalımında bitkinin etkili olduğu, Fe’in bitki bünyesindeki miktarının artışından görülmektedir (Şekil 4.50 A). Sediment arası boşluk suyunda azalma nedeniyle *Anubia congensis*’in Fe’i özellikle ilk 300 saat içinde aldığı tahmin edilmektedir.

Ni:

Reaktör çıkış suyunda Ni miktarının denemenin başında arttığı, zamanla giriş suyu değerlerine indiği Şekil 4.47’de izlenmektedir.

Denemenin başlangıcında sediment arası boşluk suyundaki Ni miktarının arttığı, yaklaşık 4. günden (100. saat) sonra azaldığı, sonra tekrar sediment arası boşluk suyundaki Ni miktarının arttığı görülmektedir (Şekil 4. 50).

Ni’in sedimentte biriktiği Şekil 4.47’den izlenmektedir.

Ni’in de sudan sediment arası boşluk suyuna, oradan da sedimente geçtiği ve bu nedenle sediment arası boşluk suyundaki miktarının azaldığı zannedilmektedir. Yapılan araştırmalar, ağır metallerin de suyla taşınıp sediment arası boşluk suyuna geçtiğini ve oradan da sedimentte birikerek kirletici özelliklerini arttırdıklarını göstermiştir (Üstün vd., 2005). Ayrıca sediment arası boşluk suyundaki Ni miktarında görülen azalmada, bitkinin Ni’i bünyesine almasının da etkili olduğu tahmin edilmektedir.

Sediment arası boşluk suyunda azalma Şekil 4.47’de izlendiğinde bitkinin özellikle ilk 400 saat içinde Ni’i sediment arası boşluk suyundan aldığı ve bu azalmanında buna bağlı olduğu tahmin edilmektedir. Bitkilerde yapılan element incelemeleri de bitkinin Ni metalini bünyesine aldığını göstermektedir (Şekil 4.50 B).

Cu:

Reaktör çıkış suyundaki Cu miktarının giriş suyundaki değerinden az olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.48).

Rizosfer tabakasından alınan sediment örneklerinde Cu miktarının deneme süresince azaldığı Şekil 4.48’de görülmektedir.

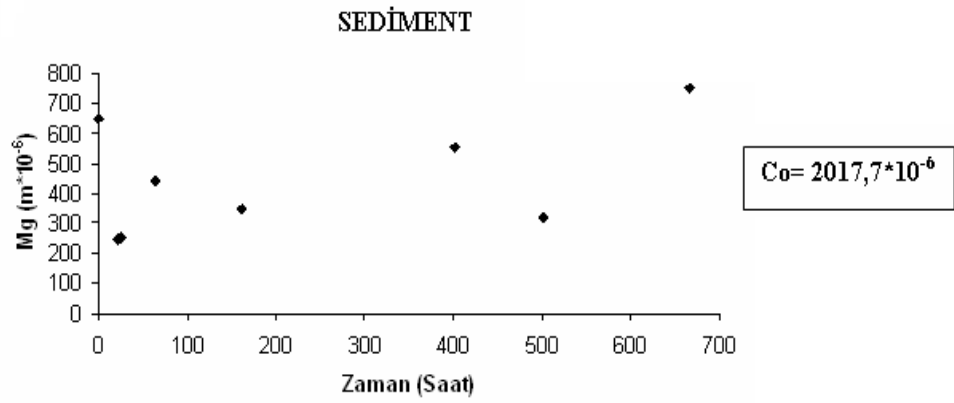
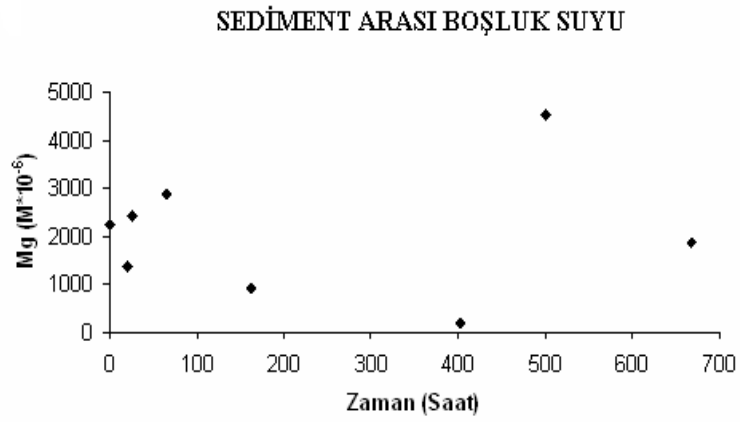
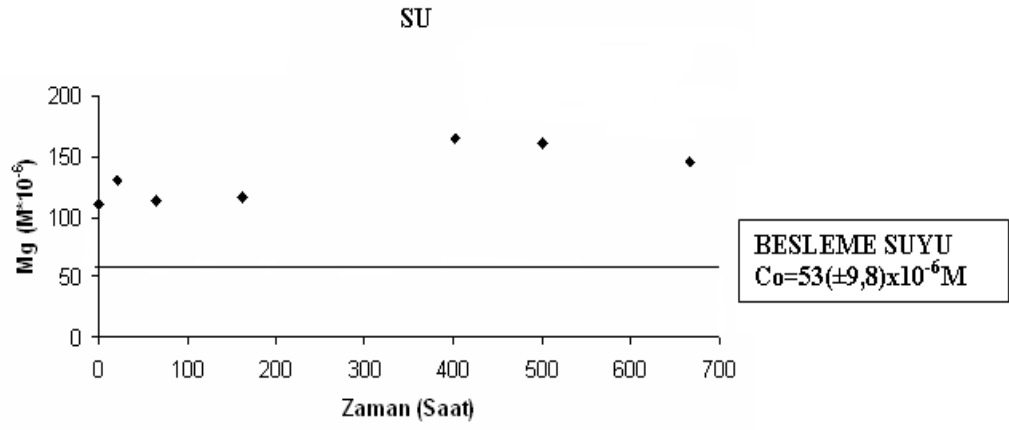
Cu metalinin daha önceki denemelerde olduğu gibi sediment yapıya zayıf olarak bağlandığı ve sedimentten çözülerek suya geçtiği tahmin edilmektedir. Benzer bir sonucuda Xue vd. (2003) sucul ortamlarda yaptıkları çalışmada görmüşler, ortamdaki bakırın taşınımında organik madde varlığının önemli olduğunu ve bakırın organik maddelere zayıf organometalik yapılar oluşturduğunu rapor etmişlerdir.

Su ile sediment yapı arasında hareket eden Cu metalinin su ve sedimentteki miktarlarının, bitki tarafından sediment arası boşluk suyundan alınmasına bağlı olarak azaldığı tahmin edilmektedir. *Anubia congensis*’de yapılan element incelemeleri de bitkinin Cu metalini bünyesine aldığını göstermektedir (Şekil 4.50 B).

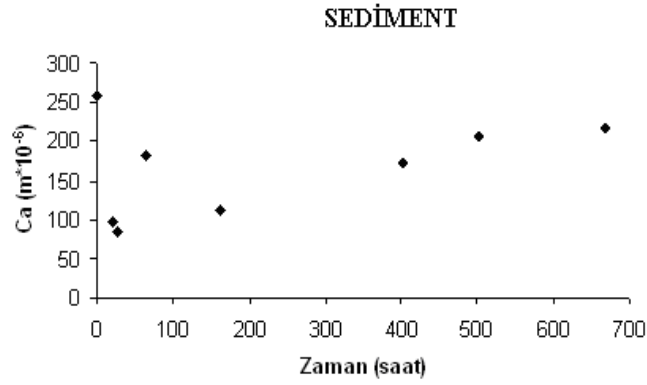
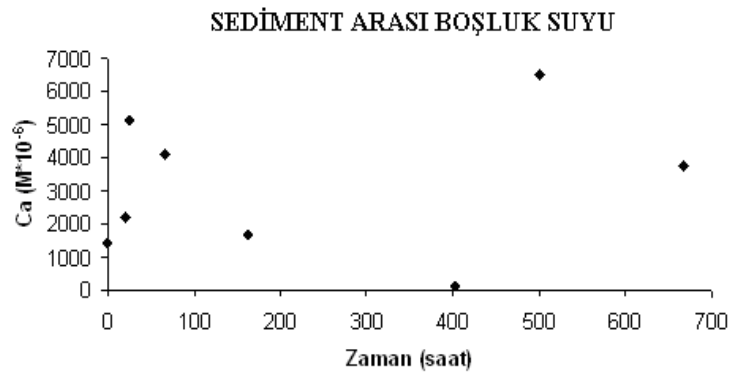
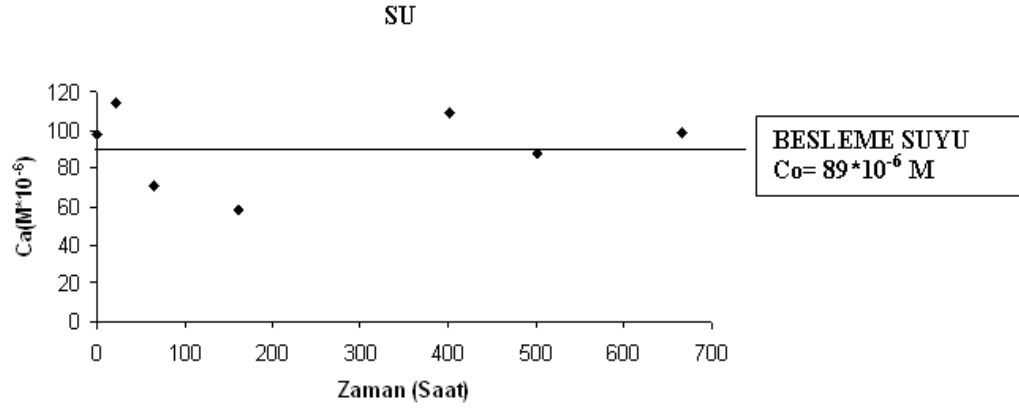
Zn:

Su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentteki yapılan incelemelerde, Zn metalinin zamanla sediment yapıda biriktiği ve çıkış suyundaki miktarının azaldığı Şekil 4.49'da görülmektedir.

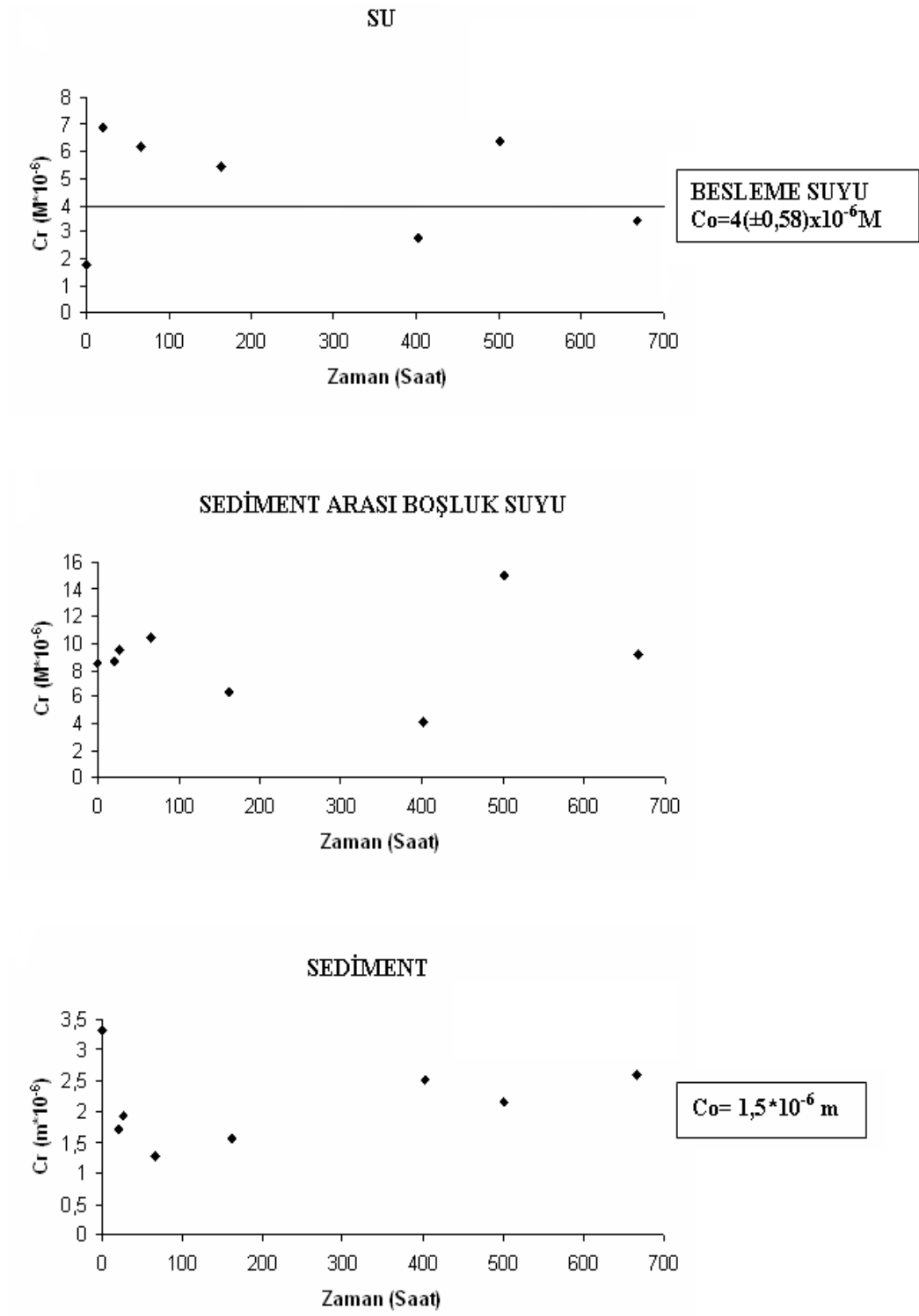
Zn'nin sediment arası boşluk suyunda giderek arttığı, ancak birkaç saatlik deneme süresi sonrasında azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın (ilk 400 saat) bitkinin metali bünyesine almasına bağlı olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.50 B).



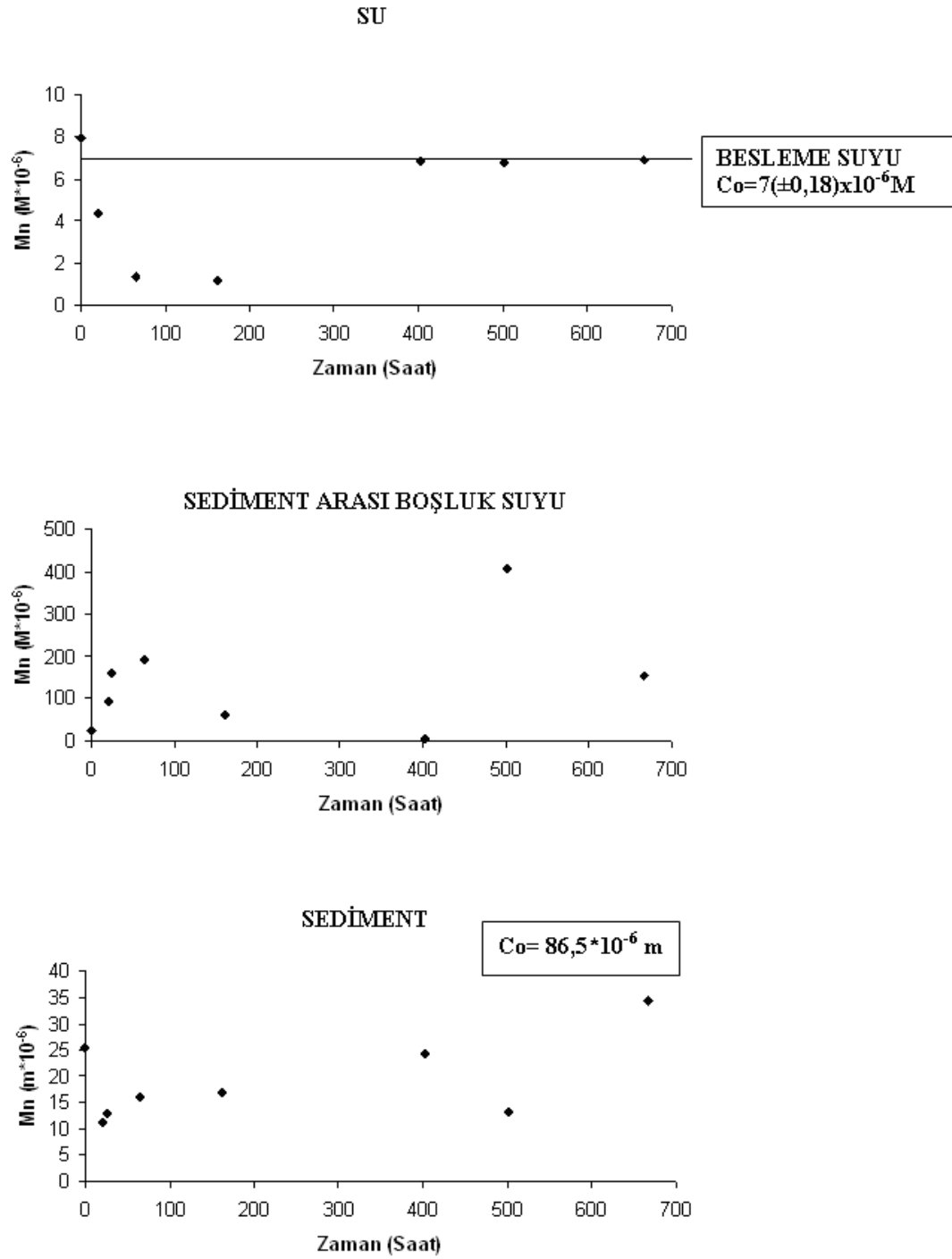
Şekil 4.42 *Anubia congensis* ile yapılan denemede Mg değişimi



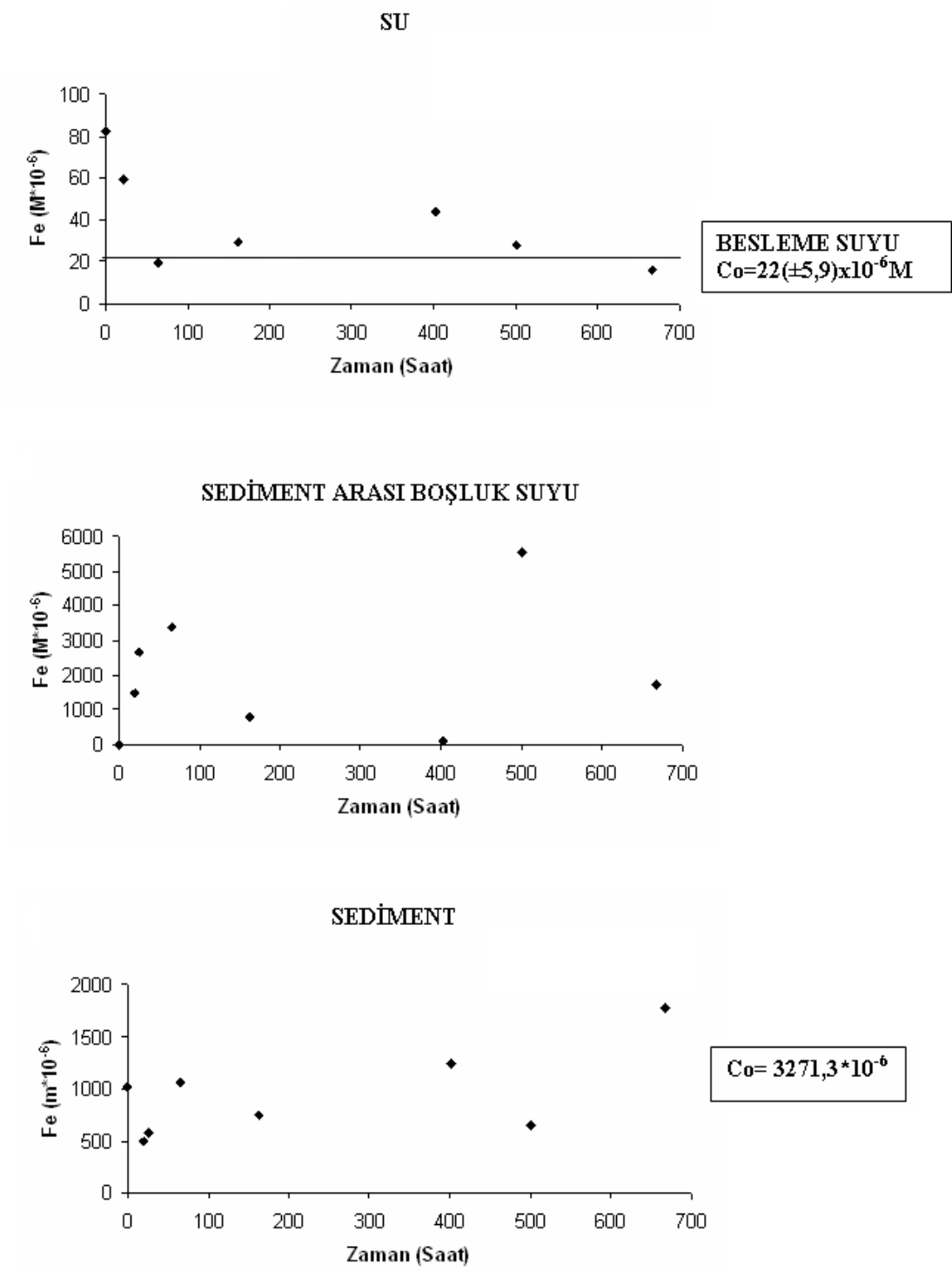
Şekil 4.43 *Anubia congensis* ile yapılan denemede Ca değişimi



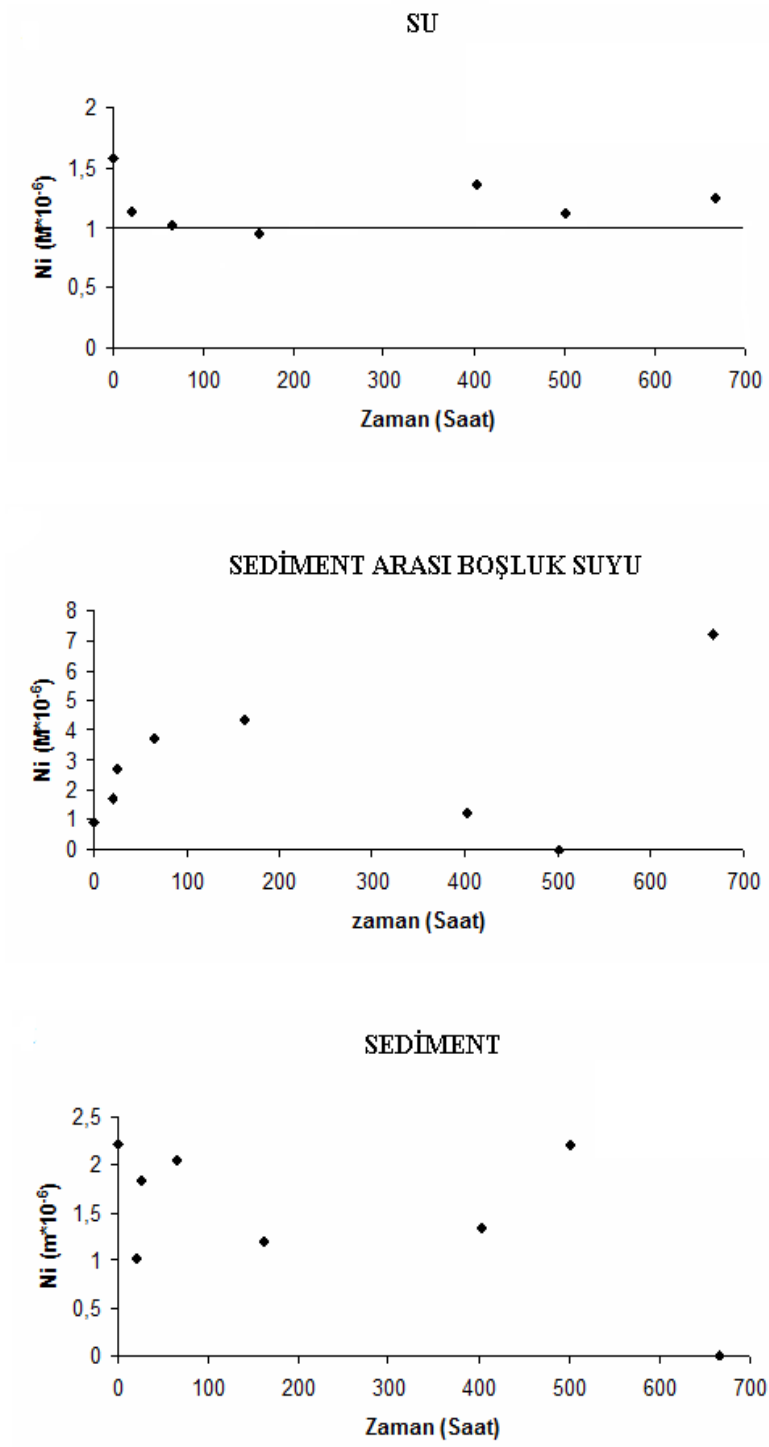
Şekil 4.44 *Anubia congensis* ile yapılan denemede Cr değişimi



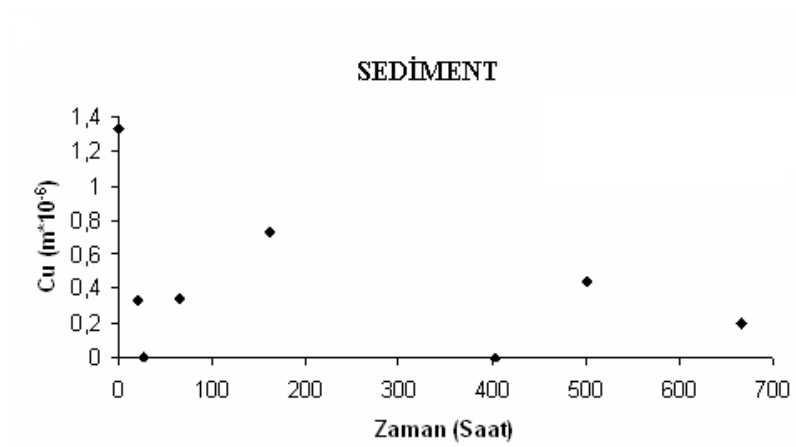
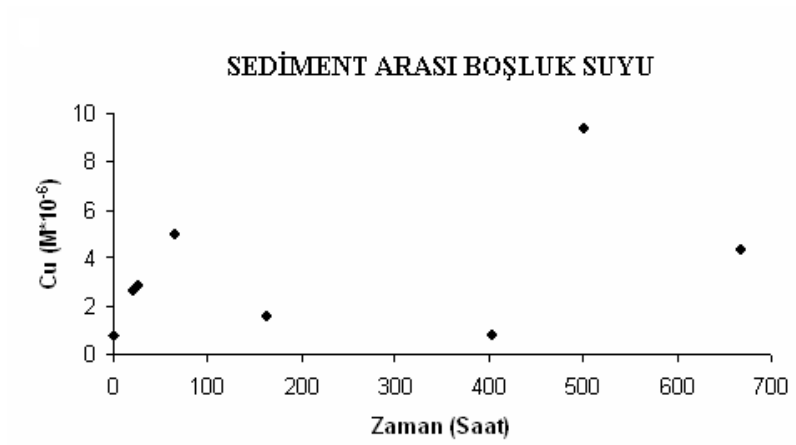
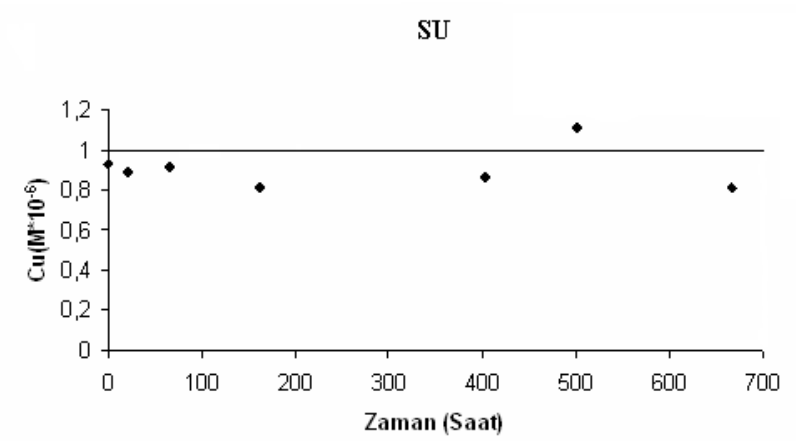
Şekil 4.45 *Anubia congensis* ile yapılan denemede Mn değişimi



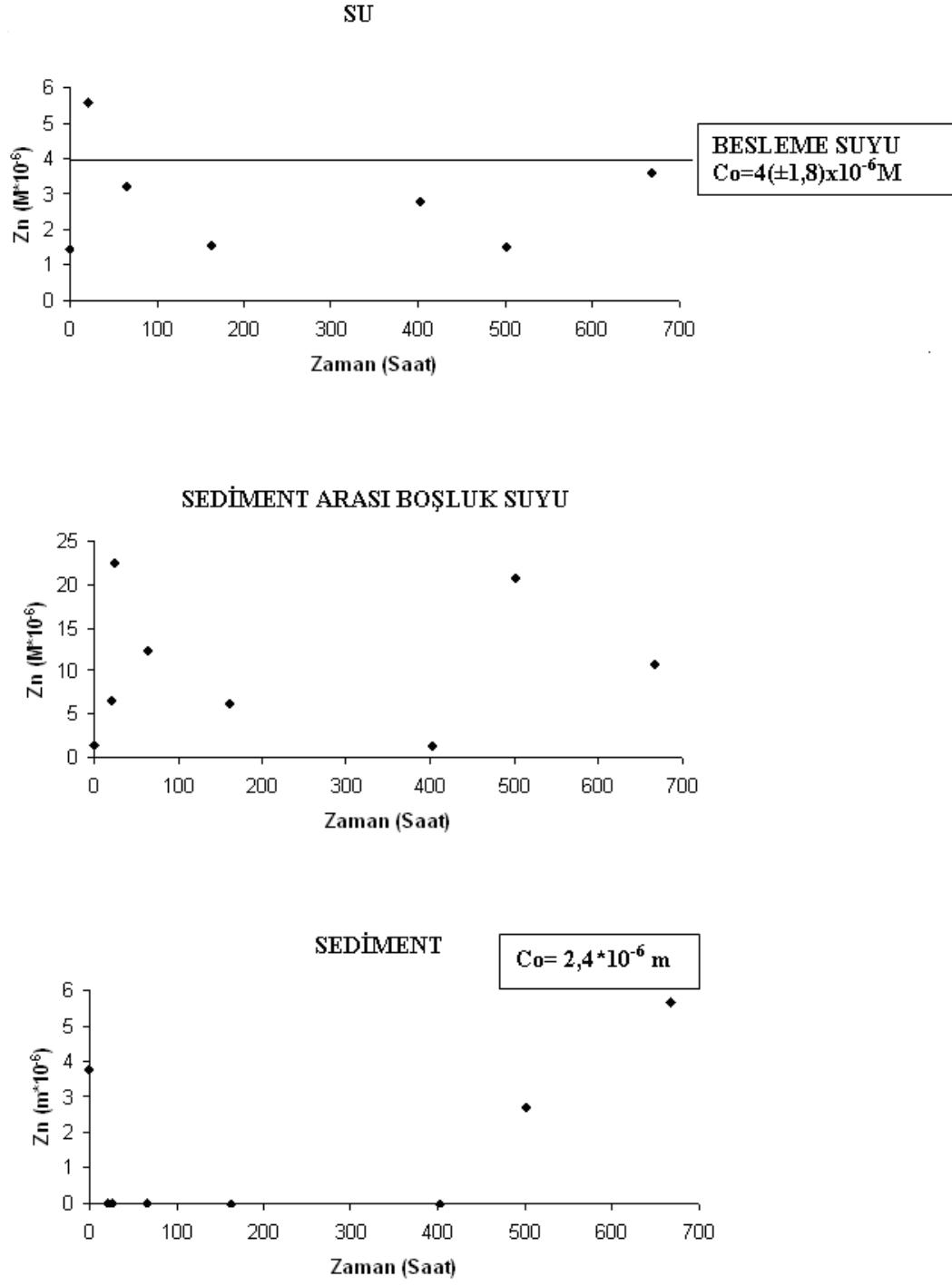
Şekil 4.46 *Anubia congensis* ile yapılan denemede Fe değişimi



Şekil 4.47 *Anubia congensis* ile yapılan denemede Ni değişimi



Şekil 4.48 *Anubia congregens* ile yapılan denemede Cu değişimi



Şekil 4.49 *Anubia congensis* ile yapılan denemede Zn değişimi

4.3.3 Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler

Denemeye başlanmadan önce ve deneme bittikten sonra, çalışmada kullanılan *Anubia congensis*'in kökünden, gövdesinden ve yaprağından numuneler alınmış ve bu numunelerde metal analizi yapılmıştır. *A. congensis* ile yapılan analizlerin sonuçları bu bölümde irdelenmiştir.

4.3.3.1 Bitki Tarafından Alınan Elementler

Anubia congensis ile yapılan çalışma sonucunda, incelenen bütün elementlerin (Mg, Ca, Fe, Cr, Mn, Zn, Ni ve Cu) “Deneme Öncesi”nde, bitkinin *tüm organlarında* var olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.50 A ve B).

“Deneme Sonrası” yaşayan bitkide,

- “Deneme Öncesi”nde bitki bünyesinde bulunan *tüm elementlerin* bulunduğu,
- *Bitki bünyesindeki miktarlarının rölatif olarak arttığı* Şekil 4.50 A ve B’de izlenmektedir.

Bitkinin tüm organlarda biriken element miktarları incelendiğinde, *hem “Deneme Öncesi” hem de “Deneme Sonrası”nda, büyüme için gerekli olan Ca ile enzim ve klorofil yapısına katılan Mg ve Fe elementlerinin tüm organlarda biriken en fazla elementler* olduğu Şekil 4.50 A’da görülmektedir.

Bitkinin tüm organlarda biriken element miktarlarındaki değişim incelendiğinde bitkinin her organı için *element birikiminin farklı* olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin,

- ✓ Ca bitki köküyle alınıp kapiler sistemle gövdeye, Zn, Ni ve Fe ise kapiler sistemle kökten yaprağa kadar taşınabildiği,
- ✓ Bitki kökünde en fazla biriken (deneme öncesine göre ~6 kat) Cr metali de, kapiler sistemle bitkinin gövdesinden yaprağına taşınımının az olduğu Şekil 4.50’de görülmektedir.

Bu farklılığın, *Anubia congensis*'in kapiler sistemiyle elementi taşınmasındaki farklılıktan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Elementler arasındaki tercih sırasının belirlenmesi için, *A. congensis* bünyesindeki her elementin “Kısmi Miktarı” hesaplanmıştır. Bitkideki her elementin biriken toplam elemente oranı ve bu oranın başlangıç değeri ile kıyaslanamsı sonucunda *A. congensis* için;

- Ca, Fe ve Zn'yı, Mg ve Mn'a göre tercih ettiği (Şekil 4.51 A ve B),
- Bitkinin bünyesinde biriken elementlerden Cu ve Ni'in deneme sürecince değişmediği, bitkinin bu elementleri “Deneme Öncesi”nde sahip olduğu oranda bünyesinde tuttuğu Şekil 4.51 B'den anlaşılmaktadır.

Denemede reaktör giriş suyundaki konsantrasyonları (M)

$$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} \sim \text{Cr} > \text{Cu} \sim \text{Ni} \quad [\text{i-7}]$$

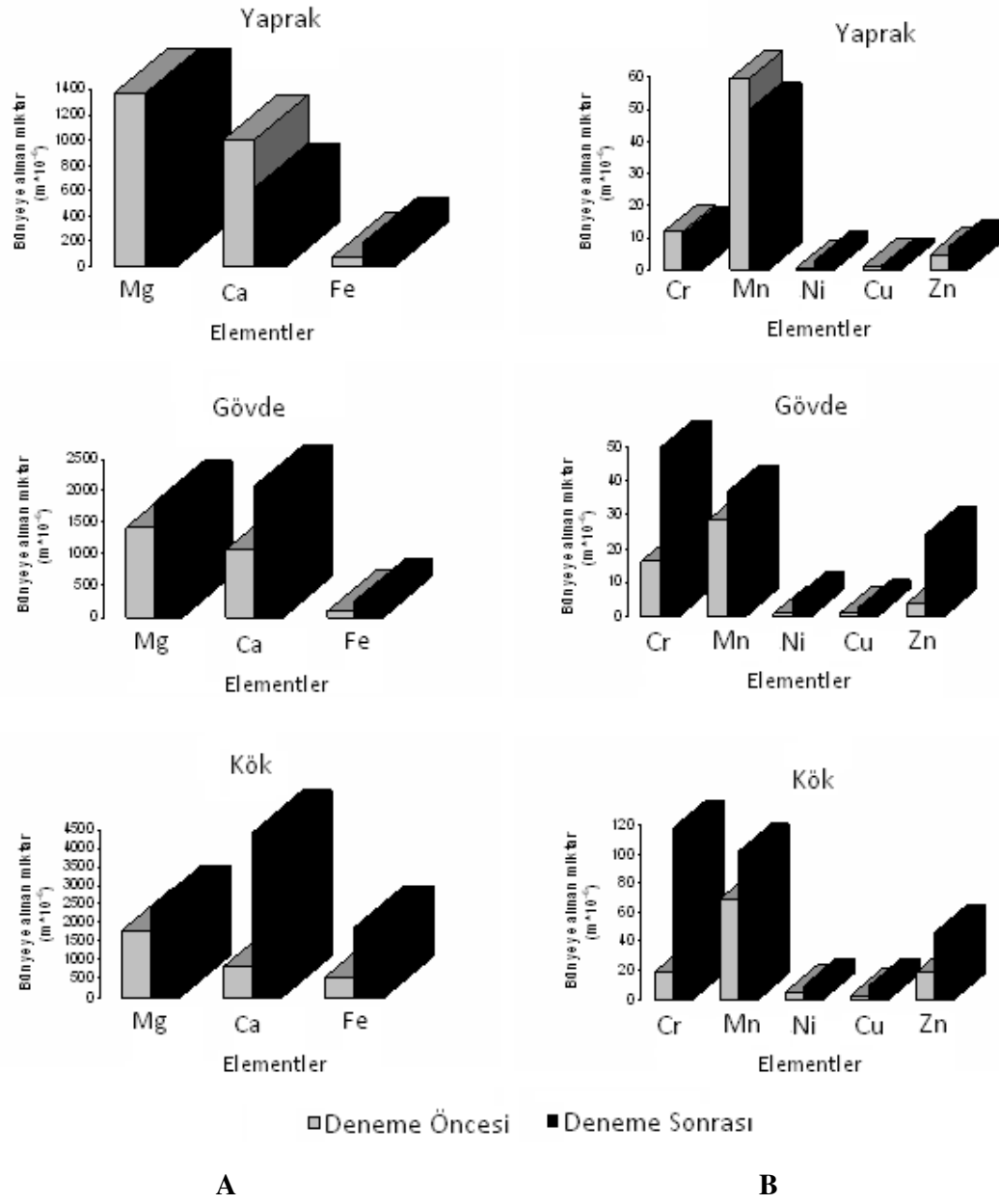
sıralamasında olan elementlerin “Deneme Sonrası”nda *A. congensis*'in bünyesinde $\text{Ca} > \text{Fe} > \text{Zn}$ sırasıyla bulunduğu, *A. congensis*'in Mg'u en son tercih ettiği görülmüştür.

Bitki bünyesine hangi elementin daha fazla alındığının belirlenmesi için yapılan “Rölatif Birikim” değerlendirmeleri sonucunda; farklı bitki organlarında farklı elementlerin farklı miktarlarda biriktikleri görülmüştür (Çizelge 4.6). Örneğin, bitkinin tüm organlarının Fe'i Cu'dan daha fazla bünyesine aldığı izlenmektedir. Bitkinin “Deneme Öncesi”ndeki miktarına göre yaprağında en fazla Fe, kökünde en fazla Cr metalini biriktirdiği görülmektedir.

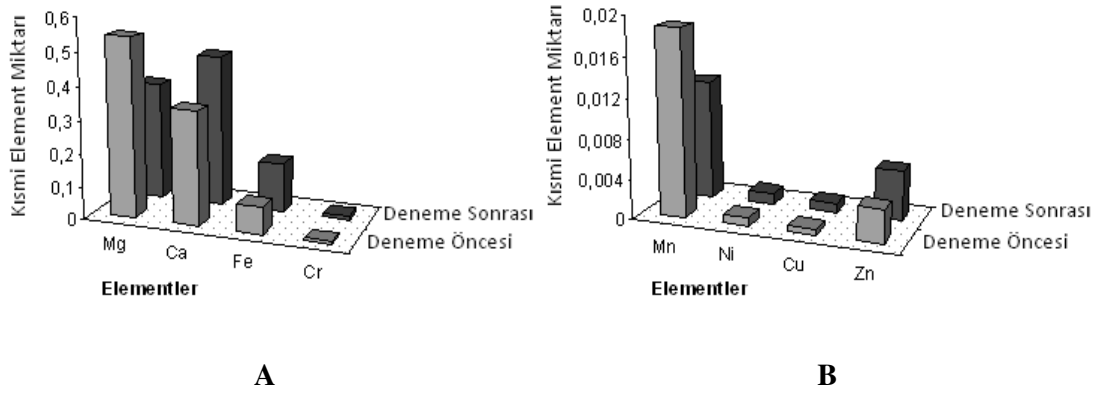
Hem “Rölatif Birikim” hem de “Kısmi Element Miktarı” değerlendirildiğinde diğer elementleri Mg'a tercih ettiği görülmektedir. Bitkilerin Mg'ı klorofil yapısı için kullandığı bilindiğinden, klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b'deki azalmayı Mg eksikliğine bağlamak mümkündür.

Şekil 4.50 A ve B'de verilen bitki bünyesindeki elementlerin “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” değerleri karşılaştırıldığında, *A. congensis*'in; aldığı elementlerin özelliğine ve bitkinin beslendiği ortamda birden çok elementin var oluşuna bağlı olarak elementler arası seçiciliği olduğu tahmin edilmektedir.

Çalışmada, bitki izlemenin yanı sıra deneme sürecince Bölüm 4.3.2'de anlatıldığı gibi reaktördeki su, sediment arası boşluk suyu ve sediment kalitesindeki değişimde izlenmiştir. Bu analizlerde *A. congensis*'in özellikle sediment arası boşluk suyundan bu elementleri aldığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.42- Şekil 4.49).



Şekil 4.50 *Anubia congensis* bünyesindeki metal miktarları



Şekil 4.51 *Anubia congensis*'deki “Kısmi Element Miktarları”

Çizelge 4.6 Bitki organlarının element alım tercihleri

Bitki Organları	Deneme Öncesi Metal Birikimi (m)	Deneme Sonrası Metal Birikimi (m)	Rölatif Birikim*
Yaprakta	Mg > Ca > Fe > Mn > Cr > Zn > Cu > Ni	Mg > Ca > Fe > Mn > Cr > Zn > Ni > Cu	Fe > Ni > Zn > Cu > Mg > Cr > Mn > Ca
Gövdede	Mg > Ca > Fe > Mn > Cr > Zn > Cu > Ni	Ca > Mg > Fe > Cr > Mn > Zn > Ni > Cu	Zn > Ni > Fe ~ Cr > Cu > Ca > Mg ~ Mn
Kökte	Mg > Ca > Fe > Mn > Cr ~ Zn > Ni > Cu	Ca > Mg > Fe > Cr > Mn > Zn > Cu > Ni	Cr > Ca > Fe > Cu > Zn > Ni > Mn > Mg

*Rölatif birikim: Deneme Sonrası / Deneme Öncesi

4.3.3.2 Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler

Deneme sırasında *A. congensis*'te yeni yaprak oluşumu gözlemlenmemiştir.

4.3.3.3 Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkideki Elementler

Echinodorus amazonicus ve *Cryptocrone undulata*'da yapılan çalışmalardan gözlenen kontrol dışı bitki *A. congensis*'le yapılan bu denemede ürememiştir.

4.3.4 Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri

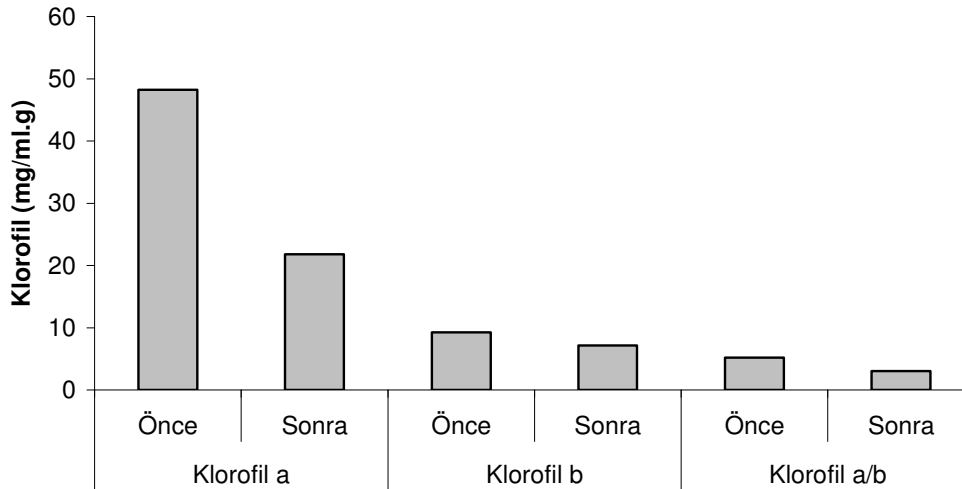
Ağır metal içeren sentetik suyla beslenen 6 adet *A. congensis* bitkisinin 2 tanesi deneme sürecinde sararmış ve denemenin sonlarında organların şeffaflaşarak eridiği, yani bitkilerin öldüğü gözlemlenmiştir. Bitkilerin büyüme ve çoğalmalarının izlenmesi için kullanılan

kontrol akvaryumunda da bu bitkinin yaşayamadığı görülmüştür. Bitkinin hem reaktörde hem de kontrol akvaryumunda yaşayamama nedeninin gün ışığı veren aydınlatma sistemi ile ilgili olduğu tahmin edilmektedir.

Yaklaşık 700 saat süren deneme sonunda yaşayan bitkide (2. sıranın 1. bitkisi) klorofil analizi yapılarak, deneme sürecinde bitkideki klorofil miktarında meydana gelen değişimler izlenmiştir. Klorofil analizi sonucunda klorofil a'nın, klorofil b'nin ve klorofil a/b oranının azaldığı Şekil 4.52'te görülmektedir.

Klorofil miktarındaki azalmada, bitkinin element alım tercihlerindeki değişimin etkili olduğu tahmin edilmektedir. “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası”ndaki element alımları toplam bünyeye alınan element miktarlarına göre kıyaslandığında (“Kısmi Element Miktarı”), bitkinin klorofilin temel elementi olan Mg alımını azaltıp, diğer elementlere göre en fazla Ca’u aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.51). *A. congensis*’in klorofil yapısındaki azalma Mg eksikliğinin yanı sıra Ca’nın artışının da etkisi olduğu tahmin edilmektedir.

Denemelerde kullanılan bitkilerin kök, gövde ve yaprak uzunluklarının deneme sonundaki değişimine bakıldığında, kökün küçüldüğü, gövde ve yaprak boylarının ise fazla değişmediği görülmektedir (Çizelge 4.7). Hücre duvarlarının güçlenmesine, hücre bölünmesine ve hücrelerin büyümesine yardımcı olan Ca’un bitki bünyesine alındığı (Şekil 4.51), ancak bu elementin bitki boyunun artması için bitki tarafından kullanılmadığı anlaşılmaktadır (Çizelge 4.75).



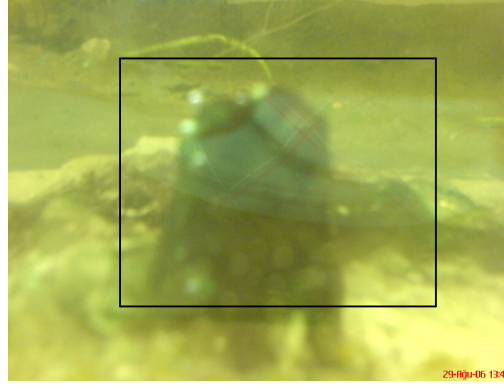
Şekil 4.52 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” *Anubia congensis*’in klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b deki değişimi

Çizelge 4.7 *Anubia congensis*'in boy değişimi

	DENEME ÖNCESİ			DENEME SONRASI		
<u>1. Sıra</u>	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)
1.Bitki	17	3	7	5	4	5.5
2.Bitki	11	4	7	-	-	-
3.Bitki	9	7	9.5	-	-	-
<u>2. Sıra</u>	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	YAPRAK (cm)
1.Bitki	12	3.5	5.5	5	3,5	5,5
2.Bitki	12	3	5	12	3	5
3.Bitki	9	2.2	4.5	11	2	3

700 günün sonunda, besleme durdurulduktan ve *Anubia congensis*'in reaktörden sökülmesinden sonra sediment yüzeyindeki algler gözle görülür yoğunluğa ulaşmıştır. Doğal ortamdan alınan sedimentten geldiği düşünülen bu algler ile önceki çalışmalarda (farklı bitkilerle yapılan denemelerde) belirlenen alglerin mikroskopik inceleme sonunda benzer türler olduğu görülmüştür.

Diğer denemelerden farklı olarak bu denemede, çalışma bittikten yaklaşık 2 hafta sonra alglerin tüm sediment yüzeyini bir halı gibi kapladığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.53). Bu alglerin, ölen bitkilerin parçalanmasıyla açığa çıkan yapı maddelerini kullanmaları nedeniyle diğer bitkilerle yapılan çalışmalardan daha fazla çoğaldığı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.53 “Deneme Sonrası” ölen *Anubia congensis*’in üzerini örten algin görüntüsü

4.4 *Cryptocoryne undulata* ile Yapılan Deneme

Cryptocoryne undulata ile yapılan çalışmada elde edilen; reaktör suyundaki kimyasal değişiklikler, reaktördeki su, sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri, *Cryptocoryne undulata*’nın element değişimleri, reaktörde kontrol dışı üreyen bitkinin element miktarları ve *Cryptocoryne undulata*’daki fiziksel değişimler bu bölümde irdelenmiştir.

4.4.1 Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler

Sentetik suyla beslenen *Cryptocoryne undulata* bitkisinin bulunduğu reaktörün giriş ve çıkış sularında pH, çözülmüş oksijen, iletkenlik ve alkalinite analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen grafiklerde gösterilmiştir. İncelenen reaktör giriş ve çıkış suyu parametrelerinin zamana bağlı korelasyonları aynı grafiklerde gösterilmiş ve elde edilen bulgular bu bölümde açıklanmıştır.

C. undulata bulunan reaktörde yapılan analizler sonucunda, çıkış suyundaki pH’ın giriş değerine göre arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.54). Diğer bentik bitkilerle yapılan çalışmalarda olduğu gibi bu denemede de reaktör çıkış suyundaki alkalinite artışı nedeniyle pH’ın arttığı düşünülmektedir.

Reaktör çıkış suyundaki çözülmüş oksijen miktarının (200. saat ile 300. saatler arasındaki veriler, ölçüm cihazındaki arızadan dolayı grafiğe eklenmemiştir), giriş değerine göre arttığı Şekil 4.55’de görülmektedir.

Reaktör çıkış suyundaki bu artışların nedeninin, *Echinodorus amazonicus* ile yapılan

çalışmadaki ile aynı olduğu, yani bitkinin içinde bulunduğu ortama uyum sağlayarak fotosentez yapması sonucunda ortama oksijen vermesi olduğu tahmin edilmektedir.

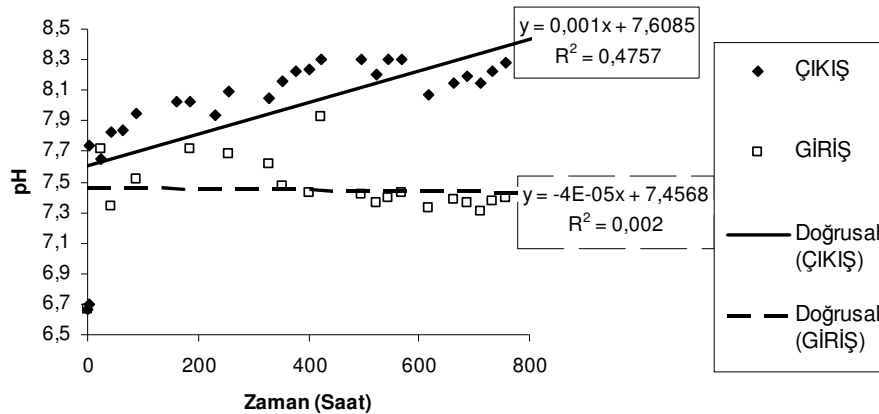
Yapılan iletkenlik ve tuzluluk analizlerinde, her iki parametrenin reaktör boyunca azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.56 ve Şekil 4.57).

Çıkış suyundaki iletkenlik ve tuzluluk miktarlarının giriş suyundan az olmasına, bitkinin makronütrient (Ca, Mg, v.s.) ve mikronütrientleri (Fe, Mn, v.s.) yaşam sürecinde kullanmasının etkili olduğu tahmin edilmektedir. Bu fikri, hem bitki bünyesinde Fe, Zn ve Ca birikmesi, hem de bu elementlerin reaktör çıkış suyundaki miktarlarının giriş suyuna göre az olması desteklemektedir (Şekil 4.60, Şekil 4.63, Şekil 4.67 ve Şekil 4.66).

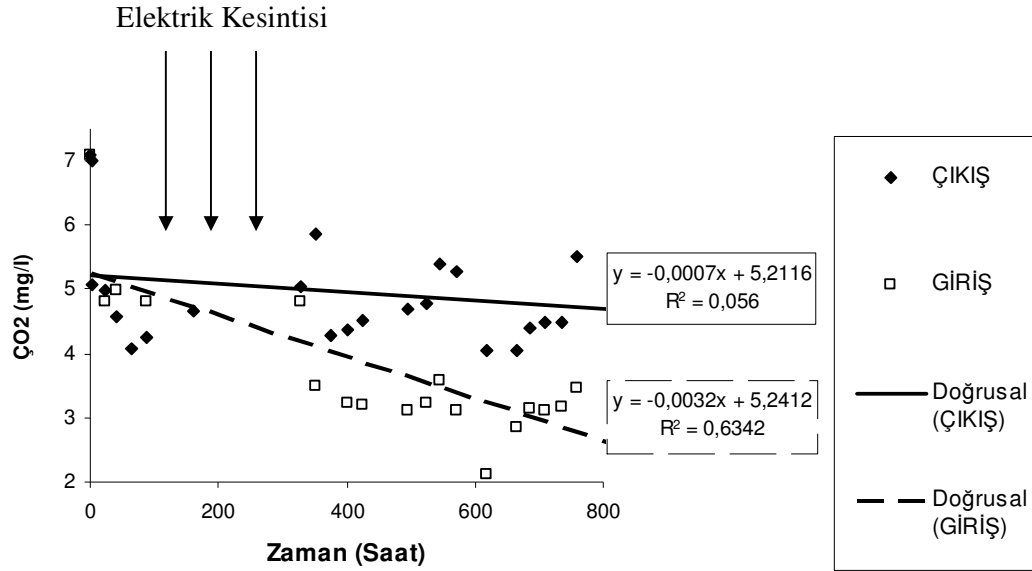
*Echinodorus amazonicus*la yapılan çalışmada olduğu gibi, reaktör çıkış suyundaki iletkenlik ve tuzluluk değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Bu artışta, sedimentten suya geçen toplam çözülmüş katılar ile elementlerin, özellikle Mg'un etkili olduğu tahmin edilmektedir. İletkenliği arttırıcı etken olarak özellikle Mg elementinin düşünülmesinin nedeni, giriş ve çıkış sularında yapılan metal analizleri sonucunda, Mg miktarının çıkış suyunda daha fazla olduğunun belirlenmesidir (Şekil 4.59).

Reaktörün giriş ve çıkış suyunda alkalinite analizleri yapılmış ve alkalinite miktarının çıkış suyunda arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.58).

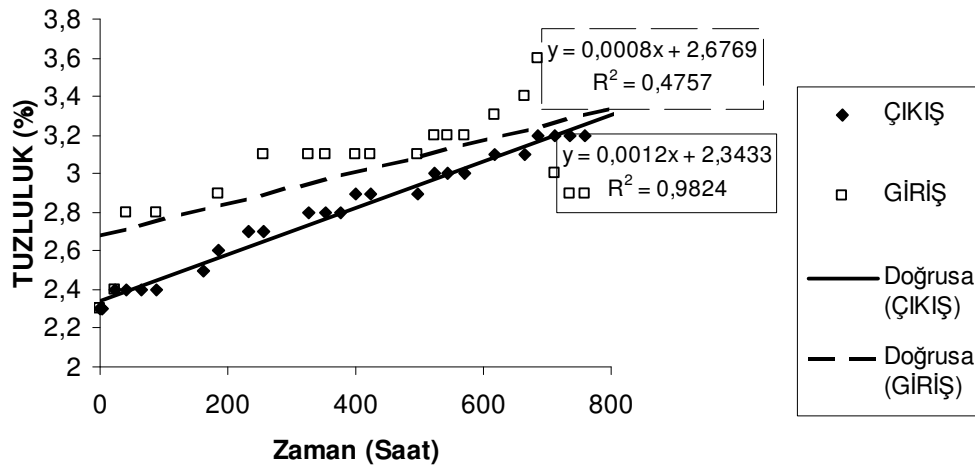
Alkalinite miktarının reaktör çıkışında artmasının, denemede kullanılan sedimentte varlığı belirlenen Mg'un (Çizelge 3.1), sedimentte $MgCO_3$ olarak bulunması ve çözünerek suya geçmesi sonucunda alkaliniteyi arttırmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



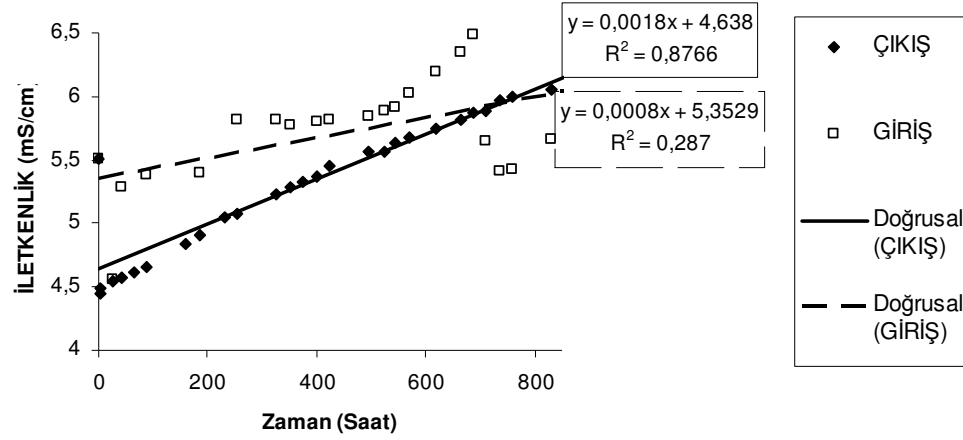
Şekil 4.54 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda pH değişimi



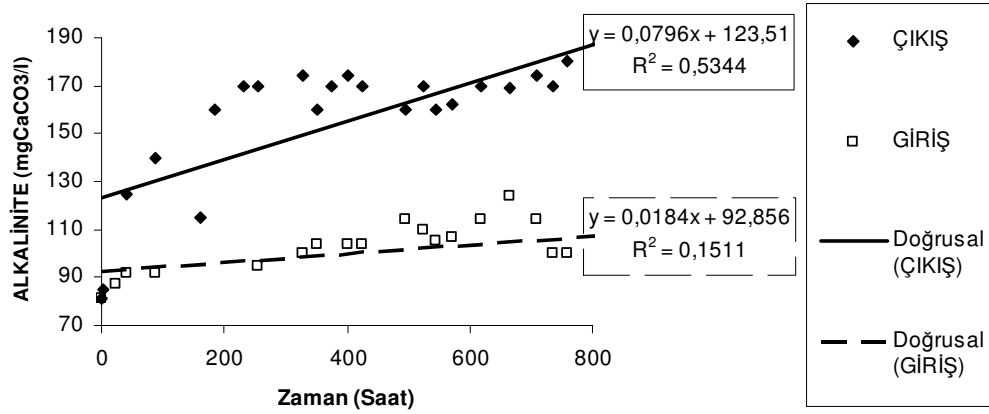
Şekil 4.55 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇO₂) değişimi



Şekil 4.56 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda tuzluluk değişimi



Şekil 4.57 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi



Şekil 4.58 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi

4.4.2 Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu Ve Sedimentteki Metal Değişimleri

Çıkış suyu ile köke en yakın bölgeden (rizosfer bölgesi) alınan sediment ve sediment arası boşluk suyu numunelerinde metal analizleri yapılmış ve bu veriler Şekil 4.59'den Şekil 4.66'a kadar grafiklenmiştir. Bu sonuçlar irdelendiğinde;

NOT: Yaklaşık 700. saatte, besleme tankına yeni hazırlanan sentetik su ilave edilmiştir.

Mg:

Deney süresinin başlangıcında, Mg'un sedimentteki miktarında azalma, reaktör çıkış suyunda ise artma olduğu Şekil 4.59'da görülmektedir.

Sediment arası boşluk suyundaki Mg'un denemenin başlarında arttığı, sonra azaldığı ve tekrardan arttığı izlenmektedir (Şekil 4.59).

Sediment arası boşluk suyundaki Mg miktarındaki azalmada, bitki (*C. undulata*) tarafından alınımının rol oynadığı tahmin edilmektedir. Bu fikri, bitki bünyesinde yapılan element analizleri sonucunda bitkinin Mg'u bünyesine aldığı tespit edilmesi de desteklemektedir (Şekil 4.67 A).

Analizler sonucunda, sedimentteki Mg'un boşluk suyuna, oradan da hem suya geçtiği hem de bitki bünyesine alındığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.59 ve Şekil 4.67 A). Benamar vd., (1999) çalışmalarında bu çalışmadakine benzer sonuç bulmuşlar ve elementlerin sedimentten suya geçebildiğini rapor etmişlerdir. Bentik bitkilerin elementleri bünyelerine sucul ortamın hangi fazından aldığına dair yapılan çalışmalar yetersiz olduğu için bu sonuç literatür ile beraber değerlendirilememiştir.

Ca:

Reaktör çıkış suyu, rizosfer bölgesindeki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapı içindeki Ca analizlerinde, elementin fazlar arasında hareket ettiği izlenmektedir. Bu hareketin, sudan sediment arası boşluk suyuna ve oradan da hem sedimente geçerek biriktiği, hem de bitki bünyesine alındığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.60 ve Şekil 4.67 A).

Reaktör çıkış suyundaki Ca'un azaldığı dönemlerde sediment arası boşluk suyundaki miktarlarının da azaldığı daha sonra her iki yapıdaki Ca miktarının dengeye ulaştığı izlenmektedir (Şekil 4.60).

Cr:

Yapılan analizler sonucunda, Cr metalinin çıkış suyunda arttığı izlenmektedir (Şekil 4.61).

Sediment arası boşluk suyundaki Cr miktarının arttığı dönemlerde, sedimentteki Cr metalinin azaldığı Şekil 4.61'de görülmektedir. Manahan (1994) çalışmasında, sucul ortamlardaki sediment ve askıdaki katı maddeler, krom için önemli depo görevini gördüğünü ve tutunma yoluyla (adsorpsiyon), organik maddelerle şelat oluşturarak ve metal oksitlerle bağ yapmış halde bulunabildiklerini rapor etmiştir.

Cr metalinin sedimentte zayıf olarak bağlandığı ve sedimentten sediment arası boşluk suyuna

kolaylıkla geçtiği ve sediment arası boşluk suyundan da suya geçtiği tahmin edilmektedir (Şekil 4.61).

Mn:

Reaktör çıkış suyundaki Mn değişimi izlendiğinde, denemenin ilk saatlerinde giriş suyundan daha yüksek olan reaktör çıkış suyundaki Mn'ın azaldığı ve daha sonra çıkış suyundaki Mn miktarının giriş suyuna yakın değerde dengeye ulaştığı Şekil 4.62'de görülmektedir.

Mn'ın sediment arası boşluk suyu ve sediment yapı içindeki miktarlarının azalma nedeni olarak bitkinin bu elementi köküyle sediment arası boşluk suyundan alması olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.62). Terry vd. (2003) de bitkilerin suda çözünen kimyasal maddelerin taşınımını değiştirebilmesi nedeniyle kök çevresinden metal alımının gerçekleştiğini ifade etmiştir (Duman, 2005). Deneyin yaklaşık 18. gününden sonra da bitkinin sediment arası boşluk suyundaki Mn'ı almaya devam ettiği, ancak alımın yavaşladığı tahmin edilmektedir.

Fe:

Denemede sediment, sediment arası boşluk suyu ve suda Fe miktarının azaldığı Şekil 4.67'de görülmektedir.

Ortamdaki Fe miktarındaki azalmada, bitkinin Fe'i bünyesine almasının etkisi olduğu tahmin edilmektedir. Bitkiye geçişle ilgili yapılan bu irdelemeleri, deneme başlamadan önce ve deneme bittikten sonra *C. undulata* bitkisinde yapılan analizlerde bitki bünyesinde arttığı belirlenen Fe birikimi de desteklemektedir (Şekil 4.67).

Ni:

Denemenin başlangıcında, reaktör çıkış suyunda Ni miktarında salınımlar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çıkış suyundaki Ni miktarının, giriş suyundan fazla olduğu tespit edilmiştir.

Denemenin ilk günlerinde (~100 saat), reaktör çıkış suyunda Ni miktarında görülen değişimler, reaktörün deneme için hazırlanma sürecinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlara bağlı olduğu tahmin edilmektedir (reaktörün besleme suyu ile doldurulma ve bitkilerin ekilmesi işlemi yaklaşık 7 dakikada yapılmıştır).

Çıkış suyundaki Ni miktarındaki artışın, sedimentteki Ni'in suya geçmesiyle olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.64).

Bu denemede besleme suyunda kesintiler olmuştur (hidrolik bekletme süresi artmıştır). Hidrolik bekleme süresinin arttığı bu dönemde, su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentte

Ni miktarında azalmalar görülmüştür. Ortamdaki Ni miktarında görülen azalmaların nedeni, hidrolik bekletme süresi etkisi ile Ni'in bitkiye geçmesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Besleme suyundaki kesintilerin giderilmesinden sonraki sürede, hem su hem de sedimentte Ni miktarı artmakta, sediment arası boşluk suyunda ise sabit kalmaktadır. Dolayısıyla bitki tarafından alımının az olduğu düşünülen Ni'in, bitki alımına temas süresinin etkisi Şekil 4.64'de irdelenebilmektedir. Srivastav ve arkadaşları (1994) sentetik su ve bitkiler kullanarak yaptıkları araştırmalarında benzer sonuca ulaşmışlar yani metal giderimi üzerinde hidrolik bekleme süresinin etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Cu:

Cu'ın sedimentten suya doğru geçişinin olduğu Şekil 4.65'da görülmektedir.

Denemenin ilk 270 saatlik kısmında (zaman zaman yaşanan elektrik kesintileri nedeniyle akışın durduğu ve temas süresinin arttığı dönem) çıkış suyu, sediment arası boşluk suyu ve sedimentte Cu'ın azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.65).

Cu'ın sedimente zayıf bağla bağlandığı tahmin edilmektedir. Sucul ortamlarda bakır transferinde organik madde varlığının önemli olduğu ve organik maddelerle zayıf organometalik yapılar oluşturdıkları rapor edilmiştir (Duman, 2005). Cu'ın sedimente zayıf bağla bağlanması nedeniyle metalin sedimentten sediment arası boşluk suyuna ve oradan da hem suya geçtiği hem de bitki bünyesine alındığı tahmin edilmektedir. Terry vd. (2003) de bitkilerin suda çözünen kimyasal maddelerin taşınımını değiştirebilmesi nedeniyle kök çevresinden metal alımının gerçekleştiğini ifade etmiştir (Duman, 2005).

Zn:

Zn metalinin sedimentten boşluk suyuna, oradan da suya geçtiği tahmin edilmektedir. bakır gibi çinko içinde organik madde varlığının önemli olduğunu ve çinkonun bakıra göre organik maddelere zayıf organometalik yapılar oluşturmaktadır (Duman, 2005).

Çıkış suyundaki Zn metalinde giriş suyuna göre azalma olduğu Şekil 4.66'da görülmektedir. Zn metalindeki bu azalmada, bitkinin Zn'yu bünyesine almasının etkili olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.67).

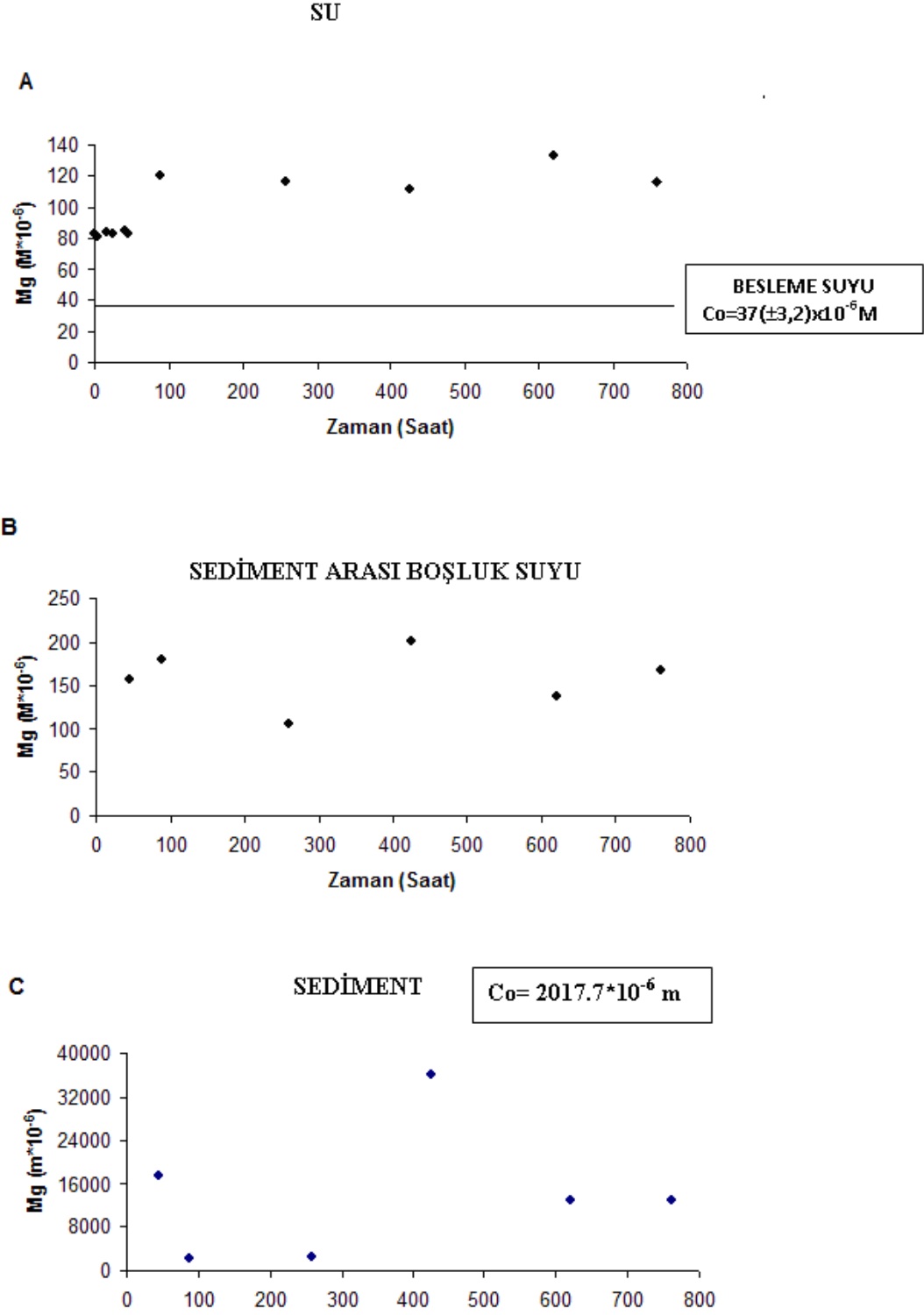
Genel Değerlendirme:

Bu denemede, merkezi elektrik kesintileri nedeni ile reaktör beslemesi zaman zaman durmuştur (denemenin ilk 11 günün de zaman zaman ve yaklaşık 17. gününde meydana gelmiştir). Bu nedenle, sistemin hidrolik bekleme süresi ve dolayısıyla metalin sistem içindeki temas süresi artmıştır.

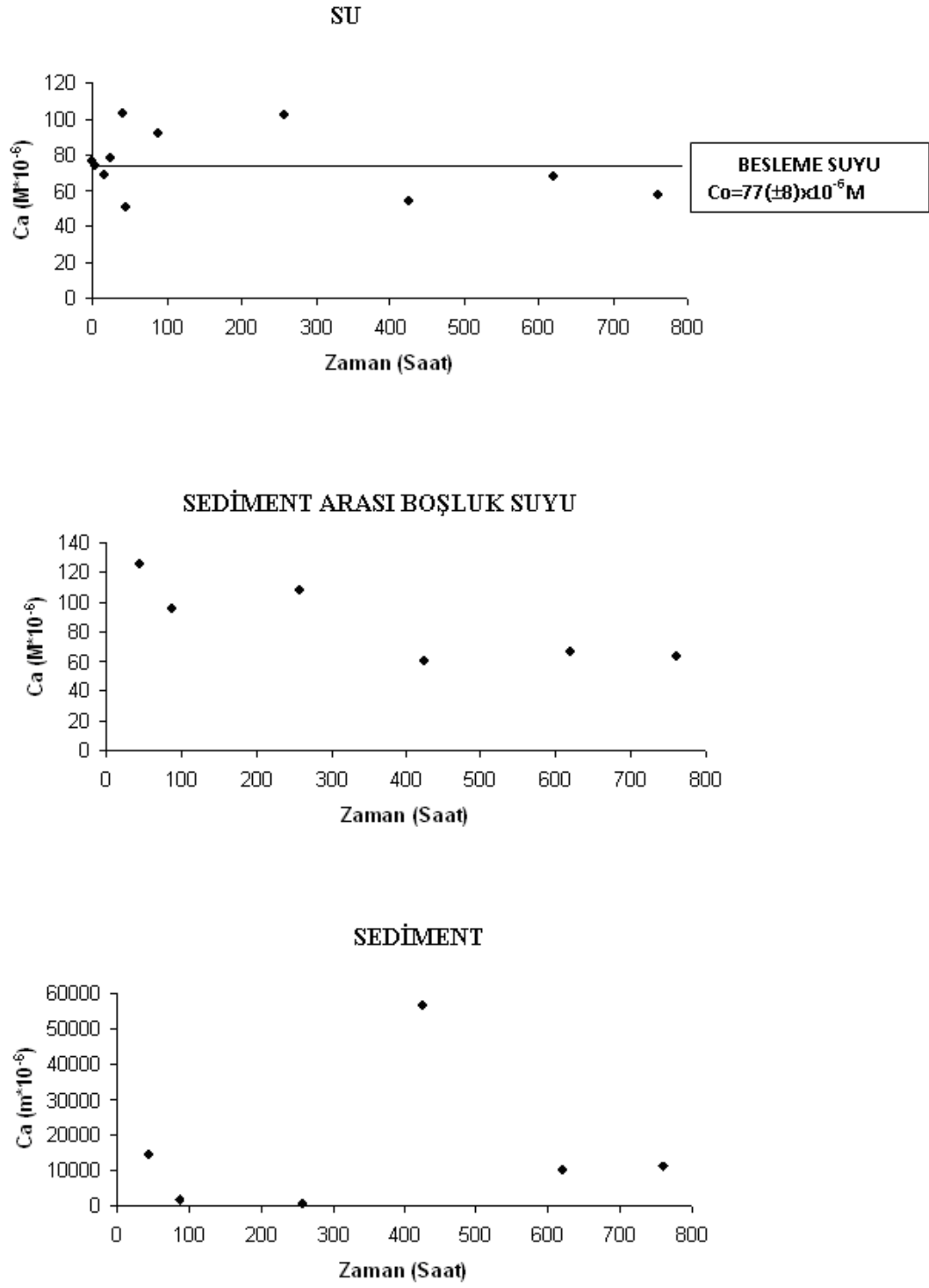
Reaktör içindeki metallerin temas sürelerinin arttığı dönemde, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Cu ve Zn metallerinin sedimentteki miktarının arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.65 ve Şekil 4.66).

Su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentteki element miktarındaki azalmada, elementlerin bitkiye alımının etkili olduğu tahmin edilmektedir.

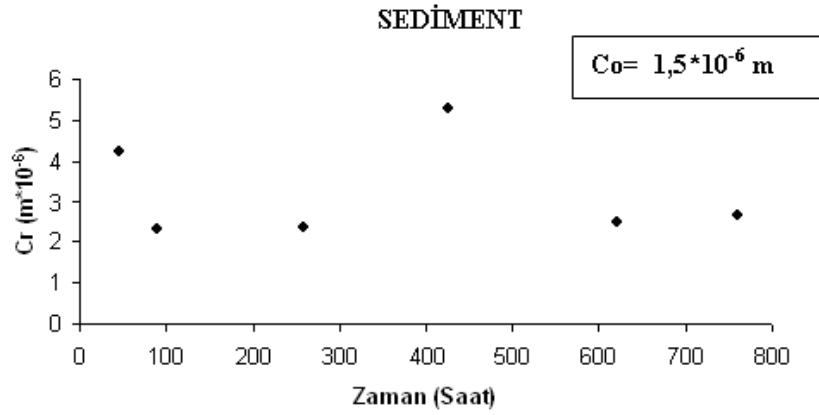
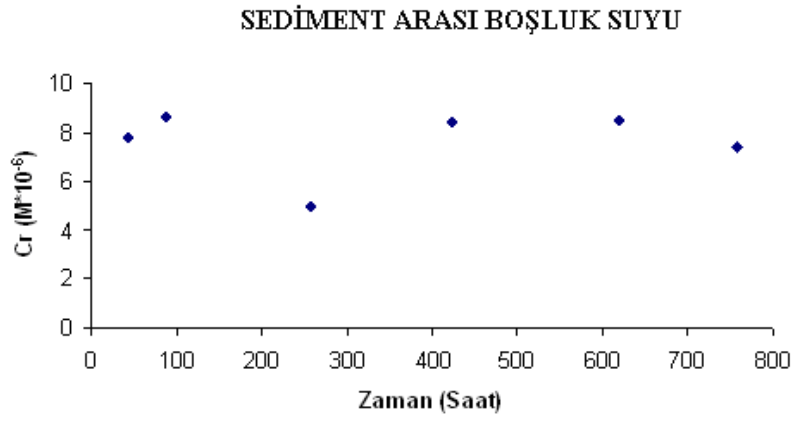
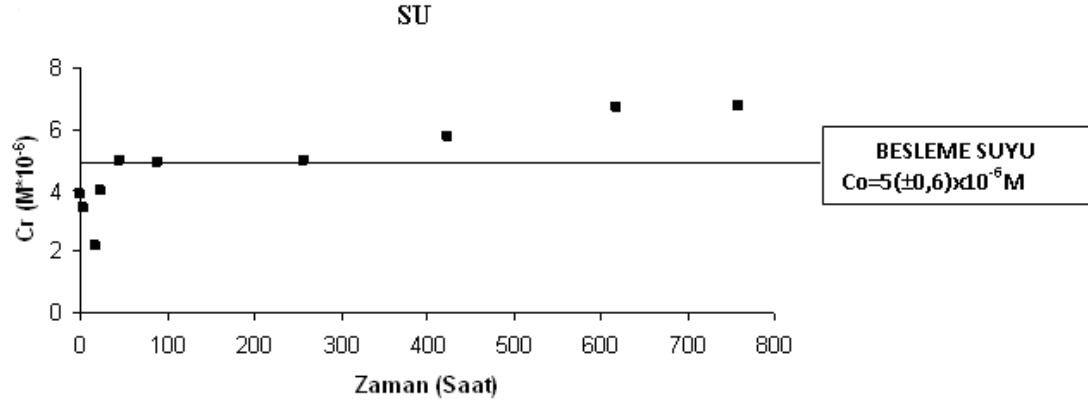
Srivastav ve arkadaşları (1994) sentetik su ve bitkiler kullanarak yaptıkları araştırmalarında metal giderimi üzerinde hidrolik bekleme süresinin etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada da bitkinin ortamdaki metali bünyesine almasında hidrolik bekletme süresinin etkili olduğu tahmin edilmektedir. Örneğin, su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentteki Fe miktarındaki azalma nedeninin, bitkinin bu metali bünyesine alması olduğu düşünülmektedir. Fe'in bitki bünyesine alınmasının daha hızlı olduğu düşünülen ilk 270 saattlik dönemde hidrolik bekleme süresi yâda temas süresindeki artışın neden olduğu tahmin edilmektedir. Ortamdaki Fe'in bitkiye geçişiyle ilgili yapılan bu irdelemeleri, deneme başlamadan önce ve deneme bittikten sonra *C. undulata* bitkisinde yapılan analizlerde bitki bünyesinde arttığı belirlenen Fe birikimi de desteklemektedir.



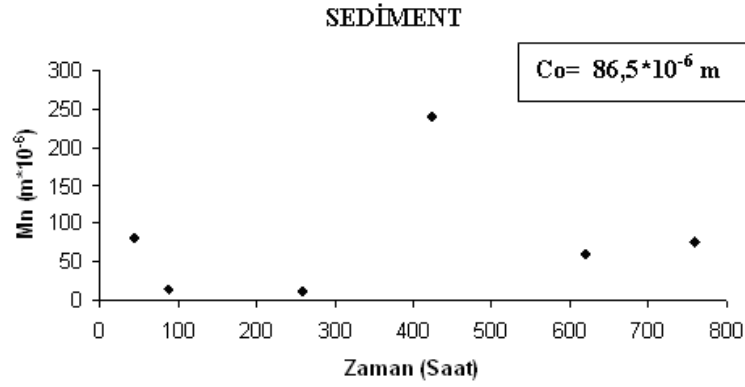
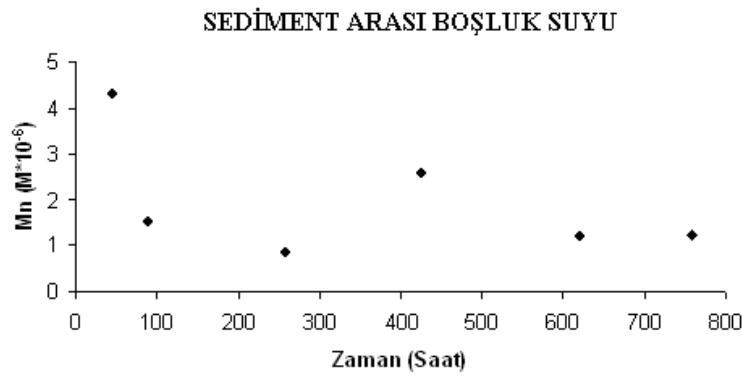
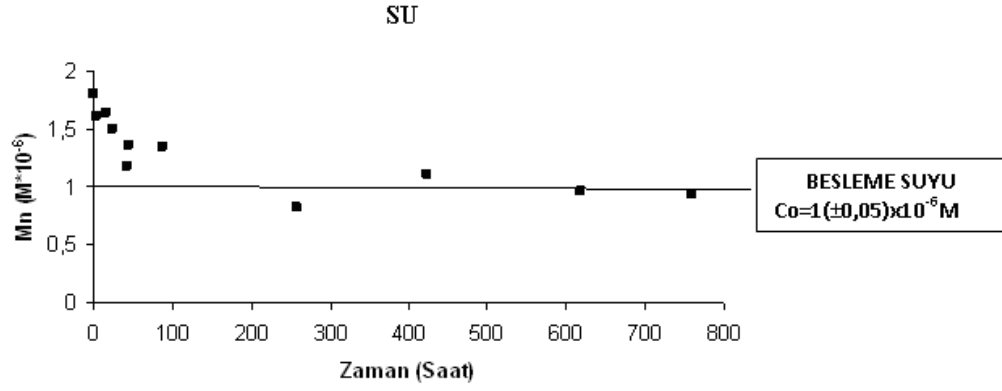
Şekil 4.59 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Mg değişimi



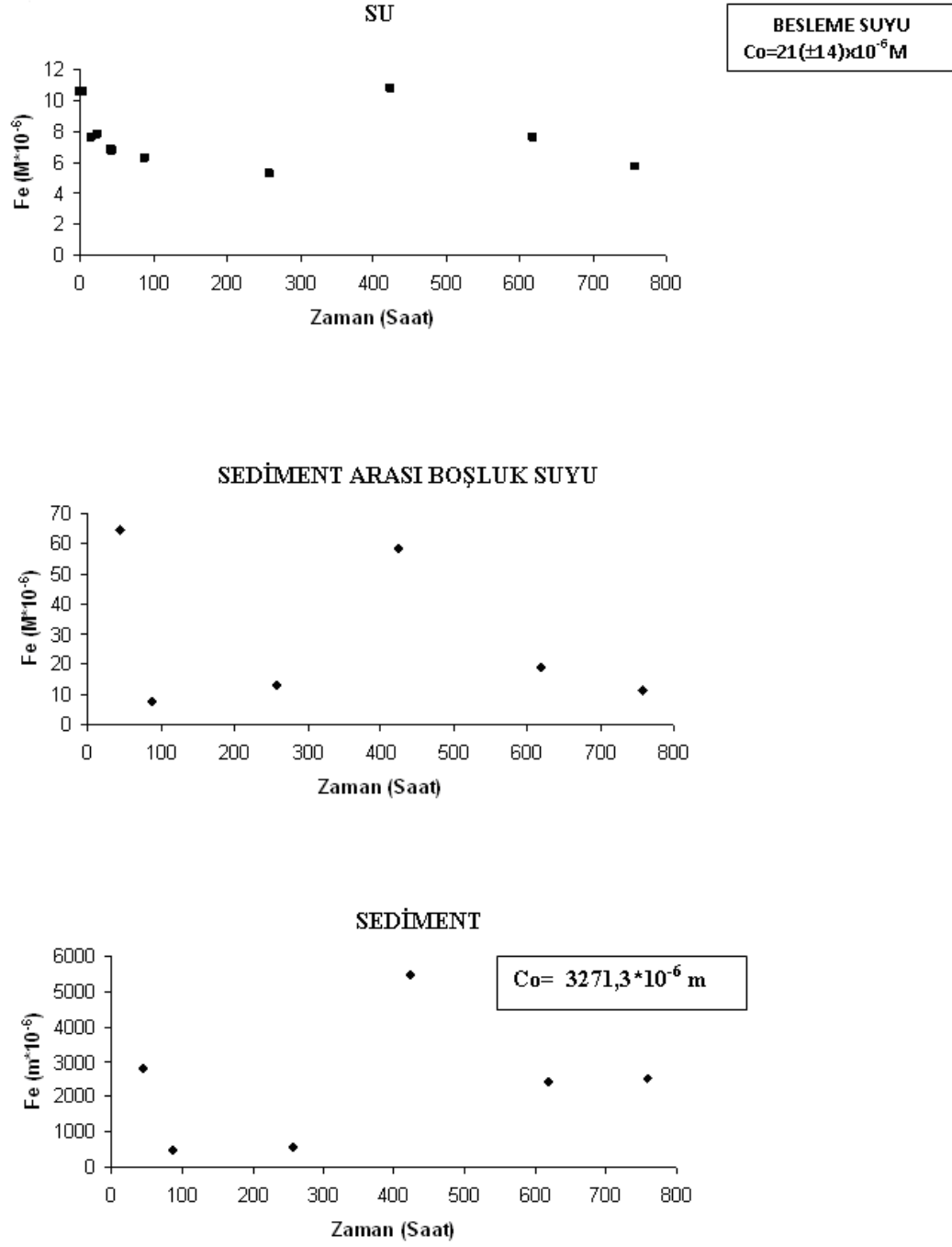
Şekil 4.60 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Ca değişimi



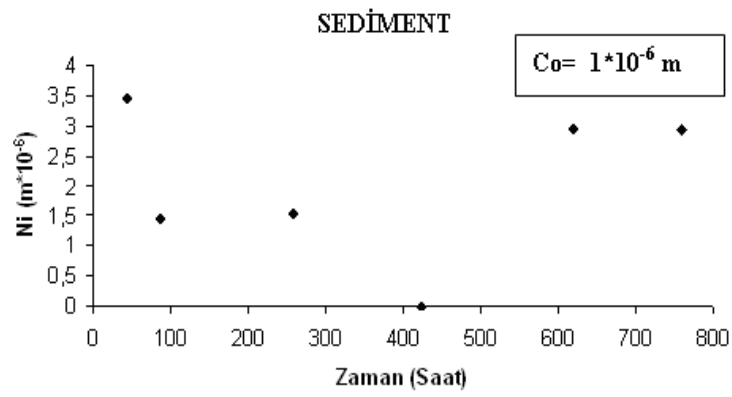
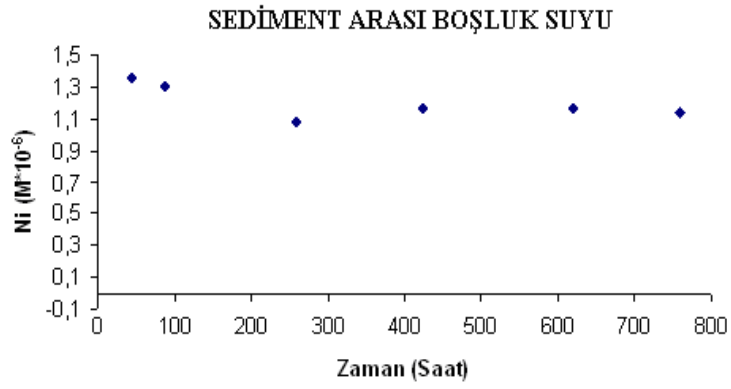
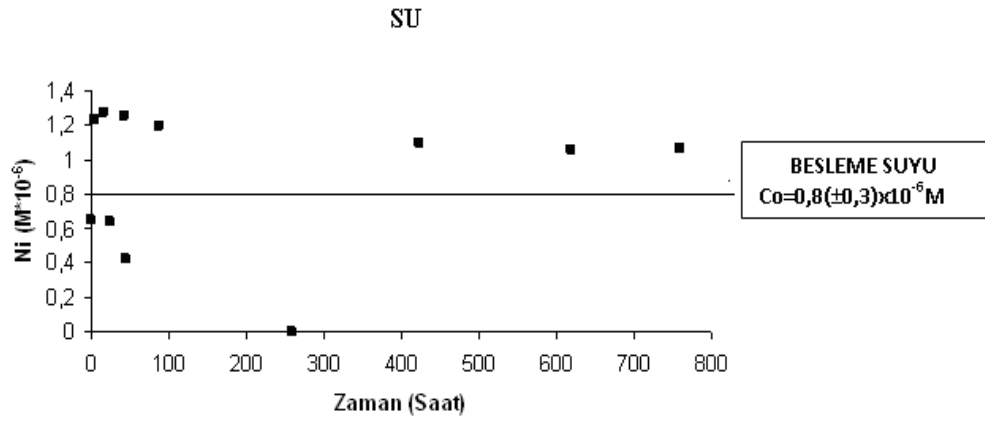
Şekil 4.61 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Cr değişimi



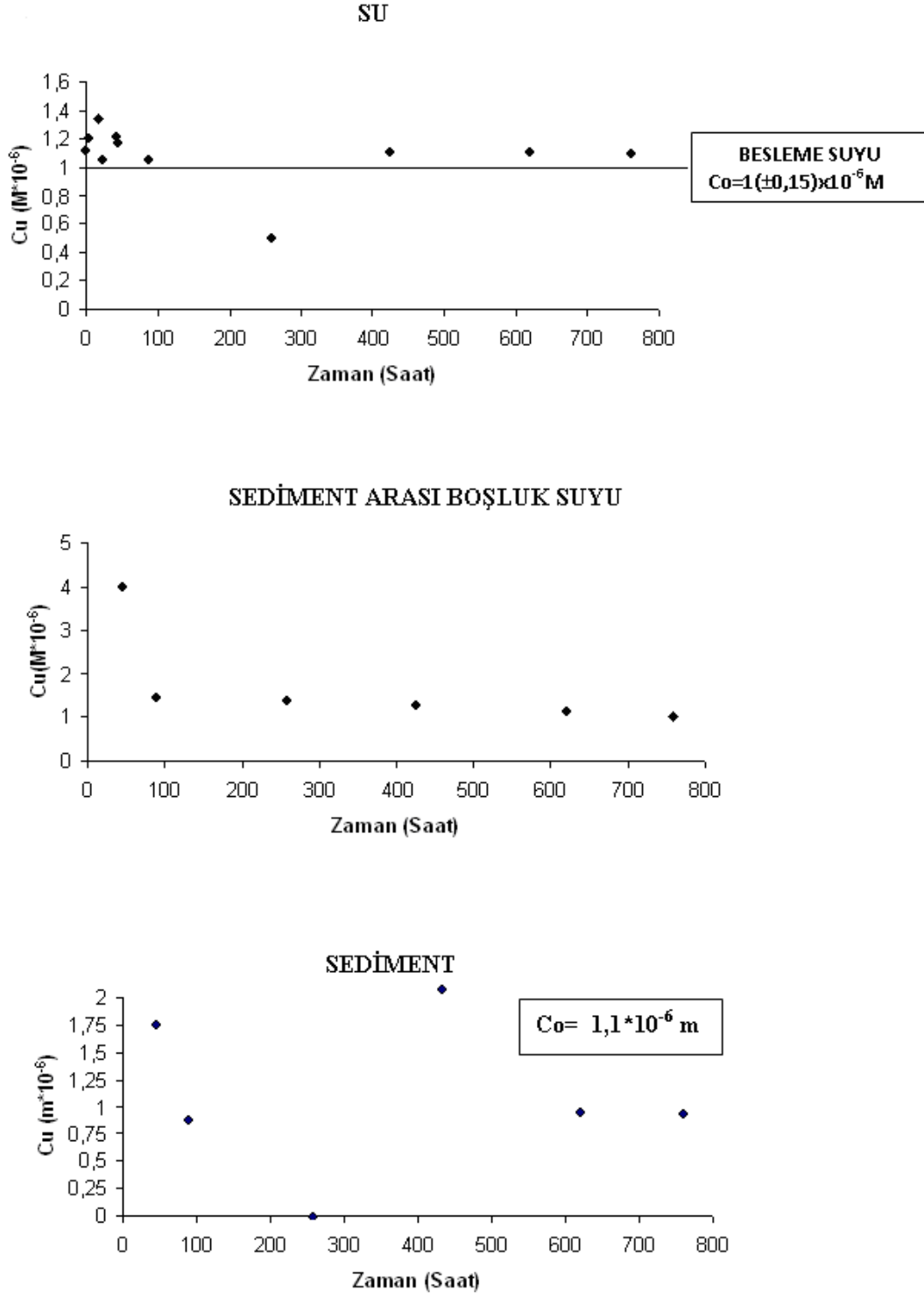
Şekil 4.62 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Mn değişimi



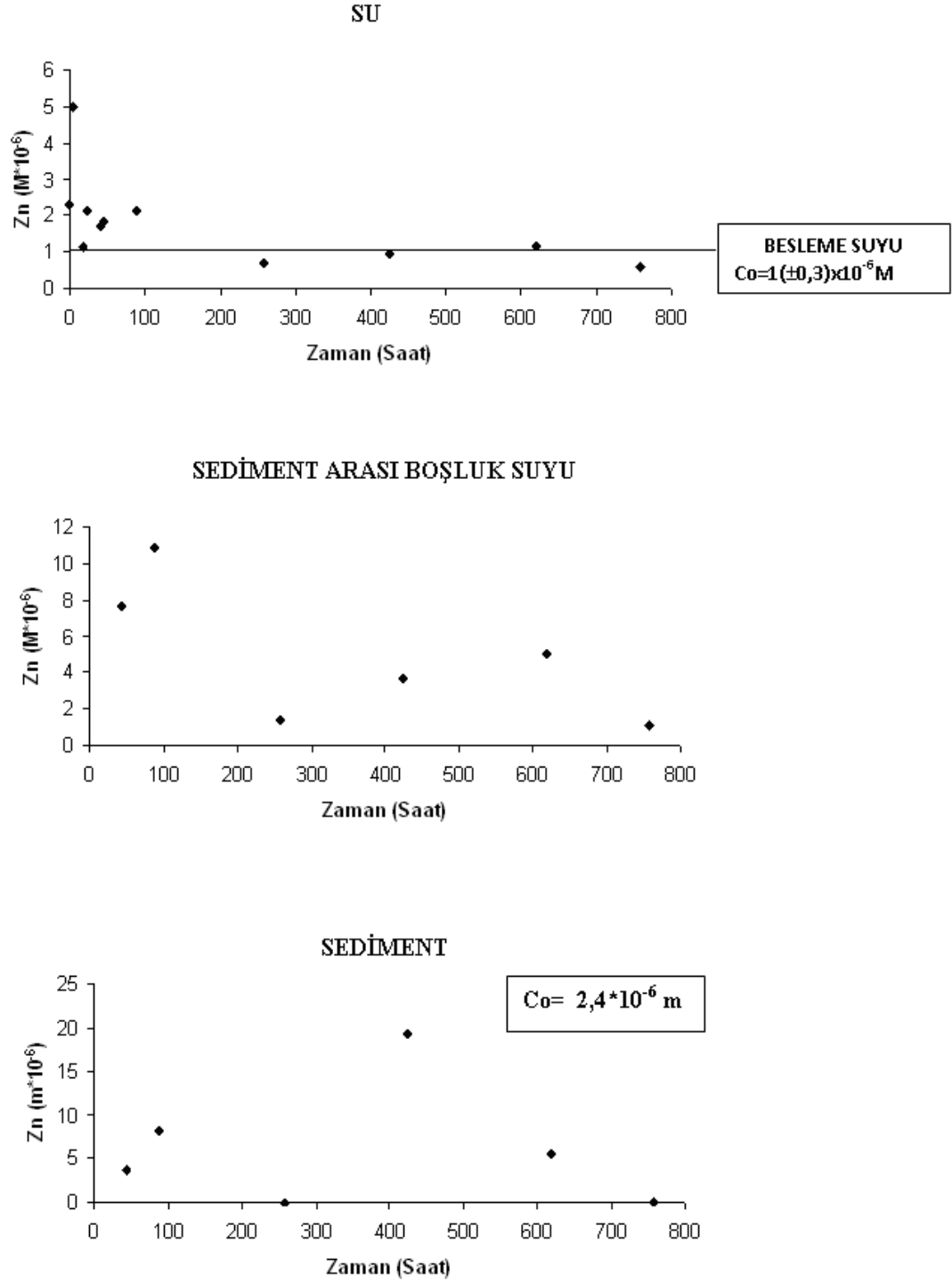
Şekil 4.63 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Fe değişimi



Şekil 4.64 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Ni değişimi



Şekil 4.65 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Cu değişimi



Şekil 4.66 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Zn değişimi

4.4.3 Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler

Denemeye başlanmadan önce (“Deneme Öncesi”) ve deneme bittikten sonra (“Deneme Sonrası”), *Cryptocoryne undulata* bitkisinin tüm organları (kök, gövde ve yaprak) ile deneme sürecinde oluşan organından (yeni yaprak) alınan numunelerde metal analizi yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen veriler bu bölümde irdelenmiştir.

4.4.3.1 Bitki Tarafından Alınan Elementler

Cryptocoryne undulata ile yapılan çalışmada; *incelenen bütün elementlerin* (Mg, Ca, Fe, Cr, Mn, Zn, Ni ve Cu), “Deneme Öncesinde” bitkinin *tüm organlarında* bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 4.67 A ve B).

“Deneme Sonrası”nda,

- Bitki bünyesinde “Deneme Öncesi”nde bulunan *elementlerin tamamının bulunduğu*,
- Bu elementlerin bitki bünyesindeki *miktarının rölatif olarak arttığı* tespit edilmiştir (Şekil 4.67 A ve B).

Bitkinin *tüm organlarındaki* element miktarları incelendiğinde, hem “Deneme Öncesi” hem de “Deneme Sonrası”, bitkinin tüm organlarında *en fazla bulunan elementlerin* Ca, Mg ve Fe olduğu görülmüştür (Şekil 4.67 A ve Çizelge 4.8 “Deneme Öncesi Metal Birikimi” ve “Deneme Sonrası Metal Birikimi”).

“Deneme Sonrasındaki” bitkinin tüm organlarındaki element miktarları incelendiğinde, Bitkinin *her organı için element birikiminin* farklı olduğu gözlemlenmiştir. Elementlerin en fazla *C.undulata*’nın kökünde biriktiği tespit edilmiştir. Örneğin,

- ✓ Mn elementinin, bitki yaprağının yaklaşık dört katı daha fazla olarak bitki kökünde bulunduğu,
- ✓ Zn’nın ise bitki yaprağının yaklaşık beş katı daha fazla oranında kökte biriktiği belirlenmiştir (Şekil 4.67 B).

Ca, Mg ve Fe’in, bitki yaprağına göre kökte daha fazla biriktiği (Şekil 4.67 A), Cr metalinin de yaprağa kadar taşınamayıp kökteki miktarının arttığı görülmektedir (Şekil 4.67 B). Bu bilgiler ışığında, *C.undulata*’nın *her organındaki birikimin farklı* olma nedenin, elementlerin *kapiler sistemle taşınma özelliklerine* bağlı olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.67).

Bitki organlarındaki *elementlerin birikim farklılığında*, kapiler sistemle taşınma özellikleri yanı sıra ortamdaki elementlerin de etkili olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, bitki bünyesine alınan *element miktarının ve element alım sıralamalarının* “Deneme Sonrası”nda

değiştirdiği sanılmaktadır. Benzer bir sonucuda Yoon vd. (2007) yaptıkları çalışmalarında görmüşler ve kök konsantrasyonu ve gövde ksilemi olarak bitki içinde bulunan kirletici konsantrasyonların, dışarıdaki kirletici içeren çözelti ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Elementler arasındaki tercih sırasının belirlenmesi için, bitki bünyesinde her elementin “Kısmi Miktarı” hesaplanmıştır. Bitkideki her elementin biriken toplam elemente oranı ve bu oranın başlangıç değeri ile kıyaslanması sonucunda, *C. undulata* için;

- Fe ve Mn’ı, Cr ve Mg’a göre tercih ettiği (Şekil 4.68),
- Zn, Cu ve Ni’in deneme sürecince değişmediği, bir başka deyişle bitkinin bu elementleri “Deneme Öncesi”nde sahip olduğu oranda bünyesinde tuttuğu (Şekil 4.68 B) görülmektedir.

Şekil 4.68 A ve B’de verilen bitki bünyesindeki elementlerin “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” değerleri karşılaştırıldığında, *C. undulata*’nın; aldığı elementlerin özelliğine bağlı olarak, bitkinin beslendiği ortamda birden çok elementin var oluşuna bağlı olarak elementler arası seçiciliği olduğu, biriktirdiği elementin birikim oranına bakıldığında ise kendi kapiler sistemine bağlı olarak bu seçiciliği önceliğe dönüştürdüğü anlaşılmaktadır.

Bitki bünyesine hangi elementin daha fazla alındığının belirlenmesi için yapılan “Rölatif Birikim” incelemeleri sonucunda, bitki organlarına göre değişen *farklı element alımları* olduğu görülmüştür (Çizelge 4.8 “Rölatif Birikim”). “Deneme Öncesi”ne göre “Deneme Sonrası”nda

- Bitki kökünde en fazla biriken metallerin Cu ve Mn,
- Yaprığında ise Mn ve Ni olduğu,
- Bitkinin tüm organlarında fazla olduğu belirlenen Mn’ın, en yüksek oranda kökte (~14 kat) bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.67 B).

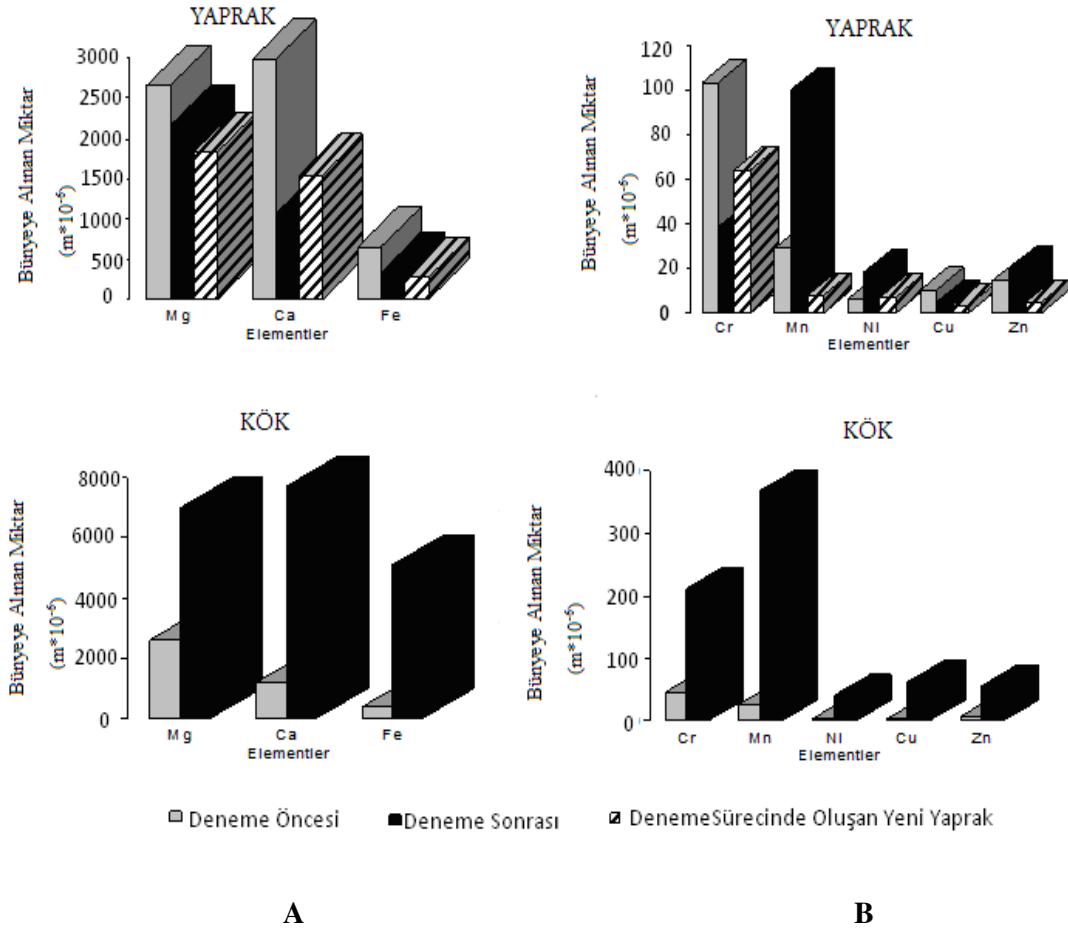
Bitkinin tüm organlarındaki “Rölatif Birikim” incelendiğinde, *bitkideki organların element alımında bir tercihi* olduğu izlenmektedir (Çizelge 4.9 “Rölatif Birikim”). Bitkinin Cu’ı Zn’den daha fazla bünyesine aldığı görülmektedir.

Çalışmada bitki izlemenin yanı sıra deneme sürecince reaktördeki su, sediment arası boşluk suyu ve sediment kalitesindeki değişimde izlenmiştir. Bu analizlerde bitkinin özellikle sediment arası boşluk suyundan bu elementleri aldığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64, Şekil 4.65 ve Şekil 4.66).

Deneme sürecince; sediment ile doğal ortamdan geldiği düşünülen kontrol dışı üreyen

bitkinin reaktörde büyümesi izlenmiş, ayrıca sediment üstünde de Haccettepe Üniversitesinde Yrd. Doç. Dr. Tahir Atıcı tarafından tanımı yapılan *Ulothrix sp.* mikro alginin ürettiği belirlenmiştir.

Şekil 4.69'dan da görüleceği gibi reaktörde kontrol dışı üreyen bitkinin ortamdaki metali bünyesine aldığı (özellikle Mg, Ca ve Fe'i) izlenmiştir.

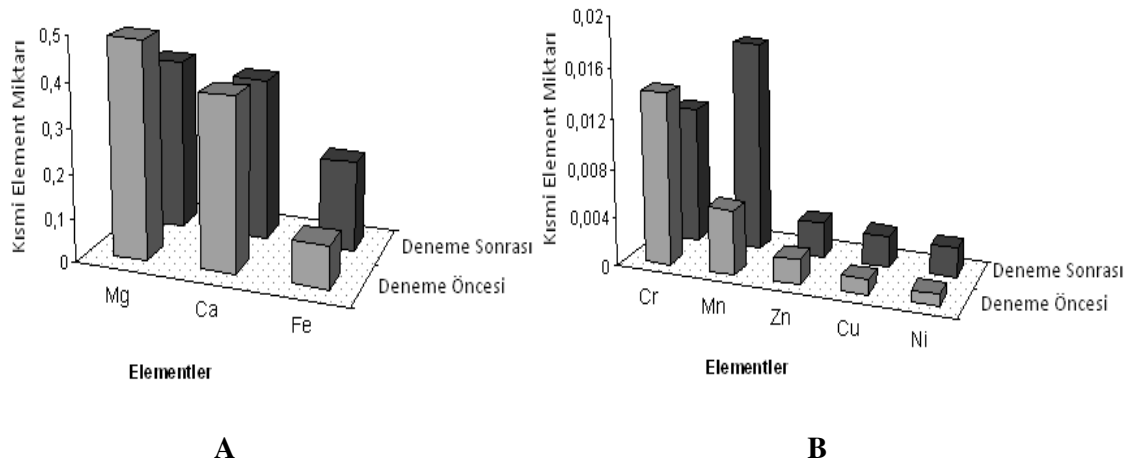


Şekil 4.67 *Cryptocoryne undulata* bünyesinde ölçülen metal miktarları

Çizelge 4.8 Bitki organlarının element alım tercihleri

Bitki Organları	Deneme Öncesi Metal Birikimi (m)	Deneme Sonrası Metal Birikimi (m)	Rölatif Birikim*
Yaprakta	Ca > Mg > Fe > Cr > Mn > Zn > Cu > Ni	Mg > Ca > Fe > Mn > Cr > Zn > Ni > Cu	Mn > Ni > Zn > Mg > Fe ~ Cu > Cr ~ Ca
Kökte	Mg > Ca > Fe > Cr > Mn > Zn > Ni > Cu	Mg > Ca > Fe > Mn > Cr > Cu > Zn > Ni	Cu > Mn > Fe > Ni > Zn > Ca > Cr > Mg

*Rölatif Birikim :Deneme Sonrası Metal Birikimi/ Deneme Öncesi Metal Birikimi



Şekil 4.68 *Cryptocoryne undulata*'daki "Kısmi Element Miktarları"

4.4.3.2 Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler

Deneme sırasında *Cryptocoryne undulata*'da yeni yapraklar oluşmuştur. Deneme sürecinde oluşan yeni yapraklar ile denemenin başlangıcında var olan yapraklarda (eski yapraklar) yapılan element analizlerinden elde edilen molalite değerlerine göre elementlerin büyükten küçüğe doğru yaprakta bulunma sırası aşağıda verilmiştir.

Deneme sonundaki eski yaprakta; Mg > Ca > Fe > Mn > Cr > Zn > Ni > Cu [i-8]

Deneme sonundaki yeni yaprakta; Mg > Ca > Fe > Cr > Mn > Ni > Zn > Cu [i-9]

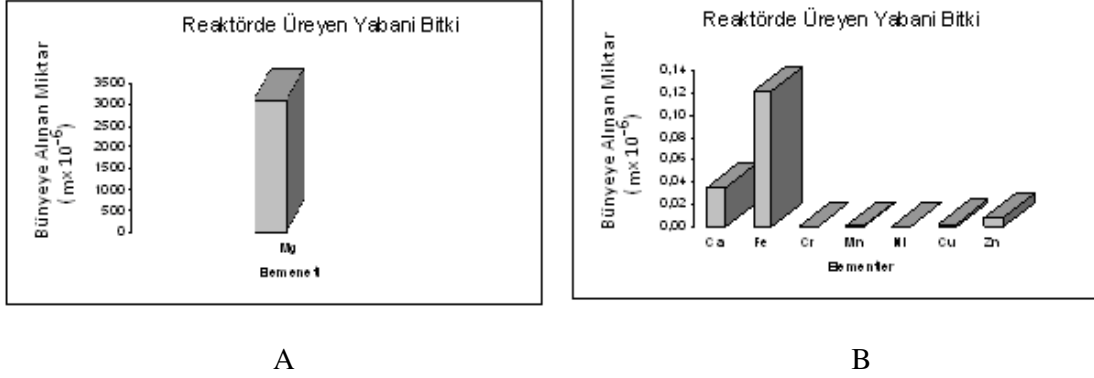
Yeni ve eski yapraklarda bulunan en yüksek molalitedeki metallerin aynı olduğu (Mg, Ca ve

Fe) ve her iki yaprakta aynı sıralamayla bulunduğu belirlenmiştir ([i-8] ve [i-9]). Aynı zamanda, yeni ve eski yapraklarda Cu'nın en az tercih edilen metal olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.12'de verildiği gibi klorofil oluşumunda Mg ve Fe'in, Ca'da bitki büyümesinde etkili olduğu liteartürde belirtilmiştir. Bu nedenle, bitki yaprağının özellikle fotosentez yapılması için gerekli olan klorofil pigmentini oluşturmayı ve büyümeyi tercih ettiği görülmektedir.

4.4.3.3 Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkinin Analiz Sonuçları

Cryptocoryne undulata ile yapılan çalışmada, *Echinodorus amazonicus* ile yapılan çalışmada görülen kontrol dışı üreyen bitki ile aynı tür olduğu düşünülen bitkinin ürettiği gözlemlenmiştir. *E. amazonicus* ile yapılan çalışmaya göre bu çalışmada kontrol dışı bitki daha seyrek üremiştir. Bu kontrol dışı bitki deneme sonunda reaktörden toplanıp kuru ağırlığı ölçüldüğünde 0,1 mg olarak bulunması nedeniyle bitkinin tümü parçalanarak element miktarı ölçülmüştür (Şekil 4.69).



Şekil 4.69 Deneme sürecinde *Cryptocoryne undulata* bulunan reaktörde kontrol dışı üreyen bitkinin metal miktarları

Kontrol dışı üreyen bitkinin element analiz sonuçları, bitkide elementlerin;

$$\text{Mg} > \text{Fe} > \text{Ca} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Ni}$$

[i-10]

şeklinde bulunduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada ve *E. amazonicus* ile yapılan çalışmada kontrol dışı üreyen bu bitkinin bünyelerine aldığı element miktarlarının ve bünyedeki element sıralamalarının farklı olduğu belirlenmiştir ([i-3] ve [i-10]).

Ortamdaki diğer metallere bağlı olarak bitkinin metal alım tercihinin değiştiği belirlenmiştir. Örneğin; *Echinodorus amazonicus* ile yapılan çalışma ile *Cryptocoryne undulata*'daki bitkilerin “Kısmi Element Miktarları” karşılaştırıldığında; *E.amazonicus* ile yapılan çalışmadaki bitkinin Cr'ı tercih etmediği için ortamda fazla bulunan Cr'ı, kontrol dışı üreyen bitkinin aldığı belirlenmiştir (*Echinodorus amazonicus* ile yapılan çalışmadaki kontrol dışı üreyen bitkide 25000×10^{-6} m Cr, *Cryptocoryne undulata*'daki kontrol dışı üreyen bitkide $0,0037 \times 10^{-6}$ m Cr olduğu görülmüştür).

Bu kontrol dışı bitkinin Cr'un olduğu ortamlarda, Mg alımını azaltıp, Cr alımını tercih ettiği, bu nedenle, her iki sette kontrol dışı üreyen bitkilerin bünyelerindeki element birikiminin farklı olduğu görülmüştür.

4.4.4 Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri

Ağır metal içeren suyla beslemenin ilk günlerinde, *Cryptocoryne undulata* bitkisinin yaprağının uç kısımlarında sararmalar gözlenmiştir (Şekil 4.70). Denemenin ilerleyen zaman dilimlerinde, yapraklardaki sararmaların artmadığı ve yeni yaprakların oluştuğu izlenmiştir (Şekil 4.71). Yapraktaki sararmaların yaprağın tamamını sarmaması ve yeni yaprak oluşumları nedeniyle, bitkinin ortama adapte olduğu tahmin edilmektedir.

Denemeye başlamadan önce alınan bitki yaprağı numuneleri ile deneme sonunda alınan bitki yaprağı numunelerinde klorofil a ve klorofil b analizleri yapılarak klorofil miktarlarındaki değişim izlenmiştir. Bitkiler deneme sonunda reaktörden çıkarılırken, yaprağın uç kısımlarındaki sararmış kısımlarda kopmalar meydana gelmiştir. Bu nedenle klorofil analizlerinde yaprağın sararmış kısımları dışındaki bölgeler kullanılmıştır. Bitki yaprağında meydana gelen kopmalar nedeniyle klorofil analizleri altı tekrarlı yapıp ortalamaları alınmıştır.

Deneysel çalışmanın sonunda, yaprakta yapılan klorofil analizleri, hem klorofil a, hem klorofil b değerlerinin “Deneme Öncesi”ne göre arttığını göstermiştir (Şekil 4.72). Klorofil a ve klorofil b'deki artışın paralel olmadığı, klorofil b'nin klorofil a'ya göre olumlu olarak daha fazla etkilendiği ve bu sebeple klorofil a/b oranının azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.72).

Klorofil miktarındaki değişimin, bitkinin bünyesine aldığı element miktarındaki değişim ile

ilgili olduğu düşünölmüş, bu yüzden bitkinin “Kısmi Element Miktar”larındaki değışim incelenmiştir (Şekil 4.68 A ve B).

Bitkinin bünyesinde bulunan her elementin “Kısmi Miktar”ları irdelendiğinde, Mg’un toplam elementler içindeki kısmi oranının değışmediğı, Mn’in arttığı, Ca’nın ise azaldığı görölmektedir (Şekil 4.68 A ve B)..

“Deneme Sonrası”nda incelenen diğerelementlerde olduğı gibi Ca’un da bitki bünyesindeki oranının artmasına rağmen (Şekil 4.67 A), bu elementin bitki bünyesindeki Ca “Kısmi Miktarı”nın azaldığı görölmektedir (Şekil 4.68 A).

Denemede kullanılan bitkilerin “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” organlarındaki değışim uzunluk olarak Çizelge 4.9’de verilmiştir. Denemeler sırasında oluşane yeni yaprak sayıları da aynı çizelgeye eklenmiştir.

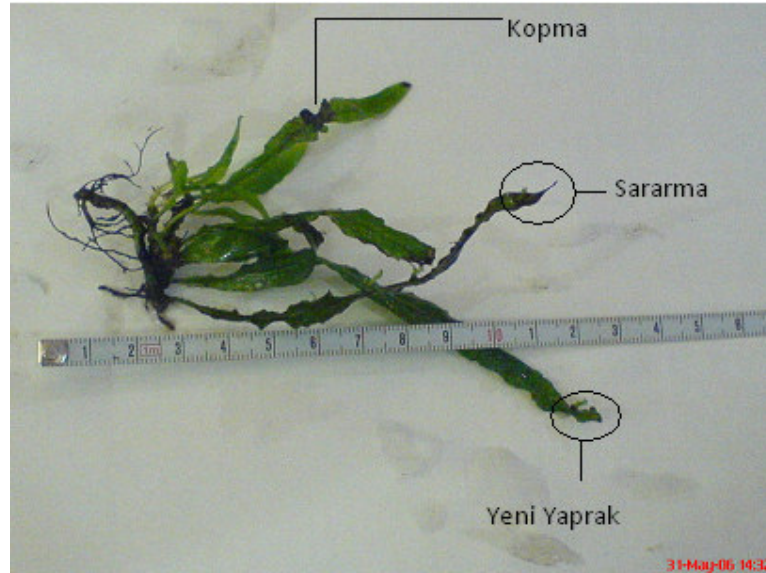
Bitkiler deneme sonunda reaktörden çıkarılırken, yaprakların ucunda deneme sırasında meydana gelmiş olan sararmış kısımlarda kopmalar meydana gelmiştir. Benzer şekilde, sediment yapıya sıkıca bağlanan bitki köklerinde de kopmalar olmuştur. Bu nedenlerden dolayı sağlıklı boy ölçümleri elde edilememesine rağmen, çalışmada kullanılan bitkilerin boylarının uzadığı ve yeni yaprakların oluştuğunu belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 2.12’de verildiğı gibi Fe ve Cu hem fotosentez için, hem de nükleik asitlerin (DNA ve RNA) oluşumuna yardımcı olmalarından dolayı büyüme için gereklidir. Bitki bünyesindeki bu elementlerin kısmi miktarlarının deneme sonunda arttığı şekilden izlenmektedir (Şekil 4.68 A ve B). Hücre bölünmesi ve büyümesi için gerekli olan Ca’un ise kısmi oranında azalma olmasına rağmen deneme sonunda bitkide en fazla bulunan ikinci element olduğı Çizelge 4.8’de görölmektedir. Büyümede ve yeni hücre oluşumunda görev alan bu metallerin bitki bünyesindeki artışlarına bağli olarak, bitkide yeni yaprakların oluştuğı ve bitki boyunun uzadığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.68 ve Çizelge 4.9).

Deneme sürecinde oluşane yeni yaprak miktarının, özellikle ışığın şiddetli geldiğı birinci sırada daha fazla olduğı görölmüştür. *C. undulata*’nın temiz suyla üretiminin sürdüröldüğü kontrol reaktöründe ise aynı ışığı almasına rağmen ancak denemenin sonunda yeni yaprakçıkların oluşabildiğini göstermiştir. Bu nedenle, bitkinin ışığı seven bir bitki olduğı ancak, kendisini besleyen sentetik suyun etkisiyle normale göre daha hızlı olarak yeni yaprak oluşturduğı anlaşılmıştır.

Çizelge 4.9 *Cryptocoryne undulata*'daki boy değişimi ve oluşan yeni yaprak sayısı

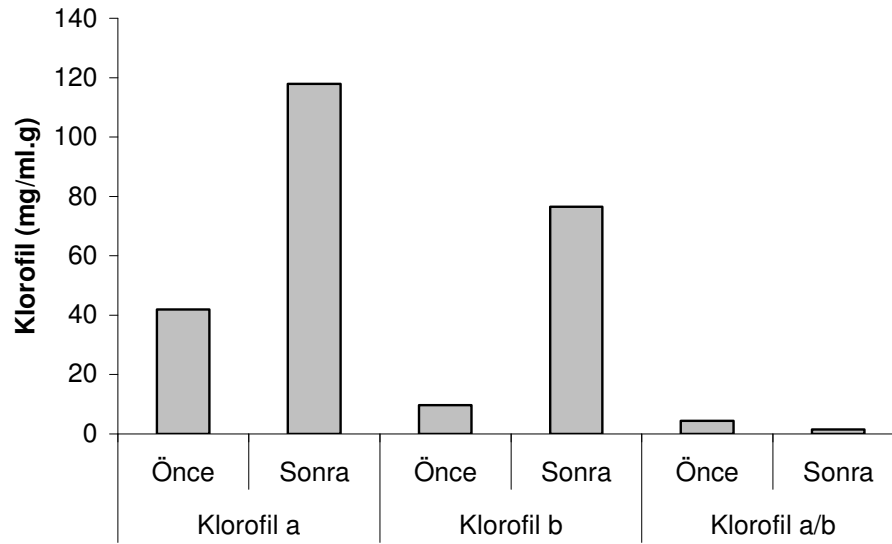
	DENEME ÖNCESİ		DENEME SONRASI		YENİ YAPRAK (Adet)
<i>1. Sıra</i>	KÖK (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	YAPRAK (cm)	
1. Bitki	2	14	3,5	30	36
2.Bitki	2	10	2,5	10	12
3. Bitki	3,5	10	2,8	8,8	9
<i>2. Sıra</i>	KÖK (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	YAPRAK (cm)	YENİ YAPRAK (Adet)
1.Bitki	1,5	7,5	1,5	7,5	1
2.Bitki	0,7	5	0,7	5	2
3.Bitki	2	10	2	7	0



Şekil 4.70 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın görünüşü

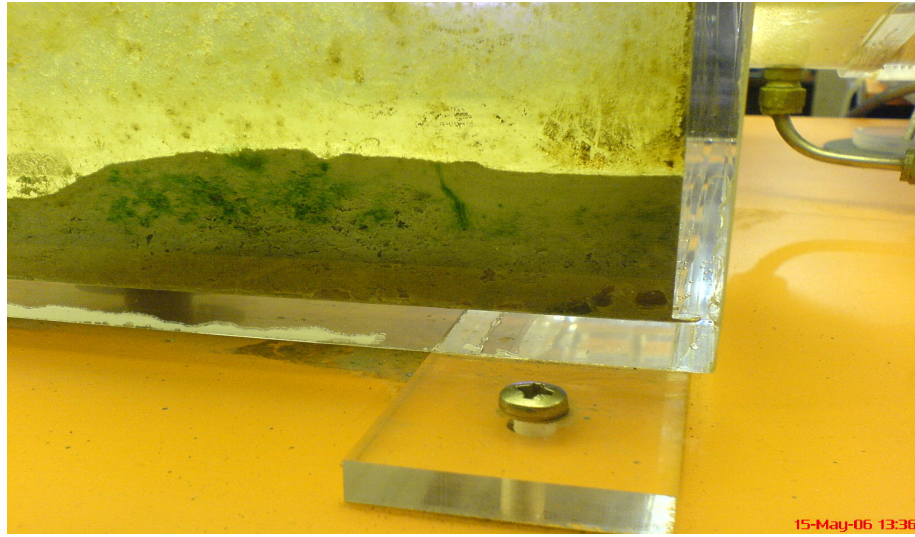


Şekil 4.71 Deneme Sürecinde *Cryptocoryne undulata*'da oluşan yeni yapraklar



Şekil 4.72 *Cryptocoryne undulata*'daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b'deki değişim

Hem *E. amazonicus* hem de *C. undulata* ile çalıştırılan iki reaktörün özellikle sediment yapısında yapılan mikroskop incelemelerinde bol miktarda diatoma görülmüştür. Ayrıca dominant halde ipliksi form olan *Ulothrix sp.* (mikro alg) tespit edilmiştir. Bu mikroorganizmaların *E. amazonicus* ile yapılan çalışmada, *C. undulata* ile yapılan çalışmaya göre daha yoğun olarak bulunduğu gözlemlenmiştir. Deneme bittiğinde reaktörden bitkiler çıkarılmış ve besleme durdurulmuş ancak reaktördeki mevcut sediment ve su boşaltılmamıştır. Deneme bittikten yaklaşık 330 gün sonra mikro alg yoğunluğunun çıplak gözle görülür hale geldiği izlenmiştir (Şekil 4.73).



Şekil 4.73 Deneme bittikten yaklaşık 330 saat sonraki sediment görüntüsü

4.5 *Cryptocoryne undulata* ile Yapılan İkinci Deneme

Bu çalışmada kullanılan bitki türü (*Cryptocoryne undulata*) ile önceki çalışmada kullanılan bitki türü aynı, fakat deneme koşulları farklıdır. Bu çalışmada eşit molarite (2×10^{-6} M) içeren sentetik besleme suyu ile 1057 saat, önceki çalışmada ise doğal ortam koşulları göz önüne alınarak hazırlanan sentetik besleme suyu ile yaklaşık 760 saatlik deneme yapılmıştır (Çizelge 4.1). Farklı deneme koşullarında çalışılmasına rağmen aynı tür bitki kullanılması nedeniyle bu çalışmada elde edilen bazı su kalite parametre değerleri ile önceki çalışmada elde edilen değerler beraber irdelenmiştir.

4.5.1 Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler

Cryptocoryne undulata'nın kullanıldığı bu çalışmada reaktörden çıkan suların pH değerlerinin ($8\pm0,3$), aynı bitki türünün kullanıldığı önceki çalışmadakine ($8\pm0,4$) benzer olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.54 ve Şekil 4.74).

Bu çalışmada reaktör girişi ve çıkışında yapılan alkalinite analizleri, reaktör çıkışındaki suda alkalinite değerinin arttığını göstermektedir (Şekil 4.75). Reaktör çıkış suyunda yapılan element analizi, diğer bitkilerle yapılan çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da Mg'un reaktör çıkış suyunda arttığını göstermiştir (Şekil 4.79). reaktör giriş suyundaki miktarından fazla olarak reaktör çıkış suyunda Ca'un da bulunduğu Şekil 4.80'den izlenmektedir. Bu nedenle, Mg ve Ca'un sedimentte CO_3 bileşiği şeklinde bulunduğu ve çözünerek suya Mg ve Ca iyonunu verdiği tahmin edilmektedir. Çözünen bu bileşiklerden suya geçen diğer iyon olan CO_3^{2-} 'ın ise alkalitenin artmasına neden olduğu tahmin edilmektedir.

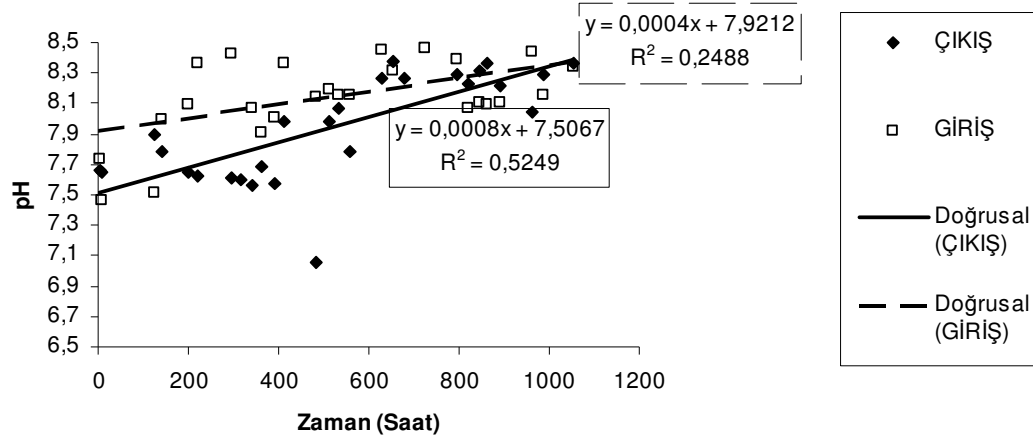
C. undulata ile yapılan bu çalışmada reaktör girişindeki suyun çözünmüş oksijen değerinin reaktör çıkış suyundan fazla olduğu Şekil 4.76'da görülmektedir. Ayrıca, reaktör giriş suyundaki çözünmüş oksijen değeri ile diğer bitkilerle yapılan çalışmaların reaktör giriş sularındaki çözünmüş oksijen değerleri kıyaslandığında, bu çalışmada çözünmüş oksijen değerinin diğer çalışmalara göre fazla olduğu görülmüştür. Bunun, bu çalışmada besleme suyunda elementlerin homojenliğini sağlamak için sistemin karışımı sonunda suyun oksijence zenginleştirilmesine bağlı olduğu tahmin edilmektedir.

Reaktörden çıkan sudaki çözünmüş oksijen miktarının ilk 250 saat içinde azaldığı, daha sonra çözünmüş oksijen değerinin (3.7 ± 0.4) dengelendiği Şekil 4.76'da görülmektedir. Denemenin başlangıcında reaktör çıkış suyunda çözünmüş oksijen değerinin yüksek olması, denemenin hazırlık aşamasında yüksek oranda çözünmüş oksijen içeren suyla reaktörün beslenmesi ile ilintilidir.

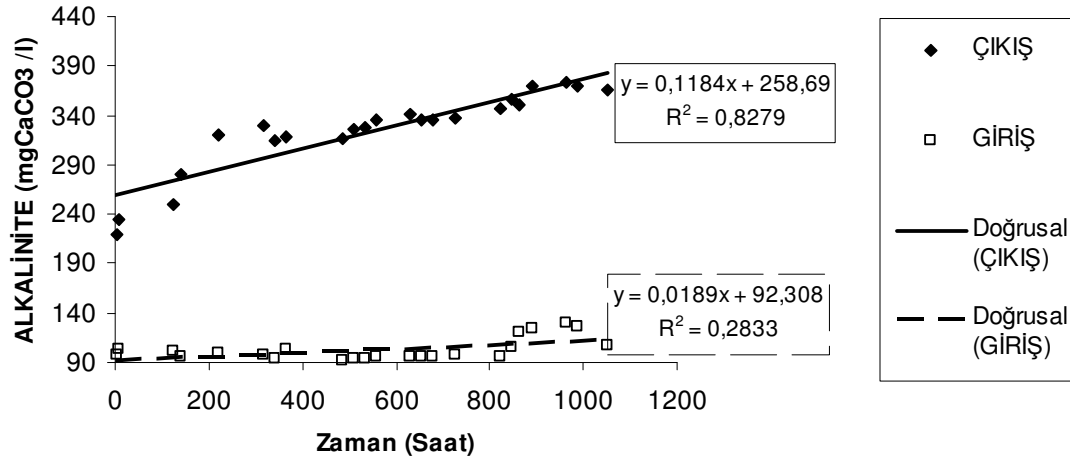
C. undulata ile yapılan bu denemede, reaktör çıkış suyunda tuzluluk ve iletkenlik analizleri her iki parametrenin ilk 200 saat içinde arttığını, daha sonra dengeye ulaştığını (tuzluluk için 1.1 ± 0.1 , iletkenlik için 2.4 ± 0.2) göstermektedir (Şekil 4.77 ve 6.78). Denemenin ilk 200 saatinde reaktör çıkış suyunda tuzluluk ve iletkenlik değerlerinde görülen artışın nedeninin, sedimentteki iletkenlik ve tuzluluğa neden olan çözünebilir maddelerin suya geçmesi olduğu tahmin edilmektedir. Su ve sedimentte yapılan analizlerde, bu dönemde reaktör çıkış suyunda iletkenliğine neden olan Mg, Ca ve Mn'in çıkış suyunda arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.79, Şekil 4.80 ve Şekil 4.82).

Denemenin 200. saatinden sonra reaktör çıkış suyundaki tuzluluk ve iletkenlik değerlerinin

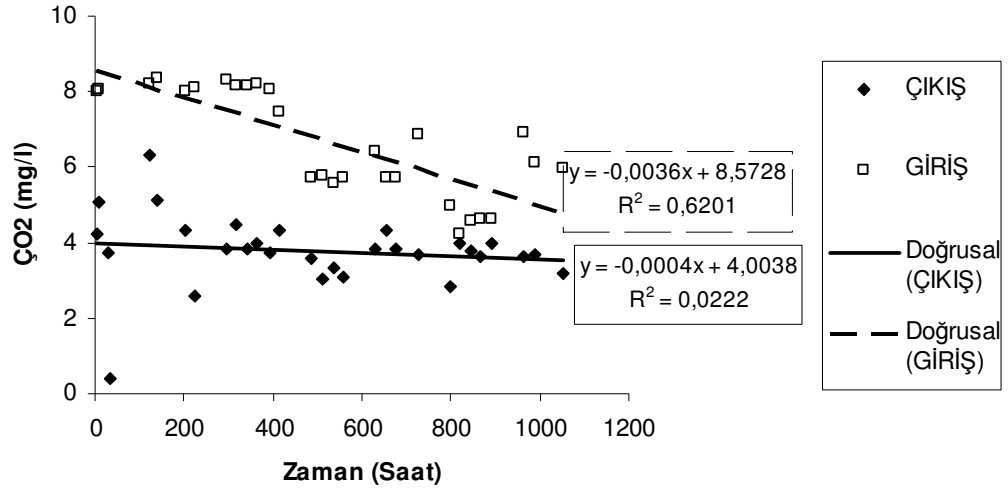
dengeye ulaşmasının, *C. undulata*'nın Mg, Ca ve Mn'ı yaşam sürecinde kullanılmasından dolayı, reaktör çıkış suyundaki bu elementlerin sudaki miktarlarının toplamının fazla değişmemesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



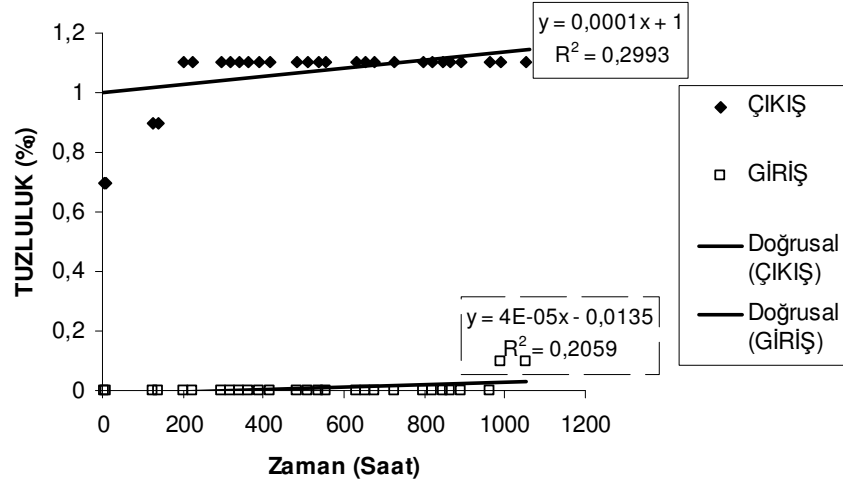
Şekil 4.74 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda pH değişimi



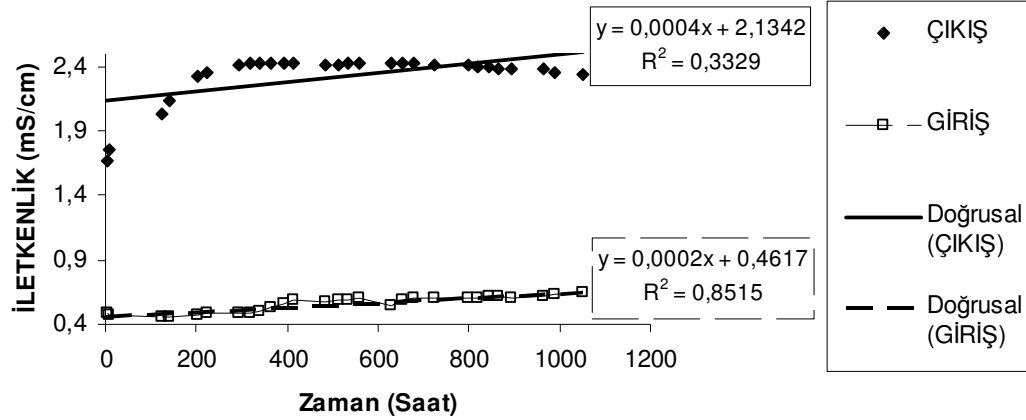
Şekil 4.75 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi



Şekil 4.76 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇO₂) değişimi



Şekil 4.77 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda tuzluluk değişimi



Şekil 4.78 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi

4.5.2 Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu ve Sediment Yapıda Metal Değişimleri

Bu üç yapıda (su, sediment arası boşluk suyu ve sediment) biriken metal analizleri standart metotlara uygun olarak yapılmış ve sonuçları Şekil 4.79'dan Şekil 4.86'ya kadar olan grafiklerde verilmiştir. Elde edilen verilere göre:

Mg:

C. undulata ile yapılan bu denemede, reaktör çıkış suyundaki Mg miktarının, giriş suyundaki Mg miktarından fazla olduğu Şekil 4.79'da izlenmektedir.

Deneme başlamadan önce reaktöre yerleştirilen sedimentteki Mg miktarının deneme sürecinde azaldığı görülmektedir (Şekil 4.79).

Reaktör çıkış suyunda Mg miktarının artmasının nedenin sedimentteki Mg'un sediment arası boşluk suyuna oradan da suya geçmesiyle olduğu tahmin edilmektedir. Sedimentteki elementlerin suya geçebildiğini Benamar vd. (1999) de çalışmalarında rapor etmiştir.

Ayrıca, reaktördeki bu üç yapının toplamında bulunan Mg miktarının, deneme öncesi sisteme verilen miktardan fazla olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.79). Bitkideki element miktarındaki değişim incelendiğinde ise "Deneme Sonrası" *C. undulata*'daki Mg'ın "Kısmi Miktarı"nın azaldığını göstermiştir. (Şekil 4.90 A). Bu nedenlerden dolayı *C. undulata*'nın ortamdaki Mg'ı bünyesine almadığı gibi bünyesindekini de sisteme verdiği tahmin edilmektedir.

Ca:

C. undulata ile yapılan bu denemede reaktörden çıkan sudaki Ca miktarının reaktöre giren sudan fazla olduğu izlenmektedir (Şekil 4.80).

Sediment arası boşluk suyundaki Ca miktarının denemenin ilk günlerinde (ilk 200 saat) arttığı daha sonra azaldığı görülmektedir (Şekil 4.80).

Deneme süresince rizosfer bölgesindeki sedimentteki Ca miktarının, denemeye başlamadan önce reaktöre yerleştirilen sedimentteki miktarından az olduğu izlenmektedir (Şekil 4.80).

Sedimentteki Ca'un denemenin başlangıcında sediment arası boşluk suyuna, oradan da suya geçtiği ve bu nedenle çıkış suyundaki miktarının arttığı tahmin edilmektedir.

Denemenin yaklaşık 13. gününden sonra (~300. saat) sediment, sediment arası boşluk suyu ve reaktör çıkış suyunda Ca miktarının azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.80). Bu azalmada *C. undulata*'nın ortamdaki Ca'u bünyesine almasının etkili olduğu tahmin edilmektedir. Denemenin yaklaşık 25 gününden (~600. saat) sonra sedimentte ve reaktör çıkış suyunda Ca miktarında artışlar izlenmektedir. Bu nedenle *C. undulata*'nın Ca alımını, denemenin 25. gününden sonra azalttığı tahmin edilmektedir.

C. undulata bünyesindeki “Deneme Öncesi”ne göre “Deneme Sonrası”ndaki element miktarlarındaki değişim, bitkinin Ca elementini bünyesine aldığını göstermiştir (Şekil 4.89).

Cr:

Deneme süresince reaktörden çıkan sudaki Cr miktarının reaktöre giren sudaki miktarından fazla olduğu izlenmektedir (Şekil 4.81).

Denemenin ilk saatlerinde (ilk 50 saat) reaktör çıkış suyunda, rizosfer bölgesindeki sediment arası boşluk suyundaki ve sedimentteki Cr miktarının azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.81).

Deneme süresince sedimentteki Cr miktarının deneme başlamadan önceki miktarından az olduğu görülmektedir.

Sedimentteki Cr'ın, sediment arası boşluk suyundan suya geçtiği, bu nedenle reaktörden çıkan sudaki Cr miktarının reaktöre giren sudaki miktarından fazla olduğu tahmin edilmektedir. Sedimentteki elementlerin suya geçebildiğini, Benamar vd. (1999) de çalışmalarında rapor etmiştir.

Şekil 4.89 B'de gösterilen veriler, bitkinin ortamdaki Cr'u az da olsa bünyesine aldığı göstermektedir.

Mn:

Reaktör giriş suyunda $0,2 \times 10^{-6}$ M olarak bulunan Mn'in reaktör çıkışındaki miktarının değişiklik gösterdiği izlenmektedir (Şekil 4.82).

Sediment arası boşluk suyundaki Mn miktarının denemenin başlangıcında (ilk ~300 saat) azaldığı, sonraki yaklaşık 8 gün boyunca Mn miktarının arttığı, bunu takip eden yaklaşık 4 gün içinde azaldığı ve denemenin yaklaşık 31. gününden (750. saat) sonra tekrar arttığı görülmektedir (Şekil 4.82).

Deneme süresince sedimentteki Mn miktarının denemenin hazırlık aşamasında reaktöre konulan sedimentteki Mn miktarından az olduğu izlenmektedir (Şekil 4.82).

Denemenin herhangi bir anında su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentteki toplam Mn miktarının, deneme öncesindeki toplam miktarından az olduğu görülmektedir. Hem ortamdaki Mn miktarının azalması hem de *C. undulata*'da yapılan element analizinde "Deneme Sonrası" bitki bünyesindeki Mn miktarının "Deneme Öncesi"ne göre arttığının belirlenmesi nedeniyle (Şekil 4.89 B), bitkinin ortamdaki Mn'ı bünyesine aldığı tahmin edilmektedir.

Deneme başladıktan yaklaşık 31 gün (~750. saat) sonra su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentteki Mn miktarının arttığı belirlenmiştir. Bu dönemde bitkinin Mn alımını azalttığı, bu nedenle bu üç yapıda Mn miktarının arttığı tahmin edilmektedir.

Fe:

Reaktörden çıkan sudaki Fe miktarının, reaktöre giren suda bulunan miktarından fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.83).

Denemenin ilk günlerinde sediment arası boşluk suyundaki Fe miktarının yaklaşık aynı olduğu, daha sonra arttığı ve tekrardan azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.83).

C. undulata ile yapılan çalışmada, deneme süresince sedimentteki Fe miktarının denemenin hazırlık aşamasında reaktöre yerleştirilen sedimentteki miktarından az olduğu görülmektedir (Şekil 4.83).

Reaktör çıkış suyunda Fe miktarının artması ve sedimentteki Fe oranının azalması nedeniyle, Fe'in sedimentten suya doğru hareket ettiği; denemenin yaklaşık 17. gününden sonra yaklaşık 8 gün boyunca (~400 ile ~600. saatler arası) sediment arası boşluk suyunda, bundan sonraki yaklaşık 11 gün boyunca da (~600 ile ~850. saatler arası) sedimentteki Fe miktarlarının artması nedeniyle, Fe'in sediment arası boşluk suyundan sedimente geçerek tekrar sedimentte birikmeye başladığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.83).

Denemenin ilk günlerinde (ilk 200 saat) sediment arası boşluk suyundaki miktarının fazla değişmemesi, reaktör çıkış suyu ve sedimentte görülen Fe miktarındaki azalmaların bitki alımı ile ilintili olduğu tahmin edilmektedir. Bu fikri, *C. undulata*'da yapılan element analizinde bitki bünyesindeki Fe miktarının “Deneme Sonrası”nda artmasının belirlenmesi desteklemektedir (Şekil 4.89 A).

Ni:

Denemenin başlangıcında, reaktör çıkış suyundaki Ni miktarının, reaktöre giren sudaki miktarından dört kat daha fazla olduğu, denemenin ilk saatlerinde azalarak reaktör giriş suyundaki miktarının da altına indiği Şekil 4.84’de izlenmektedir.

Deneme süresinde reaktör çıkış suyundaki Ni miktarının zaman zaman arttığı ve tekrardan azaldığı görülmektedir (Şekil 4.84).

Denemenin başlangıcında (ilk 150 saat), hem sediment arası boşluk suyunda hem de sedimentte Ni miktarının azaldığı aynı şekilde izlenmektedir. Bunu takip eden dönemlerde ise sedimentteki Ni miktarı azaldığında, sediment arası boşluk suyundaki Ni miktarının arttığı görülmektedir (Şekil 4.84).

Deneme başladıktan yaklaşık 29 gün (~700 saat) sonra Ni miktarının; reaktör çıkış suyu, sediment arası boşluk suyu ve sedimentte arttığı görülmektedir (Şekil 4.84).

Denemenin başlangıcında reaktör içindeki üç yapıda Ni miktarının azalmasından dolayı *C. undulata*'nın Ni’i bu dönemde bünyesine aldığı, daha sonra alımın durduğu ve denemenin 29. gününden sonra bünyesindeki Ni’i sisteme geri verdiği tahmin edilmektedir.

Cu:

Denemenin ilk günlerinde (~ ilk 200 saat) reaktörden çıkan sudaki Cu miktarının reaktöre giren sudaki Cu miktarını geçmediği Şekil 4.85’de izlenmektedir.

Denemenin başlangıcında sedimentteki Cu miktarının azaldığı ve deneme süresince sedimentteki Cu miktarının denemenin hazırlık aşamasında reaktöre konulan sedimentteki Cu miktarından az olduğu görülmektedir (Şekil 4.85).

Denemenin yaklaşık 23. gününden sonra reaktör çıkış suyunda Cu miktarının azaldığı, sediment yapıda ise Cu miktarının arttığı izlenmektedir (Şekil 4.85).

Denemenin ilk günlerinde sedimentteki Cu’ın suya geçtiği, daha sonra sudaki Cu tekrardan sediment yapıya geçtiği tahmin edilmektedir.

Reaktör içindeki Cu miktarı izlendiğinde, denemenin başlangıcında reaktördeki toplam Cu

miktarının azaldığı, bu azalmada bitki alımının etkili olduğu, denemenin ilerleyen günlerinde toplam Cu miktarının sistemde arttığı, bu nedenle de bitki bünyesindeki Cu'nun ortama verildiği tahmin edilmektedir. *C. undulata*'da yapılan element analizleri de "Deneme Sonrası" bitki bünyesindeki Cu miktarının "Deneme Öncesi"ne göre az olduğunu göstermiştir (Şekil 4.89 B).

Zn:

Denemenin başında reaktörden çıkan suda Zn miktarının reaktöre giren sudan fazla olduğu ve denemenin ilk saatlerinde reaktör çıkış suyundaki Zn miktarının azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.86).

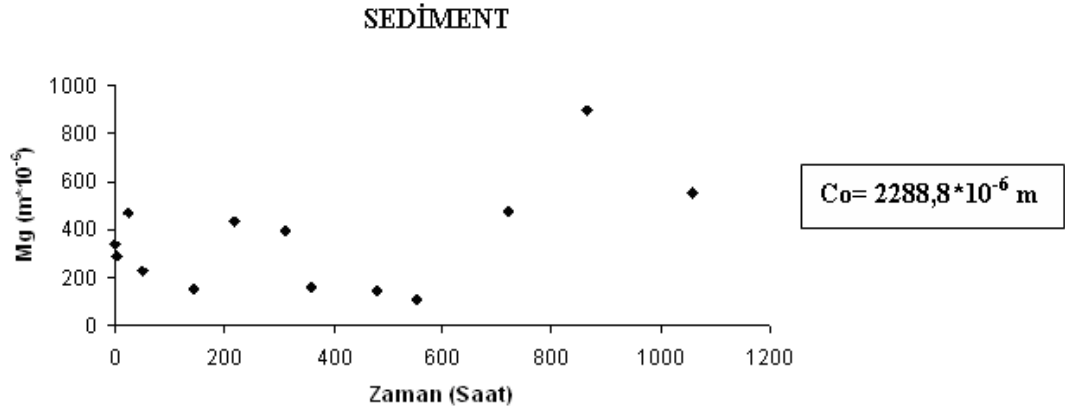
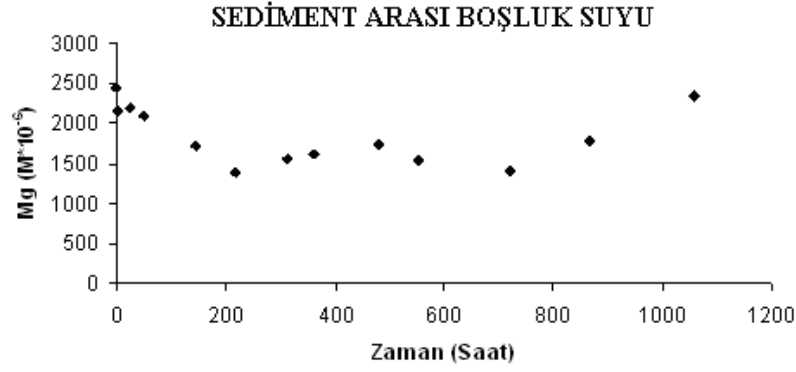
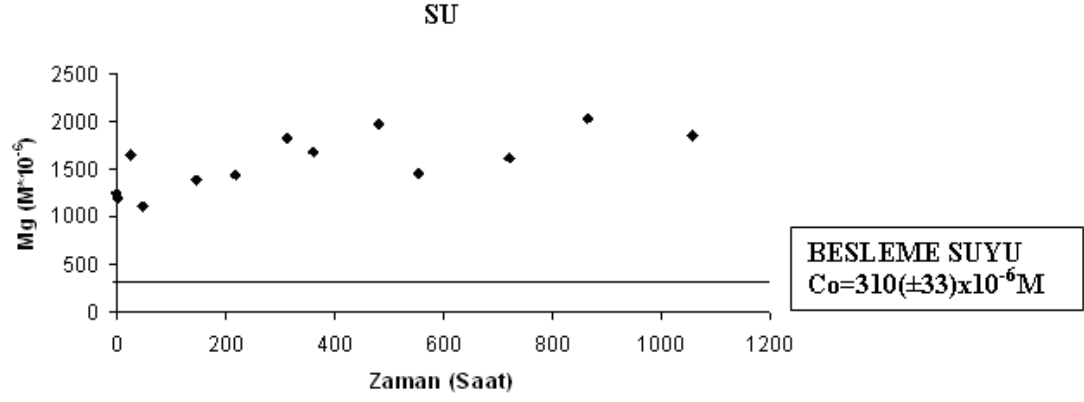
Deneme başladıktan yaklaşık 6 gün (~150 saat) sonra reaktör çıkış suyunda, sediment arası boşluk suyunda ve sedimentte arttığı, ayrıca her üç yapıdaki Zn miktarının yaklaşık 4 gün sonra tekrardan azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.86).

Deneme başladıktan yaklaşık 29 gün (~700. saat) sonra reaktör çıkış suyu ve sediment arası boşluk suyundaki Zn'nın azalırken, sedimentteki miktarının arttığı görülmektedir.

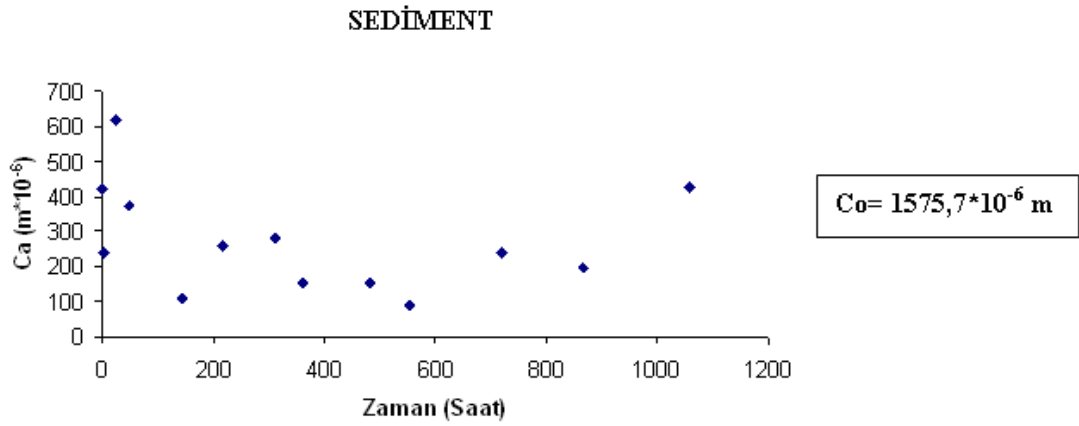
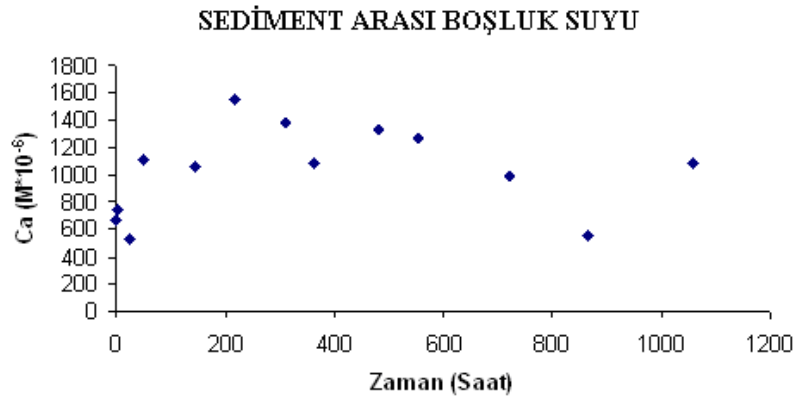
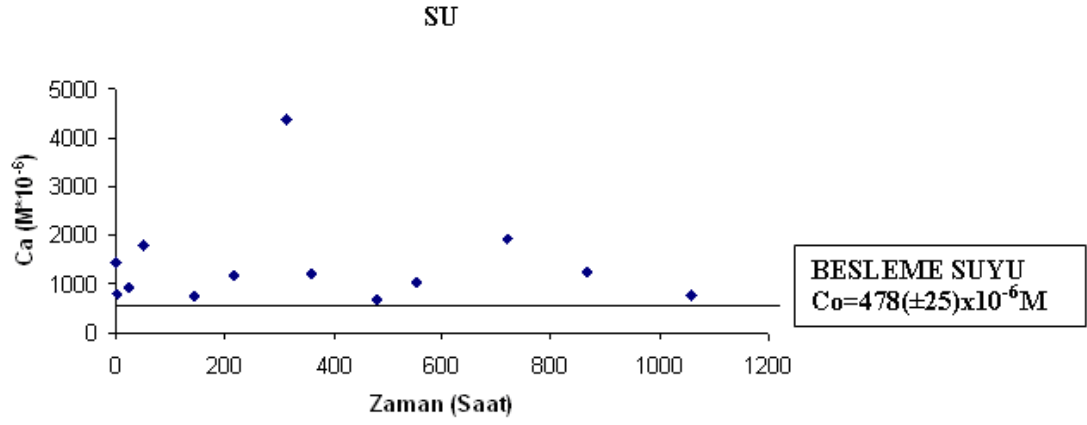
Reaktör çıkış suyunda ve sediment arası boşluk suyunda Zn miktarının arttığı dönemlerde sedimentteki miktarının azalması, reaktör çıkış suyunda ve sediment arası boşluk suyunda Zn miktarının azaldığı dönemlerde ise sedimentteki Zn miktarının artması nedeniyle, Zn'nun sediment yapıya zayıf bağlandığı ve kolaylıkla diğer yapılara geçtiği, bu yapılardan tekrar sedimente geçtiği tahmin edilmektedir. Xue vd. (2003) sucul ortamlarda yaptıkları çalışmada, ortamdaki çinkonun organik maddelerle zayıf organometalik yapılar oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Denemenin başlangıcında sistemdeki toplam Zn miktarında görülen azalmanın, ortamdaki Zn'nın bitki bünyesine almasından kaynaklandığı, daha sonra bünyesindeki Zn'yı ortama geri verdiği bu nedenle ortamdaki Zn miktarının arttığı, ancak denemenin sonlarında tekrardan bitkinin Zn'yı bünyesine aldığı tahmin edilmektedir.

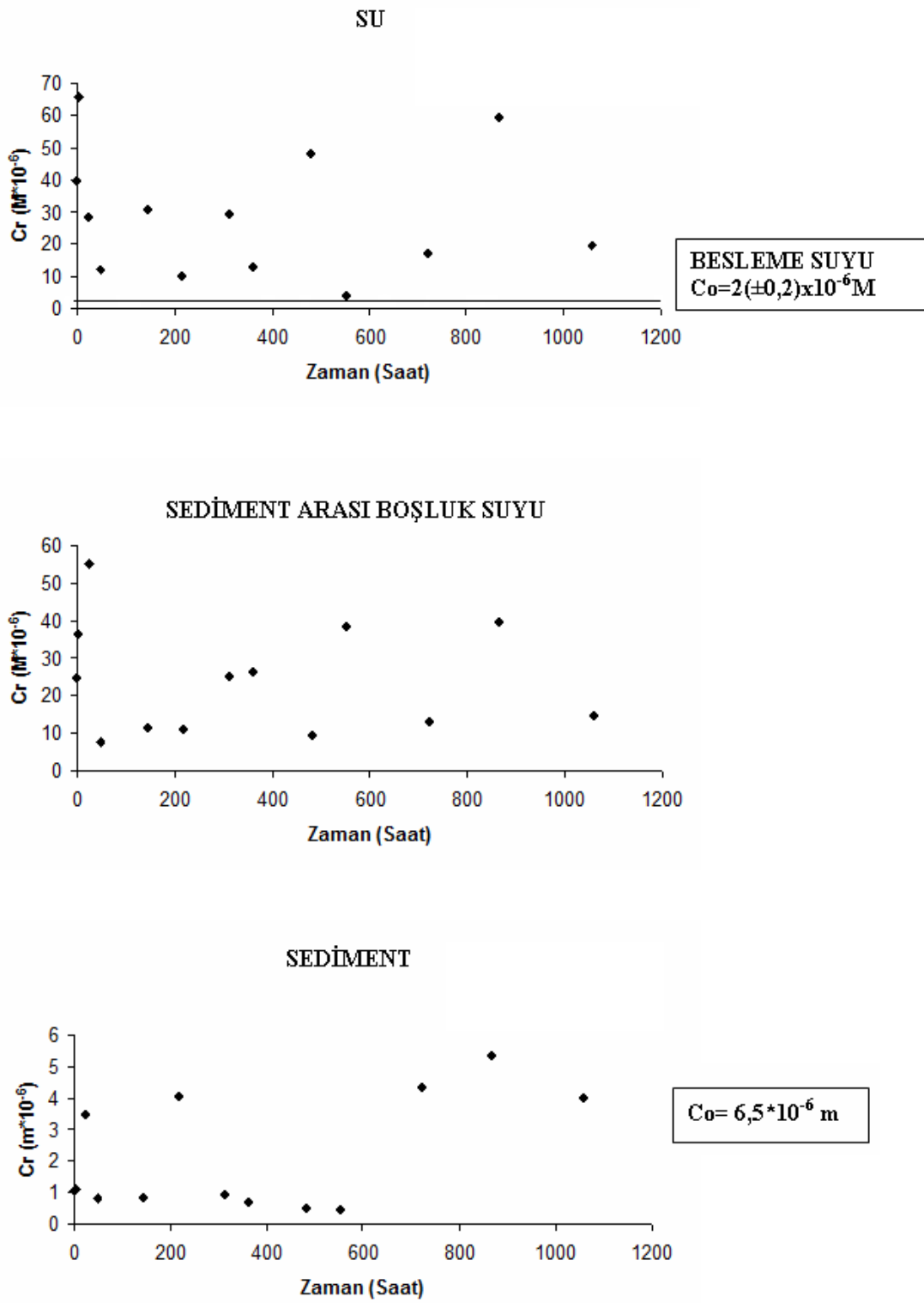
Denemede kullanılan *C. undulata*'dan alınan bitki örneğindeki Zn birikimi organlarına göre irdelendiğinde, deneme bittiğinde yapraktaki Zn miktarının "Deneme Öncesi"ne göre azaldığı, kökteki Zn miktarının ise arttığını göstermiştir (Şekil 4.89 B).



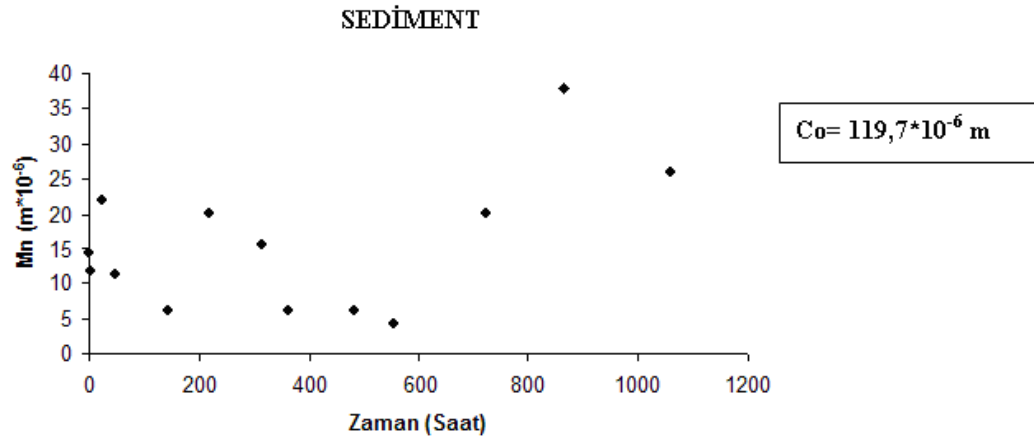
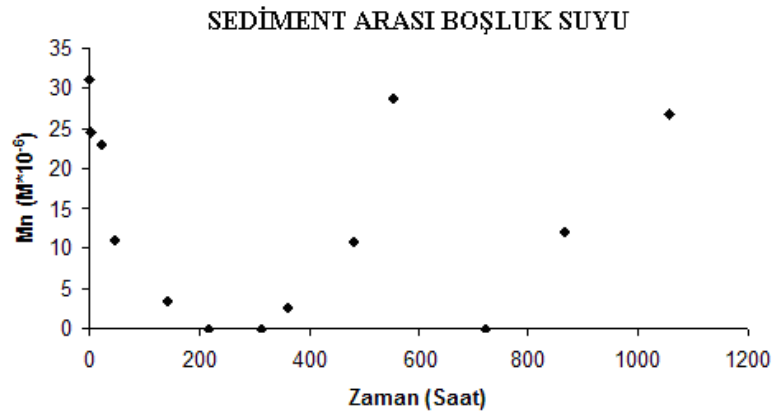
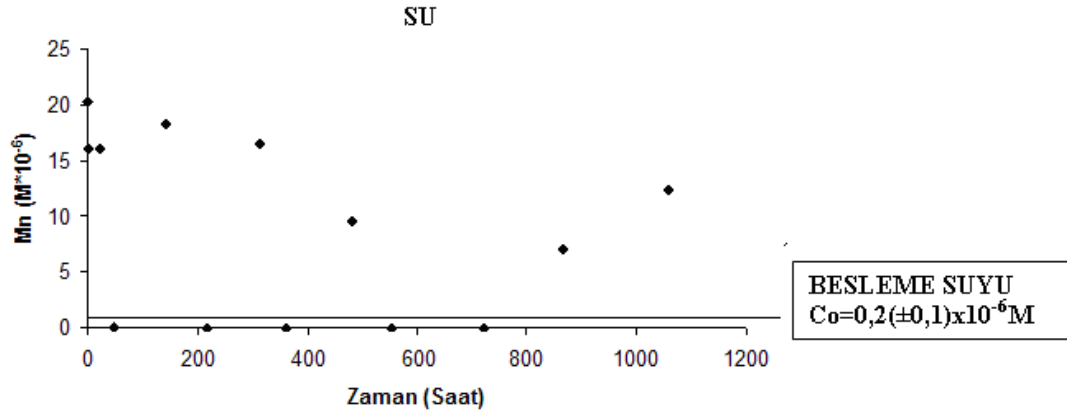
Şekil 4.79 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Mg değişimi



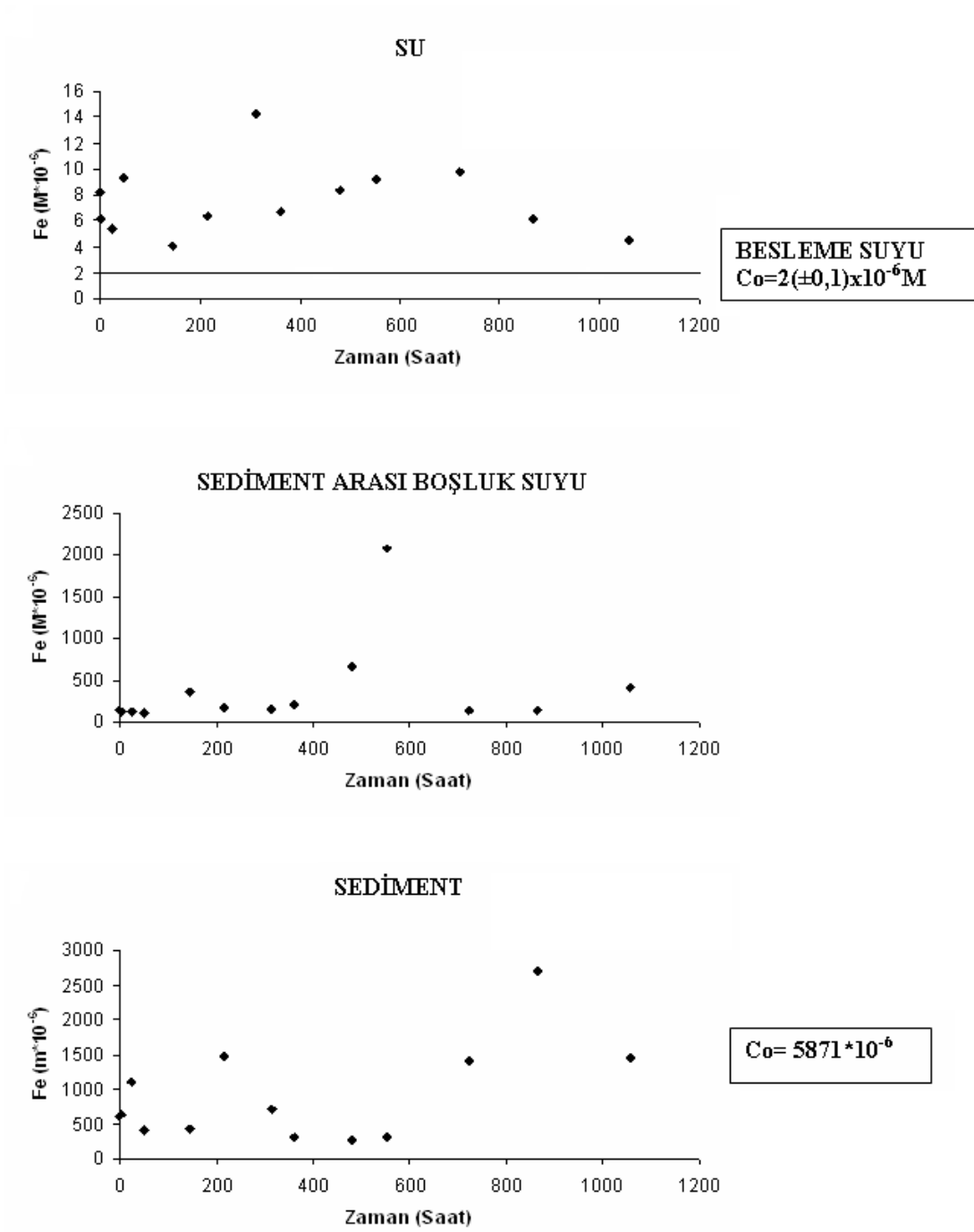
Şekil 4.80 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Ca değişimi



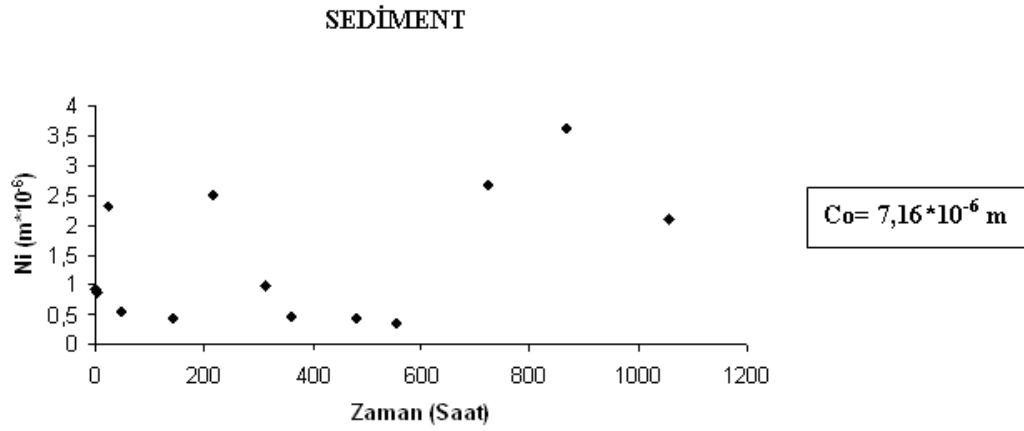
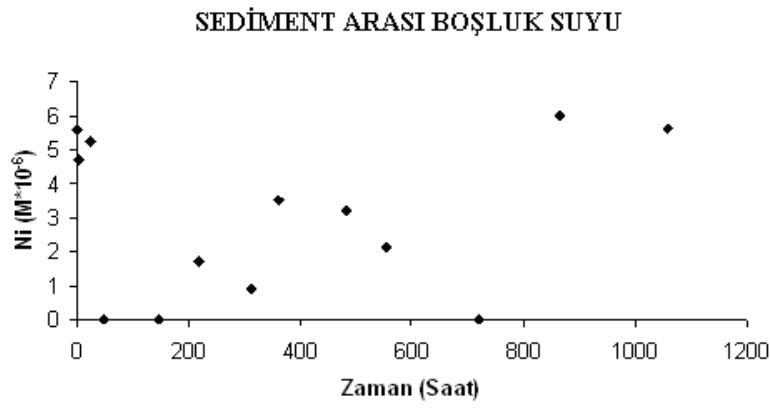
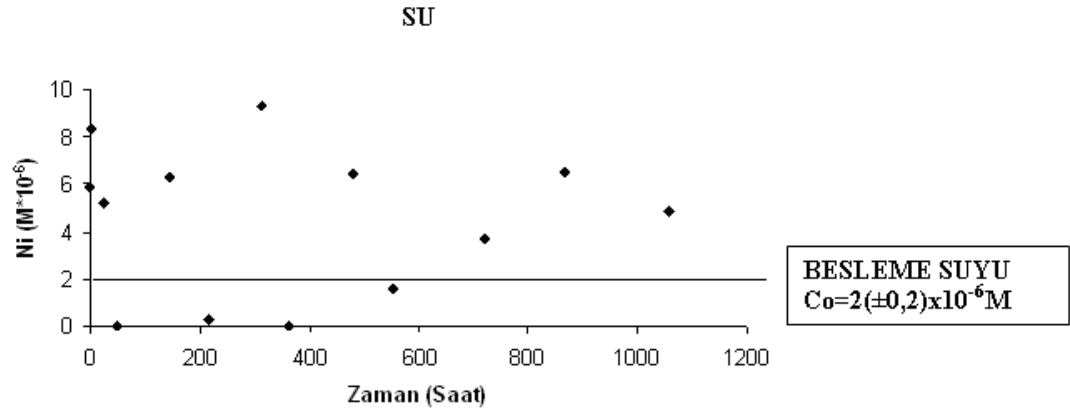
Şekil 4.81 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Cr değişimi



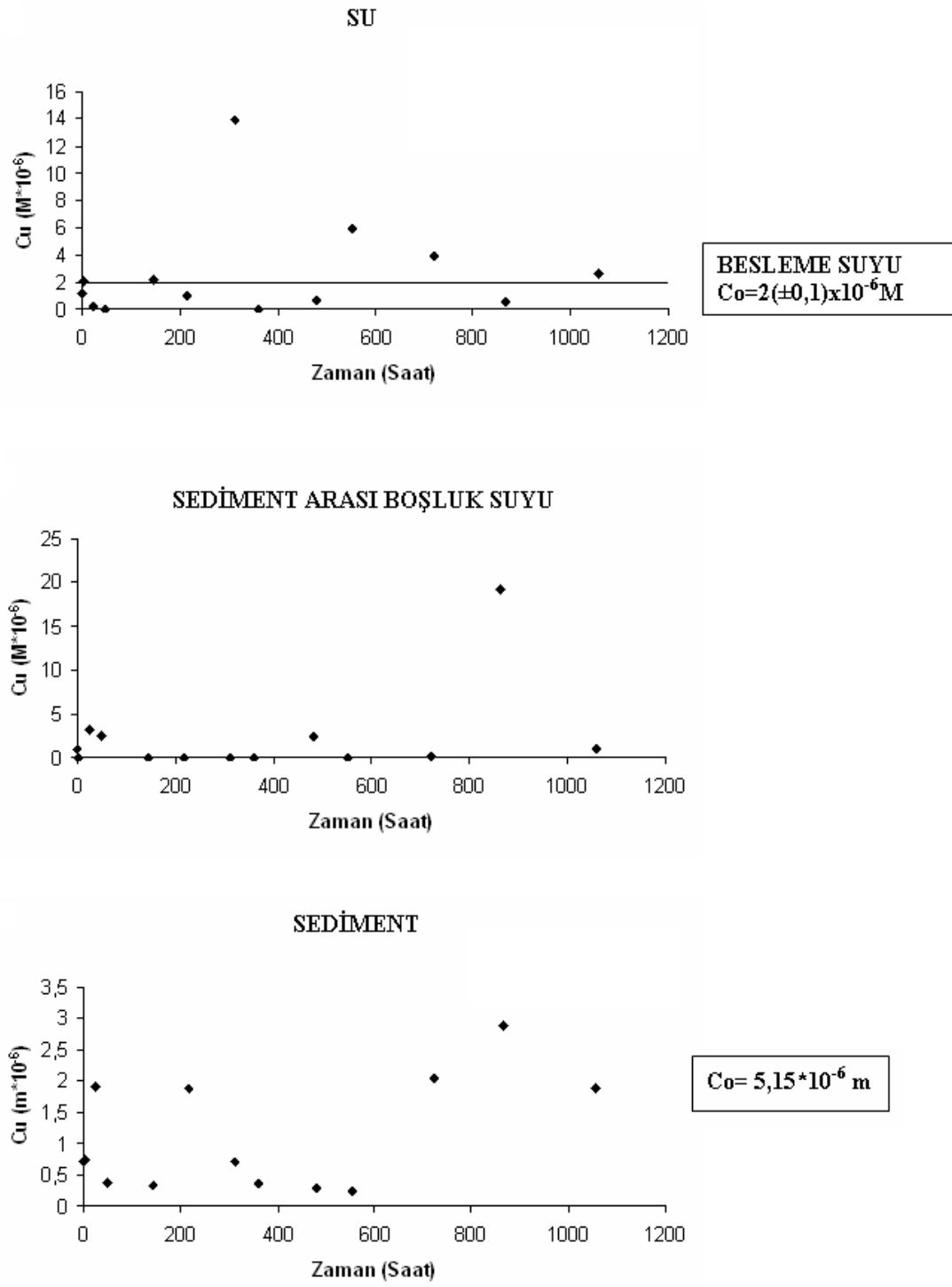
Şekil 4.82 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Mn değişimi



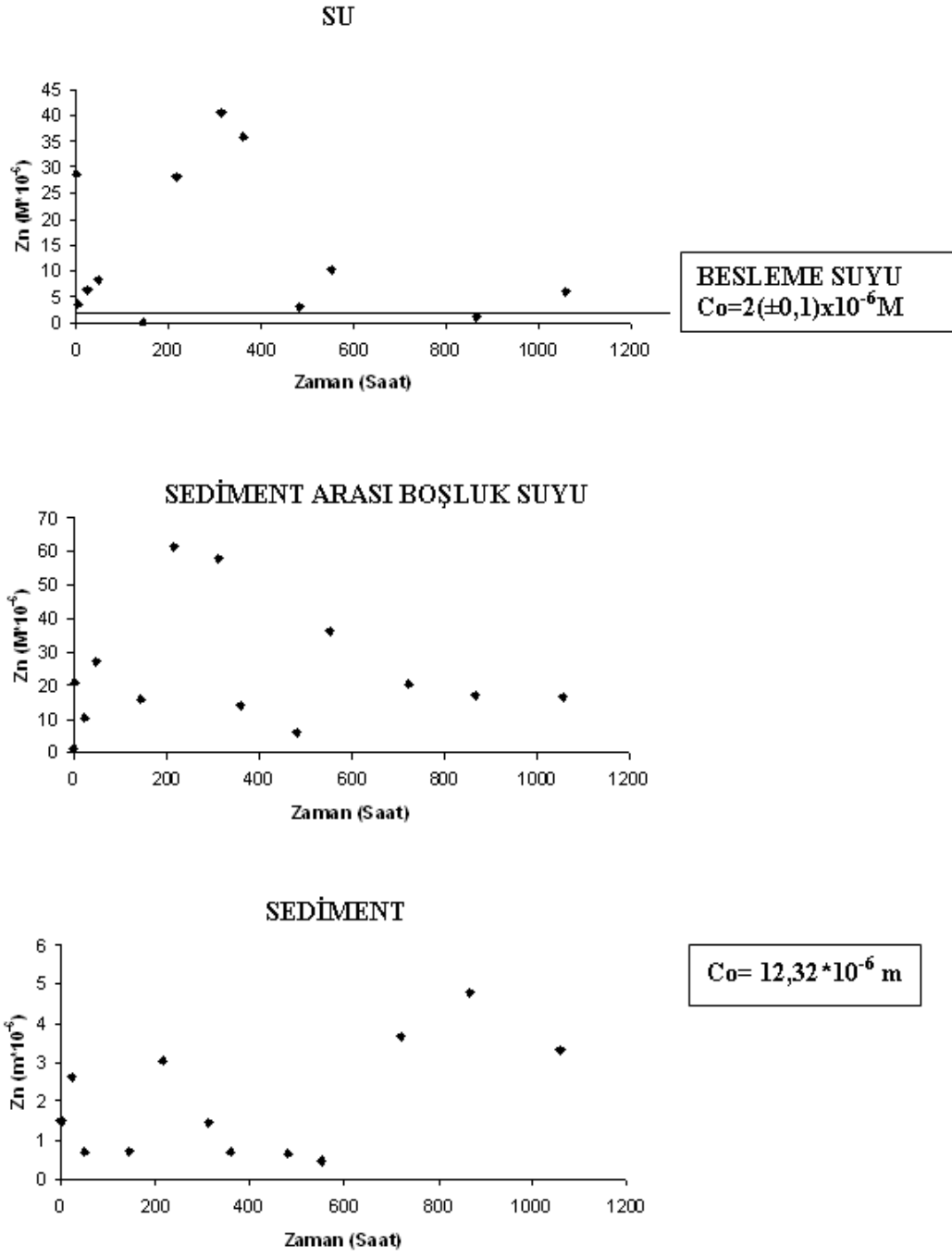
Şekil 4.83 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Fe değişimi



Şekil 4.84 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Ni değişimi



Şekil 4.85 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Cu değişimi



Şekil 4.86 *Cryptocoryne undulata* ile yapılan denemede Zn değişimi

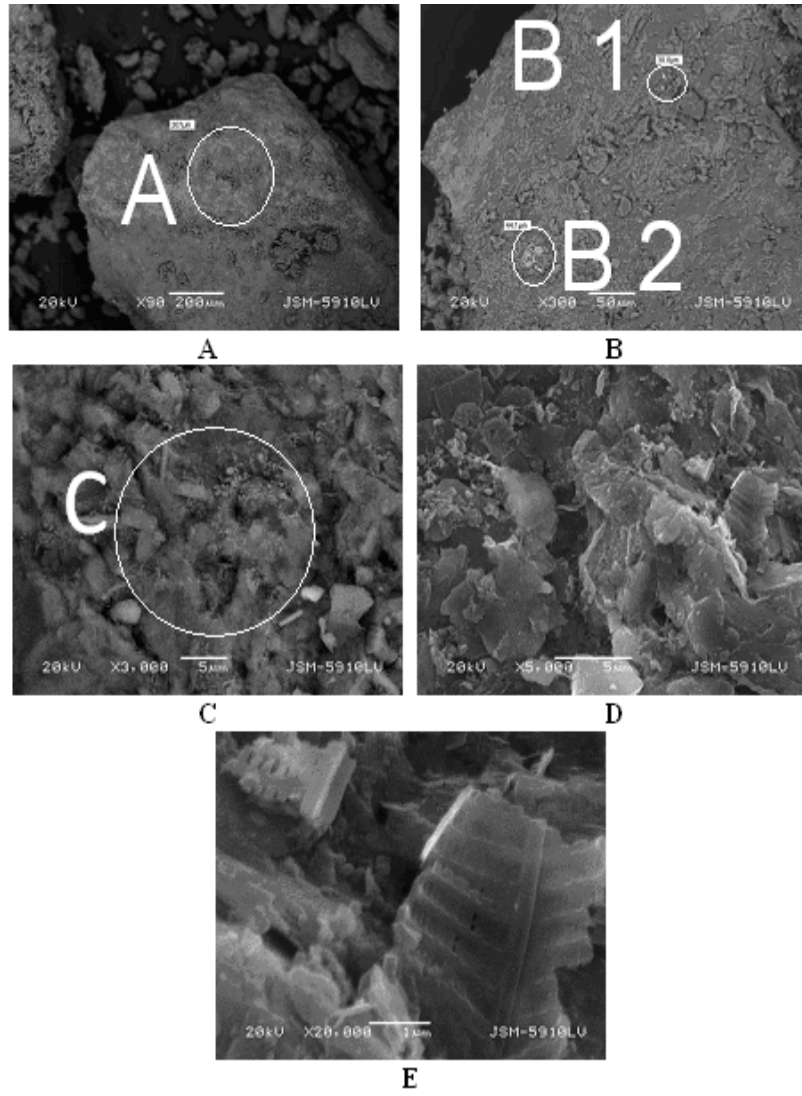
4.5.3 Deneme Sonrası Sediment Yapının “*Scanning Elektron Mikroskop*” İncelemesi

Denemede kullanılan sedimentin hangi elementi bünyesinde bulundurduğunu görüntüleyebilmek için “*Scanning Elektron Mikroskop*” (SEM) ile incelenmiştir (Şekil 4.87). SEM incelemesinin yapıldığı görüntü alanlarında sediment yapının elementel özelliğinin belirlenmesi için de element dağılımı (EDS) analiz edilmiştir. “Deneme Öncesi” (Şekil 4.87 ve Çizelge 4.10) ve “Deneme Sonrası” (Şekil 3.9 ve Şekil 3.8) sediment yapının SEM görüntüleri ile EDS sonuçları beraber değerlendirilerek, denemenin sediment yapıya etkisi irdelenmiştir.

“Deneme Sonrası” sediment yapıda yapılan SEM incelemelerindeki görüntü alanlarının EDS analizleri, çalışmada izlenen elementler dışında farklı elementlerin varlığını göstermiştir (Şekil 4.88). Örneğin, incelenen sediment bölgelerinde sodyum (Na), titanyum (Ti) ve silisyum’un (Si) olduğu Çizelge 4.10’da görülmektedir.

Ayrıca, “Deneme Öncesi” sediment numunelerinde olduğu gibi “Deneme Sonrası”nda da yüksek oranda silisyum içeren canlılar ^[31] olan diatomaların sedimentteki varlığı belirlenmiştir (Şekil 4.87 E). Ancak, sediment yapıdaki bu diatomaların parçalanmış olduğu görülmüştür. Sediment yapının elektron mikroskop incelemesi için hazırlaması sırasında diatomaların zarar gördüğü, bu nedenle parçalandığı tahmin edilmektedir. İnceleme alanlarında görülen diatoma parçalarından biri örnek olarak Şekil 4.87 E’de verilmiştir.

Sediment yapıda varlığı belirlenen Si’un özellikle diatomadan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

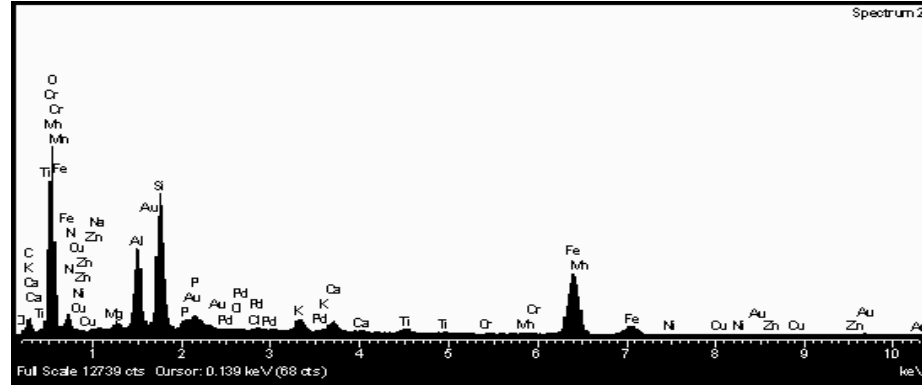


Şekil 4.87 *Cryptocoryne undulata* çalışmasının “Deneme Sonrası” sediment yapısının SEM görüntüsü*

*A, B, C görüntülerinde daire içindeki bölgenin elementel analiz sonuçları Çizelge 4.10 ve Şekil 4.88’de verilmiştir.

Çizelge 4.10 “Deneme Sonrası” sedimentin element dağılımı (%)

Element Spektrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Toplam
Şekil 4.87 A	0.00	51.49	0.00	2.03	0.00	16.17	0.00	0.34	1.83	1.49	0.62	0.00	0.27	25.76	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.87 B 1	12.01	48.77	0.00	1.15	0.00	30.74	0.00	0.00	0.80	0.29	0.00	0.51	0.00	5.73	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.87 B 2	10.96	43.64	0.00	3.16	0.00	9.82	8.20	0.00	1.09	0.91	1.74	0.00	0.33	20.14	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.87 C	8.99	51.86	0.26	1.04	9.07	20.68	0.00	0.00	2.72	0.00	0.47	0.00	0.00	4.92	0.00	0.00	0.00	100.00



Şekil 4.88 “Deneme Sonrası” sedimentin element dağılımı (Şekil 4.87 A analizi)

4.5.4 Deneme Sürecinde Bitkinin Metal Miktarlarındaki Değişimler

Denemeye başlanmadan önce (“Deneme Öncesi”) ve deneme bittikten sonra (“Deneme Sonrası”) *Cryptocoryne undulata* bitkisinden kök, gövde ve yaprak numuneleri alınmış ve numunelerde metal analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları bu bölümde irdelenmiştir. Ayrıca, deneme bittikten sonra *C. undulata* bitkisinin her organının dış yüzeyleri ve içyapıları Bölüm 5’de anlatıldığı gibi “Scanning Elektron Mikroskop” (SEM) ile incelenmiş ve mikroskobun görüntü alanlarındaki elementlerin yoğunluk dağılımları (EDS) tespit edilmiştir.

4.5.4.1 Bitki Tarafından Alınan Elementler

Cryptocoryne undulata bitkisinden alınan örnekte denemeler başlamadan yapılan elementel analizlerde, bu çalışmada *izlenen tüm elementlerin* (Mg, Ca, Fe, Cr, Mn, Zn, Ni ve Cu) bitki bünyesinde bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 4.89 A ve B).

Çalışma tamamlandıktan sonra reaktörden alınan bitki örneğinde ise;

- “Deneme Öncesi”nde bünyesinde var olduğu tespit edilen *tüm elementlerin olduğu*,
- Ancak tüm elementlerin *bitki bünyesindeki miktarlarının rölatif olarak değiştiği* Şekil 4.89 A ve B’den anlaşılmaktadır.

Bitki bünyesinde varlığı belirlenen elementlerin bitkinin yüzeyindeki ve içindeki element dağılımını belirlemek için her bir organından numuneler alınıp en kesit ve yüzey kesit preparatları hazırlanmış ve bu preparatlarda SEM incelemeleri ve EDS (Element Yoğunluğu Dağılımı) analizleri yapılmıştır.

Bitkinin kök ve yaprak en kesitinde (iç yapısı) yapılan SEM incelemelerindeki görüntü alanlarında, *bitkinin incelenen elementleri doku içine alarak biriktirdiği* (fitoakümülyasyon) (Ca, Mg gibi) şekil ve çizelgelerde görülmektedir (Şekil 4.97, Şekil 4.100, Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.16).

Bitkinin kök ve yaprak yüzey (dış) kesitinde yapılan SEM incelemelerindeki görüntü alanlarında, *çalışmada incelenen elementlerin* (Ca, Mn, Fe gibi) *ayrıca bitki yüzeyinde de* (fitositabilizasyon) *bulunduğunu* göstermiştir (Şekil 4.91 A , Şekil 4.99, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.15).

Bunun dışında, kök ve yaprak yüzey kesitlerinde yapılan;

- SEM incelemelerinde, özellikle *yaprak yüzeyinde, farklı türlerde diatomaların* bulunduğu,

- Görüntü alanlarının EDS analizlerinde, *incelenen her diatomanın farklı elemental içerikleri* olduğu belirlenmiştir. Örneğin;
 - ✓ Şekil 4.91 D1’de görülen *diatomada* Fe ve Mn,
 - ✓ Şekil 4.95 B’deki *diatomada* Zn ve Mn tespit edilirken,
 - ✓ Şekil 4.94 C’deki diatomada bu üç elemente rastlanamamıştır.
 - ✓ Ayrıca bu üç diatoma da Cr, Ni ve Cu’nun varlığı tespit edilmemiştir (Çizelge 4.13).

Bitki numunelerinin incelendiği SEM görüntü alanlarındaki EDS analiz sonuçları, *elementlerin*;

- ✓ *Bitkinin iç yapısında* (dokusunda) bulunduğunu,
- ✓ *Bitkinin dış yüzeyinde* bulunduğunu,
- ✓ *Bitki yüzeyinde tutunmuş diatomalarda* da bulunduğunu göstermiştir (Çizelge 4.12, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15, Çizelge 4.16).

Deneme bittikten sonra bitkiler reaktörden çıkarılmış, reaktörden çıkarma esnasında bitki yüzeyine tutunan partiküllerin uzaklaştırılması için reaktörden çıkarılan bitkiler saf su ve HCl (%3) ile yıkanmıştır. Bu ön işlemten sonra bitkinin kök ve gövdesinden alınan örneklerde SEM incelemeleri yapılmıştır. Bitki yüzeyinden alınan örneklerde yapılan SEM incelemelerinde, bitki yüzeyinde diatomaların ve elementlerin varlığı tespit edilmesi nedeniyle, bitki yüzeyinde bulunan diatomaların ve elementlerin saf su ve seyreltik asit yıkamasıyla bitki yüzeyinden uzaklaşmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, çalışmada kullanılan *bitki bünyesi* ifadesi; bitkinin iç yapısı (dokusu), bitkinin dış yüzeyi ve bitkinin dış yüzeyine tutunmuş olan mikroorganizmaları ve yüzeyinde bulunabilecek diğer yapıların tamamını temsil etmektedir.

Morfolojik yapılarına ayrılan bitki numuneleri, Bölüm 3.5.2.2’de anlatıldığı gibi metal içeriğinin belirlenmesi için kimyasal olarak parçalanmış ve metal miktarları ICP-MS’de ölçülmüştür. Bitki numunelerinde ICP-MS ile yapılan element ölçümlerinde elde edilen verilerin bitki bünyesini yansıttığı belirlenmiştir.

Kimyasal olarak parçalanan bitkinin analizi sonucunda, hem “Deneme Öncesi”, hem de “Deneme Sonrası”nda *bitkinin tüm organlarında*;

- Büyüme için gerekli olan Ca,

- Enzim ve klorofil yapısına katılan Mg ve Fe'in *en fazla bulunan elementler* olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.89).

Bitkinin kök ve yaprak en kesitinde yapılan SEM incelemelerindeki görüntü alanları içinde bu elementlerin varlığı da tespit edilmiştir (Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.16).

“Deneme Sonrası”nda kimyasal olarak parçalanmış bitkinin tüm organlarındaki element miktarları incelendiğinde, bitkinin *her organı için element miktarının farklı* olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.89 ve Çizelge 4.11). Örneğin, “Deneme Sonrası”nda

- Kökte Fe miktarının Mg'dan ,
- Yaprakta ise Mg miktarının Fe'den,
- Kökte Cr miktarının Mn'den,
- Yaprakta ise Mn miktarının Cr'dan fazla olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.11).

Bu farklılığa rağmen “Deneme Sonrası”nda *hem kökte hem de yaprakta;*

- *Ca'nın en fazla*
- *Cu'nun en az* bulunduğu belirlenmiştir.

Bu durum deneme sırasında oluşan yeni yaprakta farklılık göstermiştir. *Yeni yaprakların element alınımında Ca, Zn ve Cu'a sıranın gelmediği* gözlemlenmiştir (Şekil 4.89).

Bitkinin Fiziksel parçalanması sonucunda elde edilen verilerden;

- Mg, Ca ve Fe elementlerinin bitki köküyle alınıp kapiler sistemle yaprağa kadar taşındığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.89 A). Yaprak en kesitinde yapılan SEM incelemeleri de bu metallerin yaprak içinde bulunduğunu göstermiştir (Çizelge 4.14).
- Bitki kökünde biriken Zn metalinin, kapiler sistemle bitkinin yaprağına taşınmasının az olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.89 B).

Bitkinin her organı için *element birikimlerinde görülen farklılığın, bitkinin kapiler sistemiyle elementi taşımasındaki farklılıktan* kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Özellikle metal bileşiklerin *yüksek moleküler ağırlıklı metallerinin, bitkinin kapiler sistem ile yaprağa kadar taşınmadığı* izlenmektedir. Örneğin, Cu ve Zn'nun en fazla kökte bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.89 B).

Cryptocoryne undulata'nın tercih ettiği element oranlarındaki değişimin belirlenmesi için bitkinin tamamındaki “Kısmi Element Miktarları”ndaki değişim incelenmiştir (Şekil 4.90).

Reaktör giriş suyundaki elementlerin miktarları (M) ile;

$$Ca > Mg > Mn \sim Ni \sim Cr \sim Zn \sim Cu \sim Fe^* \quad [i-11]$$

Cryptocoryne undulata'nın elementleri “Deneme Öncesi”ne göre “Deneme Sonrası”nda bünyesindeki elementlerin “Kısmi Miktar”larındaki değişimi ;

$$Ca > Mn > Ni \sim Fe \quad [i-12]$$

beraber incelendiğinde ;

- Bitkinin reaktör besleme suyunda en fazla bulunan Ca’u en fazla tercih ettiği, besleme suyunda fazla bulunmasına rağmen *en küçük atom ağırlığına sahip olan Mg’u tercih etmediği* belirlenmiştir.

Bu nedenle, *bitki bünyesine alınan element miktarında* ve buna bağlı olarak değişen *element alım sıralamalarında*, yalnızca *ortamdaki elementlerin varlığının* değil bitkinin *kapiler sistemle elementi taşıma özelliğinin* de etkili olduğu tahmin edilmektedir (Çizelge 4.11).

Bitkideki “Kısmi Alım Miktarı”ndaki değişime bakıldığında,

- *Fe ve Ni’in* “Kısmi Miktarı”larının “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası”nda değişmediği, yani bu elementleri bitkinin *belli oranlarda bünyesinde tuttuğu*,
- “Deneme Sonrası”nda bitkideki *Ca ve Mn’in* “Kısmi Miktarı”nın *arttığı* görülmüştür (Şekil 4.90).

Bünyesine aldığı elementler arasında tercih yaptığı belirlenen bitkinin, hangi elementi hangi organına daha fazla aldığı belirlemek için “Rölatif Birikim” incelemeleri yapılmıştır (Çizelge 4.11).

Bitkinin tüm organlarındaki “Rölatif Birikim” incelendiğinde, *bitkinin organlarına göre değişen element alımları olduğu* belirlenmiştir (Çizelge 4.11). Bitkinin “Deneme Öncesi”ndeki miktarına göre yaprağında ve kökünde en fazla Ca elementini içerdiği belirlenmiştir. Bitkinin kök ve yaprağında yapılan en ve yüzey kesitlerinin SEM incelemeleri, bitkinin bu elementi hem bünyesine aldığını hem de yüzeyinde tuttuğunu göstermiştir

* giriş suyunda mevcut elementlerin konsantrasyonlarına göre sıralaması

(Çizelge 4.12, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16). Bitkinin hem yaprağına hem de köküne Fe’i Cu’dan daha fazla aldığı görülmektedir.

Bölüm 6.5.2’de verilen su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentte yapılan element analizleri, hem metalin bu fazlar arasındaki hareketini, hem de bitkinin bu fazların hangisinden metalleri bünyesine aldığı tahmin edilmesine yardımcı olmuştur. Analiz sonuçlarındaki irdelemelerde, özellikle *sediment arası boşluk suyundaki elementlerin* azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmada, *bitkinin elementi bünyesine almasının* etkili olduğu tahmin edilmektedir. Örneğin, sedimentten suya geçtiği belirlenen Ca metalini, *C. undulata* bitkisinin sediment arası boşluk suyundan köküyle aldığı tahmin edilmektedir. Şekil 4.100’de görülen kök en kesit preparatlarındaki SEM inceleme alanlarında yapılan EDS analizinde Fe, Ti, Mn, Ca, Mg, Cu ve Ni metalleri belirlenmiştir (Çizelge 4.16). SEM analizleri de *metallerin bitki köküyle alındığı* fikrini desteklemektedir.

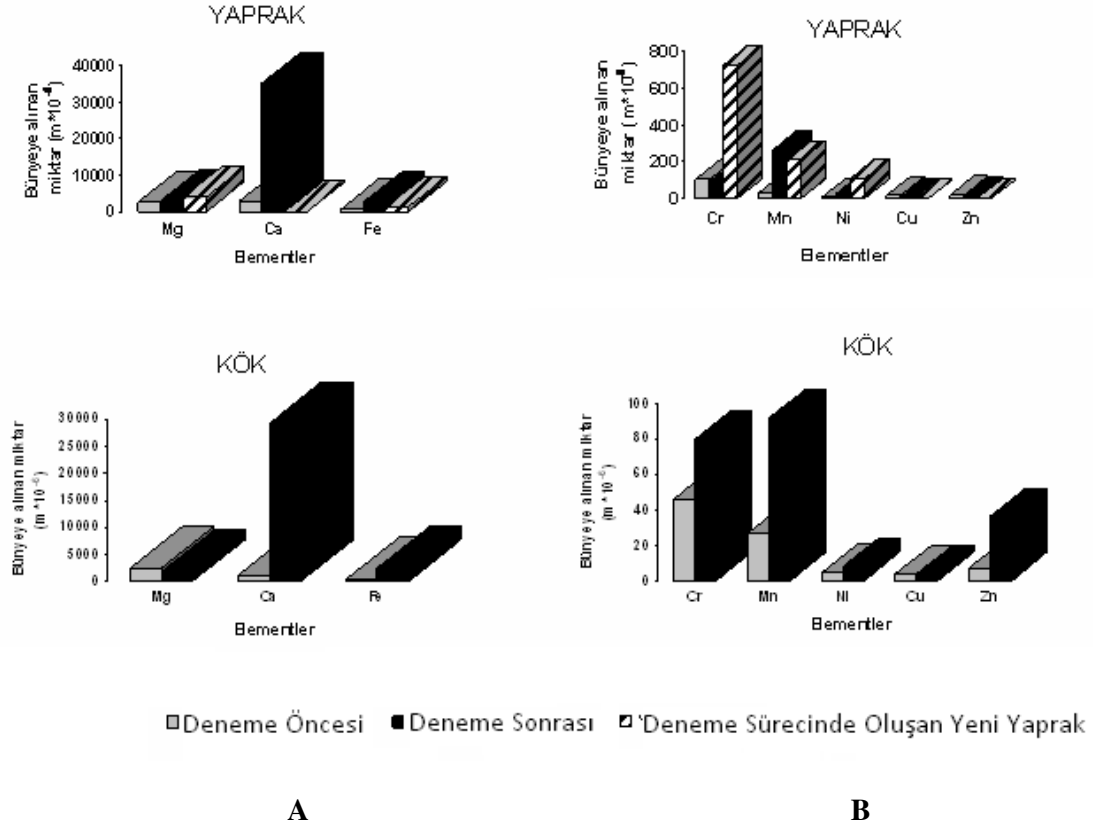
Bu çalışma ile aynı tür bitkinin kullanıldığı bir diğer çalışmanın su, sediment arası boşluk suyu ve sedimentte element miktarları kıyaslandığında, bu denemedeki sediment arası boşluk suyunda bazı elementlerin (Ni, Zn, Fe, Mn ve Ca) (Şekil 4.80, Şekil 4.82, Şekil 4.83, Şekil 4.84, Şekil 4.86) önceki çalışmadan (Şekil 4.60, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64, Şekil 4.66) yüksek olduğu görülmüştür.

Aynı tür bitkinin kullanıldığı her iki denemede, *Cryptocoryne undulata*’nın elementleri bünyesine bu denemede daha fazla miktarda aldığı belirlenmiştir. *Sediment arası boşluk suyunda element miktarının* fazla olması ve yaklaşık 350 saat daha uzun olan *temas süresinin etkisiyle*, bitkinin elementleri bünyesine daha fazla almasını sağladığı tahmin edilmektedir (Şekil 4.67 ve Şekil 4.89).

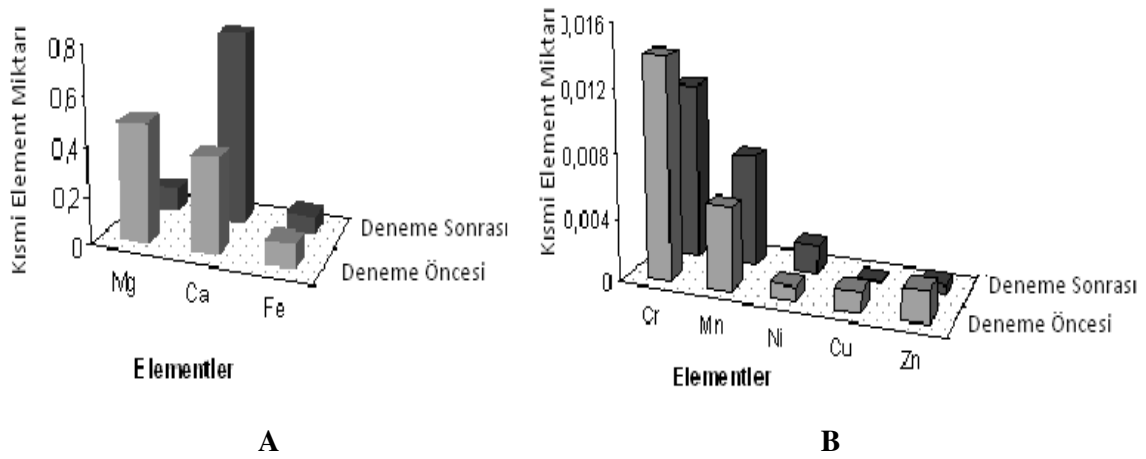
Çizelge 4.11 Bitki organlarının element alım tercihleri

Bitki Organları	Deneme Öncesi Metal Birikimi (m)	Deneme Sonrası Metal Birikimi (m)	Rölatif Birikim*
Yaprak	Ca>Mg>Fe>Cr>Mn>Zn>Cu>Ni	Ca>Mg>Fe>Mn>Cr>Ni>Zn>Cu	Ca>Mn>Ni>Fe>Mg>Cr>Zn>Cu
Kök	Mg>Ca>Fe>Mn>Zn>Ni>Cu	Ca>Fe>Mg>Cr>Mn>Zn>Ni>Cu	Ca>Fe>Zn>Mn>Ni>Cr>Cu>Mg

*Rölatif birikim: Deneme Sonrası / Deneme Öncesi



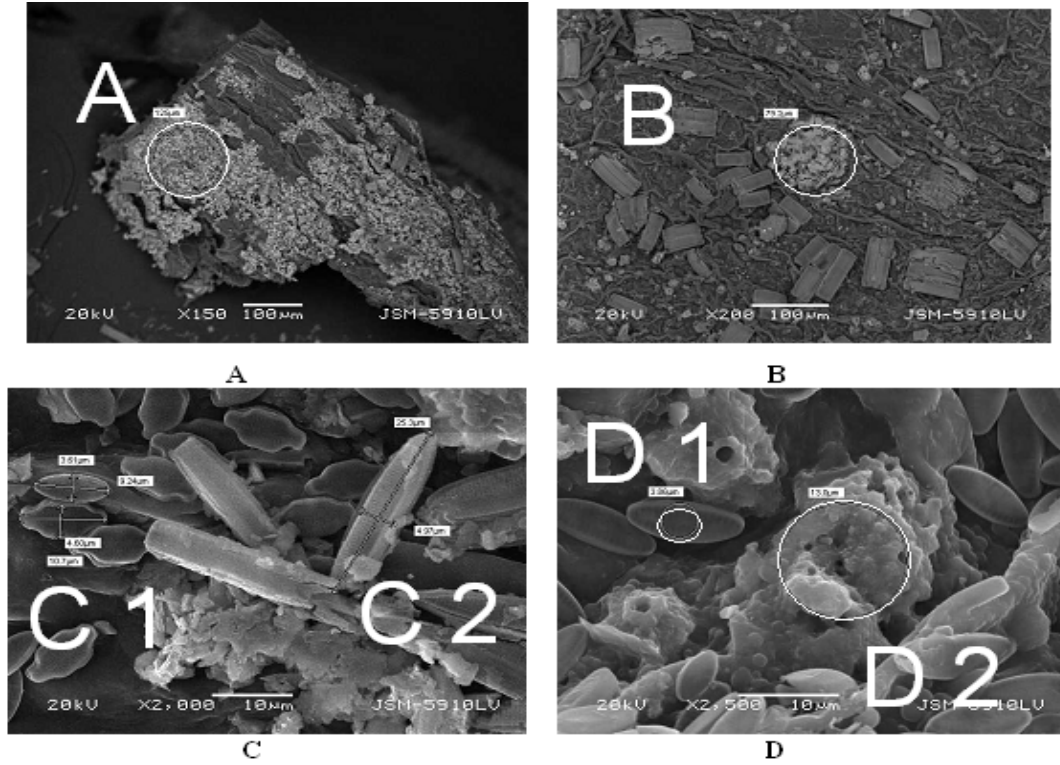
Şekil 4.89 *Cryptocoryne undulata* bünyesinde ölçülen metal değişimi



Şekil 4.90 *Cryptocoryne undulata* bünyesindeki “Kısmi Element Miktarları”

“Deneme Sonrası” yaprak yüzeyinden alınan numunelerde yapılan SEM incelemelerinde değişik morfolojilere sahip diatomalar belirlenmiştir (Şekil 4.91 C1, Şekil 4.91 C2, Şekil 4.91 D1, Şekil 4.94, Şekil 4.95). Yukarıda bahsedildiği gibi bu diatomalar üzerinde EDS analizleri yapılarak element içerikleri tespit edilmiştir. Böylece, reaktör içindeki tüm yapılarda (su, sediment arası boşluk suyu, sediment, bitki ve diatoma) çalışmada izlenen tüm elementlerin bulunduğu yapılar irdelenmiştir.

Çalışmada izlenmeyen ancak reaktörde bulunduğu belirlenen Si elementinin hem deneme öncesinde var olan hem de deneme sırasında oluşan yaprak yüzeylerinde olduğu belirlenmiştir. Varlığı belirlenen Si elementinin özellikle diatomalardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Çizelge 4.12).



Şekil 4.91 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın eski yaprak yüzey kesitinin SEM görüntüsü

*A, B, C, D görüntülerinde daire içindeki bölge nin elementel analiz sonuçları Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’te verilmiştir.

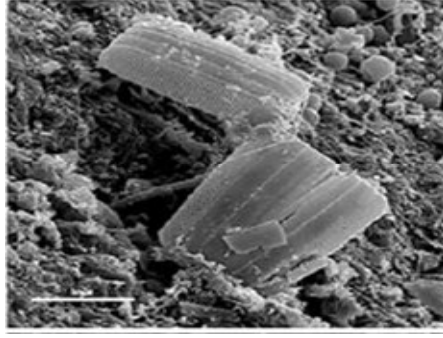
Literatür çalışmalarında, diatomaların türe ve çevre koşullarına bağlı olarak değişiklik gösteren mikrobiyal hücre dışı polimerik substrat (EPS) yapıları ürettiği rapor edilmiştir (Şekil 4.92). Bazı EPS'lerin sediment, substrat veya bitki yüzeyine sıkı bağlanarak biyofilm oluşturdıkları bildirilmiştir (Brouwer vd., 2006; Bhaskar ve Bhosle, 2005; Decho vd., 2000). Bazı diatomalar ise hücrelerin birbirine bağlanmasını sağlayan EPS'ler (pad) üreterek küçük kolonilerin oluşturmalarına yardımcı olurlar (Şekil 4.92 E).

Wilhelm (2006) yaptığı çalışmada EPS yapısının türden türe değişiklik gösterdiğini ve ortamın şartlarına bağlı olarak değişebildiğini göstermiştir. Diatomaların ürettiği EPS'ler genellikle SEM fotoğraflarında sümüksü yapı şeklinde gözüktüğü de, farklı şekillerde de bulunabilecekleri rapor edilmiştir (Brouwer vd, 2006; Decho vd, 2000).

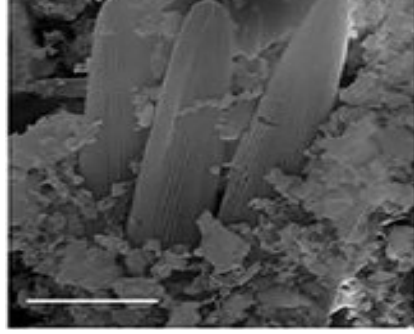
Bu çalışmada da, Şekil 4.91 D2'de gösterilen diatomalar arasındaki bölgedeki yapının, Totti ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmadaki (Şekil 4.92 D) EPS görüntüsüne benzer olmasından, dolayı EPS olduğu tahmin edilmektedir.

Şekil 4.91 D2'de gösterilen ve EPS olduğu düşünülen yapıda Fe, Mn ve Zn metallerinin varlığı belirlenmiştir. Decho (2000) yaptığı çalışmada birçok metal iyonunun EPS ile şelat oluşturduğunu belirtmiştir.

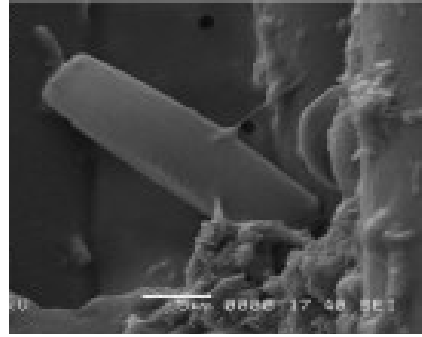
Ayrıca, çalışmada görülen (Şekil 4.94 C) birbirine bağlı iki diatomun bağlanmasında Şekil 4.92 E'de olduğu gibi EPS'nin etkili olduğu tahmin edilmektedir.



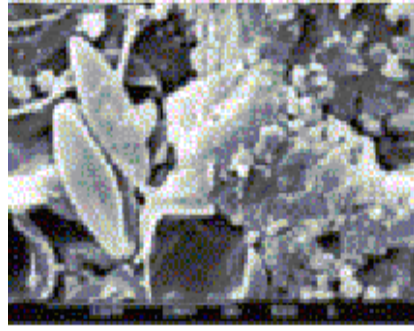
A



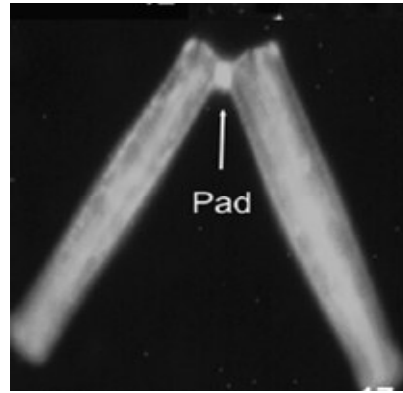
B



C



D

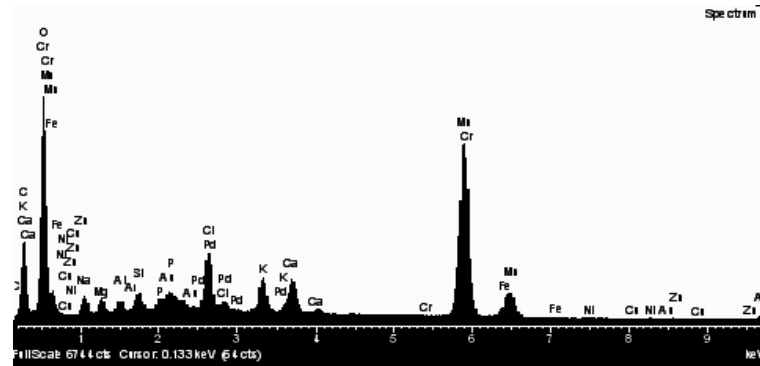


E

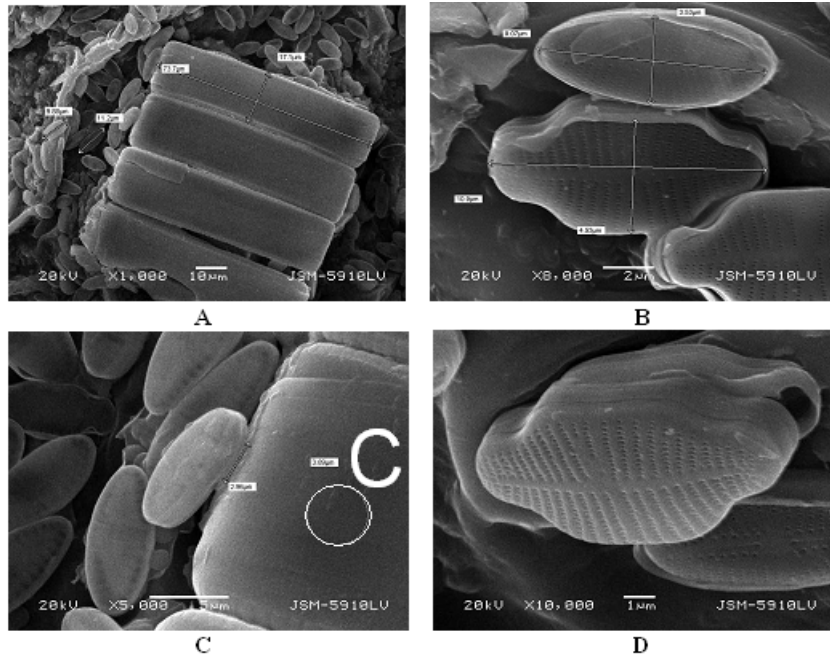
Şekil 4.92 Totti vd., 2007 (A ve B), Cornell vd., 2007 (C), Faimali vd., 2004(D), Bahulıkar ve Kroth, 2007 (E)'nin çalışmalarındaki SEM görüntüleri: Diatomalar ve EPS yapısı

Çizelge 4.12 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın eski ve yeni yaprak yüzey kesitinin element dağılımı (%)

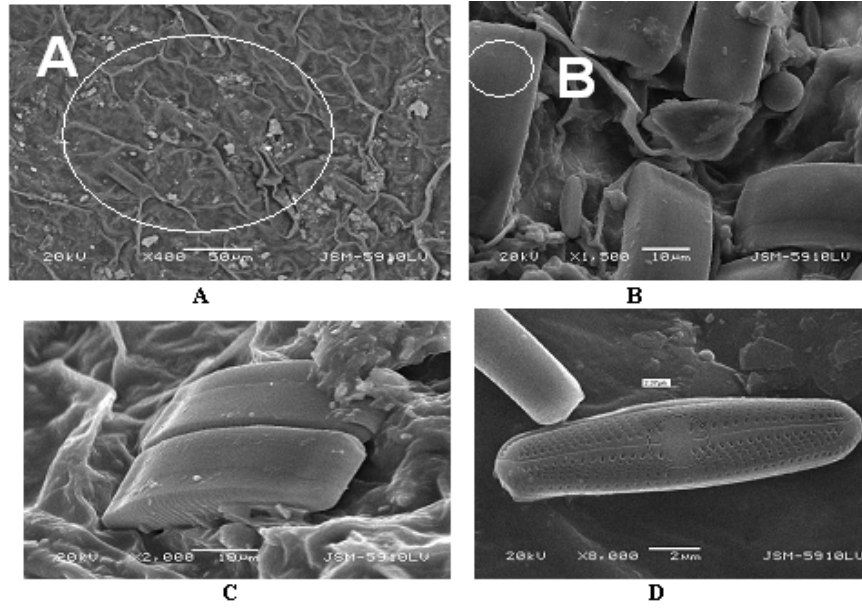
Element Spektrum	C	O	Na	Mg	Si	P	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Toplam
Şekil 4.91 A	26.43	37.19	1.50	0.83	0.79	0.00	0.00	2.93	1.84	2.04	0.00	25.35	1.10	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.91 B	30.96	35.68	1.90	0.79	2.48	0.17	0.15	3.38	1.97	1.05	0.00	19.97	1.22	0.00	0.00	0.26	100.00
Şekil 4.91 D1	39.42	46.07	0.98	0.58	9.69	0.00	0.19	1.25	0.46	0.78	0.00	0.47	0.10	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.91 D2	33.88	44.89	1.47	1.01	0.78	0.32	0.17	1.88	1.13	1.24	0.00	12.25	0.69	0.00	0.00	0.28	100.00
Şekil 4.95 A	46.03	45.59	2.86	0.73	0.68	0.00	0.18	0.72	1.94	1.07	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	100.00



Şekil 4.93 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın eski yaprak yüzey kesitinin element dağılımı (Şekil 4.91 A)



Şekil 4.94 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın eski yaprak yüzey kesitinde görülen mikroorganizmaların SEM görüntüsü

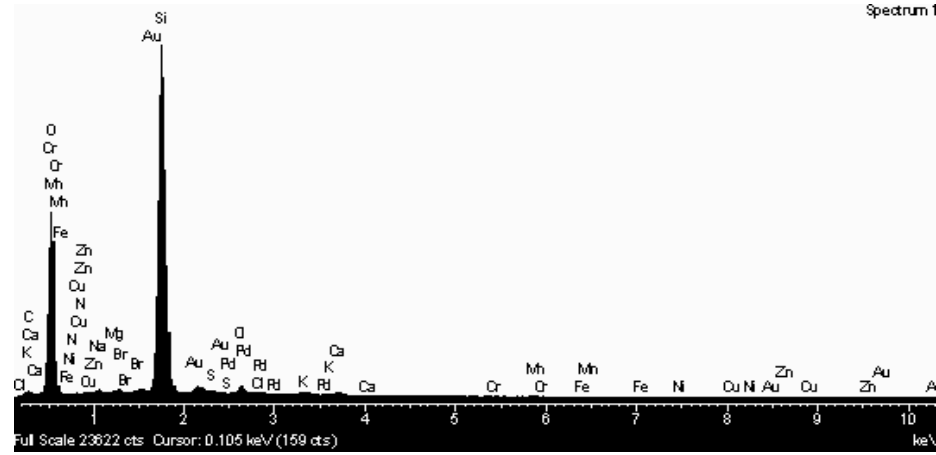


Şekil 4.95 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın yeni yaprak yüzey kesitinin SEM görüntüsü

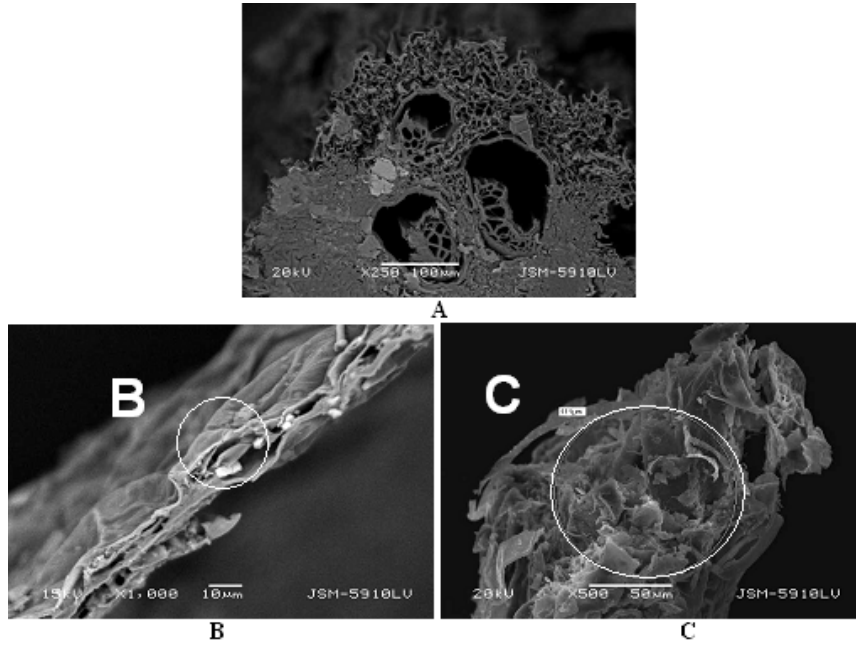
NOT: Şekil 4.94 B ve C’ye ait EDS sonuçları Çizelge 4.13’de, Şekil 4.95 ‘ya ait EDS sonuçları ise Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın eski ve yeni yaprak yüzeyindeki diatomaların element dağılımı (%)

Element Spektrum	C	O	Na	Mg	Si	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Toplam
Şekil 4.91 D1	39.42	46.07	0.98	0.58	9.69	0.19	1.25	0.46	0.78	0.00	0.47	0.10	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.94 C	10.94	57.85	0.61	0.28	28.53	0.10	0.97	0.39	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.95 B	20.25	56.48	0.46	0.34	19.55	0.00	0.57	1.36	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	100.00



Şekil 4.96 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın eski yaprak yüzeyindeki diatomaların element dağılımı (Şekil 4.94 C)

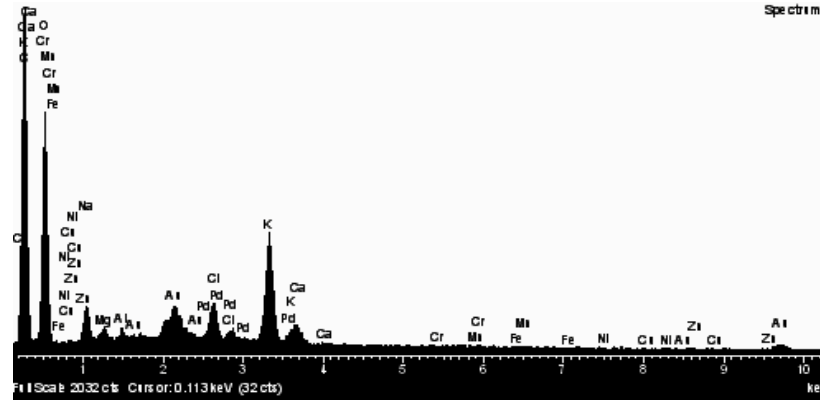


Şekil 4.97 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın yaprak en kesitinin SEM görüntüsü

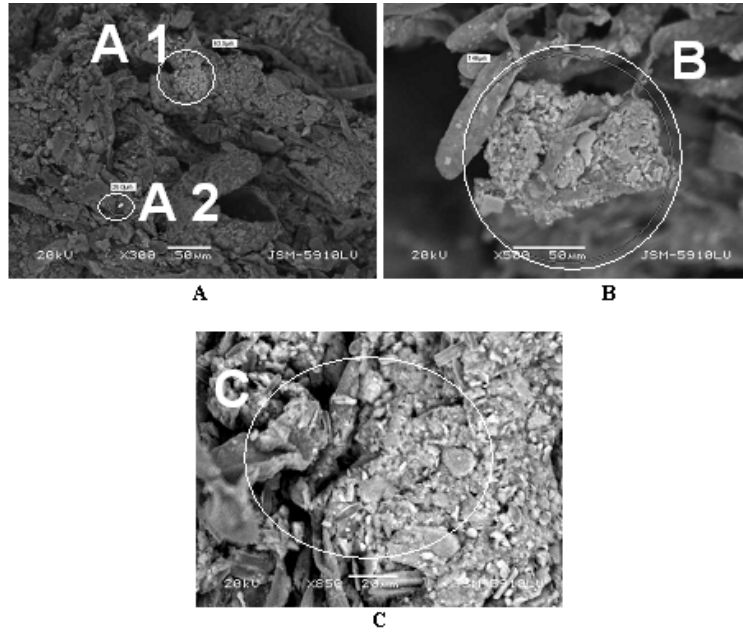
*Şekil 4.97 A (eski yaprak), B ve C (yeni yaprak) görüntülerinde ait EDS sonuçları Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın eski ve yeni yaprak en kesitinin element dağılımı (%)

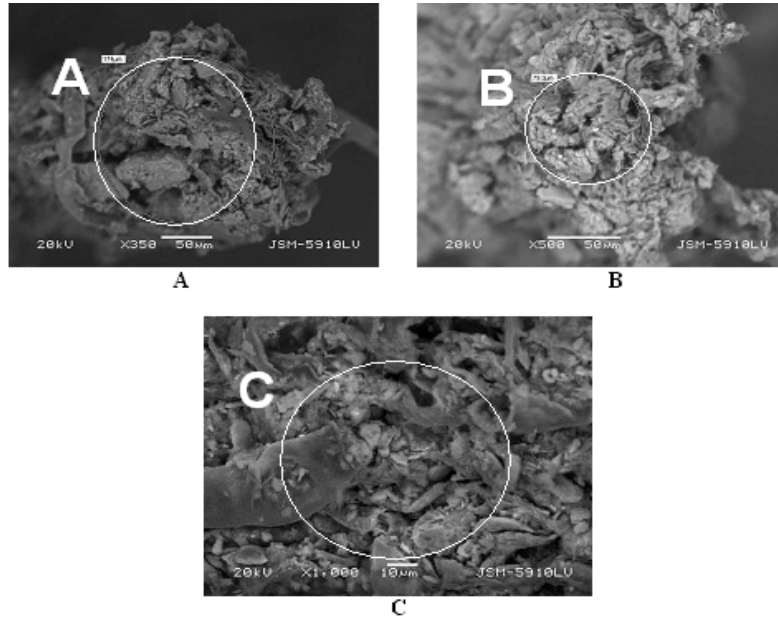
Element Spektrum	C	O	Na	Mg	Si	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Toplam
Şekil 4.97 A	48.43	43.22	1.64	0.38	0.00	1.37	4.33	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.97 B	41.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.97 C	48.34	41.40	0.74	0.50	2.06	2.56	3.30	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00



Şekil 4.98 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın eski yaprak en kesitinin element dağılımı



Şekil 4.99 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın kök yüzey kesitinin SEM görüntüsü

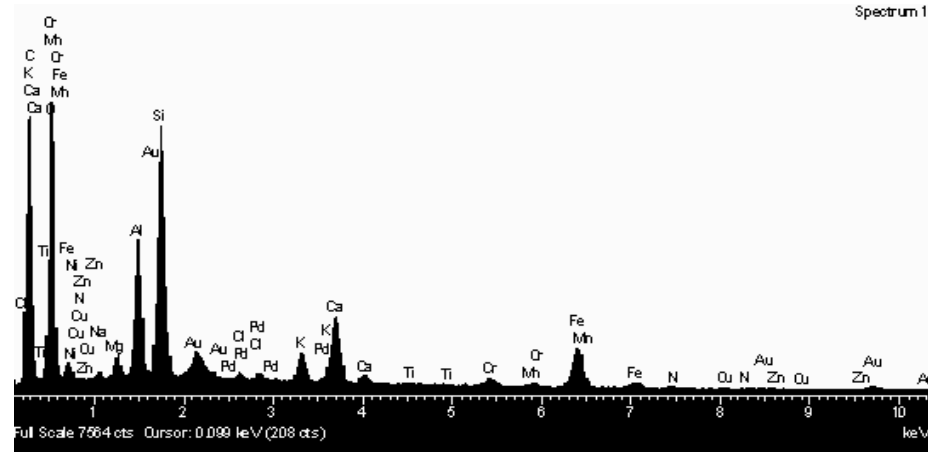


Şekil 4.100 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın kök en kesitinin SEM görüntüsü

NOT: Şekil 4.99 A1, A2, B ve C’ye ait EDS sonuçları Çizelge 4.15’de, Şekil 4.100 A, B ve C’ye ait EDS sonuçları ise Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.15 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın kök yüzey kesitinin element dağılımı (%)

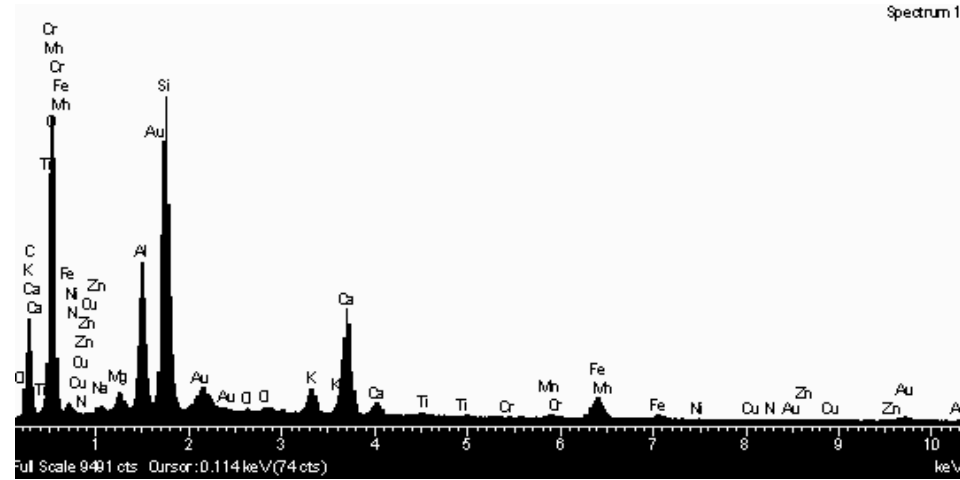
Element Spektrum	C	O	Na	Mg	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Toplam
Şekil 4.99 A 1	22.83	42.40	0.00	0.84	4.69	0.00	0.00	0.00	0.42	0.60	0.00	0.00	0.16	28.07	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.99 A 2	41.88	41.07	0.26	1.01	6.37	0.00	0.00	0.26	1.07	2.57	0.14	0.59	0.18	4.36	0.25	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.99 B	31.10	44.94	0.39	1.26	9.46	0.00	0.16	0.93	1.84	3.24	0.43	0.00	0.64	5.60	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.99 C	24.78	45.26	0.96	1.41	14.69	0.22	0.32	0.42	3.09	2.58	0.52	0.14	0.21	5.22	0.17	0.00	0.00	100.00



Şekil 4.101 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın kök yüzey kesitinin element dağılımı (Şekil 4.99 A 1)

Çizelge 4.16 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın kök en kesitinin element dağılımı (%)

Element Spektrum	C	O	Na	Mg	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Toplam
Şekil 4.100 A	23.98	52.29	0.25	1.27	11.37	0.00	0.17	1.30	5.59	0.31	0.00	0.29	3.19	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.100 B	16.98	54.24	0.30	1.65	14.52	0.21	0.71	1.85	3.37	0.44	0.00	0.15	5.56	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.100 C	55.78	17.44	0.00	0.39	0.56	0.00	0.00	0.27	1.41	0.69	0.00	0.00	21.39	0.91	1.17	0.00	100.00



Şekil 4.102 “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’nın kök en kesitinin element dağılımı (Şekil 4.100 A)

4.5.4.2 Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yaprakların Analizi

Deneme sırasında *C. undulata*'da yeni yapraklar oluşmuştur. “Deneme Sonrası”nda bitkide var olan eski yapraklar;

$$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cu} \quad [\text{i-13}]$$

ile deneme sırasında oluşan yeni yapraklarda yapılan ağır metal analiz sonuçları;

$$\text{Mg} > \text{Fe} > \text{Cr} > \text{Mn} > \text{Ni} \quad [\text{i-14}]$$

şeklinde bulunmuştur. Denemede yeni oluşan yapraklarda en fazla klorofil yapının merkezini oluşturan Mg, fotosenteze yardımcı olan Fe ve klorofil yapımına yardım eden Mn elementlerini kapiler sistemle yaprağa kadar taşınmayı tercih ettiği, Ca, Zn ve Cu'nın ise yaprağa kadar taşınmadığı anlaşılmaktadır.

SEM incelemelerinin yapıldığı yeni yaprak en kesit görüntü alanlarında yapılan EDS analizlerinde de Zn ve Cu'a rastlanmamıştır. Dört farklı numunede yapılan bu analizlerde sadece Şekil 4.98 C'de gösterilen numunede Ca'a rastlanmıştır (Çizelge 4.14). Aynı inceleme noktalarında K'un varlığı tespit edilmiştir. Benzer olarak eski yaprakta da K olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.14). Bitkinin enzim aktivasyonunda, su ve demir dengesinde görev alan K⁺ [4] hem eski hem de yeni yaprağına aldığı görülmektedir.

4.5.4.3 Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkinin Analiz Sonuçları

Echinodorus amazinocus ve *Cryptocorne undulata* ile yapılan önceki çalışmalarda gözlemlenen kontrol dışı üreyen bitkiye bu çalışmada rastlanmamıştır.

4.5.5 Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri

Sentetik suyla beslenen bitkide (*Cryptocoryne undulata*) denemenin ilk günlerde yaprakların uç kısımlarında sararmalar gözlenmiştir. Benzer olay, aynı tür bitkinin kullanıldığı önceki çalışma da izlenmiştir. Denemenin ilerleyen zamanlarında yapraklardaki sararmaların artmadığı ve yeni

yaprakların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Deneme sonunda reaktörden çıkarılan bitkilerin, deneme sırasında meydana gelmiş olan sararmış yaprakların uçlarında kopmalar meydana gelmiştir. Benzer şekilde, sediment yapıya sıkıca bağlanan bitki köklerinde de kopmalar olmuştur. Bu nedenlerden dolayı *Cryptocoryne undulata* ile yapılan çalışmada sağlıklı boy ölçümleri elde edilememiştir. Ancak, genel olarak bakıldığında, bitkinin kök ve yaprak boylarının deneme sürecinde uzadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.17).

Denemenin başında yapraklarda görülen sararmaların deneme sürecinde artmadığı, yeni yaprakların oluştuğu ve bitki boylarının uzaması nedeniyle bitkinin, içinde bulunduğu reaktör koşullarında yaşamsal fonksiyonlarını devam ettirdiği tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.17 *Cryptocoryne undulata*'nın boy değişimi ve yeni yaprak sayıları

	Deneme Öncesi		Deneme Sonrası		YENİ YAPRAK (Adet)
<i>1. Sıra</i>	KÖK (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	YAPRAK (cm)	
1. Bitki	2	7	2,2	7	-
2.Bitki	2	9	2,4	10	9
3. Bitki	3,5	4	3,5	5	4
<i>2. Sıra</i>	KÖK (cm)	YAPRAK (cm)	KÖK (cm)	YAPRAK (cm)	YENİ YAPRAK (Adet)
1.Bitki	0,5	6	1,9	5,4	2
2.Bitki	1	4	0,8	4	2
3.Bitki	4	4	3,3	4,4	2

Denemeye başlamadan ve denemenin sonunda bitki örneklerinden alınan yaprak numuneleride klorofil a ve klorofil b analizleri yapılarak klorofil miktarlarındaki değişim izlenmiştir.

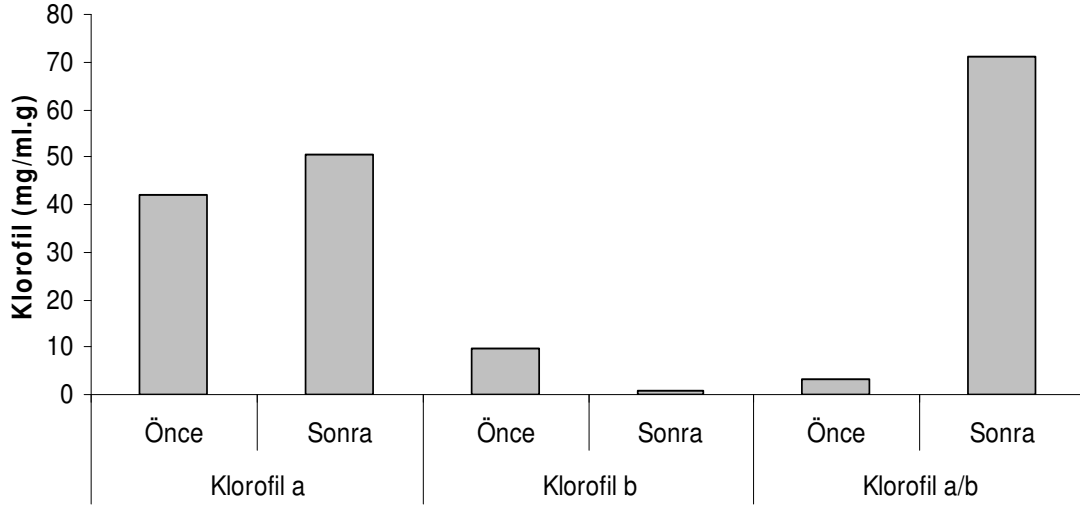
Deneme sonunda kullanılan bitkiler reaktörden çıkarılırken, yaprağın uç kısımlarındaki sararmış kısımlarda kopmalar meydana gelmiştir. Bu nedenle, deneme sonrası bitki yaprağında yapılan klorofil analiz sonuçları yaprağın sararmış kısımları dışındaki kısımları kapsamaktadır.

Şekil 4.103’de “Deneme Sonrası” yapraktaki klorofil a miktarının “Deneme Öncesi”ne göre artışı izlenmektedir.

Bitkideki klorofil miktarındaki değişim (Şekil 4.103) ile bitkinin “Kısmi Element Alımı” (Şekil 4.90) beraber irdelediğinde, bitkide hem klorofil a’nın arttığı hem de “Kısmi Ca Alımı”nın arttığı görülmüştür. Aynı tür bitkinin kullanıldığı önceki çalışmada ise “Deneme Sonrası”nda bitkideki klorofil a’nın arttığı, bu artışın bitkideki “Kısmi Ca Alımının” azalmasına bağlı olduğu düşünülmüştür. Oysaki bu çalışmada, kısmi Ca alımındaki artışın klorofil a’nın oluşumuna olumsuz etki etmediği belirlenmiştir. Bunun nedenin, *Cryptocoryne undulata*’nın yaprağındaki fotosentetik oluşuma katkı verecek Mn’in artışına bağlı olduğu tahmin edilmektedir. Bir başka deyişle; *C. undulata*’da yapılan bu çalışma haricinde diğer çalışmalarda görülmüştür ki bitki bünyesindeki kısmi Ca miktarında artış tespit edildiğinde, bu bitkilerde klorofil a değeri azalmakta, ancak bu çalışmada olduğu gibi bitkinin fotosentetik oluşumlarda görev alan diğer elementlerin varlığı (Mn gibi) Ca’un klorofil üzerindeki olumsuz etkisini azaltabildiği tahmin edilmektedir.

Önceki denemeden farklı olarak bu denemede, *Cryptocoryne undulata*’daki klorofil b miktarının deneme sonunda azaldığını izlenmektedir (Şekil 4.103).

Klorofil a ve klorofil b miktarındaki bu değişimler nedeniyle bu çalışmada, *C. undulata*’daki klorofil a/b oranının arttığı görülmektedir (Şekil 4.103). Oysaki aynı bitki ile yapılan diğer denemede, hem klorofil a hem klorofil b’nin “Deneme Sonrası”nda artması nedeniyle, klorofil a/b oranının azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.103 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” *Cryptocoryne undulata*’daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimi

4.6 *Myriophyllum verticillatum* L. ile Yapılan Deneme

Çalışma doğal ortamdan alınan bitki ile yürütülmüştür. Bu bitkinin tür teşhisi (sistematigi) Marmara Üniversitesi Biyoloji Bölümün’de Prof. Dr. Celal Yarcı tarafından yapılarak, bitkinin *Myriophyllum verticillatum* L. olduğu belirtilmiştir.

Myriophyllum verticillatum L. ile yapılan bu çalışmada eşit molaritede (2×10^{-6} M) Fe, Cu, Zn, Cr ve Zn içeren sentetik su ile besleme yapılmıştır.

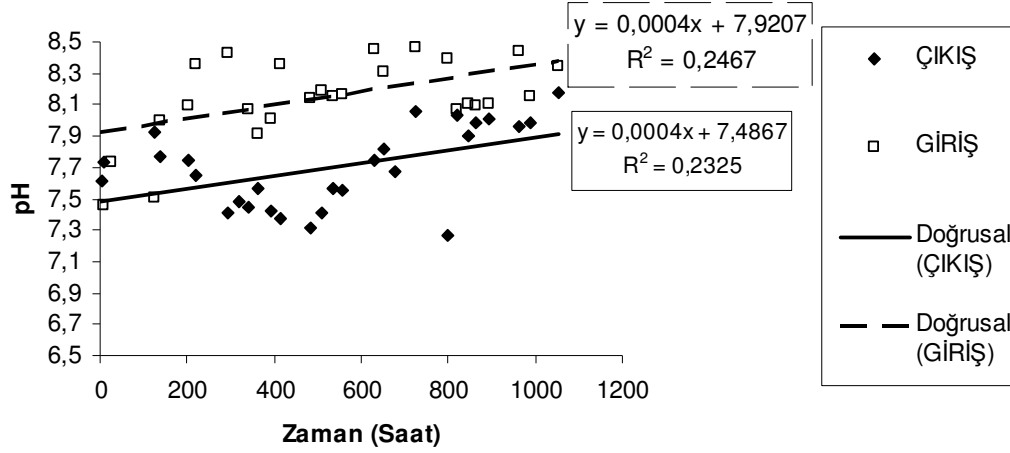
4.6.1 Reaktör Suyundaki Kimyasal Değişiklikler

Bu deneme, doğal ortamdan alınan *Myriophyllum verticillatum* L. ile aynı doğal ortamdan alınan ve ağır metal içerdiği belirlenen sediment yapı ve sentetik olarak hazırlanan ağır metal içeren besleme suyuyla çalışma yürütülmüştür

Deneme süresince su-sediment-bitki arasında meydana gelen kimyasal ve biyolojik reaksiyonların su kalitesine etkisini belirlenmek için reaktöre giren ve reaktörden çıkan sulardaki pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik ve alkalinite analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen bulgular bu bölümde irdelenmiştir.

Myriophyllum verticillatum L. ile yapılan bu çalışmada reaktörden çıkışında suda pH

değerlerinin, diğer bitkilerle yapılan çalışmalarda olduğu gibi yaklaşık 8 olduğu izlenmektedir (Şekil 4.104).

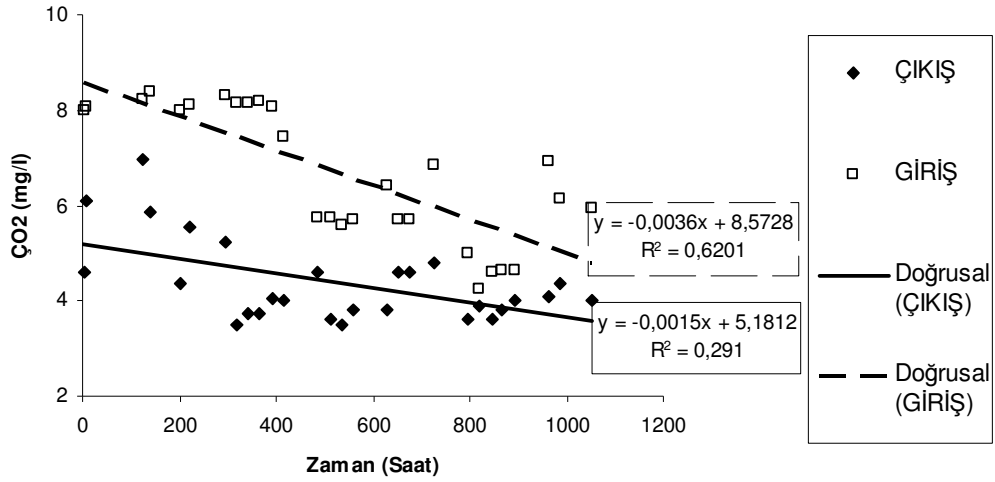


Şekil 4.104 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede suda pH değişimi

Myriophyllum verticillatum L. ile yapılan bu çalışmada, reaktör girişindeki suyun çözünmüş oksijen değerinin, *Cryptocoryne undulata* ile yapılan bir diğer çalışmada olduğu gibi reaktör çıkış suyundan fazla olduğu izlenmektedir (Şekil 4.105).

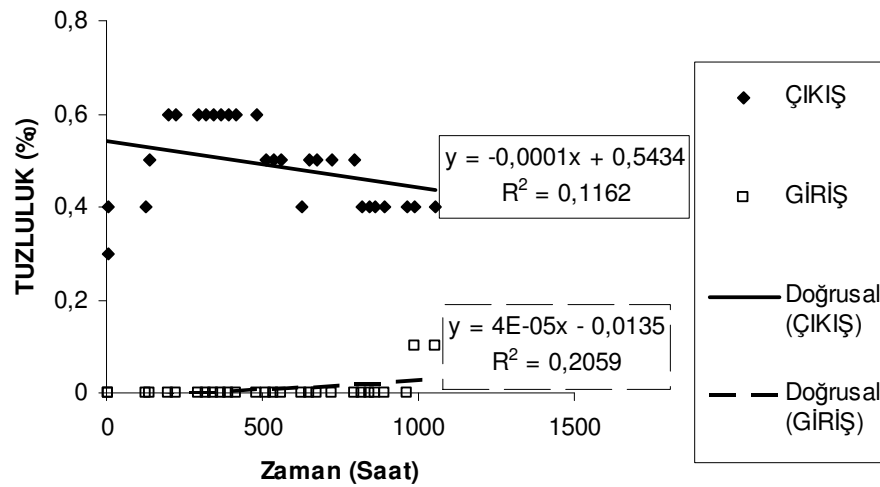
Ayrıca, *M. verticillatum* L. ile (Şekil 4.105) ve *C. undulata* ile yapılan çalışmalarda (Şekil 4.76) reaktör giriş suyundaki çözünmüş oksijen değerlerinin, diğer bitkilerle yapılan çalışmalarda (Şekil 4.2, Şekil 4.20, Şekil 4.37, Şekil 4.55) izlenen reaktör giriş sularındaki çözünmüş oksijen değerlerinden de fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedenin, besleme tankının karıştırılması sonucunda, suyun oksijenle zenginleştirilmesinin etkisi olduğu tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada reaktörden çıkan sudaki çözünmüş oksijen miktarının denemenin ilk günlerinde (ilk 250 saat) azaldığı, daha sonra çözünmüş oksijen değerinin dengelendiği ($3,9 \pm 0,4$) izlenmektedir (Şekil 4.105).

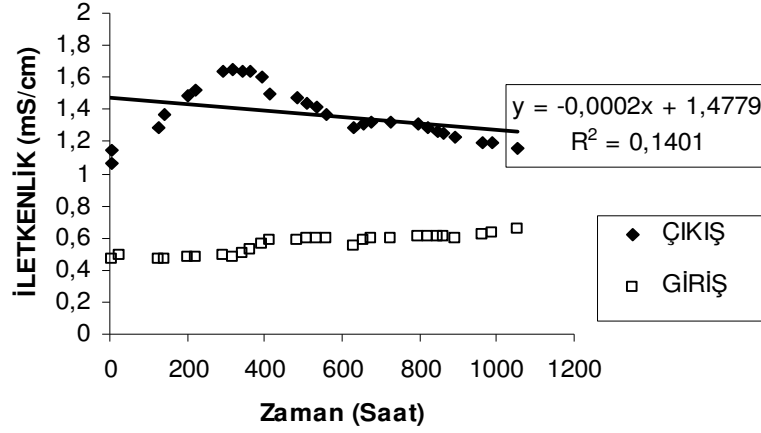


Şekil 4.105 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede suda Çözünmüş Oksijen (ÇÖ_2) değişimi

M. verticillatum L. ile yapılan denemenin ilk günlerinde reaktör çıkış suyunda tuzluluk ve iletkenlik değerlerinin arttığı, sonra azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.106 ve 6.107). Sudaki element varlığının sucul ortamdaki tuzluluk ve iletkenlik değerlerini etkilemesi nedeniyle, reaktör çıkış suyunda element miktarlarının değişimi ile tuzluluk ve iletkenlik değerleri beraber değerlendirilmiş, Mg miktarında suda artışın (Şekil 4.109) tuzluluk ve iletkenlik değerlerindeki değişimiyle (Şekil 4.106 ve 6.107) paralellik gösterdiği belirlenmiştir.

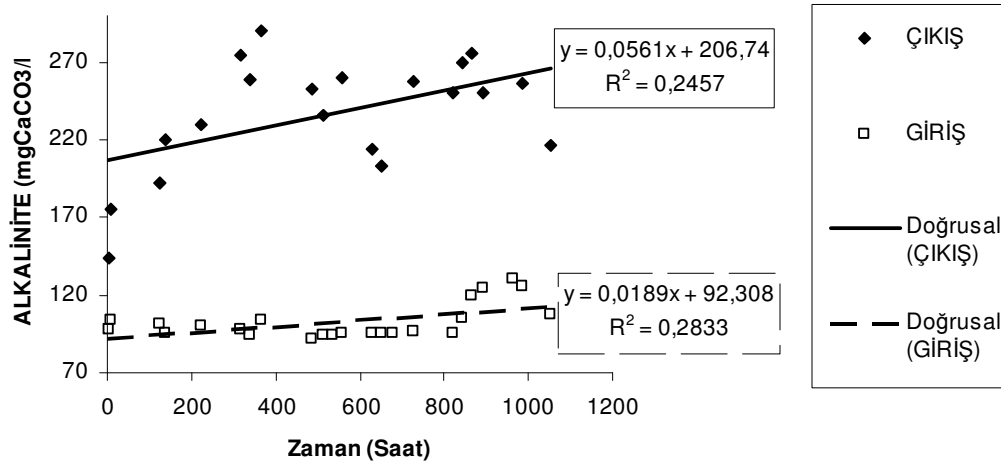


Şekil 4.106 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede suda tuzluluk değişimi



Şekil 4.107 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede suda iletkenlik değişimi

M. verticillatum L. ile yapılan denemede, reaktör çıkışındaki suda alkalinite değerinin reaktöre giren sudan fazla olduğu ve denemenin ilk günlerinde artışın devam ettiği, daha sonra dengeye ulaştığı (245 ± 23 mgCaCO₃/l) izlenmektedir (Şekil 4.108). Reaktör çıkış suyunda yapılan element analizinde Mg ve Ca artışının belirlenmesi nedeniyle (Şekil 4.109 ve Şekil 4. 110), çalışmanın önceki denemelerinde olduğu gibi Mg ve Ca'un sedimentte karbonat bileşiği olarak bulunduğu (Çizelge 3.1) ve çözünerek suya Mg ve Ca iyonu olarak geçtiği tahmin edilmektedir. Çözünen bu bileşiğinden suya geçen diğer iyon olan CO₃²⁻'ın ise alkalinitenin artmasına neden olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 4.108 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede suda alkalinite değişimi

4.6.2 Reaktörde Su, Sediment Arası Boşluk Suyu Ve Sediment Yapı Metal Değişimleri

Bu üç yapının (su, sediment arası boşluk suyu ve sediment) metal analizleri standart metotlara uygun olarak yapılmış ve sonuçları Şekil 4.109'dan Şekil 4.116'ya kadar olan grafiklerde verilmiştir. Elde edilen verilere göre:

Mg:

Myriophyllum verticillatum L. ile yapılan çalışmada, deneme süresince reaktör çıkış suyundaki Mg miktarının reaktöre giren sudaki miktarından fazla olduğu izlenmektedir (Şekil 4.109).

Denemenin ilk günlerinde (ilk 200 saat) reaktör çıkış suyundaki Mg miktarının arttığı, sonra Mg miktarından dengeye ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.109).

Sediment arası boşluk suyundaki Mg miktarının denemenin ilk günlerinde (ilk 100 saat) arttığı, sonra Mg miktarının azaldığı ve deneme başladıktan 12 günden sonra (300 saat sonra) sediment arası boşluk suyundaki miktarının dengeye ulaştığı izlenmektedir (Şekil 4.109).

Deneme sürecinde sedimentteki Mg miktarının, deneme başlamadan önce reaktöre yerleştirilen sedimentteki Mg miktarına göre azaldığı görülmektedir (Şekil 4.109).

Sedimentteki Mg'un sediment arası boşluk suyuna, oradan da suya geçtiği ve bu nedenle reaktör çıkış suyundaki Mg miktarının arttığı tahmin edilmektedir.

Ca:

Denemenin ilk saatlerinde reaktörden suyla çıkan Ca miktarının Ca'un giriş değerinden fazla olduğu, ilerleyen saatlerde giriş suyundaki miktarına yakın değerlere düştüğü, tekrar arttığı, ve yeniden reaktör çıkış suyundaki miktarının azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.110).

Sediment arası boşluk suyunda ve sedimentteki Ca değerindeki değişim izlendiğinde, sedimentteki Ca'un sediment arası boşluk suyuna, oradan da suya geçerek çıkış suyundaki miktarının arttığı görülmektedir (Şekil 4.110).

Cr:

Reaktör giriş suyunda 2×10^{-6} M olan Cr metalinin reaktör çıkışında arttığı izlenmektedir (Şekil 4.111).

Sediment arası boşluk suyunda Cr metal miktarının Ca'da olduğu gibi zaman zaman arttığı daha sonra azaldığı Şekil 4.101'de görülmektedir.

Sedimentteki Cr miktarının deneme öncesi reaktöre yerleştirilen sedimentteki miktarından az olduğu izlenmektedir (Şekil 4.111).

Sedimentteki Cr miktarının azaldığı dönemlerde reaktör çıkış suyundaki miktarının artması, sedimentteki Cr miktarının arttığı dönemlerde ise reaktör çıkış suyundaki miktarının azalması nedeniyle, Cr metalinin sedimente zayıf olarak bağlandığı ve kolaylıkla sediment arası boşluk suyuna oradan da suya geçtiği tahmin edilmektedir.

Mn:

Reaktör çıkışında Mn miktarının deneme süresince değiştiği Şekil 4.112’de görülmektedir.

Sediment arası boşluk suyu ile sedimentteki Mn miktarlarındaki değişim izlendiğinde; bir yapıda Mn miktarı artarken, diğer yapıda azaldığı görülmektedir. Bu nedenle Mn’ın özellikle sediment ile sediment arası boşluk suyu arasında hareket ettiği tahmin edilmektedir.

Fe:

Reaktöre giren suda 2×10^{-6} M olan Fe’in reaktörden çıkarken arttığı izlenmektedir (Şekil 4.103).

Deneme sırasında sedimentteki Fe miktarının, denemeye başlamadan önce reaktöre yerleştirilen sedimentte bulunan Fe’in miktarından az olduğu izlenmektedir (Şekil 4.113).

Deneme sırasında sedimentteki Fe miktarının, giriş sedimentindeki Fe miktarından az olması, giriş suyundaki Fe miktarının çıkış suyunda fazla olması nedeniyle sedimentteki Fe’in suya geçtiği tahmin edilmektedir (Şekil 4.113).

Ni:

Reaktör giriş suyunda 2×10^{-6} M olan Ni’in reaktör çıkış suyundaki miktarının sürekli değiştiği Şekil 4.114’de görülmektedir.

Reaktör giriş suyuna göre çıkış suyunda Ni miktarının artması ve sedimentteki Ni miktarının deneme öncesi sedimentteki Ni miktarından az olduğundan, sistemdeki Ni’in sediment ile su arasında hareket ettiği tahmine edilmektedir.

Cu:

Cu’nun hem sudaki hemde sedimentteki davranışlarının Ni’e benzer olduğu izlenmektedir (Şekil 4.115). Bu nedenle, Ni’de olduğu gibi Cu’nun da sediment yapı ile su arasında hareket ettiği tahmin edilmektedir.

Zn:

Reaktör çıkış suyundaki Zn miktarının reaktör giriş suyundan fazla olduğu Şekil 4.106 ’da görülmektedir.

Denemenin başlangıcında organik maddelerce zengin olan sedimentte bulunan Zn'nın miktarının azaldığı sonra sedimentte ve sediment arası boşluk suyunda da arttığı, daha sonra hem sedimentte hem de sediment arası boşluk suyunda azaldığı izlenmektedir (Şekil 4.116). Bu nedenle, Zn'nun sedimentte zayıf olarak bağlandığı, kolaylıkla sediment arası boşluk suyuna orada suya geçtiği tahmin edilmektedir. Xue ve arkadaşları (2003) sucul ortamlarda yaptıkları çalışmada, ortamdaki çinko ve bakır transferinde organik madde varlığının önemli olduğunu ve çinkonun bakıra göre organik maddelere zayıf organometalik yapılar oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Sistemdeki Elementlerin Genel Davranışı:

Deneme boyunca reaktör suyunda element miktarlarındaki değişim izlendiğinde, reaktöre verilen miktardan genellikle fazla olarak reaktörden çıktığı izlenmektedir (Şekil 4.109 - Şekil 4.116).

Deneme süresince reaktördeki elementlerin sedimentteki miktarlarındaki değişimi izlendiğinde, denemenin ilk saatlerinde element miktarlarının deneme öncesindeki değerine göre azaldığı, daha sonraki günlerde ise deneme öncesi miktarını geçmese de denemenin ilk saatlerine göre arttığı izlenmektedir. Elementlerin sedimentteki miktarında görülen bu artışın özellikle denemenin ilk 400 saati içinde olduğu şekillerden görülmektedir (Şekil 4.109 - Şekil 4.116).

Sistemdeki (su, sediment arası boşluk suyu ve sediment yapı) tüm elementlerin toplam miktarlarında değişim izlendiğinde, sistemdeki elementlerin toplam miktarının bazı elementler için denemenin hemen başında (Mg, Cr gibi) bazı elementler için ise deneme başladıktan birkaç saat sonra (Ca, Cu gibi) deneme öncesindeki toplam değerinden fazla olduğu belirlenmiştir.

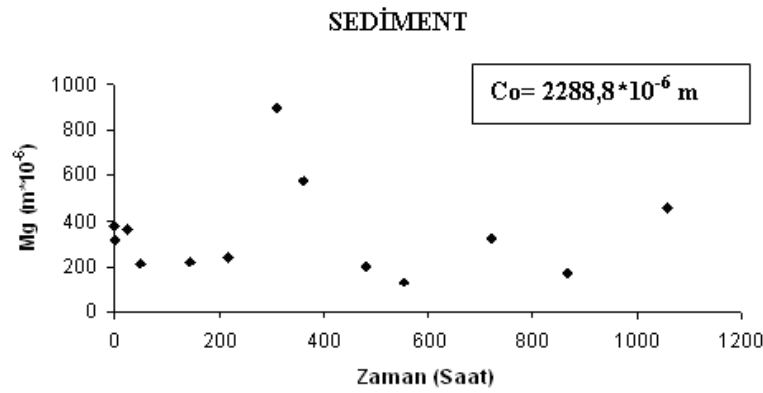
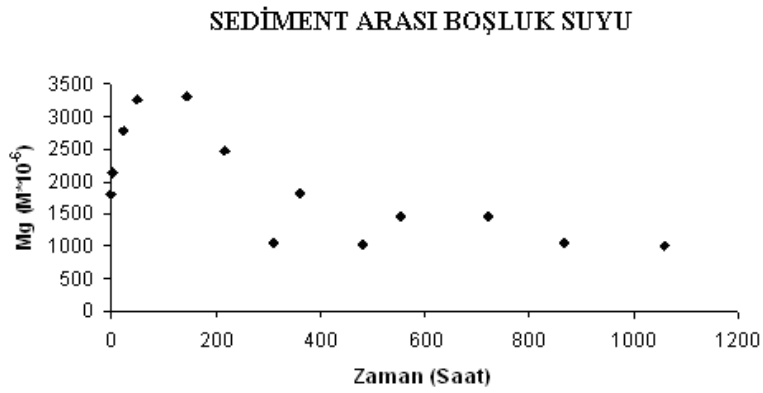
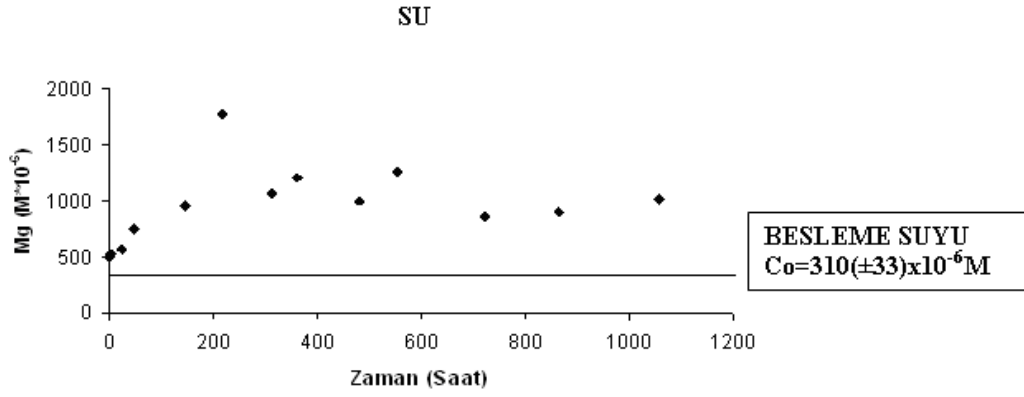
İncelenen tüm elementlerin bitki bünyesindeki miktarlarının deneme sonrasında azalması (Şekil 4.119) ve sistemdeki toplam miktarlarının artmasının (Şekil 4.109 - Şekil 4.116), bitkinin bünyesindeki elementleri ortama verilmesi olduğu tahmin edilmektedir. Sedimentteki element miktarlarının denemenin ilk 400 saatinde artması nedeniyle de bu bitkinin bünyesindeki elementleri ortama verilmesinin ağırlıklı olarak denemenin ilk 400 saatinde gerçekleştiği tahmin edilmektedir.

Bitkinin bünyesindeki elementleri ortama verdikten sonra bir kısmının akışla taşındığı, bir kısmının bileşik oluşturup bitki yüzeyine çökeldiği, bir kısmının ise bitki yüzeyine tutunduğu tahmin edilmektedir.

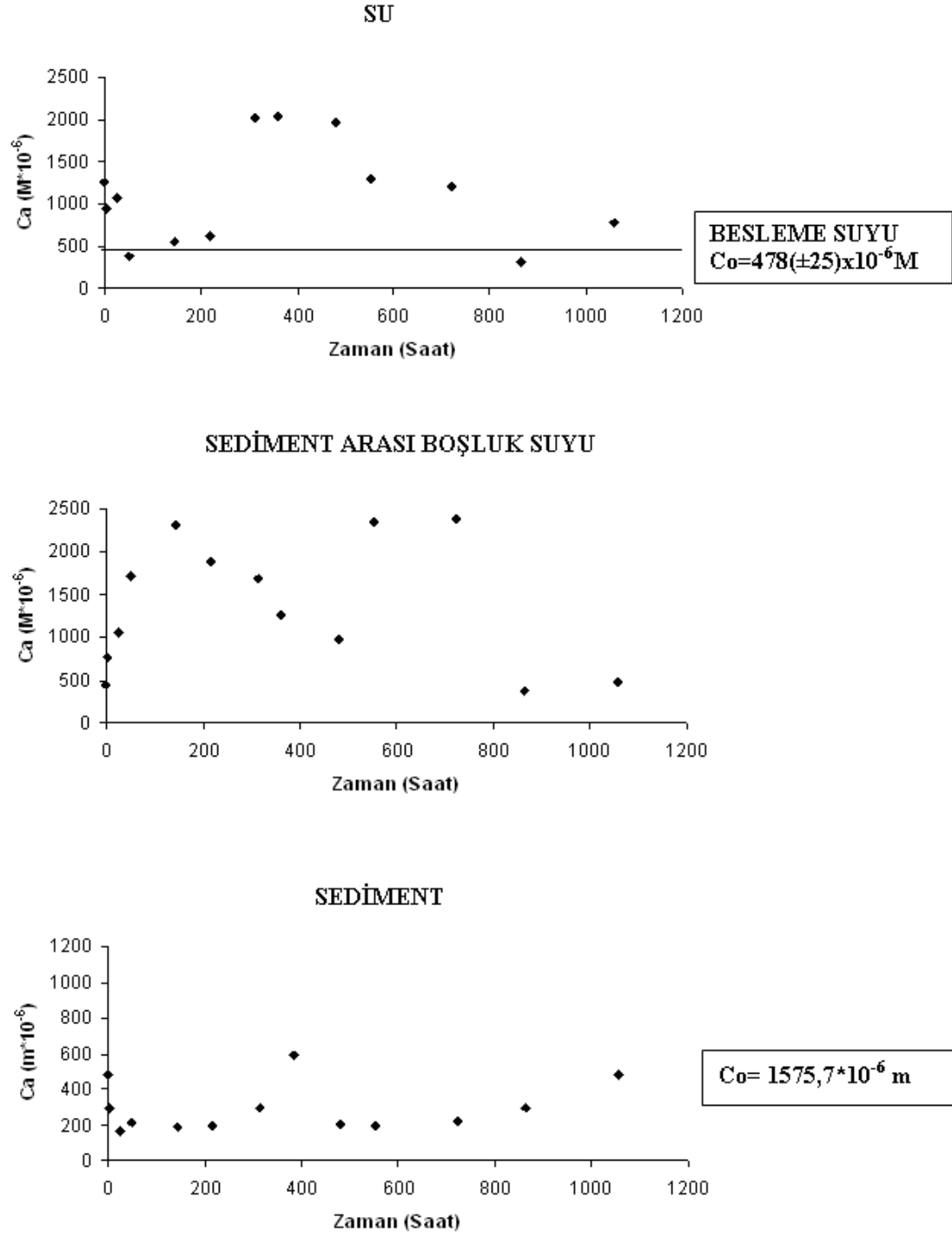
Deneme bittikten sonra reaktörden çıkarılan bitkilerin yıkanmasıyla bitki yüzeyinde çökelmiş

elementlerin bir kısmının uzaklaştırıldığı ancak bitki yüzeyine tutunan metallerin bitki yüzeyinin yıkanmasıyla uzaklaştırılamadığı tahmin edilmektedir. Yıkamayla bitki yüzeyinden uzaklaştırılamayan elementlerin varlığı, bitki yüzeyinde yapılan EDS analizlerinde izlenmektedir (Çizelge 4.20).

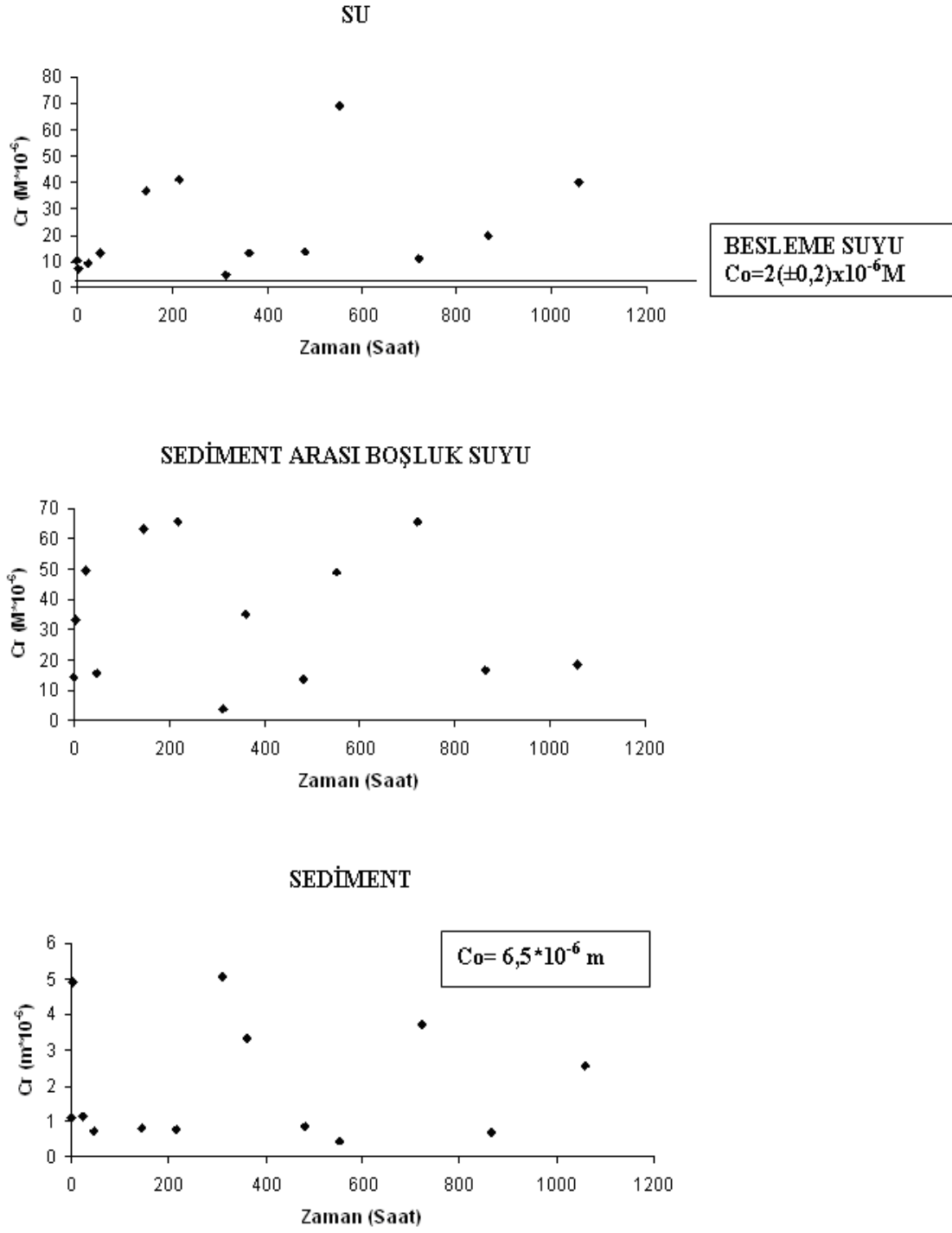
Dolayısıyla bitkinin elementleri ortamdan almasının sadece kökle olmadığı, ortama elementleri vermesinin de sadece bitki kökünden sızıntılarla gerçekleşmediği, bir başka deyişle bitki bünyesinin tamamında bu alım ve verim mekanizmalarının meydana geldiği tahmin edilmektedir.



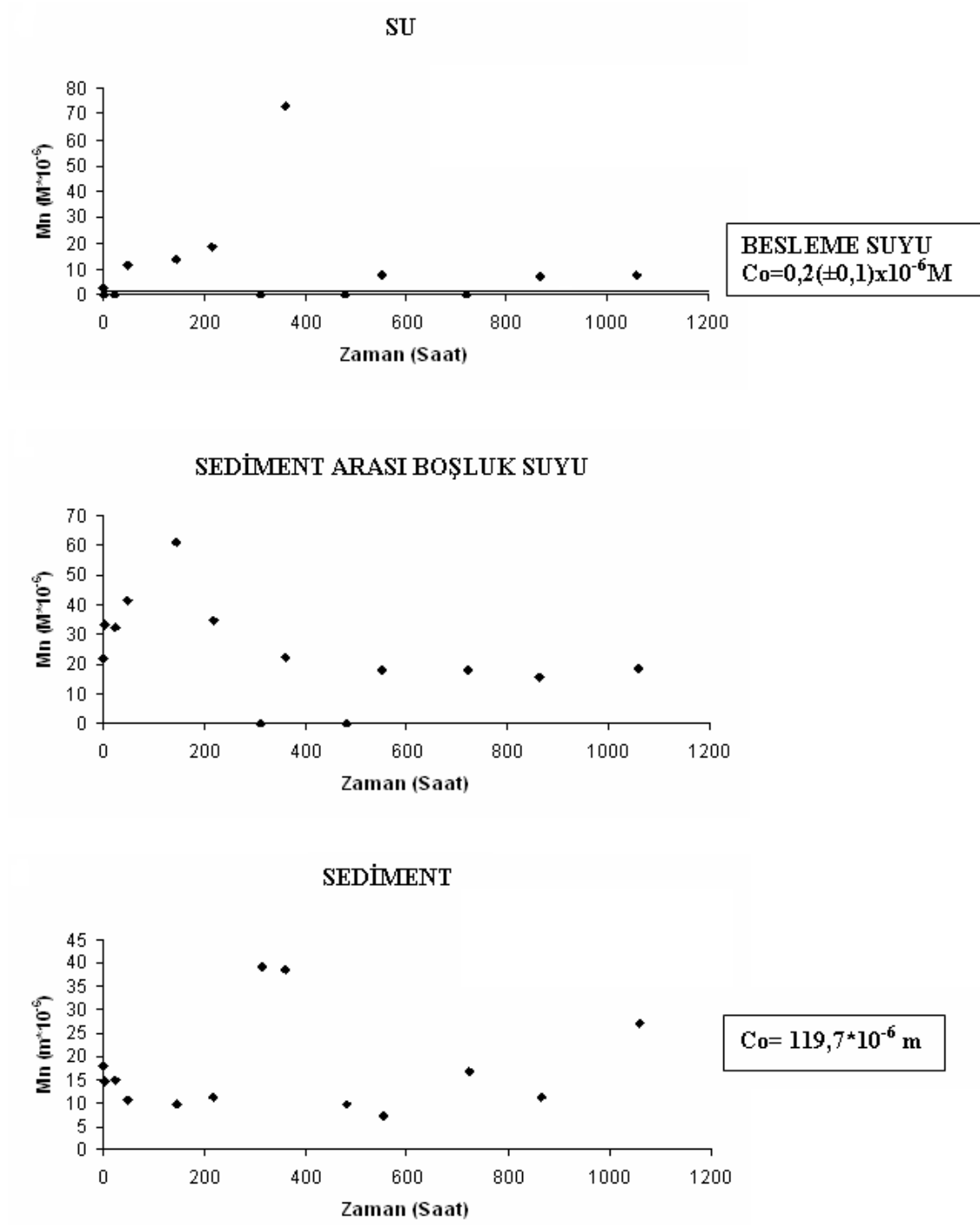
Şekil 4.109 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede Mg değişimi



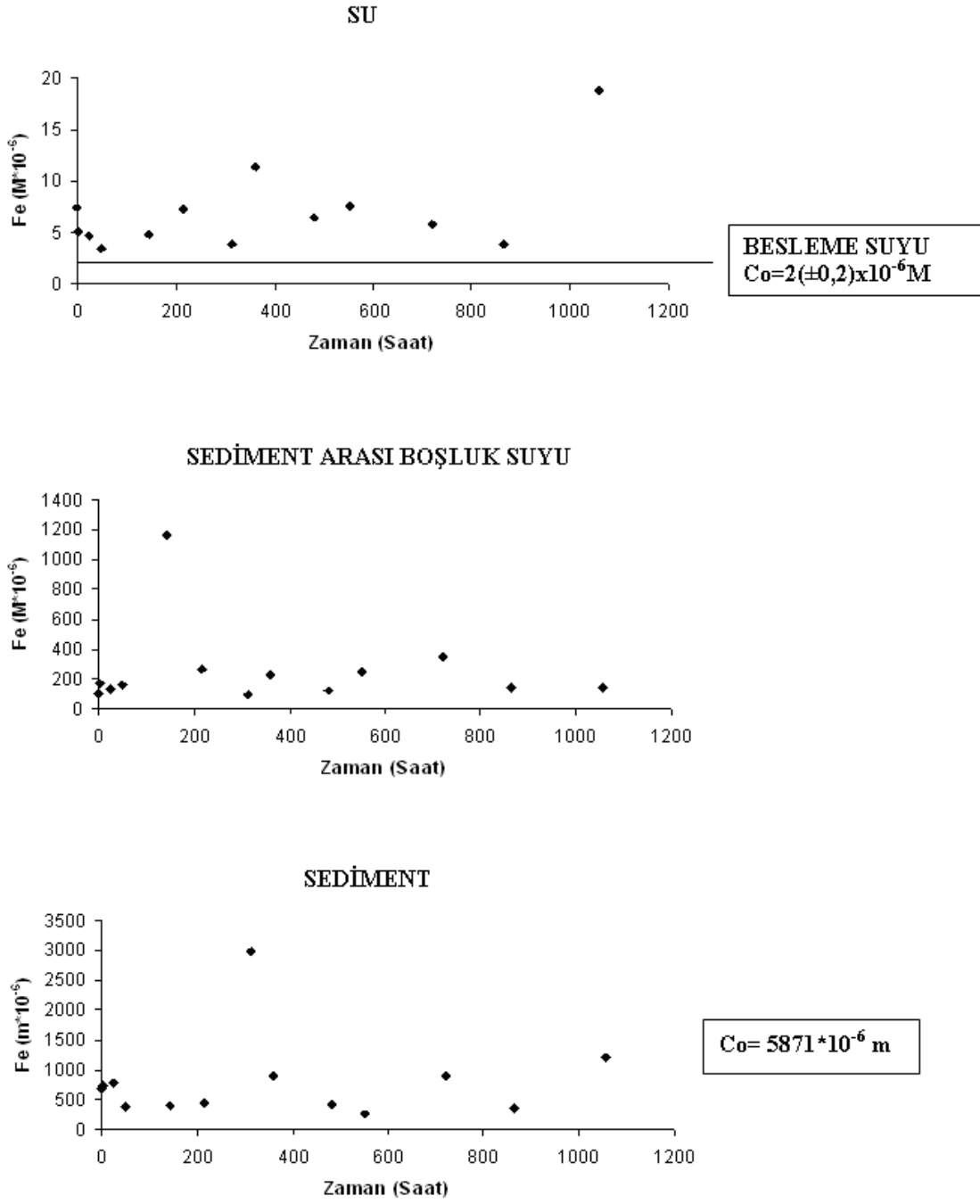
Şekil 4.110 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede Ca değişimi



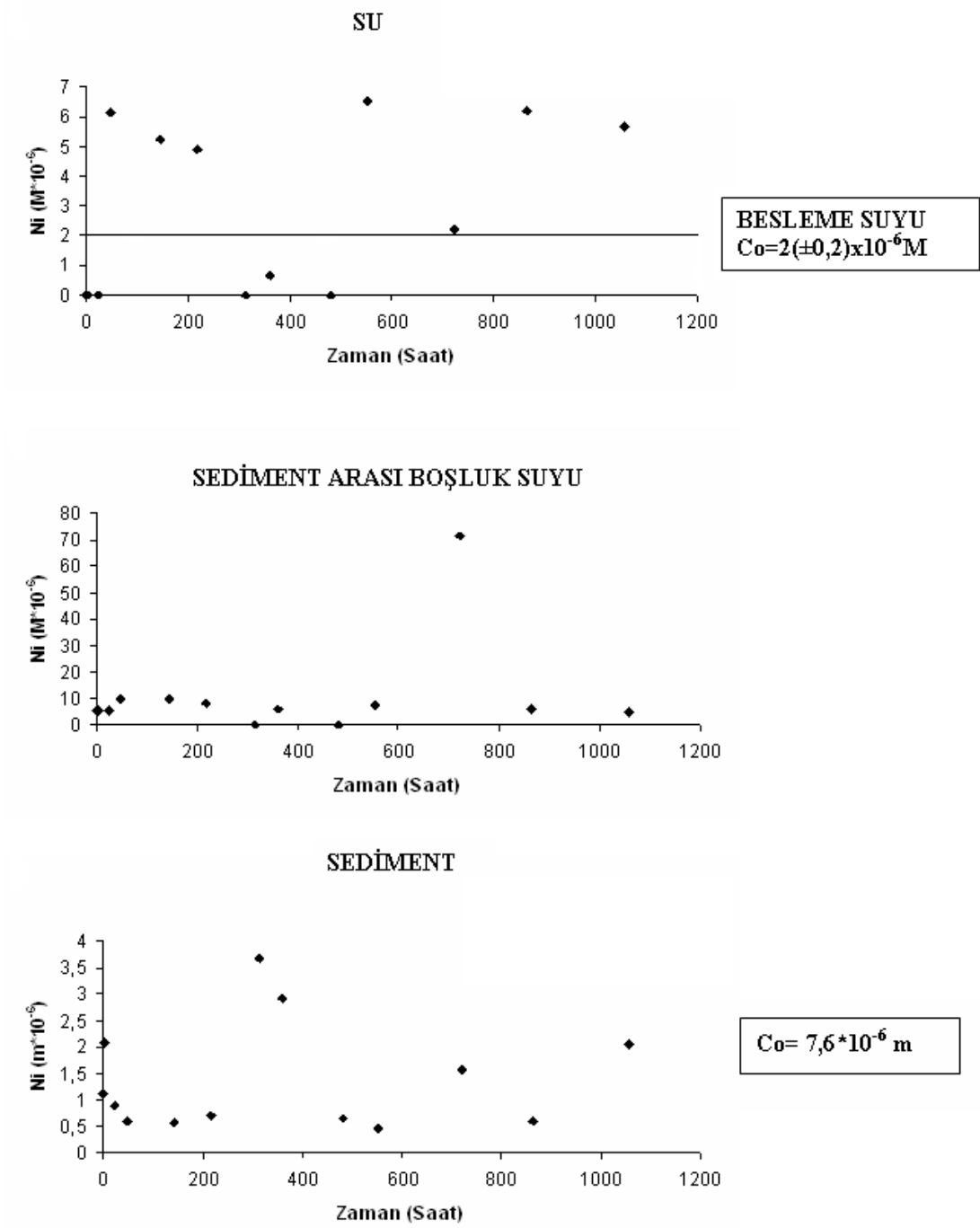
Şekil 4.111 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede C_r değişimi



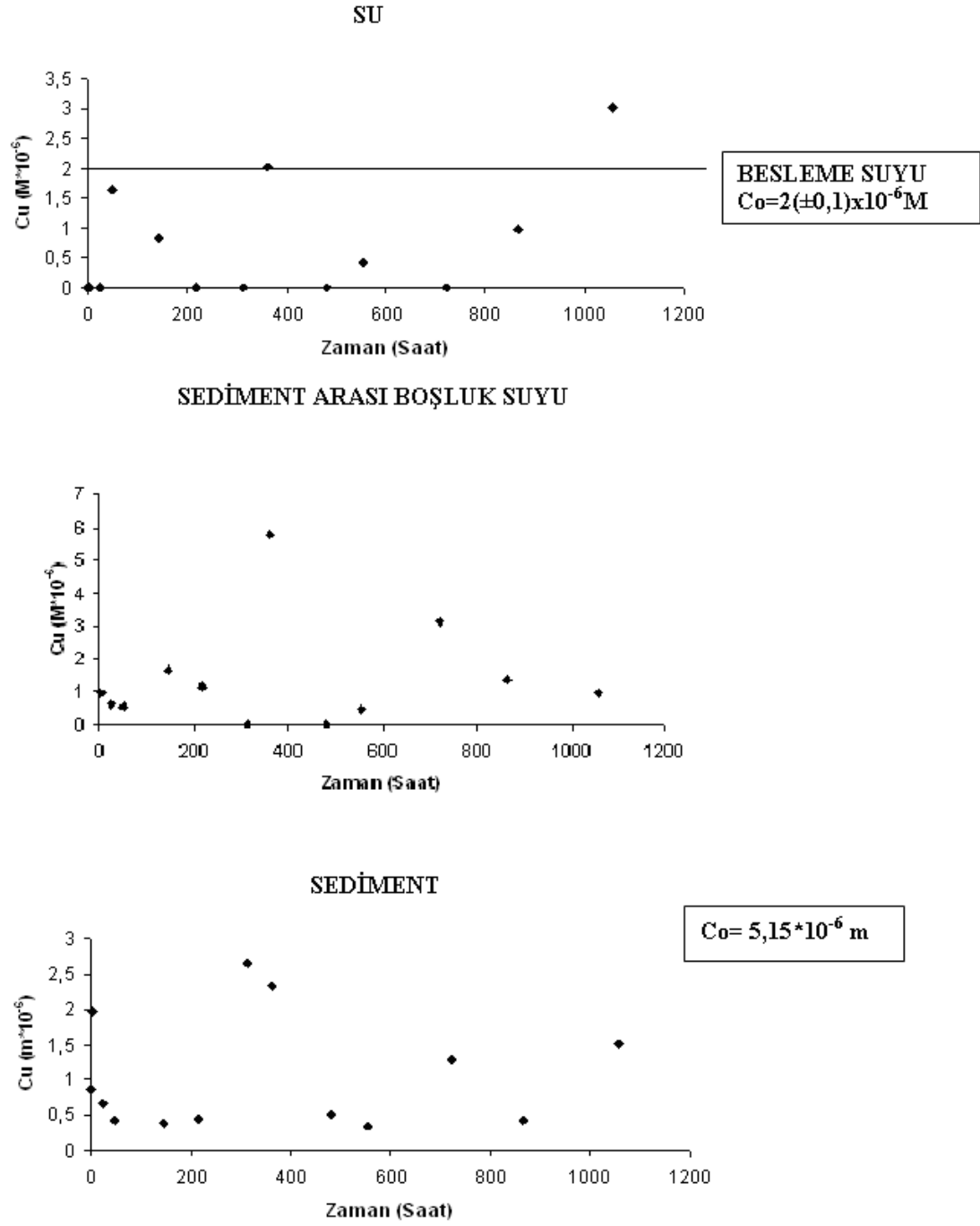
Şekil 4.112 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede Mn değişimi



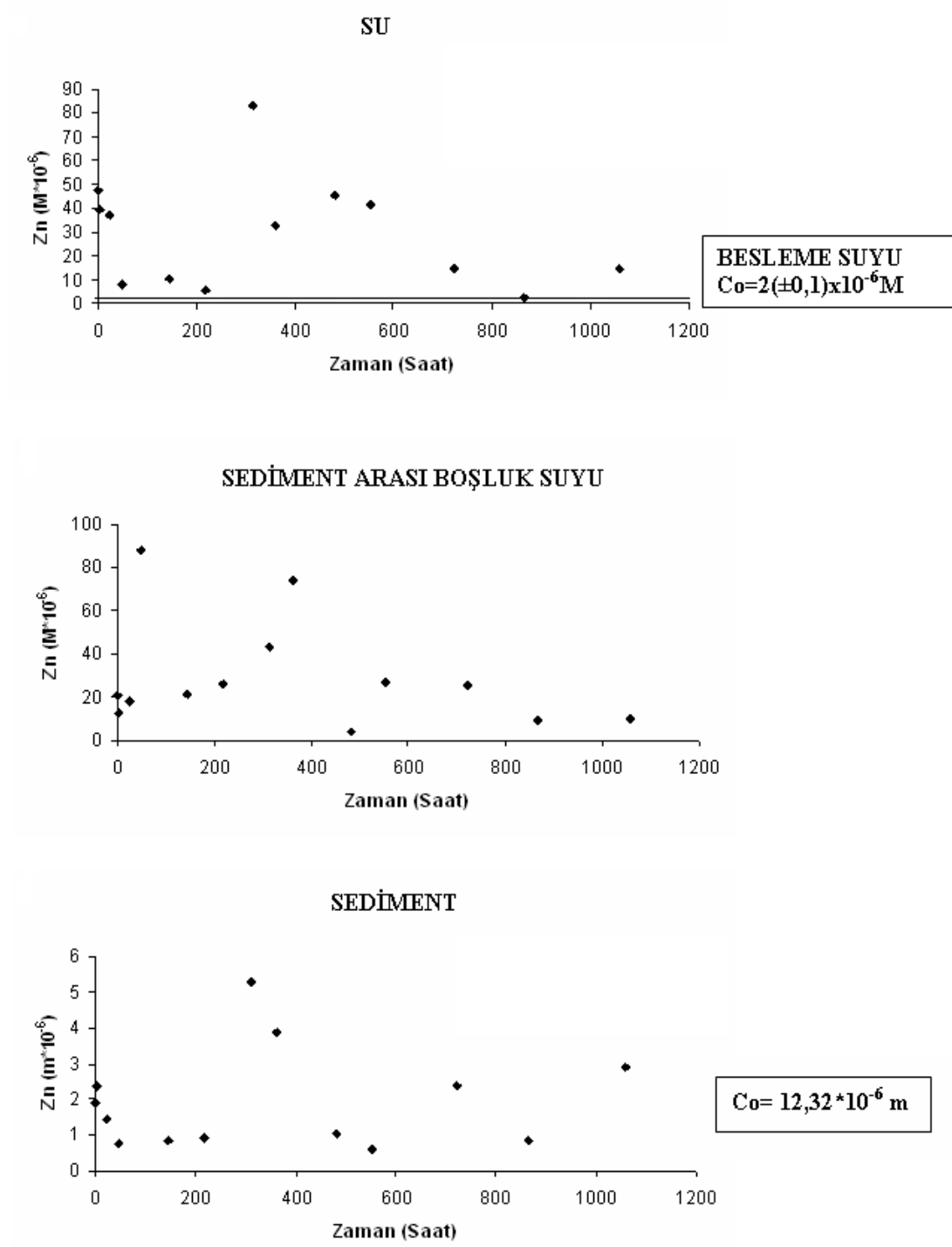
Şekil 4.113 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede Fe değişimi



Şekil 4.114 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede Ni değişimi



Şekil 4.115 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede Cu değişimi



Şekil 4.116 *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemede Zn değişimi

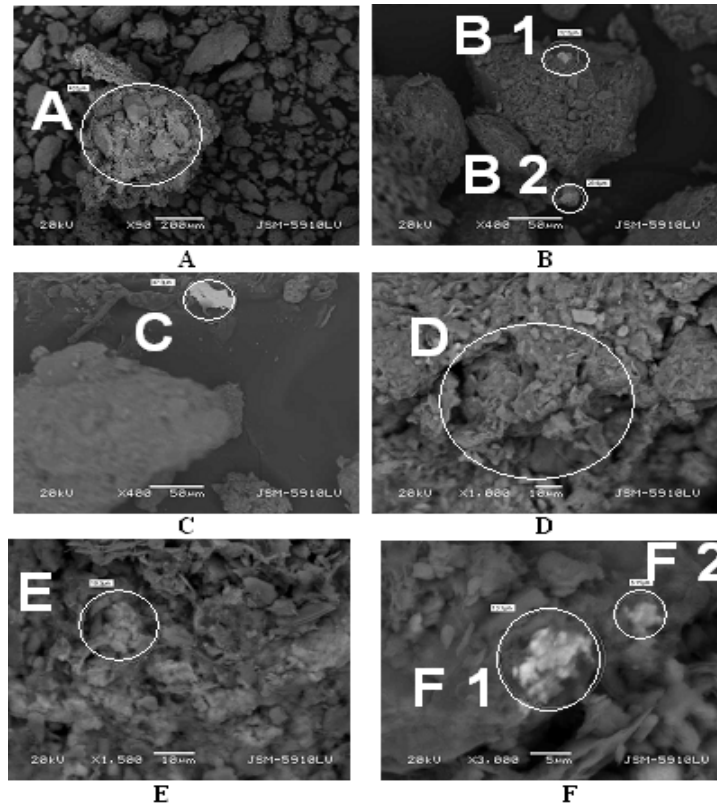
4.6.3 Deneme Sonrası Sediment Yapının “Scanning Elektron Mikroskop” İncelemesi

Denemede kullanılan sedimentin, deneme sonrası hangi elementi bünyesinde bulundurduğunu görüntüleyebilmek için sediment yapı “Scanning Elektron Mikroskop” (SEM) ile incelenmiştir. Ayrıca SEM incelemesinin yapıldığı görüntü alanlarında, sediment yapının elementel özelliğinin belirlenmesi için element dağılım analizi (EDS) yapılmıştır.

Bu analizlerde; atom ağırlığı yüksek olan seryum (Ce) ve neodimyum (Nd) adlı lantanit elementleri, zirkonyum (Zr) ve titanyum (Ti) adlı geçiş elementleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.18).

Bu geçiş elementlerinin doğal ortamdan alınan sedimentle taşınarak sisteme geldiği tahmin edilmektedir.

Çok tekrarlı yapılan sediment yapının SEM incelemelerindeki görüntü alanlarında yapılan EDS analizlerinde, denemede izlenen elementlerden sadece Ni, Fe, Mn, Ca ve Mg’nin olduğu bölgelere rastlanmıştır (Şekil 4.117).

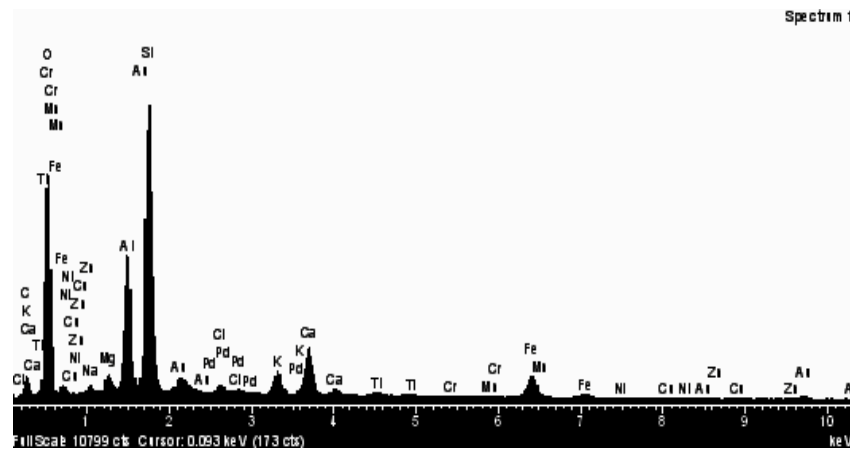


Şekil 4.117 *Myriophyllum verticillatum* L. çalışmasının “Deneme Sonrası” sediment yapısının SEM görüntüsü

NOT: Şekil 4.117’ye ait EDS analiz sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18 “Deneme Sonrası” sedimentin element dağılımı (%)

Element Spectrum(%)	O	Na	Mg	Si	P	S	Si	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ce	Nd	Zr	Toplam
Şeal 4.117 A	60.35	0.80	2.26	21.99	0.00	0.00	0.00	0.88	2.29	4.91	0.52	0.00	0.00	6.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şeal 4.117B1	13.56	42.80	0.00	11.56	0.00	0.00	0.00	0.32	0.23	0.46	0.00	0.00	0.00	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.81	100.00
Şeal 4.117B2	27.34	0.00	1.93	9.43	0.00	0.00	9.43	1.12	1.8	1.43	0.00	0.00	0.00	56.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şeal 4.117 C	37.82	1.62	0.00	3.24	0.00	0.00	0.00	1.81	0.75	1.98	0.00	0.00	0.00	0.72	52.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şeal 4.117 D	60.86	1.43	2.33	23.80	0.00	0.00	0.00	0.96	2.62	2.63	0.48	0.00	0.00	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şeal 4.117 E	39.88	0.54	1.63	20.81	0.00	7.47	0.00	1.21	2.76	3.00	0.61	0.00	0.45	21.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şeal 4.117F	31.97	0.00	1.04	32.99	0.69	0.00	0.00	0.76	1.52	2.66	1.41	0.00	0.00	13.53	0.00	0.00	0.00	9.24	4.21	0.00	100.00



Şekil 4.118 “Deneme Sonrası” sedimentin element dağılımı (Şekil 4.117 A analizi)

4.6.4 Deneme Sürecinde Bitkideki Metal Değişimleri

Myriophyllum verticillatum L. bitkisi morfolojik olarak kök, gövde ve ince (iplikimsi) yapraklardan oluşmaktadır (Şekil 3.5). Denemelerde gövde ve yapraklar birbirinden ayrılamadığı için gövde ve yaprakların tamamı gövde kabul edilip değerlendirilmiştir.

Denemeye başlanmadan önce ve deneme bittikten sonra *M. verticillatum* L. bitkisinin kökünden ve gövdesinden alınan numunelerde metal analizi yapılmıştır. Bitkilerde yapılan analiz sonuçları bu bölümde irdelenmiştir.

Bu bölümde ayrıca, deneme sonrası *M. verticillatum* L.’nin organlarının dış yüzeyleri ve iç yapıları Bölüm 5’de anlatıldığı gibi “Scanning Elektron Mikroskop” (SEM) ile incelenmiş ve mikroskobun görüntü alanlarındaki elementlerin yoğunluk dağılımları (EDS) tespit edilmiştir.

4.6.4.1 Bitki Tarafından Alınan Elementler

Denemeye başlamadan önce ve deneme bittikten sonra *Myriophyllum verticillatum* L.’nin yüzeyinde bulunabilecek partiküllerin uzaklaştırılması için bitkiler saf su ve seyreltik HCl (%3) ile yıkandıktan sonra metal analizleri ve elektron mikroskop incelemeleri yapılmıştır.

M. verticillatum L. bitkisinden alınan örnekte denemeler başlamadan yapılan elementel analizlerde, çalışmada *izlenen tüm elementlerin* (Mg, Ca, Fe, Cr, Mn, Zn, Ni ve Cu) bitki bünyesinde bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 4.119 A ve B).

Çalışma tamamlandıktan sonra reaktörden alınan bitki örneğinde ise;

- “Deneme Öncesi”nde bünyesinde var olduğu tespit edilen *elementlerin tümünün olduğu* (Şekil 4.119 A ve B),
- Ancak *bitki bünyesindeki elementlerin miktarlarının rölatif olarak azaldığı* tespit edilmiştir (Şekil 4.119 A ve B).

M. verticillatum L.’nin bünyesinde yapılan SEM incelemeleri de çalışmada incelenen elementlerin bitki bünyesinde bulunduğunu göstermiştir. Örneğin;

- ✓ Ca, Mn ve Fe’in *yaprak yüzeyinde* (Şekil 4.121 , Şekil 4.122 ve Çizelge 4.20)
- ✓ Fe, Mg, Ca ve Mn’ın *kök yapısı (en kesit) içinde* (Şekil 4.125, Şekil 4.126 ve Çizelge 4.22) bulunduğu görüntü alanlarına rastlanmıştır.

Bitkinin kök en kesitinde yapılan SEM incelemelerinde kapiler sistemi meydana getiren ve element ile mineralleri taşımada görevli *iletim boruları olduğu düşünülen bölge* görüntülenmiştir (Şekil 4.125 B ve C). İletim borusu (kapiler sistem) olduğu düşünülen bu yapının içinde farklı bir yapının olduğu izlenmiştir. Şekil 4.125 B’de B2 olarak verilen içi boş iletim borusu ile Şekil 4.125 C deki B1 bölgesinde gösterilen iletim borusunun içindeki yapının kıyaslanmasıyla, bu yapının iletim borusuna göre Fe, Mn ve Ba’ı daha fazla içerdiği, Ca ve K ise yaklaşık aynı değerlerde bulundurduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Elementlerin iletim sistemi içinde bulunması nedeniyle elementlerin bu sistemle bitki içinde taşındığı tahmin edilmektedir.

Bitkinin gövde en kesitinde 6 tekrarlı yapılan SEM incelemelerindeki görüntü alanlarındaki EDS analizi sonucunda, incelenen elementlerin bulunduğu gövde en kesitine rastlanamamıştır (Şekil 4.123, Şekil 4.124 ve Çizelge 4.21) .

Yaprak yüzey kesitlerinde ise önceki çalışmada olduğu gibi *diatomaların* varlığı tespit edilmiştir (Şekil 4.121 A). *M. verticillatum* L.’nin yaprak yüzeyindeki elementlerin dağılım yüzdelерinde (EDS) karbon ve oksijenden sonra en fazla bulunan elementin Si olduğu Şekil 4.122’de verilen grafikte ve Çizelge 4.20’de görülmektedir. Bitki yüzeyinde Si’un fazla olmasının diatomaların varlığıyla ilgili olduğu tahmin edilmektedir.

Yaprak yüzeyinde tutunmuş olan diatomalarda yapılan EDS analizlerinde, çalışmada incelenen elementlere rastlanamamıştır. Ancak, Şekil 4.121 B (A1)’de gösterilen yaprak olmadığı düşünülen diatomalar arasındaki yapıda Fe, Mg ve Ti’nin varlığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.20).

Bitkinin kök yüzeyinde 6 tekrarlı yapılan SEM incelemelerinde, kök yüzey kesitini temsil eden alana rastlanamamıştır (Şekil 4.126 A).

Bitki numunelerinin incelendiği SEM görüntü alanlarındaki EDS analiz sonuçları, *elementlerin bitkinin;*

- *İç yapısında* (dokusunda) (Çizelge 4.22),
- *Dış yüzeyinde* (Çizelge 4.20),
- *Bitki yüzeyine tutunmuş diatomalar arasındaki yapıda* (Çizelge 4.20) olduğunu göstermiştir.

Reaktörden çıkarma esnasında bitki yüzeyinde bulunabilecek partiküllerin uzaklaştırılması için deneme sonunda reaktörden çıkarılan bitkiler yıkandıktan sonra bitkinin kök ve

gövdesinden alınan örneklerde yapılan SEM incelemeleri, bitki yüzeyinde diatomaların ve elementlerin varlığını göstermiştir. Bu da bitki yüzeyinde bulunan diatomaların ve elementlerin yıkamayla bitki yüzeyinden uzaklaşmadığını göstermiştir.

Bitki numunelerinde kimyasal parçalama sonrası yapılan element analizin, bitki bünyesindeki tüm element miktarlarını yansıttığı başka bir deyişle; bitkinin iç yapısındaki ve hem de dış yüzeyindeki elementlerin toplam miktarlarını verdiği belirlenmiştir.

Kimyasal olarak parçalanan bitkinin elementel analizi sonucunda, hem “Deneme Öncesi”, hem de “Deneme Sonrası”nda *bitkinin tüm organlarında*;

- Büyüme için gerekli olan *Ca*,
- Enzim ve klorofil yapısına katılan *Fe*, *Mg* ve *Mn*’ın en fazla bulunan elementler olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.89).

Aynı elementler, bitkinin kök en kesiti (Çizelge 4.22) ve yaprak yüzey kesitinde (Çizelge 4.20) yapılan SEM incelemelerindeki görüntü alanlarında da tespit edilmiştir.

Myriophyllum verticillatum L.’nin “Deneme Sonrası”nda tüm organlarındaki element miktarları incelendiğinde;

- *Ca* ve *Fe*’in bitki gövdesine göre kökünde,
- *Mn*, *Ni* ve *Cu*’ın bitki köküne göre bitki gövdesinde daha fazla bulunduğu izlenmektedir (Şekil 4.119 A)

Bu farklılığa rağmen “Deneme Sonrası”nda *hem kökte hem de yaprakta; en fazla bulunan ilk dört elementin her iki organında aynı sıralamayla* ($Ca > Fe > Mg > Mn$) *bulunduğu* görülmektedir (Şekil 4.119 A, B ve Çizelge 4.19 “Deneme Sonrası Metal Birikimi”).

Şekil 4.119 A ve B’de gösterilen “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” metal birikim grafiğine bakıldığında, bitki bünyesinde bulunan tüm elementlerin “Deneme Sonrası”nda miktarlarının azaldığı görülmektedir. Bitkinin bünyesindeki bazı elementleri daha fazla, bazılarını ise daha az ortama verdiği başka bir deyişle, *M. verticillatum* L.’nin elementleri bünyesinde tutmada tercihi olduğu izlenmektedir.

M. verticillatum L.’nin “Deneme Öncesi”ne göre “Deneme Sonrası”nda *bünyesinde tutmayı* tercih ettiği elementlerin belirlenmesi için bitki bünyesindeki elementlerin “Kısmi Miktarları”ndaki değişim incelenmiş ve bu sıralamanın;

şeklinde olduğu görülmüştür. Bitkinin çalışmada incelenen diğer elementleri ise bünyesine tutmayı tercih etmediği, hem bitki bünyesindeki element miktarının “Deneme Sonrası”nda azalmasından (Şekil 4.119 A ve B) hem de “Kısmi Element Miktarı”ndaki (Şekil 4.120 A ve B) değişimlerde izlenmektedir.

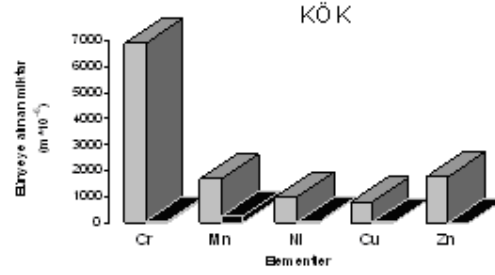
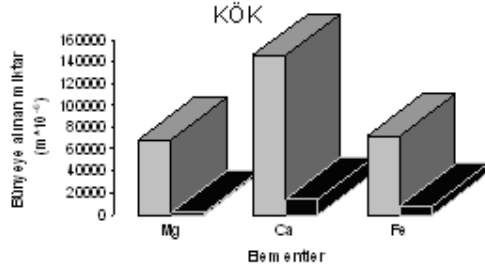
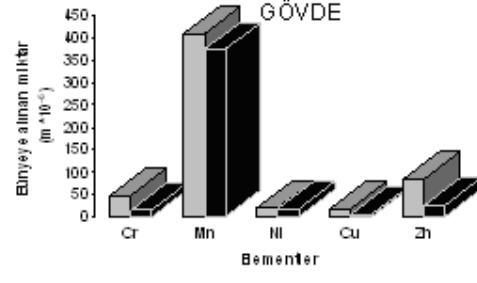
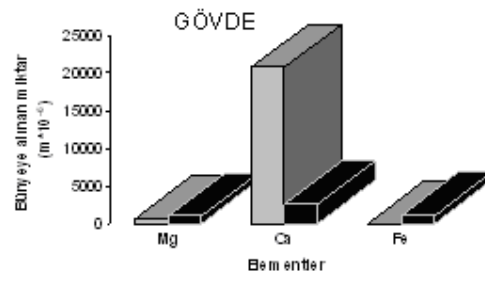
Bitkinin özellikle; hücre duvarını güçlendirme, hücre bölünmesi ve büyümesinde yardımcı olan Ca’ı, nükleik asit metabolizmasına katılan ve fotosenteze yardımcı olan Fe’i, klorofil oluşumuna yardım eden, protein ve karbonhidrat oluşumunda rol alan Mn’ı tercih etmesi nedeniyle, bitkinin bu elementleri özellikle *bitki büyümesi* için bünyesinde tuttuğu tahmin edilmektedir. Fe ve Mn’ın fotosentetik reaksiyonlarda görev alan elementler olmasına rağmen “Deneme Sonrası” bitkideki klorofil a üzerinde olumlu etkisi olmaması (Şekil 4.127), bitki boylarının ise “Deneme Sonrası”nda artması (Çizelge 4.23) bitkinin bu elementleri büyüme için kullandığı fikrini desteklemektedir.

M. verticillatum L.’nin “Deneme Öncesi”ne göre “Deneme Sonrası”nda bünyesindeki elementlerin “Kısmi Miktar”larındaki değişim [i-15], reaktör giriş suyundaki elementlerin miktarlarıyla [i-11] beraber irdelendiğinde;

- Reaktör besleme suyunda en fazla bulunan Ca’u bitkinin bünyesinde en fazla tuttuğu,
- Besleme suyunda eşit molaritede olan Ni, Cr, Zn, Cu ve Fe metallere; *Fe’i bünyesine tutmayı tercih ederek, diğer elementleri ise tercih etmediği* belirlenmiştir.

Elementleri bünyesinde bulundurma tercihi olduğu belirlenen *M. verticillatum* L.’nin, her organı için değişen oranlarda elementleri bünyesinde tuttuğu belirlenmiştir (Çizelge 4.19 “Rölatif Birikim”). Örneğin; “Deneme Sonrası”nda *M. verticillatum* L.’nin;

- ✓ Fe’i Mg’dan daha fazla kapiler sistemle taşıyarak gövdesinde biriktirdiği (Çizelge 4.19 “Rölatif Birikim”),
- ✓ Mn ve Ni’i “Deneme Öncesi” gövdesinde bulundurduğu miktarlara yakın değerlerde bulundurduğu (Şekil 4.119 B),
- ✓ Ca, Cu, Cr ve Zn’yı en az değerlerde gövdesinde tuttuğu (Çizelge 4.19 “Rölatif Birikim”) belirlenmiştir.

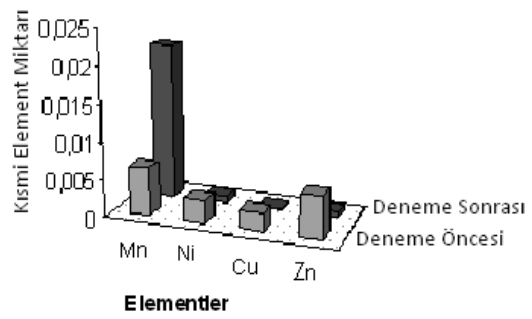
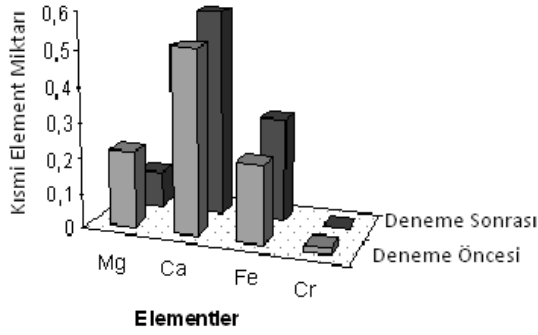


■ Deneme Öncesi ■ Deneme sonrası

A

B

Şekil 4.119 *Myriophyllum verticillatum* L. bünyesindeki metal miktarları



A

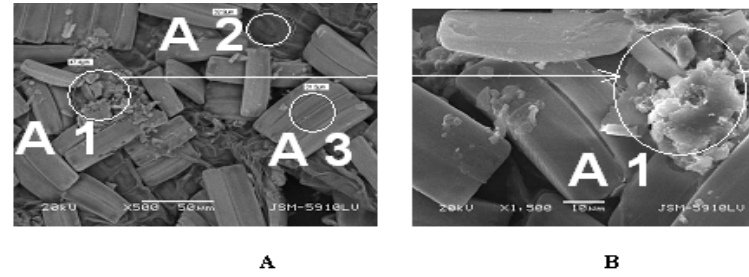
B

Şekil 4.120 *Myriophyllum verticillatum* L'nin "Kısmi Element Miktarı"

Çizelge 4.19 Bitki organlarının element alım tercihleri

Bitki Organları	Deneme Öncesi Metal Birikimi (m)	Deneme Sonrası Metal Birikimi (m)	Rölatif Birikim*
Gövde	Ca>Mg>Mn>Zn>Fe>Cr>Ni>Cu	Ca>Fe>Mg>Mn>Zn>Ni>Cr>Cu	Fe>Mg>Ni>Mn>Zn>Cr>Cu>Ca
Kök	Ca>Fe>Mg>Cr>Zn>Mn>Ni>Cu	Ca>Fe>Mg>Mn>Cr>Ni>Cu>Zn	Mn>Fe>Ca>Mg>Cr>Ni>Cu>Zn

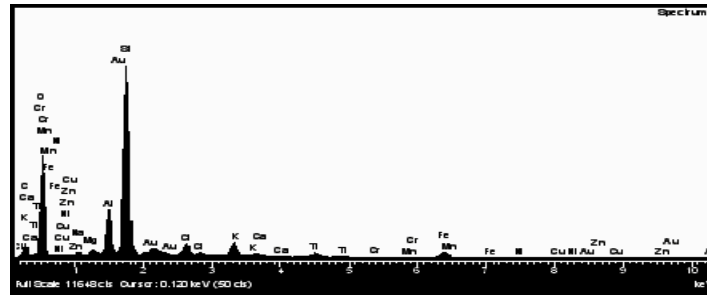
*Rölatif Birikim: Deneme Sonrası / Deneme Öncesi



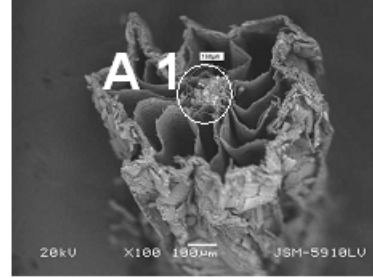
Şekil 4.121 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin yaprak yüzey kesitinin SEM görüntüsü

Çizelge 4.20 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin yaprak yüzey kesitinin element dağılımı (%)

Element	C	O	Na	Mg	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Toplam
Şekil 4.121 A1	12.86	53.49	0.41	1.20	23.80	0.00	2.10	2.54	0.27	0.95	0.00	0.00	2.37	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.121 A2	58.72	30.61	1.82	0.45	0.81	0.14	4.60	1.78	0.85	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Şekil 4.121 A3	7.95	55.25	0.44	0.00	34.59	0.00	1.16	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00



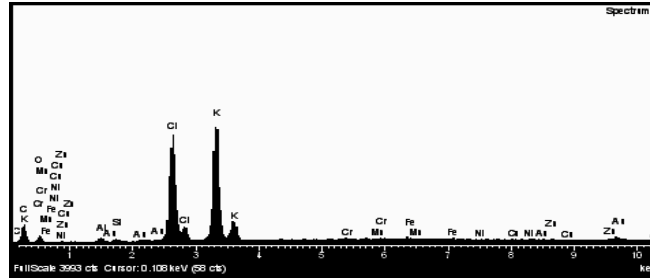
Şekil 4.122 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin yaprak yüzey kesitinin element dağılımı



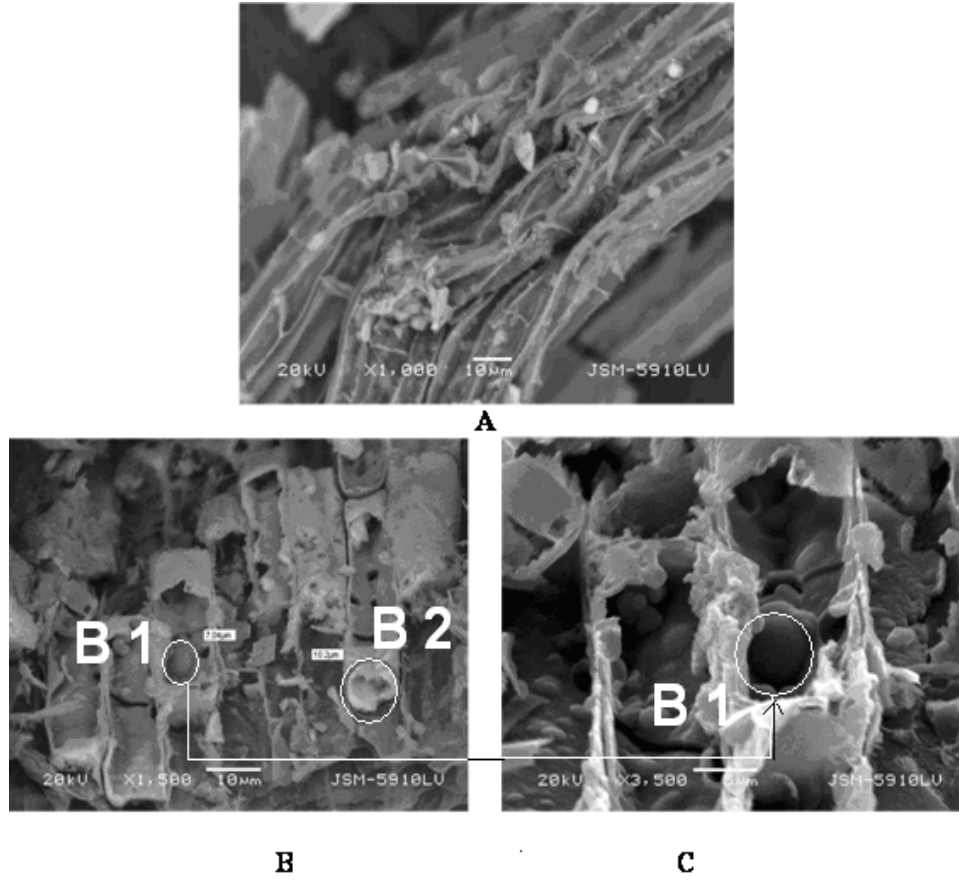
Şekil 4.123 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin gövde en kesitinin SEM görüntüsü

Çizelge 4.21 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin gövde en kesitinin element dağılımı (%)

Element	C	O	Si	Cl	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Toplam
Şekil 4.123 A 1	40.23	10.46	0.41	19.22	29.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00



Şekil 4.124 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin gövde en kesitinin element dağılımı



Şekil 4.125 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin kök SEM görüntüsü

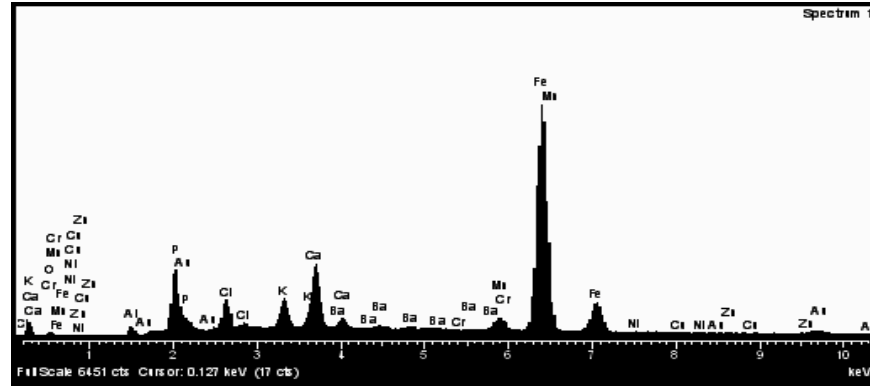
A: kök yüzey kesiti

B. kök en kesiti

NOT: Şekil 4.125 B’ye ait EDS sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin kök en kesitinin element dağılımı (%)

Element Spectrum (%)	C	O	Al	Na	Mg	Si	P	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ba	Toplam
Şekil 4.125 B 1	12.14	1.40	0.88	0.00	0.00	0.00	5.21	2.81	2.90	6.73	0.00	2.87	63.68	0.00	0.00	0.00	1.37	100.00
Şekil 4.125 B 2	32.24	11.74	0.00	0.91	0.42	0.34	6.38	2.77	2.41	4.76	0.00	1.69	35.65	0.00	0.00	0.00	0.71	100.00



Şekil 4.126 “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’nin kök en kesitinin element dağılımı (Şekil 4.125 B 1)

4.6.4.2 Denemeler Sırasında Bitkide Oluşan Yeni Yapraklardaki Elementler

Myriophyllum verticillatum L. yapısı gereği çok ince olan yaprakları sayılamadığından, yeni yaprak oluşumları hakkında bilgi sahibi olunamamıştır.

4.6.4.3 Reaktörde Kontrol Dışı Üreyen Bitkinin Analiz Sonuçları

Diğer bitkilerle yapılan çalışmalarda gözlemlenen kontrol dışı üreyen bitki bu çalışmada oluşmamıştır.

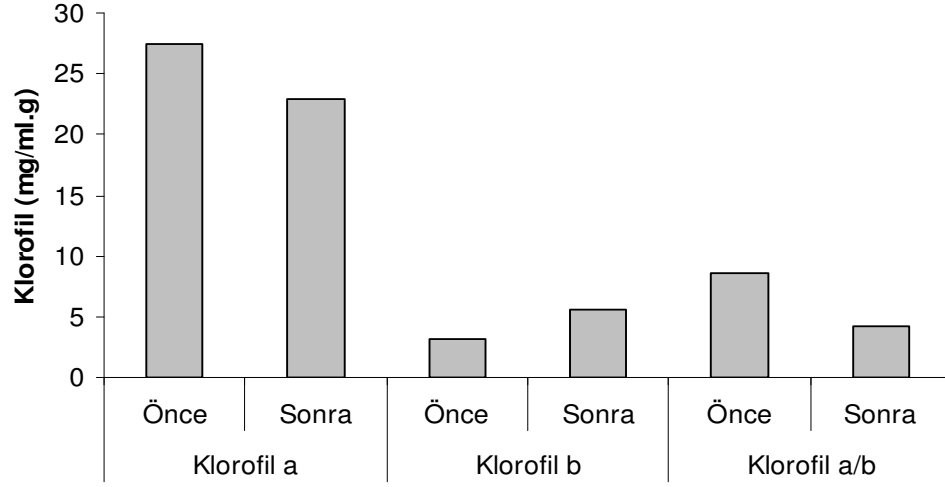
4.6.5 Deneme Sürecinde Bitkinin Fiziksel Değişiklikleri

Deneme sürecinde morfolojik değişiklik gözlemlenmeyen *M. verticillatum* L. bitkisinde klorofil analizleri yapılmış, “Deneme Öncesi”ne göre klorofil a miktarının “Deneme Sonrası”nda azaldığı, klorofil b değerinin ise arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.127).

M. verticillatum L. bitkisinde “Deneme Öncesi”ne göre “Deneme Sonrası”nda klorofil miktarındaki değişimler (Şekil 4.127) ile “Kısmi Element Miktarı”ndaki değişimler (Şekil 4.120 A ve B) beraber irdelendiğinde; bitkinin klorofilin yapı taşı olan Mg yerine, hücre büyümesinde yardımcı olan Ca ile fotosentezde görev alan Mn ve Fe’i tercih ettiğini göstermiştir. Mn ve Fe’in fotosentez için gerekli elementler olması nedeniyle; bitkide bu elementlerin “Kısmi Miktarı”ndaki artışın klorofil b üzerinde olumlu etki yaptığı, Ca’ın “Kısmi Miktarı”ndaki artışın ise klorofil a üzerinde olumsuz etki yaptığı tahmin edilmektedir.

M. verticillatum L.’nin “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” boy uzunluklarındaki değişimlerinde, bitkinin yapısı gereği ince olan kök ve gövdesinin reaktörden çıkarılırken gördüğü hasarlar nedeniyle ölçüm sonuçlarını yanıltsa da genel olarak bitki boyunun uzadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.23).

Bitki büyümesinde görev alan Ca’ın bitki bünyesindeki “Kısmi Miktarları”ndaki artışa (Şekil 4.120 A ve B) bağlı olarak bitki boyunun “Deneme Sonrası” arttığı tahmin edilmektedir (Çizelge 4.23).



Şekil 4.127 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” *Myriophyllum verticillatum* L.’daki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimleri

Çizelge 4.23 *Myriophyllum verticillatum* L.’nin boy değişimi

	Deneme Öncesi		Deneme Sonrası	
<u>1. Sıra</u>	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)
1. Bitki	7.5	35	5.5	44
2. Bitki	9	19	5.3	28
3. Bitki	4.5	35	9.8	40.3
<u>2. Sıra</u>	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)	KÖK (cm)	GÖVDE (cm)
1. Bitki	6.5	34.5	6.7	32.5
2. Bitki	6	31	10.3	41
3. Bitki	6	49	3.8	36.6

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Küçükçekmece Gölü ve havzası, birçok endemik türü bünyesinde barındıran, Türkiye’deki nadir lagün ekosistemlerinden birisidir. Bu ekosistem antropojenik kaynaklarla kirlenmekte, bunun sonucunda göl ve gölü besleyen derelerin (Sazlıdere deresi ve Eşkinöz deresi) su ve sediment kalitesi bozulmaktadır. Örneğin, Üstün vd. (2005 ve 2008) yaptıkları çalışmalarda, en önemli kirletici gruplarından olan metallerin (Fe, Cu, Zn, Cr ve Ni) bu doğal sucul ortamı kirlettiğini rapor etmişlerdir.

Bu çalışmada, Küçükçekmece havzasındaki metallerin besin zinciri yoluyla bitkiye geçme özelliğinden yararlanılarak uzaklaştırılabilirliğinin (fitoremediasyon) araştırılması ve bu uzaklaştırma tekniğindeki esasların belirlenmesi amacıyla laboratuvar çalışması yapılmıştır. Çalışmada, Küçükçekmece havzasında yaşayabileceği ve ekolojik sisteme zarar vermeyeceği düşünülen *Echinodorus amazonicus*, *Cryptocoryne undulata*, *Anubia congensis*, *Crinum thaianum* adlı bentik bitkiler ve Küçükçekmece Gölü’nden alınan *Myriophyllum verticillatum* L. bentik bitkisi kullanılmıştır. Doğal ortamı temsil eden (pH, sıcaklık, akış hızı) laboratuvar şartlarında yürütülen çalışmada, sucul ortamın her bir fazındaki (su, sediment arası boşluk suyu, sediment ve bitki) demir, bakır, çinko, nikel ve mangan metalleri ile magnezyum ve kalsiyum elementlerinin davranışı ayrı ayrı izlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak verilmiştir.

Denemeler süresince araştırmada izlenen elementlerin (Fe, Cu, Zn, Cr, Ni, Mg, Mn ve Ca) su, sediment arası boşluk suyu ve sediment yapı arasında hareket ettiği gözlenmiştir (Şekil 4.5 - Şekil 4.12).

Su, sediment arası boşluk suyu ve sediment yapı arasında hareket ettiği belirlenen bu elementlerin, sediment arası boşluk suyundaki miktarlarının azaldığı, bitki bünyesindeki miktarlarının ise arttığı belirlenmiştir. Bu durumun, bitkilerin kökleriyle elementleri sediment arası boşluk suyundan almasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.30 ve Şekil 4.32 B).

Denemelerde kullanılan tüm bentik bitkilerin bünyelerinde en fazla bulunan ilk üç elementin, büyüme için gerekli olan kalsiyum ile enzim ve klorofil yapısına katılan magnezyum ve demir olduğu görülmüştür (Şekil 4.13).

Elektron mikroskobu (SEM) incelemelerinde, elementlerin bitkinin içyapısında (Şekil 4.97),

bitkinin dış yapısında (Şekil 4.95) ve bitki yüzeyinin yıkanmasıyla uzaklaştırılamayan bitki dokusu dışındaki yapılarda (yüzeye tutunmuş diatomalar, köke tutunmuş sediment parçaları) (Şekil 4.91) bulunduğu gözlemlenmiştir.

Metallerin sucul ortamdan bitki ile alınımında; bitki türüne bağlı olarak, alınan elementlerin organlardaki birikiminin farklılık gösterdiği, genellikle en fazla kökte bulunduğu belirlenmiştir. Bitki kökünde element birikiminin fazla olma nedeninin, bitkinin elementleri köküyle aldıktan sonra kapiler sistemle üst organlara (gövde ve yaprak) taşımaması olduğu düşünülmektedir. Köklerde diğer organlara göre daha fazla element bulunmasında, SEM incelemelerinde görülen kök yüzeyinde yıkamayla giderilemeyen tutunmuş elementler (yüzeye tutunmuş diatomalar, köke tutunmuş sediment parçaları) de etkili olmuştur (Şekil 4.99).

Bitkinin hangi organının hangi elementi daha fazla yapısına aldığına belirlemesi amacıyla “Rölatif Birikim” (deneme sonrası bünyeye biriken element miktarının deneme öncesi miktarına oranı) değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmada incelenen bentik bitkilerin tamamında yapılan “Rölatif Birikim” değerlendirmelerinde:

- Bitki türüne bağlı olarak element alım önceliklerinin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Örneğin, *E. amazonicus*’un demir metalini *C. thaianum*’dan fazla bünyesine aldığı görülmüştür (Şekil 4.13, Şekil 4.32).
- Element alım önceliklerinin bitki organlarına bağlı olarak da değiştiği belirlenmiştir. Örneğin, *C. thaianum* bünyesindeki elementler için elde edilen “Rölatif Birikim” değerlendirme sonuçları, kromun bitkinin yaprak ve köküne magnezyum ve kalsiyumdan fazla alındığını göstermiştir (Çizelge 4.4). Benzer şekilde, *A. congensis* bünyesindeki “Rölatif Birikim” değerlendirmelerinde, kromun bitkinin gövde ve kökünde demir ve bakıra göre daha fazla biriktiği (Çizelge 4.6), *E. amazonicus*’un ise kromu, incelenen diğer elementlerden daha az bünyesine aldığı görülmüştür (Çizelge 4.2).

Bitkinin ortamdan aldığı elementler arasındaki tercih sırasının belirlenmesi için, bitkilerin bünyesinde her element için belirlenen “Kısmi Element Miktarı”ndaki değişim, bitki türüne bağlı olarak element alım tercihlerinin değiştiğini göstermiştir. Örneğin, *E. amazonicus* ve *A. congensis* ortamdaki kalsiyumu almayı tercih ederken (Şekil 4.14 ve Şekil 4.51), *C. thaianum*’un bu elementi tercih etmediği (Şekil 4.33) tespit edilmiştir. Benzer şekilde, *A.*

congensis ve *C. thaianum* çinkoyu almayı tercih ederken (Şekil 4.51 ve Şekil 4.33), *E. amazonicus*'un çinkoyu tercih etmediği (Şekil 4.14) görülmüştür.

Aynı tür bitki (*Cryptocoryne undulata*) kullanılarak yapılan iki farklı denemede ise; bitkilerin element alım tercihlerinin yalnızca bitki türüne bağlı olarak değişmediği, bitkinin yaşadığı ortamdaki metal içeriğine ve bitkinin ortamdaki elementi alma süresine (fitoremediasyon süresi) de bağlı olduğunu göstermiştir (Çizelge 3.1 Sütun 5, Şekil 4.68 ve Çizelge 3.1 Sütun 6, Şekil 4.90).

Bentik bitkilerde yapılan bu değerlendirmelerden, bitkilerin bünyelerine aldıkları elementlerin özelliğine ve bitkinin yaşadığı ortamda birden çok elementin var oluşuna bağlı olarak elementler arası seçiciliklerinin olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, *A. congenis* ile yapılan denemede, element sıralaması $Ca > Mg > Fe > Mn > Zn \sim Cr > Cu \sim Ni$ şeklinde olan su ile reaktör beslenmiş ve bitkinin kalsiyum, demir ve çinkoyu, magnezyum ve mangana göre daha fazla tercih ettiği belirlenmiştir (Şekil 4.51 A ve B). Bitkilerde biriken elementlerin birikim oranlarına bakıldığında ise, elementlerin taşınmasında kullandıkları kapiler sisteme bağlı olarak bitkilerin bu seçiciliği önceliğe dönüştürdüğü düşünülmektedir. Örneğin, *A. congenis*'in kalsiyumu bitki köküyle alıp gövdeye, demir ve çinkoyu ise yaprağa kadar kapiler sistemiyle taşıdığı düşünülmektedir (Şekil 4.50).

Çalışmada kullanılan bentik bitkilerin yaprağında yapılan klorofil a ve klorofil b analizlerinde, hem klorofil a hem de klorofil b miktarlarının değiştiği ve bu değişimin birbirinden bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, *C. undulata*'da klorofil a'nın arttığı ve klorofil b'nin azaldığı (Şekil 4.103), *C. thaianum*'da klorofil a'daki artışın klorofil b'den fazla olduğu (Şekil 4.34) ve *E. amazonicus*'un ise klorofil b'nin klorofil a'ya göre daha fazla olumsuz etkilendiği (Şekil 4.17) görülmüştür. Klorofil'deki değişimin izlenmesi için genellikle klorofil a/b'deki değişim izlenmektedir (Prasad, 1998). Oysaki bu çalışmada, araştırmada kullanılan bentik bitkiler için klorofil değişimlerinin yalnızca klorofil a/b oranındaki değişimle değil, hem klorofil a, hem de klorofil b miktarlarındaki değişimlerin de izlenerek, beraber yorumlanmasının gerekli olduğu görülmüştür. Yukarıda örnek olarak verilen, hem klorofil a hem klorofil b miktarlarındaki değişimleri birbirinden farklı olan üç bentik bitkinin her birinde klorofil a/b oranının arttığı görülmüştür (Şekil 4.103, Şekil 4.34, Şekil 4.17).

Bununla birlikte, incelenen bentik bitkilerin bazılarında klorofil a'nın, bitki bünyesindeki kalsiyumun kısmi miktarındaki artıştan olumsuz etkilendiği (Şekil 4.17 ve Şekil 4.14), bazı

türlerde ise bu olumsuz etkiyi fotosenteze yardımcı olan elementlerin azaltabildiği (Şekil 4.103 ve Şekil 4.90) görülmüştür.

Sonuç olarak:

- Ekolojik dengeyi bozan ve insan hayatını tehdit eden kirleticilerin en önemlilerinden olan metallerin, bentik bitkiler kullanılarak doğal yollarla sucul ortamlardan uzaklaştırılabildiği görülmüştür.
- *E. amazonicus* ve *C. undulata* bitkilerinin denemeler süresince büyümesini devam ettirdiği, yeni yapraklar oluşturduğu ve araştırmada izlenen diğer bentik bitkilerden daha fazla miktarda elementi bünyesine aldığı belirlenmiştir (Çizelge 4.3, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.17, Ek 13). Bu durumdan dolayı bu bentik bitkilerin, Sazlıdere'nin göle döküldüğü deltada uygulanmasıyla, derenin göle taşıdığı metal kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın devamı için öneriler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çalışmada kullanılan *E. amazonicus* ve *C. undulata* bentik bitkilerinin Küçükçekmece havzasına uygulanmasıyla, bitkilerin bu ortamdaki yaşamsal faaliyetlerindeki ve metal tutma kapasitelerindeki değişimlerin izlenerek bu yöntemin doğal ortamda uygulanabilirliğinin araştırılması,
- Küçükçekmece Gölü'nde yaşayabilecek ve kontrolsüz yayılımı olmayacak başka bentik bitki türlerinin denenmesi,
- Bitkinin ortamdaki elementi yaşamını bozmadan ve geri vermeden bünyesine alma süresinin belirlenmesi,
- Doğaya zarar vermemeleri için, uygulamalardan sonra hasatı yapılacak bitkilerin zararsızlaştırma yöntemlerinin araştırılması.

KAYNAKLAR

- Albay M., (2004), “Küçükçekmece Gölü’nde Microcystin’in Dikey Dağılımı ve Çevresel Parametreler ile Olan İlişkilerinin İncelenmesi”, Küçükçekmece Gölü ve Havzası için Çevre Yönetim Biriminin Oluşturulma Süreci ve Bölgeye Katkıları Çalıştayı”, Çalıştay Kitabı 35-40, 20-22 Ekim 2004, İstanbul.
- Almeida C.M.R., Mucha A.P. ve Vasconcelos M.T.S.D., (2006), “Variability of Metal Contents in The Sea Rush *Juncus maritimus*-Estaurine Sediment System Through One Year of Plant’s Life”, Marine Enviromental Research, (Basımda).
- Altınayar G., (1988), Su yabancıotları, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su işleri Genel Müdürlüğü, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı:Ankara.
- APHA, (1995), Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. Editörler: Cerbin, Slawomir1; Donk, Ellen; Gulati, Ramesh.
- Artan R. O., (2007), “Ağır Metal içeren Atıksuların İleri Arıtımında Su Mercimeği (*Lemna sp.*) Bitkisinin Kullanılması”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Arthur E. L., Rice P. J., Rice P. J., Anderson T. A., Baladi S. M., Henderson K. L. D. ve Coats J. R., (2005), “Phytoremediation—An Overview”, Critical Reviews in Plant Sciences, 24, 109–122.
- Aydınşakir K., Baştuğ R. ve Büyüктаş D., (2003), “Antalya Yöresinde Çim Kıyas Bitki Su Tüketimini Veren Bazı Amprik Eşitliklerin Tarla Ve Lizimetre Koşullarında Kalibrasyonu” Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1),107-119.
- Ayres D. M., Davis A.P. ve Gietka P. M., (1994), “Removing Heavy Metals from Wastewater, Engineering Research Center Report”, <http://www.mtes.org/docs>, August 1994, University of Maryland.
- Baser, K., (2006), “Sazlıdere’nin Azot ve Fosfor Kirliliginin İzlenmesi ve Etkilerinin İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bahulıkar R.A. ve Kroth P.G., (2007), “Localization of EPS Components Secreted by Freshwater Diatoms Using Differential Staining with Fluorophore-conjugated Lectins and other Fluorochromes”, Eur. J. Phycol., 42(2): 199–208.
- Baud-Grasset F., (2003), “Technicall and Economical Evaluation of Phytoremediation”, Plant Biotechnology for The Removal of Organic Pollutants and Toxic Metals from Wastewaters and Contaminated Sites, COST 272/98, <http://lbewww.epfl.ch>.
- Benamar M.A., Toumert I., Tobbeche S., Tchanchane A. ve Chalabi A., (1999), “Assesment of The State of Pollution by Heavy Metals in The Surficial Sediments of Algiers Bay”, Applied Radiation and Isotopes, 50, 975-980.
- Bhaskar P. V. ve Bhosle N. B., (2005), “Microbial Extracellular Polymeric Substances in Marine Biogeochemical Processes”, Current Science, Vol. 88, 45-53, 10 January 2005.
- Blaylock M.J., Ellessve M. P. ve Cindy L. Teeterark, (2005), “Phytoremediation of Arsenic in the Spring Valley Area of Washington, DC”, The Annual International Conferance on Contaminated Solids, Sediments and Water, Konferans internet yayını <http://www.umasssoils.com>.
- Bos A.V.D., (2002), “Phytoremediation of Volatile Organic Compounds in Groundwater: Case Studies in Plume Control”, U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid

Waste and Emergency Response Technology Innovation Office, Washington, DC, www.clu-in.org.

Brouwer J.F.C. de, Cooksey K.E., Wigglesworth-Cooksey B., Staal M.J., Stal L.J. ve Avci R., (2006), "Time of Flight-Secondary Ion Mass Spectrometry on Isolated Extracellular Fractions and Intact Biofilms of Three Species of Benthic Diatoms", *Journal of Microbiological Methods* 65, 562–572.

Buznego M. T. ve Peerez-Saad H., (2006), "Behavioral and antiepileptic effect of acute administration of the extract of the aquatic plant *Echinodorus berteroi* (Sprengel) Fassett (upright burhead)", *Epilepsy & Behavior* 9 (2006) 40–45.

Cardwell A.J., Hawker D.W. ve Greenway M., (2002), "Metal Accumulation in Aquatic Macrophytes From Southeast Queensland, Australia", *Chemosphere* 48, 653-663.

Caffrey J. M. ve Monahan C., (2006), "Control of *Myriophyllum verticillatum* L. in Irish Canals by Turion Removal", *Hydrobiologia*, Volume 570, Number 1 / October, 2006.

Canfield D. E., Kristensen E. ve Thamdrup B., (2005), "The Iron and Manganese Cycles" *Aquatic Geomicrobiology*, Elsevier Academic, San Diego, Vol 48, Chapter 8.

Camacho-Ruiz L., Pérez-Guerra N., Pérez Roses R., (2003), "Factors Affecting The Growth of *Saccharomyces cerevisiae* in Batch Culture and in Solid Sate Fermentation", *EJEAFChe*, 2 (5), 531-542.

Cerbin S., Donk E. V. ve Gulati R. D., (2007), "The influence of *Myriophyllum verticillatum* and artificial plants on some life history parameters of *Daphnia magna*" *Aquatic Ecology*, Volume 41, Number 2 / June, 2007.

Chasterworth S.M. ve Foster I.D.L., (1999), "Sediment Budgets And Metal Fluxes In Two Contrasting Urban Lake Catchments In Coventry, UK", *Applied Geography*, 19, 199-210.

Cheggour M., Longston W.J., Chafik A., Texier H., Kaimoussi A. ve Bakkas S., (2000), "Metals In The Bivalvia Molluscs *Scrobicularia Plana* (Da Costa) And *Cerastoderma Edule* (L.) and Assciated Surface Sediment from Oum Er Rbia Estuary (Moroccan Atlantic Coast)", *Toxicology and Env. Chem.* 2000.

Costa J.Y. ve Forni-Martins E.R., (2004), "A Triploid Cytotyp of *Echinodorus tennellus*", *Aquatic Botany* 79, 325-332.

Collins Y. E. ve Stotzky G., (1989), "Factors Affecting the Toxicity of Heavy Metals to Microbes. *In* Metal Ions and Bacteria", *Edited by* T.J. Beveridge and R.J. Doyle. John Wiley and Sons, New York.

Cook C., (1978), "Revision of the Genus *Cryptocoryne fisher* : Karel Rataj. Studie ČSAV, Academia, Praha, č. 3, 1975, 1974 pp., Kčs. 40.--. (Publishing House of the Czechoslovak Academy of Science, Vodickova 40, 112 29 Praha 1 — Nové Město, Czechoslovakia.), *Aquatic Botany*, Volume 4, 1978, 377-378.

Corner R. A., Ham D., Bron J. E. ve Telfer T. C., (2007), "Short Communication Qualitative Assessment of Initial Biofouling on Fish Nets Used in Marine Cage Aquaculture", *Aquaculture Research*, 2007, 38, 660-663.

Cirik S., Cirik Ş. ve Conk Dalay M., (2001), Su Bitkiler II(İçsu Bitkilerinin Biyolojisi, Ekolojisi, Yetiştirme Teknikleri), Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:62, Ders Kitabı Dizin No:28, İzmir.

Cremin Jr. J. D., Olsen H. E., Strupp C. B. ve Smith D, (1998), "Pb Effects on Brain Region Protein Kinase C (PKC) in a Neo-Natal Rat Model", *Neurotoxicology and Teratology* Vol. 20, Issue 3 , 6 May 1998, 362-363.

- Decho, A.W., (2000), "Microbial Biofilms in Intertidal Systems: An Overview". *Continental Shelf Research*, 20: 1257-1273.
- Demirci A., Mcadams M. A., Alagha O. ve Karakuyu M., (2006), "The Relationship Between Land Use Change and Water Quality in Küçükçekmece Lake Watershed", 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 13 – 16 Eylül 2006 / Fatih Üniversitesi / İstanbul-Türkiye.
- Deng H., Ye Z.H. ve Wong M.H., (2005), "Lead and Zinc Accumulation and Tolerance in Populations of Six Wetland Plants", *Environmental Pollution*, 1-12 (article in pres)
- Duffus J. H., (2002), "Heavy metals—A meaningless term?", *IUPAC Technical Report. Pure Appl. Chem.* 74, 793–807.
- Dushenkov V., Kumar P.B.A.N., Motto H.ve Raskin I., (1995), "Rhizofiltration: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Aquatic Streams" *Environ. Sci. Technol.*29, 1239-1245.
- Duman F., (2005), "Sapanca ve Abant Gölü Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi", Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Echevarria G., Shallari S., Gerard E., Denys S. ve Morel J. L., (2003), "Availability of Trace Metals for Hyperaccumulators", *Plant Biotechnology for the Removal of Organic Pollutants and Toxic Metals from Wastewaters and Contaminated Sites*, COST 272/98, <http://lbewww.epfl.ch>.
- EPA, Method 3010 ve 3050, www.epa.gov.
- EPA, (1998), "A Citizen's Guide to Phytoremediation", *Technology Innovation Office*", EPA 542 –F-98-011.
- EPA, (2000), "Introduction to Phytoremediation", EPA/600/R-99/107.
- EPA, (2004); "Radionuclide Biological Remediation Resource Guide", EPA 905-B-04-001.
- EPA, (2007), "Monitored Natural Attenuation of Inorganic Contaminants in Ground Water Volume 2 Assessment for Non-Radionuclides Including Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Lead, Nickel, Nitrate, Perchlorate, and Selenium", EPA rapor, <http://www.epa.gov/ada/download/reports/600R07140/600R07140-01.pdf>.
- Erickson L.E., Banks M.K., Davis L.C., Schwab A.P., Muralidharan N., and Reilley K. ve Tracy J.C., (1994), "Using Vegetation To Enhance In Situ Bioremediation", *Environmental Progress*, (basımda).
- Ekmekçi G.A. ve Erk'akan F., (1989), "Sarıyar Baraj Gölündeki Kirlenmenin Boyutu", Beşinci Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, Çevre '89, Adana.
- Elmacı A.ve Obalı O., (1998), "Akşehir Gölü Kıyı Bölgesi Alg Florası", *Tr. J. of Biology* 22 (1998) 81–98, TÜBİTAK.
- Evirgen E., (2003), "Gölbaşı-Morgan Gölünde Yetişen *Phragmites Australis* Bitkisinde Ağır Metal Tayini", Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Faimali M., Garaventa F., Terlizzi A., Chiantore M., Cattaneo-Vietti R., (2004), "The Interplay of Substrate Nature and Biofilm Formation in Regulating *Balanus Amphitrite* Darwin, 1854 Larval Settlement", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 306, Issue 1, 28 July, syf 37-50.
- Franke K., Hoffmann M., Schmidt J., Porzel A., Arnold N. ve Wessjohann L., (2006), "200-O-Glucosylvitexin, a Chemotaxonomic Marker for the Genus *Cryptocoryne* (Araceae)" *Biochemical Systematics and Ecology* 34, 546-548.
- Foyer, C.H., Lopez-Oelgado, H., Dat, J.F. ve Scott, J.M., (1997), "Hydrogen Peroxide- and

Glutathione-Associated Mechanisms of Acclimatory Stress Tolerance and Signalling”, *Physiol. Plant*, 100, 241-254.

Gregory S. T., Bell J. ve Nichols E., (2005), “Assessing Plant Derived Organic Matter in PAH Phytoremediation”, The Annual International Conference on Contaminated Solids, Sediments and Water. Konferans İnternet Yayını: <http://www.umasssoils.com>.

Glass DJ, (1999), “US and International Markets for Phytoremediation, 1999–2000”, D. Glass Associates, Inc., Needham, MA, July 1999, syf 112–114, (http://nabc.cals.cornell.edu/pubs/nabc_17/NABC17_complete.pdf).

Ghosh M. ve Singh S.P., (2005), “A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of Its Byproducts”, *Applied Ecology and Environmental Research* 3(1): 1-18. ISSN 1589 1623, <http://www.ecology.kee.hu>.

Gupta M. M., Lal R. N. ve Shukla Y. N., (1984), “Oxo Fatty Acids from *Cryptocoryne spiralis* Rhizomes Phytochemistry”, Volume 23, Issue 8, 1984, 1639-1641.

Hall J.L., (2002), “Review Article: Cellular Mechanisms for Heavy Metal Detoxification and Tolerance”, *Journal of Experimental Botany*, Vol.53, No. 336, pp,1-11.

Halliwell, B. ve Gutteridge, J., (2002), “Free Radicals in Biology and Medicine”, Third Edition, Oxford Uni. Press.

HMH, (2003), “Heavy Metal Handbook (HMH): A Guide for Healthcare Practitioners”, Science Subcommittee of the Heavy Metals Remediation Committee of the Vashon-Maury Island Community Council.

Hutchinson G.E., (1970), “The Chemical Ecology of Three Species of *Myriophyllum* (ngiospermae, Haloragaceae)”, *Limnology and Oceanography*, January 1970, Volume XV, Number 1.

ITRC, (2001), ITRC (Irrigation Training and Research Center) Technical/Regular Guidelines, April 2001.

İnce O. vd., (devam diyor), “105Y307 Nolu BÜ-İTÜ Ortak Projesi: Anoksik Deniz Sedimentlerinin Mikrobiyal Kompozisyonunun ve Anaerobik Petrol Degradasyonu Kapasitelerinin Belirlenmesi.

Jeffers T. H., Ferguson C. R., and Bennett P. G., (1991), “Biosorption of Metal Contaminants Using Immobilized Biomass-A Laboratory Study”, Report of Investigations, Bureau of Mines, Washington, DC (United States), Teknik Rapor.

Jia C., Kang R., Zhang Y., Cong W. Ve Cai Z., (2007), “Synergic Treatment for Monosodium Glutamate Wastewater by *Saccharomyces Cerevisiae* and *Coriolus Versicolor*”, *Bioresource Technology* 98, 967-970.

Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Güven A., Timur S., (2002), “Metallerin Çevresel Etkileri-I”, *Metalurji Dergisi*, Sayı 136.

Kane M. E., Davis G. L., McConnell D.B. ve Gargiulo J.A., (1999), “In Vitro Propagation of *Cryptocoryne wendtii*”, *Aquatic Botany* 63, 197-202.

Kennicutt M.C., Wade T.L., Presley B.J., Requejo A.G., Brooks J.M., Denoux G.J., (1994), “Sediment Contaminants In Casco Bay, Maine; Inventories, Sources, and Potential For Impact”, *Env. Sci. Tech.*, Vol.28, No.1.

Kamal M., Ghaly A.E. ve Mahmoud N., Cote R., (2004), “Phytoaccumulation of Heavy Metals By Aquatic Plants”, *Environmental International* 29, 1029-1039.

Kaplan I.R., (2004), *Geochemical Investigations in Earth and Space Sciences*, The

Geochemical Society Special Publications Series 9, Elsevier, syf 225.

Keskinkan O., Goksu M.Z.L., Yuceer A., Basibüyük M. ve Forster C.F., (2003), “Heavy Metal Adsorption Characteristics of a Submerged Aquatic Plant (*Myriophyllum spicatum*)”, Process Biochemistry 39 , 179-183.

Kırbağ Zengin F. ve Munzuroğlu Ö., (2005), “Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin (Ni^{+2} , Co^{+2} , Cr^{+3} , Zn^{+2}) Etkileri”, F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), 164-172, 2005.

KKAYG, (2004), Kıyı Kentlerinde Kentsel Atıksu Yönetiminin Geliştirilmesi Eğitim Kursu Notları Şubat, 2004, http://144.122.60.215/pages/dokumanlar/manual_tr.pdf.

Kulakow P.A. ve Erickson L., (2000), “A Nationwide Field Test of Petroleum-Contaminated Soils”, Proceedings of The 2000 Conference on Hazardous Waste Research, Denver, Colorado.

Metcalf ve Eddy, (2003), Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Mc Graw Hill, International Edition, syf 1501.

Lide, D. R., (1992), Handbook of Chemistry and Physics (73rd ed.), CRC Press, Boca Raton, FL.

Lichtenthaler, H.K. (1987), “Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. Methods Enzymol. 148, 350-382.

Lewander M., Greger M., Kautsky L., Szarek E., (1996), “Macrophytes as Indicators of Bioavailable Cd, Pb and Zn flow in the river Przemsza, Katowice Region”, Applied Geochemistry 11(1/2):169-173 ISSN 0883-2927.

Lens P.N.L., Klijn R., van Lier J.B., Lettinga G., (2003), “Effect of Specific Gas Loading Rate on Thermophilic (55 C) Acidifying (pH 6) and Sulfate Reducing Granular Sludge Reactors”, Water Research 37, 1033–1047.

Losi M.E., Amrhein C., Frankenberger WTJ. (1994), Environmental Biochemistry of Chromium. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 136, 91–131.

Lou S.J., Tartakovsky B., Zeng Y., Wu P., Guiot S.R., (2006), “Fluorescence-based Monitoring of Tracer and Substrate Distribution in an UASB Reactor”, Chemosphere 65 , 1212–1220.

Manahan, S.E., (1994), Environmental Chemistry-6th Edition, CRC Press, Inc., USA.

McNulty J., Nair J.J., Codina C., Bastida J., Pandey S., Gerasimoff J., Griffin C., (2007), “Selective Apoptosis-inducing Activity of Crinum-type Amaryllidaceae Alkaloids”, Phytochemistry 68 : 1068–1074.

Merkle S. A., (2007), “Engineering Forest Trees with Heavy-Metal Resistance Genes for Phytoremediation”, Agricultural Biotechnology: Beyond Food and Energy to Health and the Environment, 117-121.

Norotny V., (2003), “Water Quality, Diffuse Pollution and Watershed Managment”, John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 978-0-471-39633-8, syf 349.

NPWRC, (2006), “Haloragaceae, the Water Milfoil Family”, Northern Prairie Wildlife Research Center, Aquatic and Wetland Vascular Plants of the Northern Great Plains 29, Raport (<http://www.npwrc.usgs.gov/resource/plants/vascplnt/species/mver.htm>).

Ode O.J. ve Asuzu I.U., (2006), “The Anti-Snake Venom Activities of the Methanolic Extract of the Bulb of *Crinum jagus* (Amaryllidaceae)”, Toxicon 48 (2006) 331–342.

Orgaard M. ve Jacobsen N., (1998), “ SEM Study of Surface Structures of The Spathe in

Cryptoryne and Lagenandra (Araceae: Aroideae: Cryptoryneae)", Botanical Journal of The Limnean Society, 126:261-289.

Orhun Z., (2007), "Fe⁺³ ve Cu⁺² Metallerini İçeren Kesikli Sistemlerde *Wolffia sp.* Bitkisi ve Sediment Davranışlarının İncelenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Müh. Böl. Lisans Tezi.

Omil F., Oude Elferink S. J. W. H., Lens P., Hulshoff Pol L. W., Lettinga G., (1997), "Effect of The Inoculation with *Esulforhabdus Amnigenus* and pH or O₂ Shocks on The Competition Between Sulphate Reducing and Methanogenic Bacteria in an Acetate Fed Uasb Reactor", Bioresource Technology 60, 113-122.

Örstan A., Pearce T. A., Welter-Schultes F., (2005), "Land Snail Diversity in a Threatened Limestone District Near Istanbul, Turkey", Animal Biodiversity and Conservation ISSN: 1578-665X, 28.2.

Özer A., (1987), "Körfeze Açılan Dereler ve Getirdikleri Kirlilikler", İzmir Çevre Kirliliği ve Sağlık Sempozyumu İzmir Tabip Odası, 11-13 Mart.

Öztürk M., Seçmen Ö., Leblebici E., (1996), "Eber Gölü(Afyon) Bitki Örtüsü Ve Kirlenme İlişkileri" Ekoloji ve Çevre Dergisi, Temmuz-Ağustos-Eylül 1996 Sayı: 20.

Prasad M.N.V., (1998), "Metal-biomolecule Complexes in Plants: Occurrence, Functions, and Applications", Analysis Magazine, 1998, 26, No:6, EDP Sciences, Wiley-VCH.

Peer W.A., Baxter I.R., Richards E.L., Freeman J.L., Murphy A.S., (2005), "Phytoremediation and Hyperaccumulator Plants", In Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoksification Topics in Current Genetics, Vol 14, 299-340.

Pehlivan R. ve Yılmaz O., (2001), "Heavy Metal Content of the Lake and Stream Water in Küçükçekmece Lake Basin", 54th Geological Congress of Turkey, Ankara.

Petersen R. L. ve Francis P. C. (1980), "Differential Germination of Fern and Moss Spores in Response to Mercuric Chloride" American Fern Journal, Vol. 70, No. 4 (Oct. - Dec., 1980), pp. 115-118.

Peng Hong-yun, Tian Sheng-ke, and Yang Xiao-e , (2005), "Changes of Root Morphology and Pb Uptake by Two Species of *Elsholtzia* under Pb Toxicity" <http://www.pubmedcentral.nih.gov>.

Pilon-Smits E., (2005), "Phytoremediation", Annu. Rev. Plant Biol., 2005. 56:15-39.

Pinto A.C., . Rego G. G. C., Siqueira A. M., Cardoso C. C., Reis P. A., Marques E. A., Coelho M.G. P. ve Sabino K. C. de C., (2007), "Immunosuppressive effects of *Echinodorus macrophyllus* aqueous extract", Journal of Ethnopharmacology 111, 435-439.

Prasad M.N.V., Malec P., Waloszek A., Bojko M., Strzalka K., (2001), "Physiological Responses of *Lemna Trisulca* L. (Duckweed) to Cadmium and Copper Bioaccumulation", Plant Science 161, 881-889.

Prasad M.N.V. ve Freitas H.M. de O., (2003), "Metal Hyperaccumulation in Plants - Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology", Electronic Journal of Biotechnology ISSN: 0717-3458, Vol. 6, No. 3, Issue of December 15.

Powell K., (2002), "Genes improve green cleaning", http://www.nature.com/news/2002/021001/pf/021001-14_pf.html

Riefler R.G. ve Medina V. (2005), "Grass Phytoremediation: Explosives Uptake and Fate in Decomposing Plant Tissue", The Annual International Conference On Contaminated Solids, Sediments And Water (<http://www.umasssoils.com>).

- Roberts, T.M., Gizyn W ve Hutchinson T.C., (1970), "Lead contamination of air, soil, vegetation and people in the vicinity of secondary lead smelts. In: Trace Substances in Environmental Health VIII, D.D. Hemphill (Ed.), University of Missouri, Colombia 155-166.
- Schwartzman D., (2006), "Forum: Role of river-suspended material in the global carbon cycle: Comment and Reply", Geological Society of America, e112- e113.
- Soto-Jimenez M. Paez – Osuna F. ve Morales-Hernandez F., (2000), "Selected Trace Metals in Oysters (*Crassostrea Iridescens*) and Sediment from the Discharge Zone of the Submarine Sewage Outfall in Mazatlan Bay (Southeast Gulf of California): Chemical Fractions and Bioaccumulation Factors", Environmental Pollution, 114, 357-370.
- Srivastav R.K., Gupta S.k., Nigam K.D.P., Vasudevan P., (1994), "Treatment of Chromium and Nickel in Wastewater by Using Aquatic Plants", Water Research, 28/7, 1631-1638.
- Spagnoli F., Bergamini M. C., (1997), "Water-Sediment Exchange of Nutrients During Early Diagenesis and Resuspension of Anoxic Sediments from the Northern Adriatic Sea Shelf, Water, Air and Soil Pollution, Volume 99, Numbers 1-4.
- Şapçı Z., Üstün B., (2002), "Sediment Kirliliğinin Besin Zinciri Yoluyla Canlıları Etkilemesi", 4. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Sempozyum Kitabı, Antalya, Türkiye
- Taner Ü.M., 2007, "Development of Water Quality Index as a Sustainability Indicator in Küçükçekmece Watershed, Istanbul", Master of Science in Environmental Technology, Boğaziçi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Tibiric E., Almeida A., Caillleaux S., Pimenta D., Kaplan M. A., Lessa M. A. ve Figueiredo M. R., (2007), "Pharmacological Mechanisms Involved in the Vasodilator Effects of Extracts from *Echinodorus grandiflorus*", Journal of Ethnopharmacology 111 (2007) 50–55.
- Tinger T. ve Koncan J.Z., (1997), "Toxicity Evaluation of Wastewater from Pharmaceutical Industry to Aquatic Organism", International Association on Water Quality (IWAQ) Specialized Conference on Chemical Process Industries and Environmental Management, Cape Town, South Africa.
- TS (Türk Standardı), No:12087, (www.tse.org.tr).
- Totti C., Cucchiari E., Stefano O. M. D., Pennesi C., Romagnoli T. ve Bavestrello G., (2007), "Seasonal Variations of Epilithic Diatoms on Different Hard Substrates, in the Northern Adriatic Sea", J. Mar. Biol. Ass. U.K. (2007), 87, 649-658.
- Tunçer, M., (1999), "Doğal Çevre Koruma Öncelikli Bir Eylem Alanı: İstanbul Küçükçekmece Gölü", Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, 18-19 Kasım 1999.
- Uysal, Z., (2007), "Hepsidin ve Demir Metabolizması", 6. İlk Basamak Kursu, 16 Ekim 2007, Sheraton Oteli, Ankara, Kurs Notları (http://www.thd.org.tr/doc/kurs_pdf/6_IBK_01.pdf).
- Üstün, B., İnce N., Cansever G., Ülger E., Agcioğlu B., Şapçı Z., Demirel S., Okumuş E., ve diğerleri, (2005), "The Development of Environmental Management Model in Küçükçekmece Basin", Joint Research and Development Project (GSRT-TUBITAK 102A011), Proje Raporu.
- Üstün B., Kadirgan, N., Oraltay, G., Peker, İ., Okumus, E., Demirel, S., Gökagaçlı, N.G., ve diğerleri, (2008), "Doğal Ortamda Ağır Metal İzlemesi: Uygulama Alanı Küçükçekmece Gölü ve Havzası", TÜBİTAK Ulusal Araştırma Projesi (105Y116) Raporu.
- Weber J.W., (1972), "Physicochemical Process for Water Quality Control", Wiley Interscience, syf 102.
- Weber J. A. ve Noodén L. D., (1976), "Environmental and Hormonal Control of Turion

Formation in *Myriophyllum verticillatum*”, Plant and Cell Physiology, 1976, Vol. 17, No. 4 721-731.

Wilkin R.T., (2001), “Iron Sulfide-Arsenite Interactions: Adsorption Behavior onto Iron Monosulfides and Controls on Arsenic Accumulation in Pyrite”, EPA, (www.brr.cr.usgs.gov/Arsenic/Finalabspdf/Wilkin.pdf).

Wilhelm, C., Büchel, C., Fisahn, J., Goss, R., Jakob, T., LaRoche, J., Lavaud, J., Lohr, M., Riebesell, U., Stehfest, K., Valentin, K., Kroth, P., “The Regulation of Carbon and Nutrient Assimilation in Diatoms is Significantly Different from Green Algae”, Protist, Vol. 157, 91-124, April 2006.

Yoon J. M., Oliver D. J. ve Shanks J. V, (2007), “Plant Transformation Pathways of Energetic Materials (RDX, TNT, DNTs)”, Iowa State University, Ames, IA, Agricultural Biotechnology: Beyond Food and Energy to Health and the Environment, 103-115.

(http://nabc.cals.cornell.edu/pubs/nabc_17/parts/NABC17_Module2_2.pdf).

Yang B., Lan C.Y., Yang C.S., Liao W.B., Chang H. ve Shu W.S., (2006), Long-Term Efficiency and Stability Of Wetlands For Treating Wastewater of A Lead/Zinc Mine and The Concurrent Ecosystem Development”, Environmental Pollution (basımda).

Yıldırım M. ve Adatepe, (2004), “Küçükçekmece Gölü Çevresi Kayaçların Mühendislik ve Hidrojeolojik Özelliklerinin İrdelenmesi”, Küçükçekmece Gölü ve Havzası için Çevre Yönetim Biriminin Oluşturulma Süreci ve Bölgeye Katkıları Çalıştayı”, 20-22 Ekim 2004.

Zengin Z. S. ve Ustun B., (2005), “Importance of Water & Sediment Quality for Lagoons. A Case Study: Küçükçekmece Lake in Turkey”, International Conference on Env. Scien. And Tech., 23-26 Oct., New Orleans, ABD.

Zurayk, R., Sukkarieh B. ve Baalbaki R. (2001), “Common Hydrophytes as Bioindicators of Ni, Cr and Cd Pollution”. Water, Air, and Soil Pollution, 127: 373-383.

Xue H., Nhat P.H., Gachter R. ve Hooda P.S., (2003), “The Transport of Cu and Zn from Agricultural Soils to Surface Water in a Small Catchment”, Advances in Environmental Research 8 (2003) 69–76.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1]<http://tr.wikipedia.org>

[2]<http://chemistry.about.com/od/elementfacts/a/iron.htm>

[3]<http://www.menementopraksu.gov.tr/bolumler/subeler/toprakyonetimi/eksiklik/bitbesek.html>

[4]<http://www.lenntech.com>

[5]<http://education.jlab.org/itselemental>

[6]<http://columbia.thefreedictionary.com>

[7]<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132-c1.pdf>

[8]<http://ansiklopedi.turkcebilgi.com>

[9]www.kimyaevi.org

[10]<http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?p=269117>

[11]<http://www.menementopraksu.gov.tr/dogalaritma/dogal.html>

- [12]<http://science.ankara.edu.tr/~duygu/bitki.htm>, (Duygu E.).
- [13]<http://www.bitkidunyasi.net/html/koksec.html>
- [14]<http://www.drtarsa.com/BitkiBesleme.aspx>
- [15]http://www.akvaryumkulubu.org/makale.php?makale_id=1
- [16]<http://3e.plantphys.net/article.php?ch=1&id=19&search=xylem>
- [17]<http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Freshwater/FMS5/5/A.asp>
- [18]<http://arabidopsis.info/students/dom/mainpage.html>
- [19]<http://www.iobbnet.org/drupal/node/view/403/827>
- [20]<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.jpg>
- [21]<http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4-3.html>
- [22]http://www.mongabay.com/fish/plants/Echinodorus_amazonicus.htm
- [23]http://en.wikipedia.org/wiki/Echinodorus_bleheri
- [24]http://www.tropicalresources.net/phpBB2/plant_profiles_amazonicus.php
- [25]http://www.tropica.com/productcard_1.asp?id=110
- [26]http://antilo.com/acuario2/plantas_de_acuario/anubia_bateri_nana/index.htm
- [27]<http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/plantid2/descriptions/myrver.html>
- [28]http://ucjeps.berkeley.edu/cgi-bin/get_JM_treatment.pl?4503,4506,4511(E. McClintock)
- [29]www.dsi.gov.tr
- [30]<http://64.233.183.104/search?q=cache:nBpam-WXO2MJ:www.ars.usda.gov/is/AR/archive/jun00/soil0600.htm+metal+plant+vascular+system&hl=tr&ct=clnk&cd=1&gl=tr>
- [31] <http://www.hsu.edu/Biology/diatom>

EKLER

Ek 1 Sazlıdere'nin Küçükçekmece Gölü'ne döküldüğü bölgeye ait fizikokimyasal parametrelerin Kasım-2005/Mart-2008 tarihleri arasındaki ortalama ve en düşük- en yüksek değerleri (Üstün ve ark., 2008)

Parametreler	Birimler	Ortalama	En düşük- En yüksek
Sıcaklık (Mayıs-Eylül)	Derece	26	22-30
pH	-	8	7.2-8.34
Tuzluluk	‰	5	0-9.5
Renk	Hazen	36	0-140
Bulanıklık	NTU	24	2-78
AKM	mg/l	40	10-130
UAKM	mg/l	25	10-60
Alkalinite	mg CaCO ₃ /l	280	160-360
Klorofil- <i>a</i>	mg/m ³	80	10-280
KOI (su)	mg/l	180	40-800
KOI (boşluk suyu)	mg/l	1050	120-3200
KOI (sediment)	mg/l	16600	2000-56000

Ek 2 Bazı bentik bitkilerin yaşadığı habitat, sıcaklık, pH ve ışık ihtiyaçları

ADI	Habitat	Sıcaklık (°C)	pH	Işık ihtiyacı
<i>Alternanthera reineckii</i>	Singapore	16-28	6.8-7.0	Yüksek
<i>Alternanthera sessilis</i>	Amerika	16-30	5.5-7.5	Yüksek-Çok Yüksek
<i>Alternanthera reineckii</i>	Güney Amerika	17-28	5-8	Yüksek
<i>Anubias afzelii</i>	Senegal,Gana ve Mali	20-30	5.5-6.5	Orta
<i>Anubias barteri</i>	Singapore	20-30	5.5-9	Az
<i>Anubias congensis</i>	Afrika	22-29	6.0-8.0	Düşük
<i>Ammania gracilis</i>	Afrika	23-27	6,0 - 7,5	Yüksek
<i>Bacopa australis</i>	Güney Amerika	15-32	6.0-8.0	Yüksek-Çok Yüksek
<i>Bacopa monnieri</i>	Thailand	18-28	5.0-8.0	Düşük
<i>Bacopa caroliniana</i>	Kuzey Amerika	18-28	5.0-8.0	Düşük
<i>Blyxa aubertii</i>	Kozmopolit	22-28	5.0-7.5	Orta
<i>Blyxa japonica</i>	Asya	22-28	5.0-7.5	Yüksek
<i>Crinum thianum</i>	Asya -Afrika	21-28	5.5-9	Orta
<i>Cryptocoryne beckettii "petchii"</i>	Asya	20-30	5.5-8.0	Düşük-Yüksek
<i>Cryptocoryne crispatula</i>	Güney Doğu Asya	20-28	5.0-9.0	Düşük-Çok Yüksek
<i>Cryptocoryne parva</i>	Güney Doğu Asya	20-29	5.5-8.0	Orta-Çok Yüksek
<i>Cryptocoryne undulata</i>	Asya	20-30	5.5-8.0	Orta
<i>Echinodorus amazonicus</i>	Güney Amerika	22-26	6.0-8.0	Yüksek-Çok Yüksek
<i>Echinodorus berteroi</i>	Sri Lanka	18-32	6.5-7.5	Orta-Yüksek
<i>Echinodorus osiris</i>	Güney Amerika	15-28	5.5-8.0	Orta-Çok Yüksek
<i>Echinodorus tenellus</i>	Kuzey Amerika	19-30	5.5-8.0	Orta-Çok Yüksek
<i>Glossostigma elatinoides</i>	Avustralya	18-26	5.5 - 7.0	Çok Yüksek
<i>Hemianthus micranthemoides</i>	Kuzey Amerika	20-28	5.0-8.0	Orta-Çok Yüksek
<i>Heteranthera zosterifolia</i>	Güney Amerika	15-30	5.5-8.0	Yüksek-Çok Yüksek
<i>Hydrocotyle leucocephala</i>	Güney Amerika	20-28	6.5-7.5	Orta
<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i>	Güney Doğu Asya	20-28	6.0-8.0	Yüksek-Çok Yüksek
<i>Hygrophila corymbosa</i>	Güney Batı Asya	20-28	5.5-8.0	Düşük-Çok Yüksek

<i>Hygrophila difförmis</i>	Güney Batı Asya	22-30	5.0-9.0	Normal-Çok Yüksek
<i>Juncus repens</i>	Kuzey Amerika	15-30	5.0-8.0	Düşük-Çok Yüksek
<i>Rotala rotundifolia</i>	Asya	18-30	5.5-8.0	Orta-Yüksek
<i>Rotala wallichii</i>	Asya	18-27	5.0-7.5	Orta-Çok Yüksek
<i>Rotala nanjenshan</i>	Asya	22-30	6.0-8.0	Yüksek
<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	Güney Amerika	15-26	6.0-8.0	Yüksek-Çok Yüksek
<i>Lilaeopsis macloviana</i>	Güney Batı Asya	18-30	5.5-8.0	Düşük-Çok Yüksek
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	Kozmopolit	-	5.5-9	-
<i>Vallisneria americana</i> var. <i>Biwaensis</i>	Asya	24-28	6,0 - 7,5	Orta-Yüksek
<i>Vallisneria gigantea</i>	Uzakdoğu	18-28	6,5 - 7,5	Orta-Yüksek
<i>Vallisneria americana</i>	Asya	18-30	6,0 - 9,0	Düşük

Ek 4 *Echinodorus amazonicus*, *Crinum thaianum*, *Anubia congensis*, *Cryptocoryne undulata* ve *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan denemelerdeki her bir reaktörün giriş ve çıkış sularındaki kimyasal parametrelerin ortalama, standart sapma ve ortanca değerleri

	DENEY SÜRESİ (Saat)		pH		iletkenlik (mS/cm)		Alkalinite (mgCaCO ₃ /l)		Çözünmüş Oksijen (mg/l)		Sıcaklık (°C)	
			GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ
<i>E. amazonicus</i> ile yapılan deneme	758.50	ortalama	7,44	8,07	5,72	5,34	102,61	151,91	3,74	4,88	21,94	21,90
		standart sapma	0,24	0,46	0,42	0,51	10,70	27,06	1,15	0,80	0,97	1,00
		ortanca	7,41	8,19	5,81	5,45	104,00	163,50	3,23	4,69	21,90	21,90
<i>A. congensis</i> ile yapılan deneme	690.23	ortalama	7,72	8,13	3,00	3,43	88,15	156,30	4,69	4,35	25,63	25,62
		standart sapma	0,31	0,14	0,83	0,11	16,88	18,09	1,01	0,74	0,83	0,85
		ortanca	7,64	8,15	3,40	3,42	98,00	162,00	4,57	4,10	25,60	25,60
<i>C. thaianum</i> ile yapılan deneme	690.23	ortalama	7,64	8,07	3,40	3,44	98,00	167,50	4,57	4,34	25,60	25,60
		standart sapma	0,31	0,11	0,83	0,13	16,88	19,55	1,01	0,89	0,83	0,83
		ortanca	7,64	8,07	3,40	3,44	98,00	167,50	4,57	4,34	25,60	25,60
<i>C. undulata</i> ile yapılan deneme	758.50	ortalama	7,44	7,98	5,72	5,27	102,61	154,95	3,74	4,91	21,94	21,90
		standart sapma	0,24	0,42	0,42	0,51	10,70	28,22	1,15	0,83	0,97	1,00
		ortanca	7,41	8,12	5,81	5,35	104,00	169,50	3,23	4,65	21,90	21,90
<i>C. undulata</i> ile yapılan deneme	1057	ortalama	8,15	7,95	0,56	2,33	102,50	322,27	6,67	3,91	26,91	26,91
		standart sapma	0,27	0,36	0,06	0,19	11,52	41,50	1,40	0,75	1,98	1,98
		ortanca	8,15	7,98	0,59	2,41	97,50	332,50	6,65	3,82	26,40	26,40
<i>M. verticillatum</i> ile yapılan deneme	1057	ortalama	8,15	7,70	0,56	1,37	102,50	237,37	6,67	4,37	26,91	26,93
		standart sapma	0,27	0,26	0,06	0,17	11,52	37,81	1,40	0,87	1,98	1,97
		ortanca	8,15	7,70	0,59	1,32	97,50	250,00	6,65	4,04	26,40	26,40

Ek 5 *E. amazonicus* ile yapılan denemedeki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri

<i>E. amazonicus</i> ile yapılan deneme	Zaman (Saat)	0,5	4	17,1	24,5	42,2	45,3	88,5	258,2	424	618,5	758,5
Mg	Su	180,247	88,395	86,008	81,564	82,222	94,691	102,881	115,021	111,893	115,679	107,901
	SA							241,852	128,560	51,687	454,321	141,564
	Sed						2534,156	822,222	895,062	2883,951	2687,243	136,173
Ca	Su	229,099	62,815	61,817	74,395	110,507	116,596	93,112	76,441	61,168	63,664	56,252
	SA							285,251	165,361	88,670	180,135	71,126
	Sed						763,664	270,027	422,261	2045,421	3334,165	2868,480
Cr	Su	2,589	2,091	7,309	1,317	3,176	7,644	7,690	2,774	7,142	7,099	7,311
	SA							15,239	3,737	10,075	6,972	7,611
	Sed						4,697	3,083	4,049	3,600	0,000	50,317
Mn	Su	7,798	1,532	1,353	1,055	1,313	1,503	3,001	0,878	1,210	0,939	0,918
	SA							9,310	0,838	1,608	9,720	1,595
	Sed						119,367	41,045	39,607	162,359	168,584	48,289
Fe	Su	58,729	7,343	7,495	6,727	5,402	10,568	13,370	3,780	10,500	7,705	7,398
	SA							36,598	11,771	23,957	0,184	24,387
	Sed						5049,239	1948,075	1709,400	5095,792	4723,366	54,611
Ni	Su	0,704	1,241	1,200	1,421	1,196	1,213	1,271	0,473	1,182	1,182	1,055
	SA							12,974	9,314	1,324	1,579	1,158
	Sed						0,000	2,311	2,511	0,000	0,000	44,064
Cu	Su	1,168	1,236	1,176	1,577	1,272	1,305	1,580	1,026	1,139	1,200	1,043
	SA							7,087	6,831	1,648	1,578	1,370
	Sed						2,833	1,272	1,298	0,000	3,128	41,101
Zn	Su	1,350	1,497	1,107	1,262	1,246	2,747	2,038	0,681	1,823	1,235	0,706
	SA							5,241	3,714	4,147	1,687	2,184
	Sed						14,086	4,713	11,703	9,374	61,068	49,717

Su ve sediment arası boşluk suyu (SA) değerleri $M \cdot 10^{-6}$, sediment (Sed) değerleri $m \cdot 10^{-6}$ olarak verilmiştir.

Ek 6 *C. thalianum* ile yapılan denemedeki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri

<i>C. thalianum</i> ile yapılan deneme	Zaman (Saat)	0	21	26	65,06	162,22	402,22	500,22	690,23
Mg	Su	132,634	106,214		101,646	108,477	142,551	143,951	136,996
	SA	2110,700	463,786	2434,979	1002,881	1234,979	176,379	6851,852	3056,790
	Sed	482,305	26,584	406,914	313,457	157,613	247,243	561,728	1869,136
Ca	Su	101,398	67,731		68,480	70,826	140,504	107,162	80,659
	SA	2331,420	705,016	4022,960	1011,979	2548,041	85,900	736,711	7763,913
	Sed	211,779	234,989	430,746	86,099	296,481	137,484	279,511	604,442
Cr	Su	2,237	3,833		7,852	3,464	6,749	3,983	4,355
	SA	7,617	2,893	10,037	8,148	8,723	3,079	0,000	9,688
	Sed	4,503	0,000	3,241	2,710	0,000	1,669	3,087	0,000
Mn	Su	8,548	1,682		1,151	1,017	6,618	6,918	7,308
	SA	15,741	34,438	169,585	62,850	98,744	9,827	497,270	244,995
	Sed	20,914	5,428	24,973	17,106	10,495	14,279	31,016	79,869
Fe	Su	30,367	25,085		13,262	8,448	22,292	18,317	22,041
	SA	55,560	382,274	2610,564	835,989	961,504	28,774	9434,199	714,593
	Sed	841,003	280,036	702,954	1280,036	499,552	423,635	1148,970	4085,944
Ni	Su	1,574	1,127		1,022	0,949	1,352	1,114	1,250
	SA	0,876	1,691	2,730	3,728	4,354	1,242	0,000	7,188
	Sed	2,221	1,016	1,831	2,035	1,199	1,332	2,204	0,000
Cu	Su	1,250	0,890		0,753	0,772	0,963	0,885	0,802
	SA	0,904	1,814	4,493	3,190	4,820	0,915	0,000	5,794
	Sed	5,141	0,000	2,576	0,752	0,000	0,337	1,048	0,859
Zn	Su	3,228	1,865		3,771	0,385	10,486	1,260	1,031
	SA	5,873	3,186	9,962	6,355	6,914	2,166	7,549	28,193
	Sed	32,660	15,573	16,736	3,347	16,537	0,000	0,000	58,896

Su ve sediment arası boşluk suyu (SA) değerleri $M \cdot 10^{-6}$, sediment (Sed) değerleri $m \cdot 10^{-6}$ olarak verilmiştir.

Ek 7 *A.congensis* ile yapılan denemedeki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri

A. congenis ile yapılan deneme	Zaman (Saat)	0	21	26	65,06	162,22	402,22	500,22	690,23
Mg	Su	110,370	130,000		113,128	116,008	165,597	160,658	145,802
	SA	2223,045	1376,543	2410,288	2864,198	910,288	189,671	4522,634	1854,321
	Sed	651,440	248,560	253,128	439,506	346,214	552,263	319,588	748,560
Ca	Su	97,729	113,951		71,400	58,223	108,934	87,647	98,627
	SA	1419,765	2212,378	5153,481	4127,776	1680,809	104,442	6506,114	3788,370
	Sed	259,296	97,879	83,978	181,208	111,530	171,475	206,813	218,093
Cr	Su	1,766	6,872		6,161	5,453	2,789	6,394	3,405
	SA	8,517	8,629	9,550	10,415	6,417	4,195	14,995	9,177
	Sed	3,324	1,712	1,929	1,274	1,562	2,510	2,162	2,593
Mn	Su	7,932	4,401		1,334	1,184	6,855	6,766	6,931
	SA	23,444	92,665	160,120	191,482	62,031	7,020	404,805	153,276
	Sed	25,428	11,307	13,012	16,161	17,022	24,135	13,329	34,310
Fe	Su	82,346	59,588		19,821	29,203	43,724	27,986	16,399
	SA	19,338	1486,840	2682,184	3385,855	805,013	70,850	5543,420	1727,484
	Sed	1019,696	487,377	582,990	1049,597	743,241	1234,915	649,239	1769,203
Ni	Su	1,787	1,151		1,463	1,168	1,301	1,201	1,152
	SA	1,263	4,357	6,748	7,445	2,882	0,492	11,530	5,374
	Sed	1,896	1,236	1,409	1,512	1,759	1,787	1,464	1,974
Cu	Su	0,926	0,887		0,912	0,814	0,863	1,104	0,809
	SA	0,758	2,711	2,922	4,990	1,649	0,839	9,367	4,351
	Sed	1,330	0,334	0,000	0,341	0,731	0,000	0,443	0,195
Zn	Su	1,425	5,594		3,200	1,582	2,799	1,523	3,574
	SA	1,381	6,619	22,396	12,249	6,261	1,413	20,575	10,708
	Sed	3,742	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,683	5,675

Su ve sediment arası boşluk suyu (SA) değerleri $M \cdot 10^{-6}$, sediment (Sed) değerleri $m \cdot 10^{-6}$ olarak verilmiştir.

Ek 8 *C.undulata* ile yapılan denemede ki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri (758.5 saatlik deneme)



<i>C. undulata</i> ile yapılan deneme	Zaman (Saat)	0	4	17,1	24,5	42,2	45,3	88,5	258,2	424	618,5	758,5
Mg	Su	83,29218	81,64609	83,82716	83,25103	84,85597	82,83951	120,2881	116,2551	111,3169	132,7984	116,7901
	SA						157,8601	180,2881	107,4486	201,7695	137,7778	167,284
	Sed						1764,198	263,8272	268,9712	3604,938	1304,527	1311,111
Ca	Su	76,76566	74,22011	69,05416	78,63738	103,2194	50,98577	91,93911	102,1213	54,75418	68,50512	57,7739
	SA						125,1809	95,33317	108,5351	60,96831	67,08261	64,18767
	Sed						1481,907	172,3484	92,03893	5660,095	1018,218	1117,045
Cr	Su	3,864205	3,416042	2,173495	3,9623	11,07905	4,985574	4,906713	4,985574	5,779958	6,710906	6,768609
	SA						7,738027	8,58242	4,937488	8,388152	8,453549	7,436045
	Sed						4,231583	2,36584	2,388921	5,274091	2,527409	2,669744
Mn	Su	1,800146	1,612122	1,638151	1,50091	1,178376	1,362941	1,348744	0,824536	1,105934	0,964143	0,927011
	SA						4,306516	1,552603	0,874044	2,595559	1,229523	1,238806
	Sed						81,90754	14,07353	13,28176	239,8981	60,46596	75,0091
Fe	Su	10,55327	10,56759	7,629364	7,781558	6,839749	6,775291	6,28111	5,237243	10,75739	7,654432	5,695613
	SA						64,70904	7,815577	13,22829	58,19158	19,23008	11,10833
	Sed						2803,939	523,7243	602,3277	5475,38	2424,351	2497,762
Ni	Su	0,643843	1,237609	1,271504	0,639925	1,250213	0,425822	1,190087	0	1,099642	1,059615	1,065066
	SA						1,355646	1,303015	1,078181	1,158576	1,156191	1,143757
	Sed						3,44064	1,461421	1,53909	0	2,927951	2,941577
Cu	Su	1,116601	1,206924	1,34225	1,047207	1,217939	1,167427	1,05177	0,501023	1,109992	1,107317	1,090165
	SA						3,988985	1,475688	1,412903	1,296145	1,156255	1,021558
	Sed						1,751377	0,878049	0	6,196696	0,945555	0,934382
Zn	Su	2,293101	4,983938	1,127428	2,153893	1,7378	1,86324	2,152363	0,709653	0,972158	1,159553	0,574728
	SA						7,635001	10,86584	1,454949	3,679058	5,006884	1,102341
	Sed						3,717302	8,225486	0	19,19229	5,520881	0

Su ve sediment arası boşluk suyu (SA) değerleri $M \cdot 10^{-6}$, sediment (Sed) değerleri $m \cdot 10^{-6}$ olarak verilmiştir.

Ek 9 *C.undulata* ile yapılan denemede ki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri (1057 saatlik deneme)

<i>C.undulata</i> ile yapılan deneme	Zaman (Saat)	0	4	25	49	145	217	313	361	481	553	721	865	1057
Mg	Su	1241,701	1189,3	1642,387	1107,819	1387,106	1444,307	1815,501	1680,521	1972,977	1456,379	1610,014	2031,687	1859,808
	SA	2441,152	2148,834	2183,128	2087,243	1707,27	1383,402	1554,321	1610,014	1731,55	1526,337	1404,252	1773,663	2341,427
	Sed	337,8052	291,3032	469,1358	226,3512	152,6749	435,8711	390,1235	155,8436	141,5226	111,0288	472,6337	899,8628	551,7147
Ca	Su	1458,448	789,8677	929,124	1790,45	746,0278	1163,464	4372,515	1213,626	684,1361	1032,859	1947,093	1256,218	773,6461
	SA	668,4136	739,8719	525,5802	1115,215	1061,309	1550,869	1377,839	1088,72	1336,245	1272,523	983,612	550,9525	1081,108
	Sed	420,015	239,6639	617,17	375,5095	110,3694	259,0383	281,8401	153,6644	155,3947	93,17029	239,9551	197,5127	425,339
Cr	Su	39,46913	65,88959	28,67475	12,07476	30,71745	10,29365	29,20241	12,97621	48,29775	4,242162	17,16676	59,17805	19,39796
	SA	24,7772	36,37879	55,1324	7,401423	11,62916	11,24191	25,25486	26,53074	9,472334	38,41764	13,26922	39,57812	14,84132
	Sed	1,069501	1,117715	3,495544	0,816567	0,843816	4,048214	0,944861	0,722254	0,50779	0,4958	4,329679	5,332436	4,002052
Mn	Su	20,31914	16,06055	16,01869	0	18,25507	0	16,51741	0	9,540711	0	0	7,079238	12,32132
	SA	31,13093	24,63293	23,02512	11,04174	3,55418	0	0	2,726004	10,85427	28,6555	0	12,03009	26,79893
	Sed	14,47276	12,00704	22,06043	11,37059	6,328722	20,22206	15,6765	6,314161	6,335396	4,514622	20,05825	37,92016	25,91312
Fe	Su	8,221725	6,164429	5,393017	9,355118	4,037899	6,397792	14,30021	6,66607	8,340197	9,223515	9,709042	6,167114	4,530886
	SA	133,3274	112,4321	117,8872	99,22411	360,006	171,4831	160,185	207,544	661,2355	2075,524	127,5619	132,1516	412,5336
	Sed	608,5944	641,3608	1107,431	398,866	433,7511	1459,803	706,9531	297,0457	263,6825	301,0743	1400,627	2685,169	1438,854
Ni	Su	5,87918	8,351786	5,233634	0	6,326577	0,242207	9,337989	0	6,427639	1,569125	3,667745	6,477602	4,879918
	SA	5,564072	4,695963	5,242151	0	0	1,708681	0,922046	3,523534	3,17947	2,136518	0	6,013172	5,624823
	Sed	0,923693	0,867598	2,323852	0,531369	0,4424	2,501561	0,980469	0,456878	0,43888	0,348379	2,674161	3,610401	2,101289
Cu	Su	1,174016	2,06231	0,256168	0	2,178005	0,968504	13,93281	0	0,629396	5,931412	3,908661	0,582362	2,597953
	SA	1,087507	0	3,252178	2,52126	0	0	0	0	2,454541	0	0,16189	19,13911	0,973937
	Sed	0,714803	0,73769	1,907087	0,391916	0,335223	1,890814	0,72231	0,35706	0,293438	0,227486	2,037795	2,892388	1,886614
Zn	Su	28,71042	3,645913	6,468819	8,218857	0	28,20203	40,6272	35,92831	3,064046	10,27587	161,4349	1,097496	5,976136
	SA	1,128448	21,02392	10,0409	27,20922	15,67335	61,28193	58,20203	14,27923	5,822753	36,3393	20,55173	17,03738	16,62766
	Sed	1,493397	1,50487	2,632196	0,688848	0,743996	3,049819	1,476008	0,69099	0,651369	0,478966	3,667839	4,77997	3,338433

Su ve sediment arası boşluk suyu (SA) değerleri $M \cdot 10^{-6}$, sediment (Sed) değerleri $m \cdot 10^{-6}$ olarak verilmiştir.

Ek 10 *M. verticillatum* ile yapılan denemedeki reaktör çıkış suyu, rizosfer tabakasındaki sediment arası boşluk suyu ve sediment yapıdaki element değişimleri



<i>M. verticillatum</i> ile yapılan deneme	Zaman (Saat)	0	4	25	49	145	217	313	361	481	553	721	865	1057
Mg	Su	503,0178	533,4705	571,1934	747,0508	952,5377	1784,499	1065,569	1206,31	997,1193	1265,432	857,8875	906,1728	1010,014
	SA	1798,217	2140,192	2781,07	3252,675	3298,765	2471,468	1065,158	1812,757	1019,479	1465,432	1455,967	1054,87	1010,288
	Sed	376,8176	312,963	360,0206	210,2195	219,3004	238,1756	896,7078	572,2908	196,1043	130,8848	319,1632	171,9204	460,3567
Ca	Su	1263,788	949,0059	1062,89	378,837	547,7082	626,487	2019,3	2036,353	1961,235	1295,483	1199,151	311,2054	780,3011
	SA	444,8049	758,0068	1051,493	1719,075	2316,862	1882,539	1684,968	1255,137	968,3887	2350,387	2376,591	380,559	474,9189
	Sed	480,0765	292,3218	164,5745	212,3617	189,5683	197,0635	293,1536	1025,372	206,6051	198,9019	223,7251	292,6545	481,9899
Cr	Su	10,30198	7,055203	9,539014	13,02173	36,7186	41,28358	5,094569	13,29294	13,94948	69,15432	11,15663	19,69417	39,83458
	SA	14,33032	33,21152	49,34923	15,95114	63,19164	65,81394	3,816118	35,13496	13,78406	49,00942	65,81394	16,59101	18,68052
	Sed	1,106623	4,895813	1,131948	0,738411	0,81163	0,78233	5,058024	3,323075	0,846637	0,450471	3,714176	0,669937	2,562672
Mn	Su	2,925616	0	0	11,40396	13,79566	18,4929	0	72,8067	0	7,669579	0	7,03252	7,923796
	SA	22,03009	33,26053	32,42932	41,34814	60,94527	34,7288	0	22,51547	0	18,3212	17,89467	15,72928	18,51899
	Sed	18,04696	14,47397	14,86986	10,59701	9,594709	11,21162	39,10326	38,64822	9,879262	7,327084	16,58233	11,24499	27,01735
Fe	Su	7,397195	5,029245	4,680991	3,429722	4,789018	7,220233	3,887496	11,42883	6,385855	7,49806	5,699194	3,814682	18,74396
	SA	104,5419	171,692	131,5428	160,6625	1166,756	265,1746	91,47717	228,7675	120,1432	248,8332	350,3432	145,4193	142,7335
	Sed	693,2259	739,242	791,4056	373,202	396,2399	446,4339	2974,575	890,1224	420,5312	248,6124	896,0907	345,5685	1207,699
Ni	Su	0	0	0	6,130131	5,227957	4,907739	0	0,651791	0	6,536081	2,199512	6,20394	5,671379
	SA	5,189917	5,325044	5,439164	9,839891	9,874524	7,932777	0	5,742349	0	7,573951	71,36944	5,883154	4,806677
	Sed	1,118549	2,071197	0,880174	0,587748	0,579004	0,692216	3,667745	2,913757	0,647703	0,454522	1,571339	0,597684	2,042639
Cu	Su	0	0	0	1,647612	0,835433	0	0	2,019948	0	0,431811	0	0,979685	3,030315
	SA	29,92866	0,958845	0,646667	0,553318	1,638583	1,124488	0	5,769029	0	0,468031	3,146352	1,349449	0,968661
	Sed	0,870656	1,973228	0,656772	0,413806	0,375433	0,452703	2,662992	2,338583	0,508819	0,338346	1,294593	0,428924	1,520052
Zn	Su	47,57432	39,66651	36,94661	7,715313	10,07751	5,639437	83,36138	32,92336	45,6119	41,55117	14,59946	2,193157	14,68971
	SA	20,50992	12,81322	17,93126	87,9073	21,09836	26,06241	43,4909	74,00948	3,981388	26,52083	25,04105	9,372801	9,738412
	Sed	1,912192	2,372138	1,457396	0,745602	0,855438	0,939932	5,265412	3,880475	1,049717	0,617179	2,392535	0,838764	2,897354

Su ve sediment arası boşluk suyu (SA) değerleri $M \cdot 10^{-6}$, sediment (Sed) değerleri $m \cdot 10^{-6}$ olarak verilmiştir.

Ek 11 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” *Echinodorus amazonicus*, *Crinum thaianum*, *Anubia congensis*, *Cryptocoryne undulata* ve *Myriophyllum verticillatum* L. organlarındaki element değişimleri

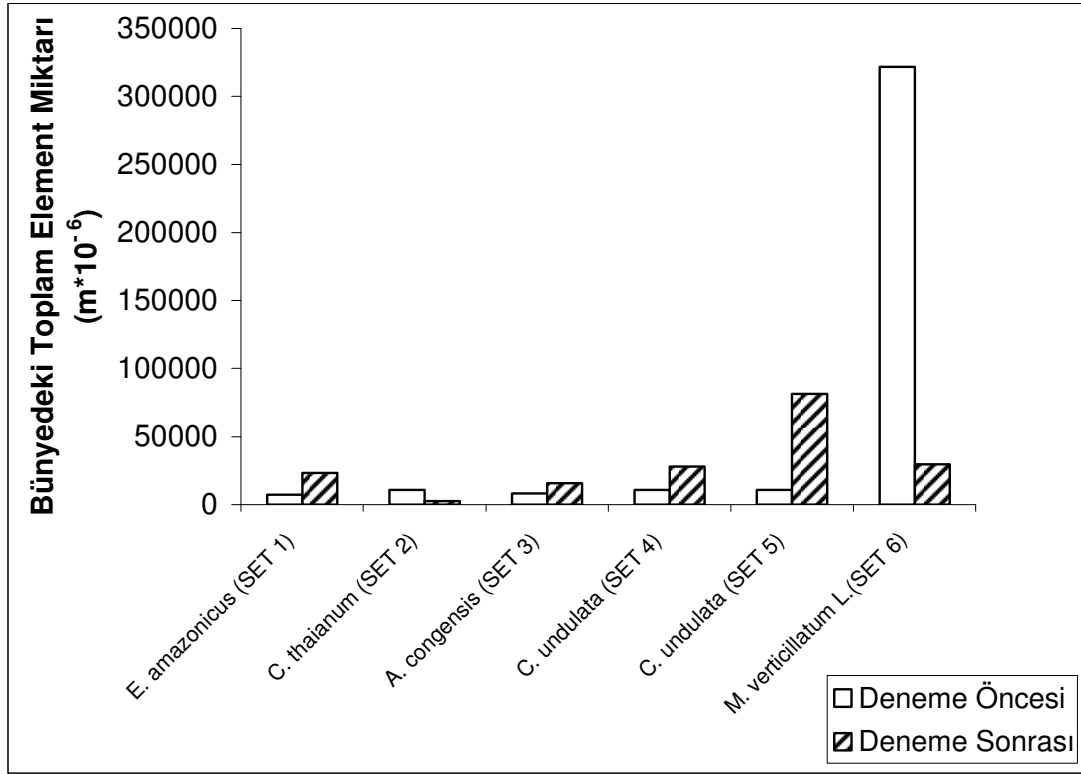
BİTKİ TÜRÜ	BİTKİ ORGANLARI		ELEMENTLER (m*10 ⁻⁶)							
			Mg	Ca	Fe	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn
<i>E. amazonicus</i>	YAPRAK	Deneme Öncesi	975,20	939,04	184,26	1741,14	9,57	2,42	5,18	19,07
		Deneme Sonrası	1316,18	5492,49	2554,32	25,29	211,81	56,03	11,46	40,53
		Deneme Sırasında Oluşan	1551,58	1296,63	543,23	49,46	19,85	9,34	4,91	18,69
	GÖVDE	Deneme Öncesi	942,06	961,10	252,72	30,29	9,38	1,42	2,66	8,35
		Deneme Sonrası	1368,56	1714,59	620,26	40,69	83,74	12,54	4,52	10,51
	KÖK	Deneme Öncesi	193,62	772,81	127,39	20,63	4,94	1,25	2,64	7,82
		Deneme Sonrası	1724,59	3322,33	1064,59	40,63	135,65	27,37	48,79	19,39
<i>C. thaianum</i>	YAPRAK	Deneme Öncesi	1000,00	1808,24	64,19	2,12	0,97	0,55	1,23	2,45
		Deneme Sonrası	388,10	184,72	148,00	3,50	1,63	2,02	2,83	9,18
	GÖVDE	Deneme Öncesi	1210,29	1838,66	40,92	2,18	2,37	0,26	0,75	2,82
		Deneme Sonrası	125,38	105,05	11,08	2,48	0,12	0,45	0,33	1,29
	KÖK	Deneme Öncesi	1719,92	1765,91	1380,20	2,97	7,37	1,75	4,79	4,44
		Deneme Sonrası	948,94	186,82	520,63	4,15	11,58	5,40	4,92	7,51
<i>A. congensis</i>	YAPRAK	Deneme Öncesi	1374,12	1002,64	73,93	11,95	59,68	0,74	1,15	4,81
		Deneme Sonrası	1375,51	623,42	196,78	11,15	50,13	3,24	1,49	7,16
	GÖVDE	Deneme Öncesi	1419,44	1067,68	87,94	16,37	28,41	1,00	1,08	3,78
		Deneme Sonrası	1817,39	2085,41	260,63	49,81	36,76	4,82	2,82	24,25
	KÖK	Deneme Öncesi	1775,20	819,64	541,25	19,33	69,45	5,37	3,03	19,30
		Deneme Sonrası	2406,96	4453,57	1880,91	118,45	102,49	9,78	10,00	46,56

			Mg	Ca	Fe	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn
<i>C. undulata</i> (758,5 saatlik deneme)	YAPRAK	Deneme Öncesi	2663,79	2984,98	650,69	103,43	29,15	6,29	10,32	14,56
		Deneme Sonrası	1455,46	394,84	183,57	19,35	53,47	7,62	2,57	6,38
		Deneme Sırasında Oluşan	1836,72	1551,21	267,00	64,25	7,90	7,14	3,35	4,68
	KÖK	Deneme Öncesi	2600,07	1187,05	381,18	46,51	26,96	4,25	3,52	7,30
		Deneme Sonrası	6990,01	7709,72	5093,36	212,16	368,91	40,97	63,03	56,55
<i>C. undulata</i> (1057 saatlik deneme)	YAPRAK	Deneme Öncesi	2663,79	2984,98	650,69	103,43	29,15	6,29	10,32	14,56
		Deneme Sonrası	2895,55	35398,45	2550,66	91,08	265,80	26,23	2,53	11,04
		Deneme Sırasında Oluşan	3985,89	0,001	1286,61	730,77	207,63	110,74	0,001	0,001
	KÖK	Deneme Öncesi	2600,07	1187,05	381,18	46,51	26,96	4,25	3,52	7,30
		Deneme Sonrası	1770,51	29382,17	2461,25	79,97	91,80	8,10	3,88	36,27
<i>M. verticillatum</i> L.	YAPRAK	Deneme Öncesi	674,47	20765,82	66,80	48,46	409,15	18,39	17,24	83,69
		Deneme Sonrası	1027,09	2604,58	586,21	14,18	374,77	17,52	4,66	25,65
	KÖK	Deneme Öncesi	69176,95	146119,29	72202,33	6895,56	1676,37	981,09	781,83	1759,98
		Deneme Sonrası	1970,89	14626,00	7624,37	53,22	255,63	7,54	1,01	0,001

Ek 12 “Deneme Öncesi” ve “Deneme Sonrası” *Echinodorus amazonicus*, *Crinum thaianum*, *Anubia congensis*, *Cryptocoryne undulata* ve *Myriophyllum verticillatum* L.’deki klorofil a, klorofil b ve klorofil a/b değişimleri

Bitki Türü	Klorofil a (mg/ml.g)		Klorofil b (mg/ml.g)		Klorofil a/b	
	Deneme Öncesi	Deneme Sonrası	Deneme Öncesi	Deneme Sonrası	Deneme Öncesi	Deneme Sonrası
<i>E. amazonicus</i>	46,20981	26,46717	29,5164	1,790632	1,565564	14,78092
<i>C. thaianum</i>	5,482939	75,26321	2,222686	3,179085	2,466807	23,67449
<i>A. congensis</i>	48,25722	21,78844	9,270312	7,165754	5,205566	3,040634
<i>C. undulata</i> (758.5 saatlik deneme)	41,88518	117,9667	9,709794	76,54412	4,313704	1,54116
<i>C. undulata</i> (1057 saatlik deneme)	41,88518	50,40696	9,709794	0,709794	3,394465	71,01628
<i>M. verticillatum</i> L.	27,47669	22,93669	3,179085	5,506336	8,642957	4,165508

Ek 13 *Echinodorus amazonicus*, *Crinum thaianum*, *Anubia congensis*, *Cryptocoryne undulata* ve *Myriophyllum verticillatum* L. ile yapılan çalışmalarda bitki bünyelerindeki toplam element miktarlarındaki değişim



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	16.10.1976	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1990-1993	Şehremini Lisesi
Lisans	1994-1999	Trakya Üniversitesi Fen Edebiyat Fak. Biyoloji Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü
Doktora	2002-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

Haziran 1999– Ağustos 1999	İstanbul Üniversitesi ÇAPA Tıp Fakültesi
Kasım 1999-Devam ediyor	YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü