

**ÇÖZÜNMÜŞ YÜKSEK BOR İÇERİĞİNE  
SAHİP SULARIN KÜÇÜK  
ÖLÇEKTE OLUŞTURULACAK  
EKİLMİŞ SULAK ALANLAR  
SİSTEMİYLE GİDERİLEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

Onur Can TÜRKER  
Yüksek Lisans Tezi

Biyoloji Anabilim Dalı  
Ağustos, 2011

## JURİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Onur Can TÜRKER**'in “Çözünmüş Yüksek Bor İçeriğine Sahip Suların Küçük Ölçekte Oluşturulacak Ekilmiş Sulak Alanlar Sistemiyle Giderilebilirliğinin Araştırılması” başlıklı **Biyoloji** Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans Tezi, 13.07.2011 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<b>Adı-Soyadı</b>	<b>İmza</b>
Üye (Tez Danışmanı):	<b>Doç. Dr. CENGİZ TÜRE</b>	.....
Üye :	<b>Yard. Doç. Dr. MEHTAP TEKŞEN</b>	.....
Üye :	<b>Yard. Doç. Dr. HARUN BÖCÜK</b>	.....

**Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun**  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Enstitü Müdürü**

**ÖZET****Yüksek Lisans Tezi****ÇÖZÜNMÜŞ YÜKSEK BOR İÇERİĞİNE SAHİP SULARIN KÜÇÜK  
ÖLÇEKTE OLUŞTURULACAK EKİLMİŞ SULAK ALANLAR  
SİSTEMİYLE GİDERİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI****Onur Can TÜRKER****Anadolu Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Biyoloji Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Cengiz TÜRE****2011, 101 sayfa**

Bu çalışmada, ekilmiş sulak alan teknolojisinin, yüksek derecede çözünmüş Bor(B) içeren sularının arıtımı için kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda, Kırka Bor Maden sahası içerisinde ve doğal koşullar altında, farklı sulak alan bitki türleri kullanılarak iki küçük ölçekte ekilmiş sulak alan kurulmuştur. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, *Typha latifolia* L. (Typhaceae) ve *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex steud. (Poaceae) bitkileri kullanılarak oluşturulan sulak alanlar sırasıyla %40 ve %27 arıtım performansı ile çalışmışlardır. *T. latifolia* ve *P. australis*'te en yüksek B miktarı sırasıyla 296 ve 249 mg kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Aynı bitkiler için belirlenen B akümülyasyon oranları sırasıyla %40 ve %26'dır. Elde edilen sonuçlar, ekilmiş sulak alanlarda bulunan vejetasyonun B gideriminde etkili olduğunu göstermiştir. Arazi koşullarında yapılan ilk çalışmalardan biri olan bu araştırma sonuçlarının; ekilmiş sulak alanların konvansiyel arıtım sistemlerine bir alternatif olarak B ile kirlenmiş atık suların veya yeraltı sularının arıtılması için kullanılabileceği, bitkilerin sistemlerden hasat edilebilirlik potansiyelleri, artan CO<sub>2</sub>'in bitkiler üzerine etkilerinin belirlenerek bunların ekilmiş sulak alanlara uygulanabilirliği açısından bir araç olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bor, Bor giderimi, Ekilmiş sulak alanlar, Atık su arıtımı

**ABSTRACT****Master of Science Thesis****INVESTIGATION OF REMOVING DISSOLVED BORON FROM  
WATERS WITH HIGH CONTENT BY SMALL SCALE CONSTRUCTED  
WETLAND SYSTEMS****Onur Can TÜRKER****Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Biology Program****Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cengiz TÜRE****2011, 101 pages**

In this study, removal high content of Boron from waters by constructed wetlands was investigated. In this respect, two small scale constructed wetland systems including different wetland plants were established under open-air in Kırka Borax Production Plant. As a result of work performed, average removal efficient rate for *Typha latifolia* L. (Typhaceae) and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex steud. (Poaceae) are %40 and %27, respectively. The highest total B contents of the plants stood at 296 and 249 mg kg<sup>-1</sup>, and accumulation ratio for the same plants are %40 and %26, respectively. The results showed that vegetation in constructed wetland is important on efficient rate. The results of the present study in field could serve as a useful tool; constructed wetland system was an effective removing for treatment of water or underwater contaminated with high concentrations of B, ability potential of plants harvesting in the system, determinating affect of elevated CO<sub>2</sub> on plants in constructed wetland.

**Keywords:** Boron, Boron removal, Constructed wetland, Water treatment.

## TEŞEKKÜR

Tez konusu seçiminden tezin bitimine kadar, çalışmalarımın her aşamasında deneyimlerinden ve bilgi birikiminden yararlandığım, beni yönlendiren danışman hocam sayın Doç. Dr. Cengiz TÜRE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimle ilgili karşılaştığım her türlü güçlükte bana destek olan, bilgilerini benimle paylaşan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Harun BÖCÜK ve arkadaşım Anıl YAKAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Kırka Bor Maden sahası içerisinde çalışabilmem için gerekli desteği esirgemeyen Eti Bor Madenleri Genel Müdürlüğü ve Kırka Bor işletmesinde görevli personele teşekkür ederim.

Amerika'daki araştırmalarım sırasında bana her konuda olanak ve destek sağlayan Dr. Beth MIDDLETON ve Evelyn ANEMAET'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Beni yetiştiren ve çalışmalarım esnasında maddi-manevi desteklerini esirgemeyen, anlayışlı, sabırlı ve fedakar aileme de, özellikle ve içtenlikle, saygı ve minnetlerimi sunarım.

Onur Can TÜRKER

Ağustos, 2011

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>13</b>
2.1. Araştırma Yeri .....	14
2.2. Araştırma Alanının İklimsel Özellikleri .....	14
2.2.1. Sıcaklık ( <sup>0</sup> C) ve yağış (mm) değerleri .....	14
2.2.2. Biyoiklimsel sentez.....	15
2.3. Yöntem .....	16
2.3.1. Sulak alanların kurulumu .....	16
2.3.2. Gübreleme periyodu .....	21
2.3.3. Su örneklerinin hazırlanması ve analizleri.....	21
2.3.4. Sediment örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri.....	22
2.3.5. Bitki analizleri.....	30
2.3.6. Küresel ısınma senaryosu.....	32
2.3.7. Araştırmalar sırasında kullanılan cihazlar .....	34
2.3.8. Verilerin istatistiksel analizi ve hesaplamalar .....	36
<b>3. BULGULAR</b>	<b>37</b>
3.1. Genel Durum .....	37
3.2. Bor Giderimi .....	41
3.3. pH ve Elektriksel İletkenlik(EC) .....	43
3.4. Bitkilerdeki B Miktarı .....	44



3.5. Bitkilerin Bor(B) Akümülayon Oranları .....	47
3.6. Bitkilerdeki Diğer Bazı Elementlerin Miktarları .....	47
3.7. Sediment Örnekleri .....	48
3.8. Bor'un Sulak Alanlar İçerisindeki Dağılımı.....	49
3.9. Bor'un Diğer Bazı Elementler İle İlişkisi.....	51
3.10. Küresel Isınma Senaryosu Bulguları.....	54
<b>4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	<b>64</b>
<b>5. KAYNAKLAR .....</b>	<b>76</b>
<b>Ek-1 Sıcaklık ve Basınç Faktörleri Verileri .....</b>	<b>99</b>
<b>Ek-2 Toprak Fiziği Üçgeni .....</b>	<b>101</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Bor madenlerinin dünyadaki dağılımı .....	5
2.1. Kırka bor işletme sahası .....	13
2.2. Kırka beldesine ait iklim diyagramı .....	14
2.3. Kurulan küçük ölçekte ekilmiş sulak alanların diyagramı.....	17
2.4. Bitkiler için hazırlanan yatak, dolgu malzemeleri, giriş ve çıkış yapıları .....	20
2.5. Yıkanan ve 80 °C kurutulan <i>Typha latifolia</i> ve <i>Phragmites australis</i> örnekleri .....	30
2.6. Örneklerin ICP analizine hazırlanması .....	31
2.7. Saksıların hazırlanması, deney düzeneğinin oluşturulması ve tohumlama.....	33
2.8. Saksıların iklim kabinlerine yerleştirilmesi .....	34
3.1. ES <sub>1</sub> ve ES <sub>2</sub> sistemlerinin gübreleme periyodu sonundaki genel görünüşleri .....	37
3.2. ES <sub>1</sub> sisteminde hayatta kalamayan <i>Typha latifolia</i> bitkilerine ait resimler.....	38
3.3. ES <sub>1</sub> ve ES <sub>2</sub> sistemlerinin 45. izleme günü sonundaki genel görünüşleri.....	39
3.4. ES <sub>1</sub> ve ES <sub>2</sub> sistemlerinin 90. izleme günü sonundaki genel görünüşleri.....	40
3.5. ES <sub>1</sub> ve ES <sub>2</sub> sistemlerinin izleme günlerindeki B giderim oranları.....	41
3.6. ES <sub>1</sub> ve ES <sub>2</sub> sistemlerinin giriş ve çıkış suyu pH değerleri.....	44
3.7. ES <sub>1</sub> ve ES <sub>2</sub> sistemlerinin giriş ve çıkış suyu EC değeri.....	44
3.8. <i>Typha latifolia</i> ve <i>Phragmites australis</i> bitkilerinde belirlenen B'un yüzdesel dağılımı.....	45
3.9. <i>Typha latifolia</i> ve <i>Phragmites australis</i> için belirlenen akümüstasyon oranları.....	47
3.10. ES <sub>1</sub> ve ES <sub>2</sub> içerisindeki B'un yüzdesel dağılımı.....	51

<b>3.11.</b> Birinci hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde bitki boylarının grafiği.....	56
<b>3.12.</b> İkinci hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde bitki boylarının grafiği.....	57
<b>3.13.</b> Üçüncü hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde bitki boylarının grafiği.....	58
<b>3.14.</b> Dördüncü hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde bitki boylarının grafiği.....	59
<b>3.15.</b> Dört hafta boyunca 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde tutulan <i>Typha glauca</i> bitkisinin boylanma miktarı.....	60
<b>3.16.</b> Dört hafta boyunca 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde tutulan <i>Typha latifolia</i> bitkisinin boylanma miktarı.....	60
<b>3.17.</b> Dört hafta boyunca 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde tutulan <i>Typha angustifolia</i> bitkisinin boylanma miktarı.....	61
<b>3.18.</b> Dört hafta süresince 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde tutulan bitkilerin boylarının karşılaştırmalı grafiği.....	61
<b>3.19.</b> Dördüncü hafta sonunda <i>Typha glauca</i> bitkisinin sırasıyla 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde boyları.....	62
<b>3.20.</b> Dördüncü hafta sonunda <i>Typha latifolia</i> bitkisinin sırasıyla 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyesinde boyları.....	62
<b>3.21.</b> Dördüncü hafta sonunda <i>Typha angustifolia</i> bitkisinin sırasıyla 720 ppm ve 370 ppm CO <sub>2</sub> seviyesindeki boyları.....	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

1.1. Ekilmiş sulak alanlarda bitkilerin arıtım mekanizmasındaki rolü (Vymazal ve Kröpfelova 2008) .....	4
1.2. Ekilmiş sulak alanların evsel atık suların arıtımındaki ortalama performansları (Vymazal ve Kröpfelova 2008) .....	6
1.3. Ekilmiş sulak alanların tarımsal atık suların arıtımındaki ortalama performansları (Vymazal ve Kröpfelova 2008) .....	6
1.4. Ekilmiş sulak alanların endüstriyel atık suların arıtımındaki ortalama performansları (Vymazal ve Kröpfelova 2008) .....	7
2.1. Araştırma alanının biyoiklim katı .....	16
3.1. Giriş ve çıkış sularının, B, Ph, Elektriksel İletkenlik (EC) ve B giderim yüzdeleri.....	42
3.2. a) <i>Typha latifolia</i> ve <i>Phragmites australis</i> ile kontrol bitkilerinin içerdikleri B, N, P, Ca, Mg, K ve Na miktarları. b) <i>Typha latifolia</i> ve <i>Phragmites australis</i> 'de belirlenen en yüksek B ve diğer bazı elementlerin konsantrasyonları.....	46
3.3. Sediment ve kontrol grubu örneklerinin kimyasal analiz sonuçlar.....	50
3.4. Deneysel çalışmalar sonrası B'un sistemler içerisindeki dağılımı.....	50
3.5. <i>Typha latifolia</i> 'da bulunan B konsantrasyonunun diğer elementlerle ilişkisi ( <i>Pearson Korelasyon Analizi</i> ) .....	52
3.6. <i>Phragmites australis</i> 'de bulunan B konsantrasyonunun diğer elementlerle ilişkisi ( <i>Pearson Korelasyon Analizi</i> ).....	53
3.7. Birinci hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyelerindeki bitki boyları .....	56
3.8. İkinci hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyelerindeki bitki boyları .....	57
3.9. Üçüncü hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyelerindeki bitki boyları .....	58
3.10. Dördüncü hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO <sub>2</sub> seviyelerindeki bitki boyları.....	59

## KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

### KISALTMALAR

- BOİ<sub>5</sub>** : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı  
**KOİ** : Kimyasal Oksijen İhtiyacı  
**TN** : Toplam Azot  
**TP** : Toplam Fosfor  
**AKM** : Askıda Katı Madde  
**RO** : Reverse Osmosis(Ters Ozmoz)  
**IEM** : İyon Exchange Membrane (İyon değiştirici Membran)

### SİMGELER

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| <b>m</b> : metre                             | <b>kg</b> : kilogram         |
| <b>mg</b> : miligram                         | <b>l</b> : litre             |
| <b>mm</b> : milimetre                        | <b>°C</b> : santigrad derece |
| <b>ppm</b> : part per million (milyonda bir) | <b>%</b> : yüzde             |

## 1. GİRİŞ

Sulak alanlar yüz binlerce yıllık jeolojik döngüler sonucu oluşan, karasal ile sucul ekosistemler arasındaki geçiş formlarıdır (Cronk ve Fennessy 2001; Vymazal ve Kröpfelova 2008). Bu alanlar biyosfer içerisinde hidrolojik dengenin korunması, su kalitesinin artırılması, sellerin ve erozyonların engellenmesi gibi benzersiz rollere sahiptirler (Mitch ve Gosselink 1993, Cronk ve Fennessy 2001; Haslam 2003; Chen ve ark. 2009; Zhou ve ark. 2009). Birçok endemik ve tehdit kategorisinde bulunan bitki ve hayvan türünün neslinin devamlılığının sağlanması da sulak alanların bu rollerinin sürdürülebilirliğine bağlıdır. 1970'li yıllarla birlikte sulak alanların ekosistem içerisindeki öneminin anlaşılması, ekologların ilgisini çekmeye başlamış ve bu tarihlere kadar koku ve sivrisinek üreticisi, hastalık yayan verimsiz alanlar olarak tanımlanan bu ekosistemleri korumak ve bunların içerisinde gerçekleşen dinamikleri anlamak için birçok çalışma yapılmıştır: Sulak alan ve sulak alan bitkilerinin ekolojisi (Zhou ve ark. 2008; Czerepko 2008; Burton ve Tiner 2009; Kim 2010; Sosnova ve ark. 2010; Li ve ark. 2011), sulak alanlardaki istilacı türler (Türe ve ark. 2004; Herrick ve ark. 2005; Trebitz ve ark. 2007; Gan ve ark. 2009; Okada ve ark. 2009; Laba ve ark. 2010) küresel ısınmanın sulak alanlara etkisi (Clair ve ark. 2002; Dawson ve ark. 2003; Candela ve ark. 2009; Milzow ve ark. 2010), sulak alan restorasyonu (White ve ark. 2005; Lee ve ark. 2005; Mitsch ve Day 2006; Wang ve ark. 2007; Richardson ve ark. 2010; Jenkins ve ark. 2010) gibi araştırmalar son yıllarda hız kazanan çalışmalar olarak gösterilebilir.

İnsanların sulak alanlarla ilişkilerinin 6000 yıldan daha fazla bir geçmişe dayandığı tespit edilmiştir (Hatvayn ve ark. 2009). Bazı Anadolu ve Mezopotamya medeniyetleri ve Kuzey Amerika yerlileri yerleşim alanı olarak deltaları, taşkın ovaları, göl ve akarsu kıyıları gibi sulak alan olarak tanımlanan bölgeleri tercih etmişler ve giyecek, yiyecek, barınma gibi gereksinimlerini sulak alanlardan karşılamışlardır. Aynı zamanda atıklarını uzaklaştırmak maksadıyla içinde yaşadıkları sucul habitatları kullanarak, farkında olmadan doğanın kendi kendini yenileme özelliğinden yararlanmış ve böylece atıklarını uzaklaştırmışlardır (Vymazal ve Kröpfelova 2008). Ancak hızlı gerçekleşen endüstrileşme ve bunun getirdiği yoğun kirlilik doğanın kendi kendini yenileme

kapasitesinin üstünde bir yük oluşumuna neden olmuştur (Türe ve Türe 2010). Bundan dolayı oluşan kirliliğin ekosistemlere verebileceği zararlı etkileri ortadan kaldıracak mekanizmalara gereksinim duyulmuş ve bu amaçla 1890'lı yılların sonlarına doğru arıtım tesisleri inşa edilmiştir. Bununla beraber arıtım tesislerinde ileri teknoloji, enerji ve kimyasalların gerektiği ileri arıtım prosesleri kullanılmaya başlanmıştır. Ancak ilk kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek oluşu, büyük enerji ihtiyacı kalifiye eleman gerektiren bu sistemler üzerinde bir baskı unsuru olmuştur. Dahası arıtım tesisi ekipmanlarının üretilmesi esnasında da çevrenin kirlenmesi söz konusudur (Hadad ve ark. 2006). Dolayısıyla ilk kurulum maliyetleri ve işletme maliyetleri düşük, enerji ihtiyacı az, toplum tarafından çevreci yaklaşım olarak kabul gören ve çevre dostu uygulamalar ihtiyaç haline gelmiştir. Sanayileşmiş toplumlar tüm bu yaklaşımları göz önüne alarak doğal bir arıtım sistemi tasarlamaya başlamışlardır (Demirörs 2006). Böylece nokta kaynaklı ya da havza kökenli kirliliği önlemek için sulak alanların kullanılması fikri doğmuştur. Bu amaç için kurulan/kurulacak sulak alanlar “*ekilmiş*” ya da “*yapay*” sulak alan olarak tanımlanmıştır (Akratos ve ark. 2008; Renman ve ark. 2008; Ronkanen ve Klove 2008; Ong ve ark. 2009; Ouattara ve ark. 2011).

Ekosistemlerden ve ekosistemlerde gerçekleşen mekanizmalardan köken olarak insanların yararı veya doğal çevrenin dengesinin korunması için kullanılan teknikler “*ekosistem hizmetleri*” veya “*ekosistem servisleri*” olarak tanımlanmaktadır (Albertini ve ark. 2005; He ve ark. 2005; Hougner ve ark. 2006; Brander ve ark. 2007; Costanza ve ark. 2007; Sattout ve ark. 2007). Son yıllarda yapılan çalışmalarda ekilmiş sulak alanlar ekosistem hizmetlerinin tipik bir örneği olarak tasvir edilmektedir (Yang ve ark. 2008). Ancak sanayileşme sonrasında antropojenik kaynaklı olarak salınan gazların yarattığı küresel ısınma, etkilerini hem doğal ekosistemlerde (Prato 2008; Wang 2008; Beaugrand 2009; Drinkwater ve ark. 2010; Yu ve ark. 2010; Lindner ve ark. 2010) hem de ekosistem türevleri olan servisler üzerinde giderek hissettirmektedir (Walker ve ark. 2008; Money ve ark. 2009; Rygiewicz ve ark. 2010). Bu etkilerin en iyi gözlemlenebileceği yerlerin başında da sulak alanlar gelmektedir. İklimlerde görülebilecek en küçük değişiklikler (artan hava, su ve toprak sıcaklıkları) bile sulak alanların hidrolojisi ve dengesi üzerinde yoğun bir baskı uygulamaktadır (Kusler 2005; Withey ve ark. 2011).

Bununla birlikte küresel ısınmanın ekilmiş sulak alanlar üzerinde de etkilerinin olması kaçınılmaz görülmektedir (Zhu ve ark. 2007; Wang ve ark. 2008; Maltais-Landry ve ark. 2009). Ancak bu etkileri belirlemeye yönelik derinlemesine çalışmalara henüz başlanmamıştır.

Ekilmiş sulak alanlar, doğal sulak alanların hidrolojik, bitkisel ve mikrobiyal mekanizmaları içeren biyojeokimyasal döngülerinin taklit edilerek atık suların arıtılması prensibine dayanan insan yapımı sistemlerdir (Ye ve ark. 2003; Le ve ark. 2005; Rousseau ve ark. 2008, Türker ve ark. 2010). Bununla birlikte ekilmiş sulak alanlarda bulunan bitkiler birçok arıtım mekanizmasıyla doğrudan ilişkilidir (Barbera ve ark. 2009; Zurita ve ark. 2009; Ong ve ark. 2010; Wen ve ark. 2010; Huang ve ark. 2010; Garcia-Liedo ve ark. 2011). Sulak alan bitkileri üretken bitkilerdir ve çok sayıda makro ve mikro besini bünyelerinde toplayabilecek yeteneğe sahiptirler (Akratos ve ark. 2009; Kröpfelova ve ark. 2010; Vymazal ve ark. 2010; Dordio ve ark. 2010; Galletti ve ark. 2010; Yadav ve ark. 2010). Bu bitkiler besinlerini kendi büyümeleri için tutmanın yanında, sulak alan içinde, su akışına direnç gösterirler, bekleme sürelerini artırırlar ve askıda katı maddelerin çökmesini kolaylaştırırlar (Goutlet ve ark. 2001; Hodgson ve ark. 2004; Tao ve ark. 2006; Maltais-Landry ve ark. 2009; Zhang ve ark. 2010; Ghosh ve Gopal 2010). Pek çok sucul bitki, topraktaki anaerobik tabakaya oksijen transferini gerçekleştirerek kök bölgesinde ağır metallerin yükseltgenmeleri ile çökeltmelerini sağlamaktadırlar (Cheng ve ark. 2002; Walker ve ark. 2002; Liu ve ark. 2007; Lesage ve ark. 2007; Maine ve ark. 2009; Yeh ve ark. 2009; Xu ve ark. 2009; Tang ve ark. 2009; Maddison ve ark. 2009; Khan ve ark. 2009; Galletti ve ark. 2010). Bitkilerin diğer bir fonksiyonu ise özellikle kış aylarında sulak alanın yüzeyini kaplayarak don olayının önüne geçmesidir. Gerçekleşen bu doğal izolasyon toprak altında faaliyet gösteren mikroorganizmalar için gerekli optimum sıcaklığın korunmasını sağlarlar (Cronk ve Fennessy 2001; Çiftçi ve ark. 2007). Bitki kısımlarının arıtım sürecindeki görevleri Çizelge 1.1 de verilmiştir.

Ekilmiş sulak alanlar, doğal sulak alanların faydalı özelliklerini taşımalarının yanında, doğal sulak alanların birçok olumsuz özelliğini de tolere edebilecek özelliklere sahiptir. Örneğin sulak alanların temizleme kapasitesi kullanılarak yüzey suları veya yeraltı sularıyla sulak alanlara taşınan nitrat ve

fosfor giderilebilmektedir. Ancak organik ve hidrolik yüklemelerdeki ani değişimler sulak alanlardaki arıtma kapasitesini düşüren etkenlerdir (Zedler ve ark. 2000; Hodgson ve ark. 2004; Zhang ve ark. 2010).

**Çizelge 1.1.** Ekilmiş sulak alanlarda bitkilerin arıtım mekanizmasındaki rolü (Vymazal ve Kröpfelova 2008)

Bitki Kısmı	Arıtım Mekanizmasındaki Rolü
Hava ile temas eden dokular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Işık zayıflatılması → Fitoplankton üremesinin düşmesi</li> <li>• Mikroiklime etkisi → Kışın izolasyon sağlaması</li> <li>• Rüzgar hızının düşürülmesi → Bulanıklığın önlenmesi</li> </ul>
Su içerisinde kalan bitki dokuları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtrasyon etkisi → Katı maddelerin filtrasyonu</li> <li>• Su hızının düşürülmesi → Çökeltme oranının artırılması, bulanıklığın azaltılması</li> <li>• Biofilmler için yüzey alanı sağlaması</li> <li>• Fotosentetik kökenli oksijenin salınması → Besin dönüşümü için aerobik degradasyonun artırılması</li> </ul>
Toprak altında kalan kök ve rizomlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toprak yüzeyinin stabilizasyonu → Erozyonun önlenmesi</li> <li>• Besin dönüşümleri için gerekli oksijenin toprağa verilmesi</li> <li>• Besin depolanması</li> <li>• Antibiyotik salınımı</li> </ul>

Sulak alanların atık suların arıtılması için kullanılmasına yönelik ilk çalışma 1955 yılında Max Planck Enstitüsü'nde Kathe Seidel tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada *Scirpus lacustris* (L.) Pall bitkisinin farklı niteliğe sahip atık suların arıtılmasındaki performansı araştırılmıştır. Aynı araştırmacı 1976 yılında yaptığı diğer bir deneysel çalışmada, makrofitlerin bazı kirlilik parametrelerini gidermede önemli rol oynadığını belirlemiş ve bu öncü sistemleri "hidrobotanik metod" olarak isimlendirmiştir (Vymazal ve Kröpfelova 2008). 1967 ve 1972 yılları arasında Florida Üniversitesi'nden Howard Odum, Katherine Ewel ile birlikte doğal Cypress (*Taxodium distichum* (L.) Rich) bataklıklarının evsel atık suların geri dönüşümü ile ilgili çalışmaları başlatmışlardır. 1967 ve 1968 yıllarında Hollanda ve Macaristan'da ilk kez yüzey akışlı ekilmiş sulak alanlar kurularak, göllere deşarj edilen suların iyileştirilmesi çalışmaları

yapılmıştır (de Jong 1976; Greiner 1984; Veenstra ve ark. 1998). 1972 yılında Michigan Üniversitesi'nden araştırmacılar, sulak alanların soğuk iklimlerdeki performanslarının belirlenmesine yönelik ilk derin araştırmaları başlatmışlardır (Kadlec ve ark. 1975). 1973 yılında Robert Kadlec bir sulak alan inşa ettirerek arıtım performansını incelemiştir. Bu çalışma ilk kez gerçek boyutlarda bir ekilmiş sulak alanın kullanılması açısından önem arz etmektedir (Bahr ve ark. 1974). 1978 yılında Huntsman adlı araştırmacı serbest yüzey akışlı sulak alanların maden deşarj sularının temizlenmesi ile ilgili çalışmalar yapmıştır (Vymazal ve Kröpfelova 2008). 1979'da serbest yüzey akışlı sulak alanlar evsel atık suların, endüstriyel atık suların, maden deşarj sularının ve tarım deşarj sularının arıtılması için kullanılmaya başlanmıştır (Kadlec ve ark. 1996; Kadlec ve ark. 2003). Serbest yüzey üstü akışlı sulak alanların soğuk mevsimlerde verimliliğinin düştüğünün belirlenmesi sonucunda 1980 yılında Avrupalı araştırmacılar tarafından yeni bir metot olarak yüzey altı akışlı ekilmiş sulak alanlar geliştirilmiştir (Cooper ve ark. 1996; Vymazal ve Kröpfelova 2008).

Sulak alanların arıtım kapasitesinin belirlenmesinin ardından ekilmiş sulak alanlar konvansiyonel arıtma sistemlerine alternatif olarak son yıllarda yaygın bir biçimde suların arıtılması için kullanılmaya başlanmıştır (Whitney ve ark. 2003; Chen ve ark. 2006; Lesage ve ark. 2007; Vymazal ve ark. 2007). Ekilmiş sulak alanların ilk kurulum maliyetlerinin ve işletme maliyetlerinin düşük olması özellikle arazinin bol ve ucuz bulunduğu bölgelerde kullanımını arttıran önemli bir etkidir (Cheng ve ark. 2002; Kadlec ve ark. 2003; Keffala ve ark. 2005, Tunçsiper 2009). Dahası Uganda, Tanzanya, Etiyopya ve Kenya gibi içme suyu problemlerinin yaşandığı fakir Afrika ülkelerinde ekilmiş sulak alanların kullanımı üzerine çalışmalar Birleşmiş Milletler ve UNESCO destekli olarak giderek artmaktadır (Joackin, 2007; Tebitendwa, 2011).

Ekilmiş sulak alanların evsel ve kentsel atık suların ikincil ve üçüncül arıtımı için kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır (Jing ve ark. 2001; Brix ve ark. 2003; Belmont ve ark. 2004; Davison ve ark. 2006; Kantawanichkul ve ark. 2009; Zurita ve ark. 2009; Fountoulakis ve ark. 2009; Ong ve ark. 2009; Vymazal ve ark. 2010; Ouattara ve ark. 2011). Aynı zamanda ekilmiş sulak alanların tarımsal deşarj sularının arıtılması için de kullanılabilirliği araştırılmıştır (Koskiaho ve ark.

2003; Dunne ve ark. 2005, Gottschall ve ark. 2007; Blankenberg ve ark. 2008; Harrington ve ark. 2009; Mustafa ve ark. 2009; Lee ve ark. 2010). Bu çalışmalarda ekilmiş sulak alanların Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), Kimyasal Oksijen ihtiyacı (KOİ), Toplam Azot (TN), Toplam Fosfor (TP) ve Askıda Katı Maddeleri (AKM) giderimindeki performansı değerlendirilmiştir. (Çizelge 1.2), (Çizelge 1.3). Çalışmalarda elde edilen sonuçlarda ekilmiş sulak alanların bu tip atık suların arıtılması için başarılı bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

**Çizelge 1.2.** Ekilmiş sulak alanların evsel atık suların arıtımındaki ortalama performansları (Vymazal ve Kröpfelova 2008)

	Konsantrasyon (mg l <sup>-1</sup> )		Arıtım Verimi(%)
	Giriş	Çıkış	
BOİ(<40 mg l <sup>-1</sup> )	19.5	6.8	60.7
BOİ(>40 mg l <sup>-1</sup> )	178	32	80.7
KOİ	287	76	63.2
TN	53.0	29.8	39.4
TP	8.7	4.4	40.9
AKM	113	22.3	68.1

**Çizelge 1.3.** Ekilmiş sulak alanların Tarımsal atık suların arıtımındaki ortalama performansları (Vymazal ve Kröpfelova 2008)

	Konsantrasyon (mg l <sup>-1</sup> )		Arıtım Verimi(%)
	Giriş	Çıkış	
BOİ	464	183	68.2
KOİ	871	327	63.0
TN	116	57.5	51.3
TP	19.8	8.5	54.3
AKM	516	180	76.9

Ekilmiş sulak alanların endüstriyel atık suların arıtılması için Amerika Birleşik Devletleri'nde, Çin'de, Avrupa'da ve Yeni Zelanda'da kurulan birçok başarılı örnekleri mevcuttur (Kadlec ve ark. 2000; Knight ve ark. 2000; Scholz ve

ark. 2002; Deng ve ark. 2004; Koskiaho ve ark. 2004; Sun ve ark. 2005; Prochaska ve ark. 2006; Chen ve ark. 2006; Vymazal ve ark. 2009; Galletti ve ark. 2010). Ekilmiş sulak alanların benzen, toluene, ethylene, xylene gibi petrokimyasallarla kirlenmiş atık suların arıtılması için (Gessner ve ark. 2005; Ji ve ark. 2007; Braeckevelt ve ark. 2008; Fountoulakis ve ark. 2009; Tang ve ark. 2009; Mothes ve ark. 2010), tekstil endüstrisinde üretilen yüksek organik yük ve boyar madde içeren atık suların arıtımı için (Bulc ve ark. 2008; Davies ve ark. 2009), deri fabrikalarının atık sularının arıtılması için (Haydar ve ark. 2009; Grafias ve ark. 2010; Calheiros ve ark. 2010), gıda fabrikaları atık sularının arıtılması için (Sohsalam ve ark. 2008; Yalcuk ve ark. 2010), alkol fabrikalarının atık sularının arıtılması için (Arienzo ve ark. 2009; Serrano ve ark. 2011) yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmalarda başlıca hedef sulardan yüksek boyutlardaki Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Azot (TN), Toplam Fosfor (TP) ve Askıda Katı Madde (AKM) kirliliğinin azaltılmasıdır (Çizelge 1.4).

**Çizelge 1.4.** Ekilmiş sulak alanların endüstriyel atık suların arıtımındaki ortalama performansları (Vymazal ve Kröpfelova 2008)

	Konsantrasyon (mg l <sup>-1</sup> )		Arıtım Verimi(%)
	Giriş	Çıkış	
BOİ	652	254	60.1
KOİ	1856	789	63.1
TN	138	102	27.8
TP	9.3	5.2	28.0
AKM	239	128	71.6

Madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan metal ve metaloidler toprak, hava ve su kirliliği yaratan etmenlerin başında gelmektedir. Bu maddelerin sucul habitatlara verilmesi sonucu ortaya çıkan kirlilik dünyanın birçok noktasında madencilik faaliyetleri üzerinde baskı unsuru oluşturmaktadır (Hallberg ve ark. 2005; Johnson ve ark. 2005, Stoltz ve ark. 2006, Gehder ve ark. 2008; Lesley ve ark. 2008; Nyquist ve ark. 2009; White ve ark. 2011). Türkiye dünyadaki Bor (B) rezervlerinin yaklaşık % 70'ine (90 milyon ton) sahip olması nedeniyle, B

madenciliği açısından dünyada önde gelen ülkelerden biridir (Bentli ve ark. 2001; Yılmaz ve ark. 2007; Scialli ve ark. 2010; Böcük 2010). Bunu sırasıyla Rusya, A.B.D., Şili ve Çin takip etmektedir (Boren 2011) (Şekil 1.1). Bor madeninin günümüz endüstrisinin önemli girdilerinden olması (Boren 2011) ve dünyada alternatif sahalarının kısıtlılığı nedeniyle buldukları yerlerde madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Böcük 2010). Türkiye’de B madenciliği 1865’te Compaigne Industrielle des Mazures tarafından Susurluk ilçesinin 9 km güneyinde, Aziziye Köyündeki yatakta başlamıştır. 1978 yılında B rezerv alanlarının madencilik ve işletme hakları özel şirketlerden alınarak Etibank’a verilmiştir. Günümüzde B madenciliği Eti Holding bünyesinde Eti Bor A.Ş.’ye ait Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek işletmelerinde gerçekleştirilmektedir (Boren 2011). Bu tesislerde yüksek bor içeren sular, yıkama işlemi sonunda killi malzemenin cevherden uzaklaştırılması esnasında oluşmaktadır (Bentli ve ark. 2001).



Şekil 1.1. Bor madenlerinin dünyadaki dağılımı

B, doğada yarı metalik elementler (borosilikat, borik asit, boraks ve diğer borat mineralleri) formunda bulunmaktadır (Davis ve ark. 2002; Türe ve Bell 2004). B, meydana gelen aşınmalar sonucu doğal yollarla, antropojenik kaynaklı olarak madencilik faaliyetleri, elektrik üretimi, tarımsal sulama, cam üretimi, temizlik maddesi üretimi ve agrokimyasalların kullanımı sonucu topraklara ve sulara karışmaktadır (Güyağüler 2001; Uncu 2001; Özpeker 2001; Davis ve ark.

2002; Ye ve ark. 2003; Wyness ve ark. 2003; Papadakis ve ark. 2004; Yılmaz ve ark. 2007; Robbins ve ark. 2010). Ülkemizde her yıl B madenciliği faaliyetleri sırasında 600.000 ton atık ortaya çıkmaktadır (Bentli ve ark. 2001; Batar ve ark. 2009). Bu atıkların, miktarlarının giderek artması, depolanma gereksinimini veya uygun geri dönüşüm mekanizmalarıyla geri kazanımını gerektirmektedir. Ayrıca atıkların çevreye verdikleri zararlar B madenciliğinin gelişmesi ve büyümesini engelleyen en önemli etkenlerdendir (Bentli ve ark. 2001). Madencilik faaliyetleri sonucu çevreye bırakılan B elementinin önce yeraltı sularına daha sonra da yüzey sularına karışması bitkilerde fitotoksisiteye (Karabal ve ark. 2003; Papadakis ve ark. 2004; Eraslan ve ark. 2007; Reid ve ark. 2010; Grieva ve ark. 2010), teratojenik etkiye (Naghi ve ark. 1999), üreme bozukluklarına (Robbins ve ark. 2010; Scialli ve ark. 2010), sularda ve sulak alan zemininde birikme özelliğine sahip olduğu için habitat dengelerinin bozulmasına (Okay ve ark. 1985; Çöl ve Çöl. 2003; Chauveheid ve ark, 2004; Neal ve ark. 2010) neden olabilmektedir.

Sulama sularının ve sularla tarım alanlarının çeşitli toksik elementlerce kirlenmesi tarımsal üretimi sınırlayan en önemli faktörlerden biridir (Uygan ve Çetin 2004). Tarımsal sulamada sulama suyunun miktarı değil, aynı zamanda kullanılan suyun kalitesi de son derece önemlidir (Akman ve ark. 2001; Uygan ve Çetin 2004). B'un çok küçük dozlarının bile yüzey ve yeraltı sularına karışması ve bunların tarımsal sulamada kullanılması çevre kirliliği yaratması bakımından önemlidir (Kabay ve ark. 2009; Şaşmaz ve Öbek 2009). Örneğin B elementinin bitkilerin sağlıklı gelişimi için gerekli olan dozu ile toksik sınır birbirine oldukça yakındır ve bu sınır, türden türe değişiklik göstermektedir (Böcük 2010). 1,12-2 mg l<sup>-1</sup> den fazla B içeriğine sahip suların tarımsal sulamada kullanılması bitkilerde ve toprakta sorun yaratabilmektedir (Uygan ve Çetin 2004; Reid 2010). Bu nedenle 1991'de resmi gazetede B için yayınlanan sulama suyu sınır değeri 2 mg l<sup>-1</sup> olarak verilmiştir (Resmi Gazete 1991). İçme sularının karşılandığı çoğu tatlı su kaynakları ise nadiren 1 mg l<sup>-1</sup>'in üzerinde B içermektedir ve bunların içerdiği B genellikle 0,1 mg l<sup>-1</sup>'in aşağısındadır (Davis ve ark. 2002). Bu kaynakların herhangi bir etki sonucu B ile kirlenmesi, içme suları için de B sınır değerinin belirlenmesine yol açmıştır (Yılmaz ve ark. 2007). İçme suları için farklı B sınır değerleri verilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlediği B sınır

değeri  $0,3 \text{ mg l}^{-1}$ 'dir (Yılmaz ve ark. 2007; Kabay ve ark. 2009). Ancak Avrupa Birliği (EU) tarafından izin verilen değer ise  $1 \text{ mg l}^{-1}$ 'dir (Wyness ve ark. 2003; Glueckstern ve ark. 2007; Yılmaz ve ark. 2007; Hilal ve ark. 2010).

B, bitkiler tarafından  $\text{H}_2\text{BO}_3$  ve  $\text{BO}_3$  formlarında alınan ve bitkilerin normal gelişimleri için gerekli bir mikro elementtir (Badruk ve ark. 1999; Davis ve ark. 2002; Türe ve Bell 2004; Han ve ark. 2008; Şaşmaz ve Öbek 2009; Pang ve ark. 2010). Bitkilerde B, karbonhidrat sentezi ve taşınmasında (Zao ve ark. 2002; Dembitsky ve ark. 2002; Dinçer 2003; Cristobal ve ark. 2004; Han ve ark. 2008), kök ve yaprak gelişiminde (Papadakis ve ark. 2004; Stavrianakou ve ark. 2006; Han ve ark. 2009; Beato ve ark. 2010; Guidi ve ark. 2010), polen çimlenmesi, polen tüpü gelişiminde (Blevins ve Lukaszewski 1998; Wang ve ark. 2003), hücre zarı ve hücre duvarı yapısına katılmada (Brown ve ark. 2002),  $\text{Ca}^+$  ve  $\text{K}^+$  alınımında ve taşınmasında önemli fonksiyonel etkilere sahiptir (Türe ve Bell 2004; Han ve ark. 2008). Aynı zamanda B'un bitki köklerinde azot fiksasyonu yapan bakterilerle de yakın ilişkisi tespit edilmiştir (Balanos ve ark. 2004). B'un bitkiler tarafından fazla alınması durumunda kök ve yaprak büyümesinde baskılanma (Karabal ve ark. 2003; Guneş ve ark. 2006; Guidi ve ark. 2010), aktif iyon alınımında engellenme ve kambiyum hücrelerinin ksilem ve floem doku hücrelerinde bozulmalar görülmektedir (Smith ve ark. 2010; Grieve ve ark. 2010).

Toprakta B içeriği  $2-200 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişmekte olup B genellikle toprakta borik asit ya da borat formlarında bulunmaktadır (Türe ve Bell 2004; Batar ve ark. 2009). Bitkiler ise bu B içeriğinin % 5'ten az kısmından yararlanmaktadır (Uygan ve Çetin 2004; Böcük 2010). Bitkiler için, topraktaki kullanılabilir B bakımından toksisite sınırı ortalama olarak  $4 (5) \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir (Türe ve Bell 2004; Böcük 2010). B topraktaki toksiklik ve eksiklik düzeyleri birbirine yakın olan besin elementlerinden birisidir (Sharma ve ark. 2006; Batar ve ark. 2009). Bir tür için optimum olan B konsantrasyonu başka bir tür için toksik olabilmektedir (Blevins ve Lukaszewski 1998; Clark ve ark. 1999; Goldbach ve ark. 2000; Carter ve ark. 2003; Goldberg ve ark. 2003; Bastías ve ark. 2004; Sartaj ve Fernandes 2005).

B'un sularından arındırılması için konvansiyel arıtma metotlarının kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. B, ters ozmoz (RO) (Taniguchi ve ark. 2001; Hyung ve ark. 2006; Tu ve ark. 2010; Dominguez-Tagle ve ark. 2011), İyon değiştirici membranlar (IEM) (Ayyıldız ve Kara 2005; Kabay ve ark. 2007; Öztürk ve Köse 2008; Jacob 2007; Kir ve ark. 2011), Çökelme-koagülasyon (Yılmaz ve ark. 2007; Feklistov ve Fedina 2010), Adsorbsion (Seki ve ark. 2006; Majidi ve ark. 2010; Kehal ve ark. 2010), Membran filtrasyonu (Makedoni ve ark. 2008; Onderkova ve ark. 2009) yöntemleri kullanılarak sularından arındırılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre Ters Ozmoz sistemlerinin % 50-70 arasında, (Hyung ve ark. 2006; Tu ve ark. 2010; Dominguez-Tagle ve ark. 2011), İyon değiştirici membranların % 99'un üzerinde (Ayyıldız ve Kara 2005; Garcia-Sato ve ark. 2005; Köse ve ark. 2008; Kir ve ark. 2011), çökeltme-koagülasyonun % 28'den az (Yılmaz ve ark. 2007; Feklistov ve Fedina 2009), adsorbsiyonun % 25-90 arasında (Majidi ve ark. 2010; Kehal ve ark. 2010) arıtım verimliliği gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak bu tür sistemlerin B ile kirlenmiş atık suların arıtılması için kullanılması beraberinde yüksek maliyet, enerji ve kimyasal kullanımını beraberinde getirmektedir (Marin ve Oron 2007).

B konsantrasyonuna sahip toprakların dünya üzerinde sınırlı alanlarda olması ve B madenciliğinin sınırlı ülkelerde yapılması, ekilmiş sulak alanların B içeren suların arıtımı için kullanılabilirliği konusundaki çalışmaları doğal arazi koşulları yerine, daha çok laboratuvar ortamlarında yapılmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmalar B madenine spesifik olarak (Davis ve ark. 2002; Marin ve Oron 2007), B'u mikro elementler ile birlikte (Kröpfelova ve ark. 2009), Se, Ar ve U ile birlikte (Ye ve ark. 2003; Şaşmaz ve Öbek) ve Ters Ozmoz-hibrid kullanım (Murray-Gulde ve ark. 2003) olarak değerlendirmeye yöneliktir.

Bu tez çalışmasında yatay yüzey altı akışlı ekilmiş sulak alan teknolojisinin, Kırka Bor işletme sahası içerisinde yüksek derecede çözünmüş B içeren suları arıtmadaki verimi ve performansı araştırılmıştır. Türkiye'nin en büyük B işletmelerinden olan, Eskişehir Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletmesi'nde hali hazırda 6 adet yıkama suyu toplama gölet mevcut olup her 4 yılda bir yeni toplama göletine ihtiyaç duyulmaktadır (Batar ve ark. 2009). İşletme ömrünün en az 250 yıl olduğu dikkate alındığında, tüm bölgenin toplama

göleti için kullanılsa da yeterli olamayacağını göstermektedir. Toplama göletlerindeki B konsantrasyonun Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği limitlerinin çok üzerinde olması (Oren ve ark. 2006) ve göletlerin sızdırmazlığının çok iyi yapılmamış olmasına bağlı olarak B' ca zengin sulu atıkların yeraltı ve yüzey sularına karışması önemli çevresel problemlerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Uygan ve Çetin 2004; Batar ve ark. 2009). Bu nedenle B'un neden olabileceği kirliliğin, kirlilik basamakları oluşmadan yerinde giderilmesine ve kontrolüne yönelik çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Yüksek Lisans Tezi olarak planlanan bu çalışma;

- Dünyadaki B rezervlerinin % 70 'inin ülkemizde bulunmasının yüklediği sorumlulukla “Ekilmiş sulak alan – Bor ilişkisi” ni etkin olarak ortaya koymayı,
- Küçük ölçekte kurulmuş yatay akışlı ekilmiş sulak alanların, suda bulunan fazla borun birim alanda ve hacimde giderimindeki verimliliğini ve performansını belirlemeyi,
- Sistemin işletilmesi esnasında çıkabilecek sorunları yerinde gözlemlemek ve sorunlara karşı çözüm önerisi getirmeyi,
- Ülkemizde ve dünyada Bor İşletme sahalarında ekilmiş sulak alan teknolojisinin kullanılabilirliği için uygun biyolojik yöntem ve materyal seçimine yönelik bilgilerin ortaya çıkarılmasını,
- Ayrıca bir küresel ısınma senaryosu üzerinden, gelecekte artan CO<sub>2</sub>'e bağlı olarak küresel ısınmanın ekilmiş sulak alanlara ve kullanılan bitkiler üzerine olası etkilerini ortaya koymayı amaçlamıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Araştırma Yeri

Arazi çalışmaları gerekli izinler alınarak Eti Maden İşletmelerine bağlı Kırka Bor işletme sahası içerisinde doğal iklim koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar iki dönem olarak planlanmış olup birinci dönemini 2009 yılının Mayıs-Ekim ayları arasında *Typha latifolia* L. (Typhaceae) ile yapılan çalışmalar, ikinci kısmını ise 2010 Mayıs-Ekim arasında *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex steud. (Poaceae) ile yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Deneysel düzeneklerin kurulacağı alan için, su numunelerinin hazırlanacağı maden deşarj suyu toplama göletine olan uzaklıklar ve güvenlik koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle araştırmalar işletme sahası içerisinde, toplama göletinin yakınında bulunan evsel atık su arıtma tesisinin içerisinde gerçekleştirilmiştir.



a. Kırka bor rezerv alanı



b. Yıkama suyu toplama göleti

Şekil 2.1. Kırka bor işletme sahası



### 2.2.2. Biyoiklimsel sentez

Emberger (1952), Akdeniz iklim katlarının ve genel kuraklık derecesinin tayini için şu formülü önermiştir.

$$Q = \frac{2000 \cdot P}{(M+m+546,4) (M-m)}$$

(**Q**: Yağış-Sıcaklık emsali, **P**: Yıllık yağış miktarı, **M**: En sıcak ayın maksimum sıcaklık ortalaması ( $^{\circ}\text{C}$ ), **m**: En soğuk ayın minimum sıcaklık ortalaması ( $^{\circ}\text{C}$ )).

İklimsel verilere dayanarak yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan Q değeri;

$Q < 20$ ;  $P < 300$  mm ise; Çok Kurak Akdeniz İklimi

$Q = 20-32$ ;  $P = 300-400$  mm ise; Kurak Akdeniz İklimi

$Q = 32-63$ ;  $P = 400-600$  mm ise; Yarı Kurak Akdeniz İklimi

$Q = 63-98$ ;  $P = 600-800$  mm ise; Az Yağışlı Akdeniz İklimi

$Q > 98$ ;  $P > 1000$  mm ise; Yağışlı Akdeniz İklimi'ni ifade

etmektedir. Bu iklim katlarının her biri özel bir vejetasyon tipine karşılıktır.

“m” donlu dönemlerin süresinin ifadesidir ve m değeri küçüldükçe soğuk dönem o kadar uzun olur. “m” değerinin 0'dan büyük veya küçük olmasına göre Akdeniz biyoiklim tipleri;

$m > 0$   $^{\circ}\text{C}$  ise;

$m > 10$   $^{\circ}\text{C}$  ise; Çok Sıcak Akdeniz İklimi

$10$   $^{\circ}\text{C} < m < 7$   $^{\circ}\text{C}$  ise; Sıcak Akdeniz İklimi

$4,5$   $^{\circ}\text{C} < m < 3$   $^{\circ}\text{C}$  ise; Yumuşak Akdeniz İklimi

$3$   $^{\circ}\text{C} < m < 0$   $^{\circ}\text{C}$  ise; Serin Akdeniz İklimi

$m < 0$   $^{\circ}\text{C}$  ise;

$m > -10$   $^{\circ}\text{C}$  ise; Kış Buzlu

$-10$   $^{\circ}\text{C} < m < -7$   $^{\circ}\text{C}$  ise; Kış Son Derece Soğuk

$-7$   $^{\circ}\text{C} < m < -3$   $^{\circ}\text{C}$  ise; Kış Çok Soğuk

$-3$   $^{\circ}\text{C} < m < 0$   $^{\circ}\text{C}$  ise; Kış Soğuk'tur.

Kurak devre ise Emberger'e göre **S**:  $PE / M$  formülü ile belirlenebilmektedir. S değerine göre istasyon  $S < 5$  ise Akdenizli,  $5 < S < 7$  ise Yarı Akdenizli,  $S > 7$  ise Akdenizli değildir (**PE**: Yaz yağışı ortalaması, **M**: En sıcak ayın maksimum sıcaklık ortalaması), (Akman 1990).

Araştırma bölgesinin Emberger (1952) yöntemine göre hesaplanmış biyoiklim katı Çizelge 2.1’de verilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Araştırma alanının biyoiklim katı

İstasyon	Yükseklik	P	PE	M	m	S	Q	Biyoiklim katı
Kırka	1180	373,8	18,07	28,3	-7,8	0,63	36,22	Yarı Kurak Akdeniz İklimi

Yukarıdaki verilere göre, Kırka beldesi (Q=46,22) ile Yarı Kurak Akdeniz İklimi biyoiklim katında yer almaktadır. En soğuk ayın minimum sıcaklık ortalaması olan m değeri dikkate alındığında ise, Kırka -7,8 °C değeri ile kışı son derece soğuk Akdeniz iklimini, karakterize etmektedir (Çizelge 2.1).

Şekil 2.2.’de Kırka beldesine ait iklimsel verilerden yararlanılarak Walter (1960) yöntemine göre çizilmiş iklim diyagramında belirtildiği gibi çalışma süresi kurak geçirilmiştir. Çalışma periyodu boyunca yağışın en düşük seviyede olması çalışmanın yapıldığı bölgede B içeren atık suyun sistem içerisinde olduğu gibi kaldığını ve atık suya yağmur suyunun karışmadığı ya da en az seviyede karıştığını göstermektedir.

Mevsimsel şartlardan dolayı bu tez çalışması 2009 ve 2010 yılı Ağustos ayının başından başlayarak yine aynı yılların Ekim ayının ortasına kadar 12 hafta boyunca sürdürülmesine karar verilmiştir.

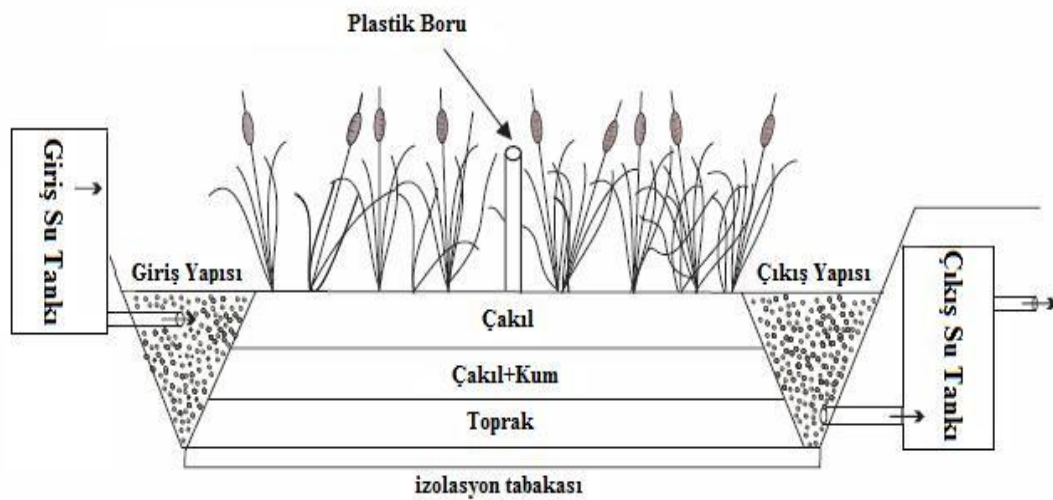
## 2.3. Yöntem

### 2.3.1. Sulak alanların kurulumu

Araştırma için, *Typha latifolia* (ES<sub>1</sub>) ve *Phragmites australis* (ES<sub>2</sub>) ile bitkilendirilmiş iki ayrı düzenek kullanılmıştır. Kullanılan düzenekler gerçek bir sulak alana olabildiğince en yakın şekilde tasarlanmış olup, 90 cm yüksekliğe sahip 3 adet metal varilin birleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur. Kurulan sulak alanlar 2.70 m uzunluğa, 0.65 m genişliğe, 1.75 m<sup>2</sup> alana ve 5:1 oranına sahiptir (Şekil 2.2). Sulak alan düzeneklerinin içi oluşabilecek kontaminasyonlara karşı çift tabakalı plastik naylon ile kaplanmıştır. Ekilmiş sulak alanların yatak derinliği 0.45 m olarak belirlenmiş ve giriş-çıkış yapıları için 5–8 cm çapında çakıl malzeme seçilmiştir. Bitkilerin yetiştirilmesi için üç katmandan oluşan sediment hazırlanmıştır. Bu katmanlar çakıl (5 cm), kum ve doğal bitki toprağıdır. En alt

katman olarak bor maden sahası içerisinde elde edilen doğal toprak kullanılmıştır. Toprak katmanının derinliği 15 cm'dir. Bu tabakanın üzerine bitki kök gelişiminin ve filtrasyonun sağlanması için 25 cm derinliğinde çakıl-kum karışımı dolgu malzemesi kullanılmıştır. En üst tabaka olarak 5 cm çakıl malzeme serilmiştir. Sulak alanların içerisindeki su seviyesinin ölçülmesi için sistemin ortasına 60 cm uzunluğunda PVC boru konumlandırılmıştır. Dahası sistemlerin içerisine suyun dağılımının sağlanması için sulak alanların giriş ve çıkış bölümlerine 3 çeyreklik vanalar yerleştirilmiştir. Suyun rahat bir şekilde toplanabilmesi ve dinlendirilmesi için sistemlerin girişine 60 lt hacminde plastik su tankı konulmuştur. Aynı zamanda sistemdeki buharlaşan suyun toplanabilmesi için giriş kısmında da aynı düzenek kullanılmıştır (Şekil 2.3).

Sulak alan tasarımı için kullanılacak bitki türünün bölgede doğal yayılış göstermesi ve kolay temin edilebilmesi gerekmektedir (Demirörs 2006; Wen ve ark. 2010). Bu verilerin ışığında sulak alanın bitkilendirilmesi için Kırka B rezerv alanı içerisinde, B3 güney bakı, 1078 m lokalitesin de doğal yayılış gösteren ve kolayca temin edilebilen *Typha latifolia* L. ve *Phragmites australis* L. bitkileri kullanılmıştır. Deneysel çalışma için bitkiler budanarak rizom durumuna getirilmiştir. Elde edilen rizomlar sistemlere 25 cm derinlikten (kum-çakıl tabakasından) başlanarak ve her bir rizom arasında 15 cm aralık olacak şekilde dikilmiştir.



Şekil 2.3. Kurulan ekilmiş sulak alanların diyagramı



Şekil 2.4. Bitkiler için hazırlanan yatak, dolgu malzemeleri, giriş ve çıkış yapıları



Şekil 2.4. (Devam) Bitkiler için hazırlanan yatak, dolgu malzemeleri, giriş ve çıkış yapıları



Şekil 2.4. (Devam) Bitkiler için hazırlanan yatak, dolgu malzemeleri, giriş ve çıkış yapıları

Atık suyun sistem içerisindeki hidrolik bekletme süresi olarak iki hafta seçilmiştir. Bunun nedeni su içerisindeki organik maddelerin, ağır metallerin ve metaloitlerin bitkiler tarafından absorbe edilebilmesi için 8-30 günlük bir bekletme süresine ihtiyaç duyulmasıdır (Debusk ve ark. 1996).

### 2.3.2. Gübreleme periyodu

Ekilmiş sulak alanların kurulumu 2009 yılının Haziran ayı ile 2010 yılının Haziran ayında tamamlanmış ve sistemler devreye alınmıştır. Deneysel çalışmaların Haziran-Ağustos 2009 ve Haziran-Ağustos 2010 aylarını kapsayan periyot sürecinde sistemdeki bitkilerin ve mikroorganizmaların büyümelerini teşvik etmek için Mainos ve ark (2003)'nın çalışmalarında kullandıkları yöntemden yararlanılmıştır. Çalışmada araştırmacılar yüksek organik maddenin bitkilerin gelişimlerini desteklediğini sonuçta bitkilerin sulardan daha fazla kirletici uzaklaştırmasına neden olduğu rapor etmişlerdir. Bu verilerin ışığında metod tez çalışmasında B için hipotezlenmiştir. Sistemler, işletme sahası içerisinde bulunan arıtma tesisinden temin edilen 3:1 oranında seyreltilmiş evsel atık su ile beslenmiştir. Evsel atık suyun sahip olduğu ortalama biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) değeri 38,8 mg l<sup>-1</sup>'dir. Seyreltme işlemi için işletme sahası içerisindeki demineralizasyon ünitesinden temin edilen saf su kullanılmıştır. Sistemler içerisindeki su seviyesi 30 cm olarak ayarlanmış olup, buharlaşmadan kaynaklanan su miktarını telafi edebilmek için sistemler günde 6 kez toplamda 1 lt olacak şekilde saf su ile beslenmiştir. Bununla birlikte gübreleme periyodu sonunda, sistem içerisinde bulunan bitkilerin sayısı dikkate alınarak bitkilerin hayatta kalma oranları hesaplanmıştır.

### 2.3.3. Su örneklerinin hazırlanması ve analizleri

Ekilmiş sulak alanla ilgili olarak 2009 Ağustos ayının başından 2010 Ekim ayının ortalarına kadar devam ettirilen çalışmalarda giriş çıkış suların B, pH ve Elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine bakılmıştır. Bu verilerin değerlendirilmesi neticesinde iki farklı tür kullanarak tasarlanan ekilmiş sulak alanların arıtma performansı incelenmiştir. Çalışma periyodu boyunca toplam 24 numune alınmıştır. Bu numunelerden 12 tanesi her iki sistemde kullanılan ve işletme

sahası içerisindeki atık barajlarından alınarak hazırlanan giriş suyunu, 12 tanesi ise her iki sistemden örneklenen çıkış suyunu oluşturmaktadır. Numuneler hazırlandıktan ve alındıktan sonra pH ve EC ölçümleri yapılmıştır. pH ve EC ölçümleri yapılan numuneler B analizleri yapılana kadar laboratuarda polietilen şişelerde +4 °C sıcaklıkta koruma altına alınmıştır. Numuneler, Su Analiz Metotları Tebliğine uygun olarak Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletmesi Su kimyası ve Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama Merkezi Laboratuvarlarında analiz edilmiştir.

#### 2.3.4. Sediment örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri

Araştırma bitiminde sistemler içerisindeki su tamamen süzöldükten sonra, sediment örnekleri 3 tekrarlı olarak sistem içerisinde toplanmıştır. Örnekler laboratuara getirilerek içerisinde bulunan bitki artıklarından arındırılmış ve analizleri yapılincaya kadar buzdolaplarında saklanmıştır.

Sediment örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri aşağıda belirtilen protokoller uygulanarak yapılmıştır.

#### Bor (B)

Bu araştırma kapsamında, sedimentteki B miktarları, *Azometin-H Yöntemi* kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntem karminin, derişik sülfürik asit içindeki çözeltisiyle, B konsantrasyonuna bağılı olarak verdiğı kırmızı rengin ışık absorpsiyonunun, spektrofotometre aracılığı ile belirlenmesi esasına dayanır. Yöntem şu şekilde özetlenebilir.

- Havada kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilmiş 100 g toprak tartılarak 200 mm'lik erlenmayere konulur.
- Üzerine saturasyon haline gelinceye kadar büret aracılığı ile distile su ilave edilir. Sarfedilen su miktarı kaydedilir.
- % Saturasyon aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\% \text{ Saturasyon} = \frac{\text{İlave edilen su miktarı (ml)} \times (100 + \% \text{Rutubet})}{\text{Hava kuru toprak ağırlığı (g)}}$$

- Hazırlanan çözelti 1 gece bekletilir.

- Ertesi gün vakumlu bir filtre aracılığı ile süzülür.
- 100 ml'lik borsuz balon jojelere, ekstrattan 2 ml alınır.
- Üzerine 2 ml derişik hidroklorik asit (HCl) ve 10 ml derişik sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ilave edilir.
- İyice karıştırılarak çözeltinin soğuması beklenir.
- Üzerine 10 ml Karmin çözeltisinden (Karmin + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ilave edilir.
- En az 45 dk sonra, spektrofotometre aracılığı ile 585 nm dalga boyunda ölçüm yapılır.
- Standart çözeltilerin, aynı dalga boyundaki absorbans değerleri elde edilerek bir grafik çizilir. Bu grafik kullanılarak, toprak solüsyonundaki bor miktarı hesaplanır.

#### **Toprak reaksiyonu (pH)**

Sediment örneklerinin pH değerleri, *1/2,5 Oranında Toprak/Su Yöntemi* ile belirlenmiştir. Yöntem, su ilavesi ile toprak çözeltisine geçen H<sup>+</sup> iyonları konsantrasyonun pH ölçer aracılığı ile belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Yöntem şu şekilde özetlenebilir.

- Havada kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilmiş 20 g toprak örneği bir beher içerisine tartılır.
- Üzerine 50 ml distile su eklenir. Beherin ağzı kapatılarak bir gece bekletilir.
- Ertesi gün dijital pH metre ( $\pm 0,01$ ) yaklaşık yarım saat önce çalıştırılarak elektrotların ortamın sıcaklığında olduğundan emin olunur.
- Standart çözeltiler aracılığı ile pH metrenin kalibrasyonu yapıldıktan/kontrol edildikten sonra ölçüm işlemine geçilir.
- Elektrotlar, beherin içerisindeki toprak çözeltisine batırılır.
- pH metrenin ekranında, sabit bir değer görülene kadar yaklaşık 1-2 dk beklenir.
- Okunan değer kaydedilir.
- Bir sonraki analize geçmeden önce, elektrotlar piset yardımı ile distile su ile temizlenir.

### Toplam Azot (N)

Bu araştırmada, sediment örneklerindeki azot miktarı *Kjeldahl Yöntemi* ile belirlenmiştir. Örnekteki azotun çeşitli işlemlerle çözeltiye geçirilip, asit ile titre edilerek sarf edilen asit miktarından yararlanarak azot miktarının hesaplanması esasına dayanmaktadır. Yöntem aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- 0.5 mm'lik elekten geçirilmiş, hava kurusu topraktan 0.5 ila 1 g arasında örnek analitik terazi kullanılarak tartılır.
- Tartım sonucu tam olarak kaydedilerek, Kjeldahl tüplerine aktarılır.
- Kör olarak kullanılacak tüplere örnek konulmaz.
- Her bir tüpün içerisine katalizör olarak görev yapacak olan 2 adet Bakır sülfat ( $\text{Cu}_2\text{SO}_4$ ) + Potasyum sülfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) karışımı içeren tablettten atılır.
- Her bir tüp içerisine 12 ml konsantre sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) eklenir.
- Tüpler Kjeldahl cihazının yakma ünitesinin üzerine yerleştirilir.
- Tüplerden yoğunlaşan asit buharının yoğunlaşarak tekrar tüp içerisine dönmesini sağlayan su soğutma sisteminin musluğu açılır.
- 420 °C'de 1 saat süre ile örnekler yakılır.
- Yakma işlemi bittiğinde örnek tüplerinde yeşil renk gözlenecektir.
- Tüplerin soğuması beklendikten sonra tam otomatik Kjeldahl cihazında ölçüm yapılır.

### Fosfor (P)

Bu çalışmada, sedimentlerdeki fosfor miktarı belirlenirken, asidik ve bazik karakterdeki topraklar için ayrı olarak uygulanan yöntemler kullanılmıştır. Bazik özellikli toprakların fosfor miktarı *Sodyum Bikarbonat Yöntemi (Olsen yöntemi)* ve asidik özellikli toprakların fosfor miktarı ise *Bray ve Kurtz No. 1 yöntemi* ile belirlenmiştir. Yöntemler, toprak ekstratı çözeltisine geçen fosfor, molibdofosforik mavi renk yöntemine göre belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Şu şekilde özetlenebilir.

#### *Sodyum Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) (Olsen) Yöntemi*

- 100 ml'lik bir erlenmayere, havada kurutulmuş ve 0.5 mm'lik elekten geçirilmiş 2.5 g toprak örneği tartılır.
- Üzerine 50 ml 0.5 N  $\text{NaHCO}_3$  ilave edilir.

- Çalkalama cihazında 30 dk süre ile (~100 devir/dk) çalkalanır.
- Çalkalama süresi sonunda çözelti, mavi bant süzme kağıdı aracılığı ile süzülür.
- 25 ml'lik balon jöjeye, elde edilen süzüntüden 5 ml alınır.
- Üzerine 5 ml %15'lik amonyum molibdat  $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O]$  çözeltisi ilave edilir.
- Tam yanmanın gerçekleşmesi için 15 dk beklenir.
- Çözeltinin üzerine yaklaşık seviye 22 ml olacak şekilde distile su eklenir.
- Taze olarak hazırlanmış sulu kalay klorür ( $SnCl_2.2H_2O$ ) çözeltisinden 1 ml alınarak çözeltinin üzerine ilave edilir.
- Son hacim 25 ml olacak şekilde distile su ile tamamlanır.
- Spektrofotometre tüplerine alınan çözeltinin absorbans değeri, 10 dk içerisinde 660 nm dalga boyunda ölçülür.
- Standart çözeltilerin, aynı dalga boyundaki absorbans değerleri belirlenerek bir grafik çizilir. Bu grafik kullanılarak, toprak solüsyonundaki fosfor miktarı, sulandırma ve rutubet faktörleri de değerlendirilerek hesaplanır.

#### *Bray ve Kurtz No.1 Yöntemi*

- 250 ml'lik bir erlenmayere, havada kurutulmuş ve 0.5 mm'lik elekten geçirilmiş 7 g toprak örneği tartılır.
- Üzerine 49 ml ekstrakt çözeltisi (0.03 N  $NH_4F$  + 0.025 N HCl) ilave edilir.
- Çalkalama cihazında 5 dk süre ile (~100 devir/dk) çalkalanır.
- Çalkalama süresi sonunda çözelti, mavi bant süzme kağıdı aracılığı ile hemen süzülür.
- 50 ml'lik kuru ve temiz bir behere, elde edilen süzüntüden 5 ml alınır.
- Üzerine 10 ml distile su eklenerek, çözeltinin hacmi 15 ml'ye getirilir.
- Çözeltinin üzerine 5 ml amonyum molibdat  $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O]$  çözeltisi ilave edilerek karıştırılır.
- Tam yanmanın gerçekleşmesi için yaklaşık 15 dk beklenir.

- Taze olarak hazırlanmış sulu kalay klorür ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) çözeltisinden 1 ml alınarak çözeltinin üzerine ilave edilir.
- Spektrofotometre tüplerine alınan çözeltinin absorpsiyon değeri, 10 dk içerisinde 660 nm dalga boyunda ölçülür.
- Standart çözeltilerin, aynı dalga boyundaki absorpsiyon değerleri araştırıcı tarafından elde edilerek bir grafik çizilir. Bu grafik kullanılarak, toprak solüsyonundaki fosfor miktarı, sulandırma ve rutubet faktörleri de değerlendirilerek hesaplanır.
- Aynı hesaplama tam otomatik spektrofotometre aracılığı ile otomatik olarak ta yapılabilir.

#### **Değişebilir katyonlar ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{++}$ , $\text{Mg}^{++}$ )**

Bu çalışma kapsamında, sediment içerisindeki bitkiler tarafından alınabilir (ekstakte edilebilir) formdaki sodyum ( $\text{Na}^+$ ) ve potasyum ( $\text{K}^+$ ) analizi, *Alev (Flame) Fotometresi Yöntemi*, kalsiyum ( $\text{Ca}^{++}$ ) ve magnezyum ( $\text{Mg}^{++}$ ) analizi ise *Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresi Yöntemi* ile belirlenmiştir. Toprak kolloidleri üzerindeki değişebilir katyonların, 1 N amonyum asetat çözeltisi ile çalkalanarak çözeltilmeye alınması ve sonrasında flame fotometre ( $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  için) ve atomik adsorpsiyon cihazında ( $\text{Ca}^{++}$  ve  $\text{Mg}^{++}$  için) ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Yöntemler şu şekilde özetlenebilir.

#### *Sodyum ( $\text{Na}^+$ ) ve Potasyum ( $\text{K}^+$ )*

- 250 ml'lik erlenmayer içerisine, 2 mm'lik elekten geçirilmiş hava kurusu topraktan 10 g tartılır.
- Üzerine 60 ml 1N amonyum asetat ( $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ ) ilave edilir.
- Çalkalama cihazında 15 dk süre ile çalkalanır.
- Mavi bant süzme kağıdı kullanılarak 100 ml'lik balon jöle içerisine süzülür.
- Süzüntü amonyum asetat ile 100 ml'ye tamamlanır.
- Standart çözeltiler kullanılarak alev fotometresi sodyum ( $\text{Na}^+$ ) okuması için ayarlanır (kalibrasyon).

- İyice karıştırılan çözelti, alev fotometresinde okunarak, sodyum miktarı belirlenir.
- Standart çözeltiler kullanılarak alev fotometresi potasyum ( $K^+$ ) okuması için ayarlanır (kalibrasyon).
- İyice karıştırılan çözelti, alev fotometresinde okunarak, potasyum ( $K^+$ ) miktarı belirlenir.

#### *Kalsiyum ( $Ca^{++}$ ) ve Magnezyum ( $Mg^{++}$ )*

- 2 mm'lik elekten geçirilmiş hava kurusu topraktan, 250 ml'lik erlenmayer içerisine 10 g tartılır.
- Üzerine 60 ml 1N Amonyum Asetat ( $NH_4CH_3COO$ ) ilave edilir.
- Çalkalama cihazında 15 dk süre ile çalkalanır.
- Mavi bant süzme kağıdı kullanılarak 100 ml'lik balon joje içerisine süzülür.
- Süzüntü 1N amonyum asetat ( $NH_4CH_3COO$ ) çözeltisi ile 100 ml'ye tamamlanarak iyice karıştırılır.
- Atomik absorpsiyon spektrofotometresi, standart kalsiyum ( $Ca^{++}$ ) çözeltileri kullanılarak kalibre edilir.
- Toprak örneğinden ekstrakte edilen çözeltiden  $Ca^{++}$  değeri okunur.
- Atomik absorpsiyon spektrofotometresi, magnezyum ( $Mg^{++}$ ) standart çözeltileri kullanılarak kalibre edilir.
- Toprak örneğinden ekstrakte edilen çözeltiden magnezyum ( $Mg^{++}$ ) değeri okunur.

#### **Kireç ( $CaCO_3$ )**

Bu araştırmada, sediment örneklerindeki toplam kireç içerikleri *Scheibler Kalsimetre Yöntemi* ile belirlenmiştir. Seyreltik hidroklorik asitle Scheibler Kalsimetresinde işleme tabi tutulan toprak örneklerinden çıkan  $CO_2$  gazının, kapalı bir cam boruda tutularak hacminin ölçülmesi ve bu hacimden yararlanarak toprağın karbonat miktarının hesaplanması esasına dayanır. Yöntem şu şekilde özetlenebilir.

- Havada kurutulmuş ve 0.5 mm'lik elekten geçirilmiş 0.5 g toprak örneği, 250 ml'lik erlenmayere (kalsimetre şişesi) tartılır.
- İçerisinde 1/3 hidroklorik asit (HCl) bulunan kalsimetre tüpü, sivri uçlu bir pens yardımı ile erlenmayerin içerisine dik bir şekilde yerleştirilir.
- Erlenmayerin ağzı, kalsimetrenin tıpası ile sıkıca kapatılır. Bu sırada, kalsimetrenin yan tarafında bulunan musluk açık konumdadır.
- Kalsimetrenin su seviyesi sıfıra ayarlandıktan sonra, musluğu kapatılarak hava ile temas kesilir.
- Kalsimetre içerisinde bulunan su, karbondioksite (CO<sub>2</sub>) doyurulmuş sudur.
- Kalsimetre şişesi yavaşça yan yatırılarak, asidin toprakla teması sağlanır.
- Kalsimetre tüpü içerisindeki asit boşaltılırken, CO<sub>2</sub> çıkışı başlar.
- Açığa çıkan CO<sub>2</sub>, kendi hacmi kadar suyu iter. Bu hacim kaydedilir.
- CO<sub>2</sub> gazının hacmi, sıcaklık ve hava basıncına bağlı olarak değişiklik gösterdiği için, bu değerler analiz sırasında not edilmelidir.
- Daha sonra sıcaklık, basınç ve rutubetin etkileri göz önüne alınarak, aşağıdaki formülden yararlanılarak toprağın kireç miktarı hesaplanır.

$$\% \text{CaCO}_3 = (a \times 2.273^* \times 100)/g$$

$$a = V \times F/1000$$

a: Toprak örneğinde CO<sub>2</sub>'nin ağırlığı (g)

V: Okunan CO<sub>2</sub>'nin hacmi (ml)

F: Sıcaklık ve basınca bağlı faktör (Ek 1)

g: Toprak örneğinin ağırlığı (g)

(\*): CaCO<sub>3</sub>'ün %44'ü CO<sub>2</sub> olduğu için 100 : 44 = 2.273 sabit sayısı ortaya çıkar. Bu değer CO<sub>2</sub>'nin CaCO<sub>3</sub>'e dönüştürülmesinde kullanılır.

### Fiziksel özellikler ve toprak türü

Bu çalışma kapsamında, sediment örneklerinin fiziksel analizleri, *Bouyoucus Hidrometre Yöntemi* kullanılarak yapılmıştır. Toprağı meydana getiren taneciklerin, birbirleri ile bağlantılarını kaldırarak taneciklerin yüzde oranlarının bulunması esasına dayanmaktadır. Yöntem şu şekilde özetlenebilir.

- 2 mm'lik elekten geçirilmiş 50 g toprak örneği tartılarak, toprak mikseri kabına konur.
- Üzerine mikserde işaretli yere kadar distile su ilave edilir.

- Çözeltinin üzerine 25 ml, %5'lik Kalgon (sodyum hegzametafosfat + civa klorür) çözeltisi ilave edilir.
- Cihaz çalıştırılarak, çözelti 5 dk süre ile karıştırılır.
- Karıştırma işlemi bittikten sonra, süspansiyon hiç partikül kalmayacak şekilde pisetle distile su püskürterek cam silindire aktarılır.
- 1000 cc'ye yakın bir seviyeye kadar distile su ile tamamlanır.
- Süspansiyon 1 dk süre ile karıştırılır.
- Süspansiyonda son hacim 1130 cc'ye tamamlanarak tekrar karıştırılır.
- Eğer bu aşamada yüzey köpük ile kaplı ise, amil alkol ya da amil astetat damlatılarak köpük giderilir.
- 40 sn sonra hidrometre süspansiyona daldırılarak ilk değer okunur. Bu sırada süspansiyon sıcaklığı kaydedilir.
- Cam silindir, dengeli ve sarsılmayacak bir yüzeye konularak 2 saat süre ile beklenir.
- 2 saat sonra 2. hidrometre değeri okunur. Bu sırada yine süspansiyonun sıcaklığı kaydedilir.
- Elde edilen değerler kullanılarak, toprağın fiziksel özellikleri aşağıdaki formüller aracılığı ile hesaplanır.

$$\% \text{ Kum} = 100 - \frac{40\text{sn sonra okunan ve düzeltilen hidrometre değeri}^*}{\text{Kullanılan toprak ağırlığı (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Kil} = \frac{2 \text{ saat sonra okunan ve düzeltilen hidrometre değeri}}{\text{Kullanılan toprak ağırlığı (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Toz} = 100 - (\% \text{ Kum} + \% \text{ Kil})$$

\* Hidrometre 67°F'ta doğru olarak çalışmaktadır. Bu değer in altında ve üstünde yapılan okumalar hatalıdır. Bu nedenle hidrometre okuması sırasında belirlenen sıcaklık değerleri Fahrenheit'a çevirilir. Süspansiyon sıcaklığı 67°F'tan büyük ise, bu fark 0.2 düzeltme katsayısı ile çarpılır. Elde edilen sayı, okunan hidrometre değerine eklenir. Sıcaklık 67°F 'tan küçük ise bu kez, 0.2 ile çarptıktan sonra okunan değerden çıkarılır.

Hesaplanan % kum, kil ve toz değerleri kullanılarak bünye analiz üçgeni aracılığı (Ek 2) ile toprak bünye sınıfı belirlenir (Anonim 1994; Kacar 1995).

### 2.3.5. Bitki analizleri

Deney grubu ve kontrol grubunu oluşturan bitkilerin analizleri ICP (*Inductively Coupled Plasma Spectrometry- İndüktif Eşleşmiş Plazma*) yöntemiyle yapılmıştır. Bu yönteme göre, saf su ile yıkanmış, kurutulmuş (80 °C) ve öğütülmüş (0,84 mm) bitki numunesinden 2,5 g tartılarak erlenmayere konur ve büret aracılığı ile erlenmayerdeki bitki örneği üzerine 20 ml nitrik asit eklenir. Hafif çalkalanarak bitki materyalinin asit ile karışması sağlanır ve erlenmayerin ağzına cam huni yerleştirilerek bir gece bekletilir. Erlenmayer yakma tablası üzerine alınarak 120 °C'de 4 saat süreyle ısıtılır. Erlenmayer yakma tablası üzerinden alınarak soğumaya bırakılır. Örneğin hacmi 50 ml olacak şekilde ultra saf suyla seyreltilir ve iyice karıştırılır. Amorf silikanın çökmesi için beklenir ve sonra süzülür. Süzme işleminden sonra kalan çözelti ultra saf su ile 50 ml'e tamamlanır ve sonra ICP aracılığı ile ölçüm yapılır (Sah ve Brown 1997; Krejčova ve Černohorsky 2003; Şimşek ve ark. 2003; Zaijun ve ark. 2005). Na 589,592 nm, K 766,490 nm, Ca 317,933 nm, Mg 285,213 nm ve B 249,677 nm dalga boyunda çalışılmıştır. N, ICP cihazında analiz sırasında itici gaz olarak kullanıldığından, örneklerde ICP aracılığı ile N analizi yapılamamaktadır. Bu nedenle, bitki örneklerindeki N miktarı, Kjeldahl metoduna göre belirlenmiştir.



Şekil 2.5. Yıkanan ve 80 °C kurutulmuş *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* örnekleri

**a. Yakma****b. Süzme****c. Hazırlanmış numune****Şekil 2.6. Örneklerin ICP analizine hazırlanması**

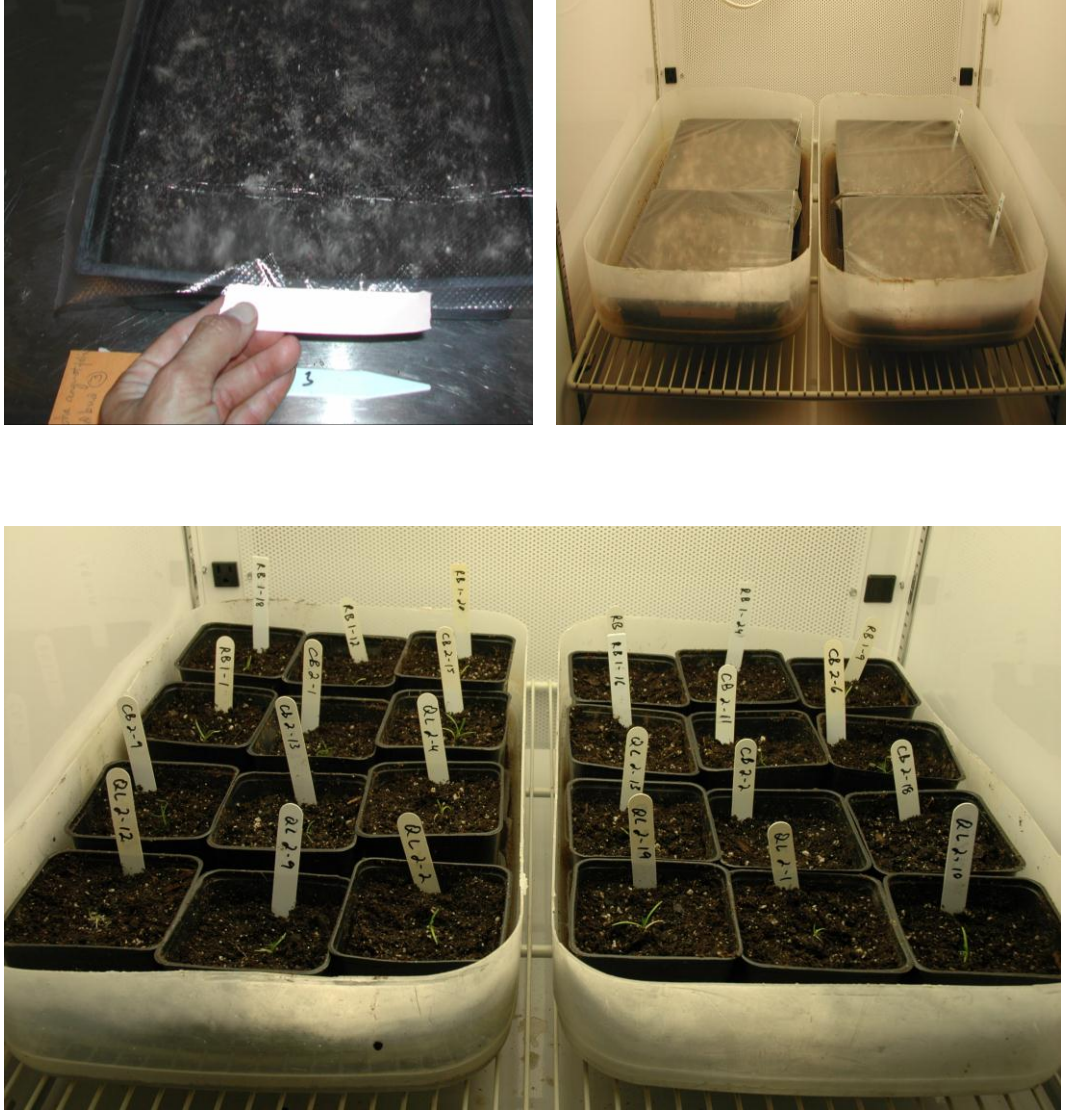
### 2.3.6. Küresel ısınma senaryosu

Küresel ısınma senaryosu, gelecekte artması ön görülen CO<sub>2</sub> oranının ekilmiş sulak alanlarda sıkça kullanılan *Typha sp.* cinsleri üzerinde olası etkilerini belirlemeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmalarda düşük/normal(370 ppm) ve yüksek(720 ppm) CO<sub>2</sub>'in bitki gelişimine olan etkileri araştırılmıştır. Araştırmalar Amerika'da, Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Enstitüsüne bağlı Ulusal Sulak alan Merkezi(NWRC) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışma için 4 farklı lokaliteden toplanmış olan *Typha latifolia*, *Typha angustifolia* ve *Typha glauca* tohumları kullanılmıştır (Quarterline Gölü MN, Redbud ve Cowles Bataklığı IN, ve Lodi sulak alanı, WI). Tohumlar çimlendirme öncesinde buzdolabından çıkarılarak 27 cm çapındaki saksılara konulmuştur. Dolgu malzemesi için besin içeriği yüksek olan gübreli toprak kullanılmıştır. Saksılara 5 cm yüksekliğinde su konularak toprağın nemli kalması sağlanmıştır. Saksıların oluşturulmasıyla birlikte bitkiler iklim kabine konularak çimlendirilmeye başlanmıştır. İklim kabini 15 saat gün ışığı (06.00 – 21.00), sıcaklık ise 06.00 – 21.00 arası 25 °C, 21.00 – 06.00 arasında da 20 °C olacak şekilde, nispi nem ise % 70 olacak şekilde ayarlanmıştır. İklim kabinlerindeki CO<sub>2</sub> seviyesi düşük/normal (370 ppm) olacak şekilde kurulmuştur. Tohumların havaya uçmasını engellemek için ise saksıların üzeri bir gün boyunca plastik naylon ile kapatılmıştır (Şekil 2.7).

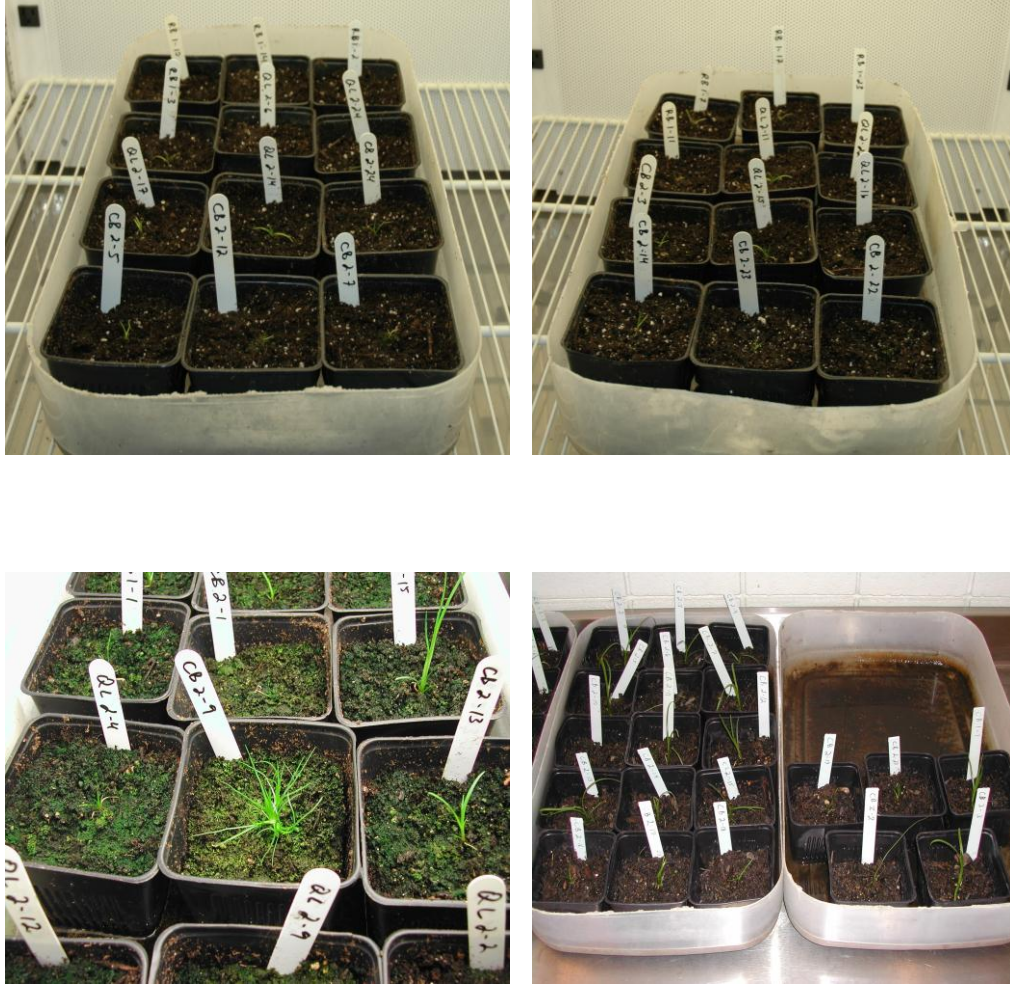


Şekil 2.7. Saksıların hazırlanması, deney düzeneğinin oluşturulması ve tohumlama



Şekil 2.7. (Devam) Saksıların hazırlanması, deney düzeneğinin oluşturulması ve tohumlama

Deney gruplarındaki bitkiler çimlendirildikten sonra 10 cm lik saksılara aktarılarak 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> olarak ayarlanmış iklim kabinlerine konulmuştur (Şekil 2.8). *Typha latifolia* ve *Typha angustifolia* için rastgele 24, *Typha glauca* için çimlenen bitki sayısı olan 14 tane donör bitki seçilmiş ve bitkilerin haftalık olarak boylanma miktarları ölçülmüştür. Tüm saksılardaki su seviyesi çalışma periyodu boyunca 5 cm olacak şekilde korunmuştur.



Şekil 2.8. Saksıların iklim kabinlerine yerleştirilmesi

### 2.3.7. Araştırmalar sırasında kullanılan cihazlar

- ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrometer)
  - Perkin Elmer Optical Emission Spectrometer Optima 4300 DV
- Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
  - Perkin Elmer AAS A Analyst 800
- Spektrofotometre
  - Shimadzu UV-2101 PC
- Alev Fotometresi
  - Jenway PFP7
- Tam Otomatik Azot Analiz (Kjeldahl) Cihazı
  - Foss Kjeltec 2300

- Foss Digester 2020 (Yakma ünitesi)
- Ultra Saf Su Cihazı
  - Millipore ELIX Synthesis A10
- Saf Su Cihazı
  - Nüve NS 108
- İklim Kabini
  - Percival
- Çalkalama Cihazları
  - Gerhardt Laboshake
  - Heidolph Unimax 2010
- Isıtıcı tabla ve manyetik karıştırıcı
  - Stuart SD 300
  - Velp Scientifica Arex 2
- Teraziler
  - OHAUS Analytical Plus (Analitik Terazi)
  - OHAUS Adventurer Pro (Hassas terazi)
  - Scaltec SPO 51 (Hassas terazi)
- İnkübatör
  - Nüve EN 120
- Sterilizatör
  - Nüve FN 500
- Elekler ve Elek Sarsma Cihazı
  - Retsch Elek Seti (0,5-2,0 mm)
  - Retsch AS 200 Elek Sarsma
- Bitki Öğütme Değirmeni
  - Knifetec 1095 Sample Mill
- Stereo Mikroskop
  - Leica MZ 12.5
- pH metre
  - Thermo Orion 420 A+
- Toprak Analiz Cihazı
  - Flash 11125 Series-NC soil analyzer

### 2.4.7. Verilerin istatistiksel analizleri ve formüller

Çalışma sonucunda elde edilen veriler, SPSS 16.0 programı kullanılarak istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Giriş ve çıkış su örnekleri arasındaki ilişkiler Pearson Korelasyon Analizi uygulanarak belirlenmiştir. Bitkilerin yaprak, gövde ve kök kısımlarının içerdikleri B açısından ilişkiler aynı analiz yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bitki organlarında bulunan B ile Ca, Mg, Na ve K arasındaki ilişkiler tek yönlü ANOVA ile tespit edilmiştir. Sistemlerden elde edilen veriler arasındaki ilişkiler, 0,01 ve 0,05 anlam düzeyinde yapılmıştır.

Sistemler için, B giderim oranları (%) aşağıdaki 2.1 numaralı formül kullanılarak belirlenmiştir.

$$B \text{ giderimi (\%)} = \frac{(O)_{\text{Giriş}} - (O)_{\text{Çıkış}}}{(O)_{\text{Giriş}}} \times 100 \quad (2.1)$$

Formülde,  $(O)_{\text{Giriş}}$  giriş suyunun içerdiği ortalama B değerini,  $(O)_{\text{Çıkış}}$  çıkış suyunun ortalama B değerini belirtmektedir.

Bitkilerin bünyelerine aldıkları B için hesaplanan akümülyasyon oranı (%) aşağıdaki 2.2 numaralı formül kullanılarak belirlenmiştir.

$$AO (\%) = \frac{(B)_{\text{Sistem}} - (B)_{\text{Kontrol}}}{(B)_{\text{Giriş}}} \times 100 \quad (2.2)$$

Formülde,  $(B)_{\text{Sistem}}$  deneysel çalışmalar sonunda bitkilerin içerdikleri toplam B miktarını göstermektedir.  $(B)_{\text{Kontrol}}$  kontrol bitkilerinin içerdikleri toplam B miktarlarını belirtmektedir.  $(B)_{\text{Giriş}}$  ise sistemlere verilen toplam B miktarını göstermektedir.

Gübreleme periyodu sonunda, sistem içerisindeki bitkiler için hayatta kalma oranı 2.3 numaralı formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$HY(\%) = \frac{(H)_{\text{İlk}}}{(H)_{\text{Son}}} \times 100 \quad (2.3)$$

Formülde,  $(H)_{\text{İlk}}$  gübreleme periyodu öncesinde sistem içerisindeki bitki sayısını,  $(H)_{\text{Son}}$  gübreleme periyodu sonrasında sistem içerisindeki bitki sayısını ifade etmektedir.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Genel Durum

Gübreleme periyodu sonunda ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerine ait resimler Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerinin gübreleme periyodu sonundaki genel görünüşleri

Gübreleme periyotları sonunda bitkiler için hesaplanan hayatta kalma yüzdesi *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* için sırasıyla %87,5 ve %100 olarak tespit edilmiştir. Ancak ES<sub>1</sub> sisteminde iki tane bitkinin hayatta kalamadığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. ES<sub>1</sub> sisteminde hayatta kalamayan *Typha latifolia* bitkilerine ait resimler

45. izleme günü sonunda sistemlere ait genel resimler Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerinin 45. izleme günü sonundaki genel görünüşleri

90. izleme günü sonunda sistemlere ait genel resimler Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

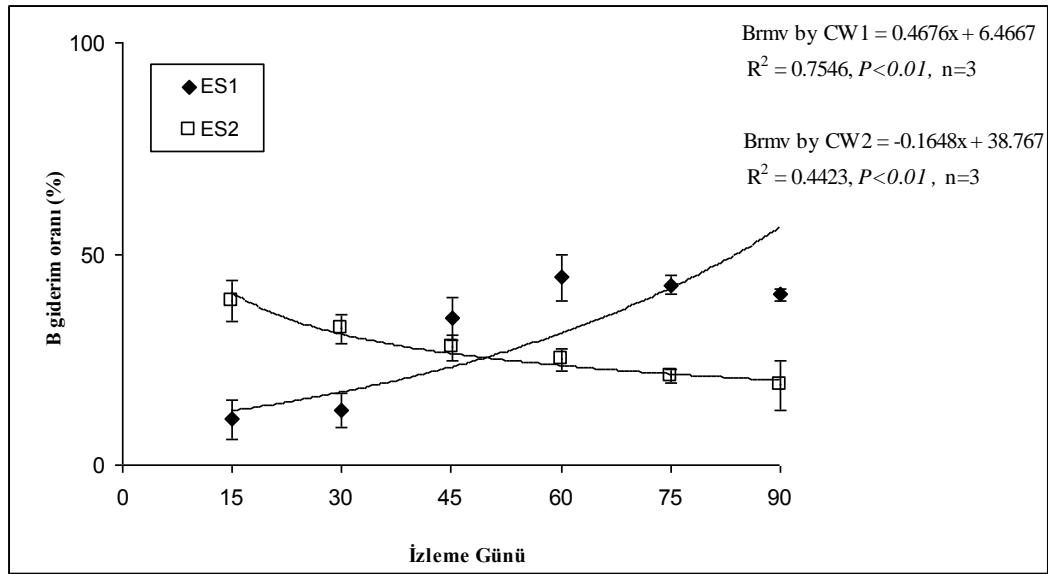


Şekil 3.4. ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerinin 90. izleme günü sonundaki genel görünüşleri

### 3.2. Bor Giderimi

Doğal koşullar altında 5 ay süresince iki periyot halinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, kurulan iki yüzey altı ekilmiş sulak alan sisteminin giriş ve çıkış suları düzenli olarak örneklenmiş ve analizleri yapılmıştır. Örneklenen giriş ve çıkış sularının, B, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve B giderim yüzdelere ait sonuçlar standart hatalarıyla birlikte Çizelge 3.1 de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre çalışma periyodu içerisinde *Typha latifolia* ile bitkilendirilmiş ES<sub>1</sub> sisteminin ortalama % 40, *Phragmites australis* ile bitkilendirilen ES<sub>2</sub>'nin ise ortalama % 27 B arıtım performansı gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 3.1 incelendiğinde 90 günlük izleme süresi içerisinde ES<sub>1</sub> sisteminin % 10 ile % 44 arasında, ES<sub>2</sub> sisteminin ise %18 ile % 38 arasında B giderim yüzdesine sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.5). Bu çizelgeye göre ES<sub>1</sub> sistemi için en yüksek B giderimi 60. izleme günü sonunda yapılan analizler sonucunda kaydedilmiştir. Bu günde ortalama 232.3 mg l<sup>-1</sup> B içeren su sisteme verilmiş ve % 44'lük giderim oranı sağlanmıştır. Aynı sistem için en düşük B giderimi ortalama % 10 giderimin gerçekleştiği 15. izleme gününde tespit edilmiştir.



Şekil 3.5. ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerinin izleme günlerindeki B giderim oranları

**Çizelge 3.1.** Giriş ve çıkış sularının, B, pH, elektriksel iletkenlik(EC) ve B giderim yüzdeleri.

		ES <sub>1</sub>				ES <sub>2</sub>			
Örnekleme Tarihi	Örnek	B(mg l <sup>-1</sup> )	pH	EC(µS cm <sup>-1</sup> )	B giderimi(%)	B(mg l <sup>-1</sup> )	pH	EC(µS cm <sup>-1</sup> )	B giderimi(%)
<b>15</b>	<b>Giriş</b>	10.2 ±0,2	8.29 ±0.03	1302 ±5.29	10.9 ±4,6	10.5 ±0,3	8.29 ±0.03	1302 ±5.29	38.8 ±4,8
	<b>Çıkış</b>	9.1 ±0,4	7.98 ±0.11	509 ±3		6.2 ±0,7	7.08 ±0,1	670 ±33	
<b>30</b>	<b>Giriş</b>	28.2 ±1,6	8.78 ±0.14	1244 ±3.05	13.1 ±4,0	28.8 ±1,9	8.78 ±0.14	1244 ±3.14	36.5 ±3,4
	<b>Çıkış</b>	24.5 ±0.03	7.91 ±0.17	1106 ±4,6		18.3 ±1,1	6.94 ±0,2	775 ±13	
<b>45</b>	<b>Giriş</b>	84.6 ±3,4	8.25 ±0.08	1408 ±7	34.7 ±4,9	84.1 ±3,9	8.25 ±0.08	1408 ±7	32.2 ±3,0
	<b>Çıkış</b>	55.25 ±6,3	7.41 ±0.11	1292 ±14.39		67.42 ±1,9	7.42 ±0.03	1323 ±8	
<b>60</b>	<b>Giriş</b>	232.3 ±11	8.36 ±0.06	1654 ±6,1	44.4 ±5,4	232.7 ±18	8.36 ±0.06	1654 ±6,1	24.9 ±2,5
	<b>Çıkış</b>	139.15 ±17	7.35 ±0.04	1352 ±14,8		163.9 ±10	7.57 ±0.07	1521 ±12	
<b>75</b>	<b>Giriş</b>	716.4 ±13	8.54 ±0,2	1658 ±5	42.7 ±4,0	716.1 ±17	8.54 ±0,2	1658 ±5	21.0 ±1,5
	<b>Çıkış</b>	410.2 ±26	7.21 ±0.27	1456 ±12,7		512.8 ±12	7.74 ±0,3	1569 ±4	
<b>90</b>	<b>Giriş</b>	2019.1 ±8	8.96 ±0.08	1698 ±4,5	40.3 ±4,3	2019.7 ±11	8.96 ±0.08	1698 ±4,5	18.9 ±5,7
	<b>Çıkış</b>	1205.5 ±49	7.19 ±0,2	1563 ±9,3		1491.5 ±81	7.84 ±0.06	1512 ±17	
<b>Ortalama</b>	<b>Giriş</b>	515.1	8.53	1494	<b>40.7</b>	515.1	8.53	1494	<b>27.2</b>
	<b>Çıkış</b>	305.5	7.51	1157		375	7.38	1267	

Sonuçlar giriş ve çıkış suyu açısından değerlendirildiğinde ES<sub>2</sub> sistemi için en yüksek B giderim oranı, 10,5 mg l<sup>-1</sup> olan giriş suyuna karşın 6,2 mg l<sup>-1</sup> çıkış suyu elde edilen, 15. izleme günü sonunda tespit edilmiştir. Bu günde sistemin ortalama B giderim oranı ise %38'dir. Buna karşın aynı sistem için kaydedilen en düşük B giderimi % 18 ile 90. izleme gününde kaydedilen değerdir.

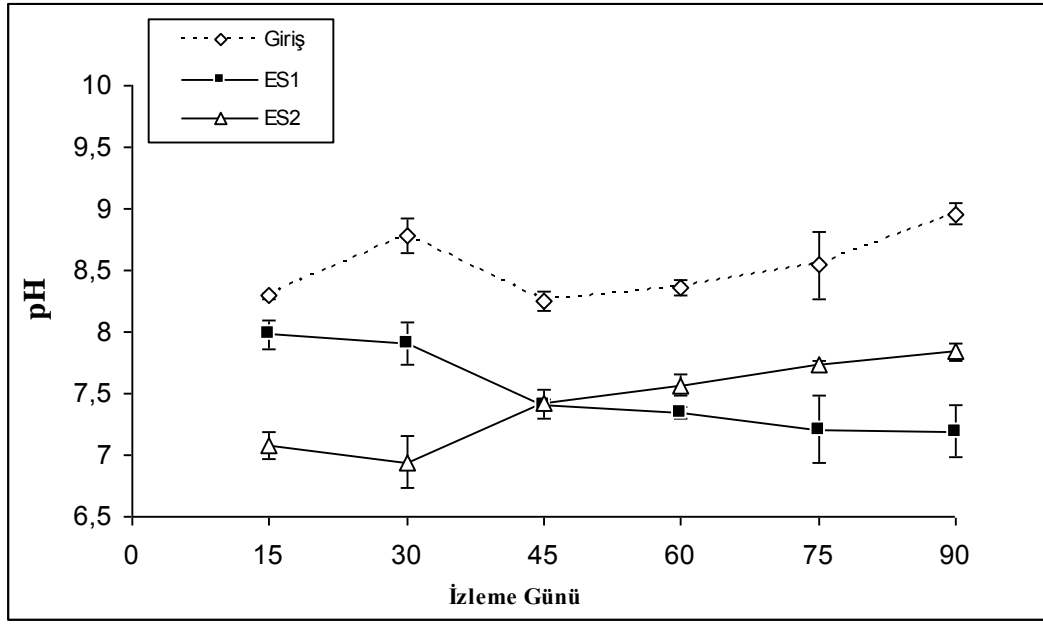
Yapılan Pearson Korelasyon analizlerinde, giriş ve çıkış sularının içerdiği B miktarları açısından p<0,05 düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

### 3.3. pH ve Elektriksel İletkenlik(EC)

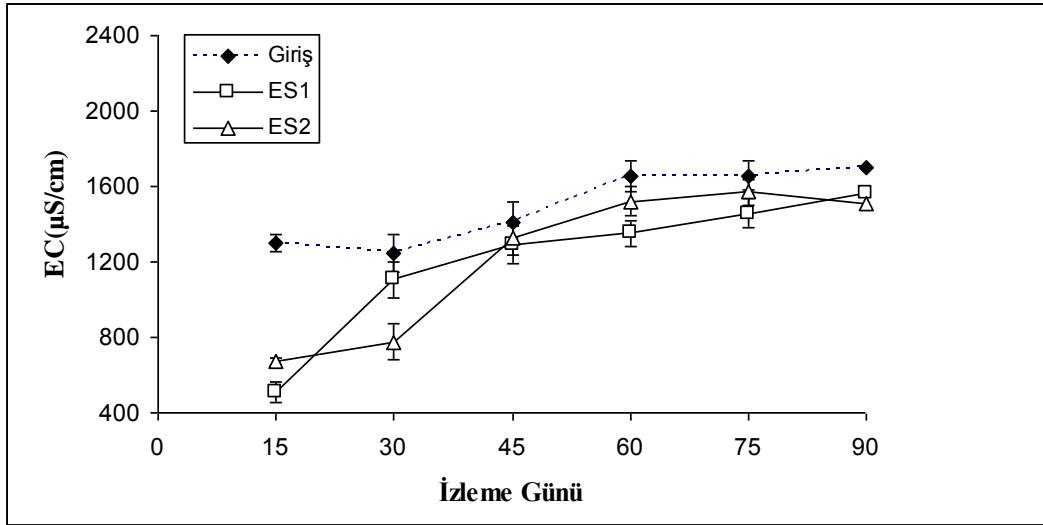
Giriş ve çıkış suları için yapılan pH ve EC ölçümlerine ait sonuçlar Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Yapılan ölçümlere göre ES<sub>1</sub> sistemi için, pH değerinin giriş suyunda 8,25 ile 8,96 arasında, çıkış suyunda ise 7,19 ile 7,98 arasında değiştiği belirlenmiştir. Aynı sistem için 90. izleme gününde en yüksek giriş suyu pH'sı 8,98 olarak bulunmuştur. Buna karşın en düşük çıkış suyu pH'sı aynı günde 7,19 olarak kaydedilmiştir. ES<sub>2</sub> sistemi için, giriş suyu pH değeri ES<sub>1</sub> sistemi için belirlenen değerler ile yakın benzerlik göstermekle birlikte, bu sistem için en yüksek değer 90. gün sonunda 8,98 olarak tespit edilmiştir. Aynı sistem için en düşük pH değeri ise 6,94 ile 30. izleme günü sonunda ölçülmüştür (Şekil 3.6).

Elektriksel iletkenlik (EC) için yapılan analizlerde çıkış sularının EC değerlerinin her iki sistemde de giriş suyu değerlerinin altında kaldığı belirlenmiştir. Araştırma süresi içerisinde giriş suyunun EC değerinin ortalama 1494 µS/cm, değişim aralığının da 509 ile 1681 µS/cm arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.7). Çıkış suyu numunelerine ait EC değerleri ise ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemleri için sırasıyla ortalama 1157 µS/cm ve 1267 µS/cm olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.6. ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerinin giriş ve çıkış suyu pH değeri



Şekil 3.7. ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerinin giriş ve çıkış suyu EC değeri

### 3.4. Bitkilerdeki B Miktarı

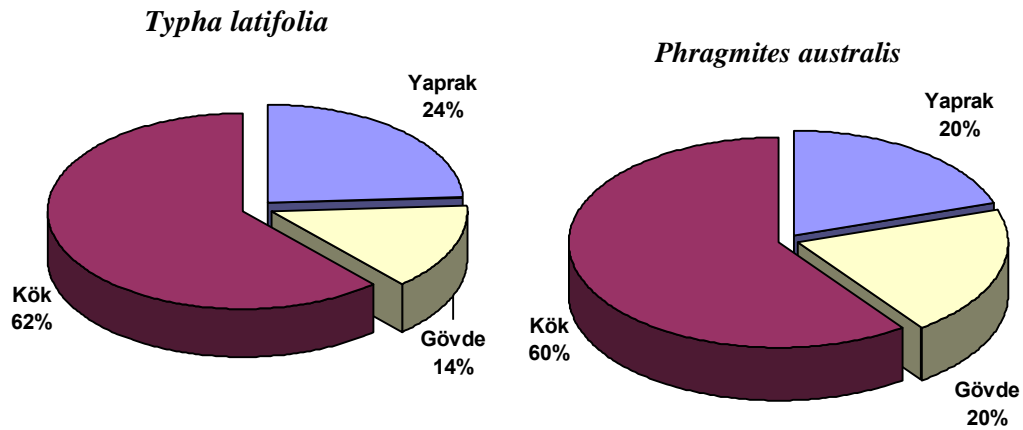
Araştırma sonunda, sistemlerden toplanan *T. latifolia* ve *P. australis* bitkileri ile kontrol grubunu oluşturan bitkilere ait yaprak, gövde ve köklerin içerdikleri ortalama B miktarları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre ES<sub>1</sub> sisteminde kullanılan *T. latifolia* bitkisinin yapraklarının ortalama 38,3 mg

$\text{kg}^{-1}$ , gövdelerinin  $22,1 \text{ mg kg}^{-1}$  ve köklerinin  $97,5 \text{ mg kg}^{-1}$  B içerdiği tespit edilmiştir. Buna karşın kontrol grubunu oluşturan bitkilerin yapraklarının  $19,7 \text{ mg kg}^{-1}$ , gövdelerinin  $6,8 \text{ mg kg}^{-1}$  ve köklerin  $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$  ile deney grubu bitkilerine göre nispeten daha düşük B konsantrasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelgede gösterildiği gibi, *P. australis*'in içerdiği ortalama B konsantrasyonun; yapraklarda  $35,7 \text{ mg kg}^{-1}$ , gövdelerde ortalama  $35,6 \text{ mg kg}^{-1}$  ve köklerde ise  $106,4 \text{ mg kg}^{-1}$  olduğu kaydedilmiştir. Aynı bitkinin kontrol grubunu oluşturan bitkiler için yapılan analizlerde, yaprakların  $30,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , gövdelerin  $8,6 \text{ mg kg}^{-1}$  ve köklerin  $212,7 \text{ mg kg}^{-1}$  B içerdiği tespit edilmiştir.

Bitkilerin bünyelerinde tespit edilen B'un bitki organlarındaki yüzdesel olarak dağılımı Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

Deney grubunu oluşturan bitkilerin organlarında tespit edilen en yüksek B konsantrasyonları Çizelge 3.2 'de gösterilmektedir. Buna göre *T. latifolia*'nın farklı organlarında belirlenen en yüksek B konsantrasyonu; yaprakta  $113 \text{ mg kg}^{-1}$ , gövdede  $22 \text{ mg kg}^{-1}$  ve kökte  $172 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir. *P. australis* için belirlenen en yüksek B miktarı; yaprakta  $87 \text{ mg kg}^{-1}$ , gövdede  $58 \text{ mg kg}^{-1}$  ve kökte  $210 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.8. *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* bitkilerinde belirlenen B'un yüzdesel dağılımı

Çizelge 3.2. a) *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* ile kontrol bitkilerinin içerdikleri B, N, P, Ca, Mg, K ve Na miktarları.

b) *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* 'de belirlenen en yüksek B ve diğer bazı elementlerin konsantrasyonları.

A

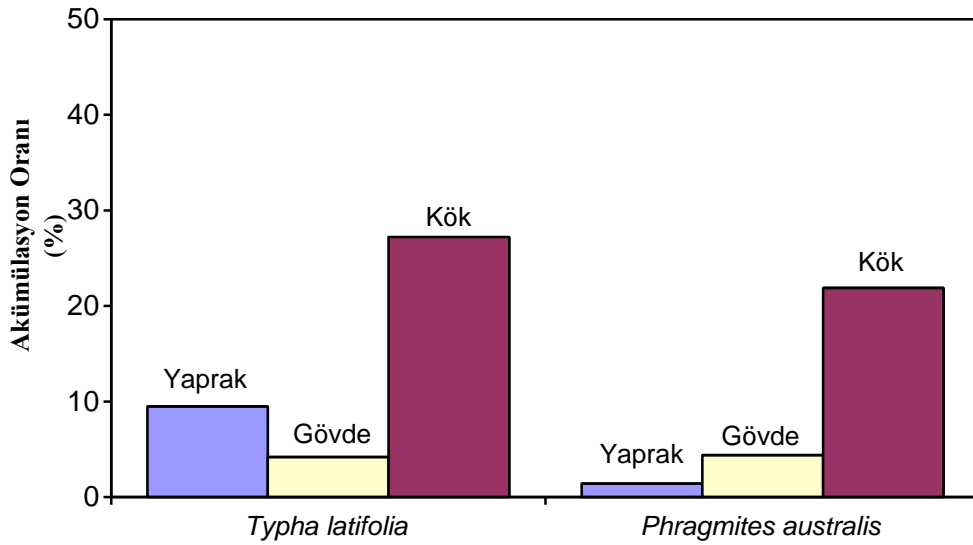
Bitki	Organ	B (mg kg <sup>-1</sup> )	N (%)	P (%)	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Na (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	
<i>Typha latifolia</i>	Yaprak	ES <sub>1</sub>	38.3 ± 25.37	0.5 ± 0.13	0.34 ± 0.15	80.7 ± 25	154.3 ± 110	626.2 ± 118	59.0 ± 21
		Kontrol	19.7 ± 2.19	0.6 ± 0.08	0.18 ± 0.03	98.79 ± 7	159.1 ± 7	931.1 ± 56	160 ± 14
	Gövde	ES <sub>1</sub>	22.1 ± 6.02	0.34 ± 0.08	0.27 ± 0.06	356.6 ± 139	107.5 ± 26	211.4 ± 72	56.0 ± 13
		Kontrol	6.8 ± 0.88	0.54 ± 0.06	0.29 ± 0.04	105.8 ± 4	120.6 ± 4	120.9 ± 9	57.73 ± 6
	Kök	ES <sub>1</sub>	97.5 ± 29.4	0.9 ± 0.16	0.92 ± 0.19	344.8 ± 153	493.8 ± 172	1138.6 ± 702	189.2 ± 31
		Kontrol	1.5 ± 0.52	1.41 ± 0.2	0.34 ± 0.07	654.9 ± 35	453.4 ± 3	646.2 ± 51	223.6 ± 9
<i>Phragmites australis</i>	Yaprak	ES <sub>2</sub>	35.7 ± 21	0.5 ± 0.04	0.41 ± 0.16	68.7 ± 37	53.46 ± 28	397.7 ± 68	62.1 ± 23
		Kontrol	30.2 ± 3.8	0.78 ± 0.06	0.18 ± 0.04	300.4 ± 10	117.3 ± 14	701.3 ± 15	147.4 ± 10
	Gövde	ES <sub>2</sub>	35.6 ± 12	0.34 ± 0.11	0.37 ± 0.18	125.2 ± 53	98.3 ± 30	67.02 ± 29	26.3 ± 8
		Kontrol	18.6 ± 0.8	2.16 ± 0.2	0.35 ± 0.05	387.8 ± 5	119.1 ± 7	129.4 ± 6	43.52 ± 4
	Kök	ES <sub>2</sub>	106.4 ± 46	0.83 ± 0.14	0.7 ± 0.2	540.0 ± 147	297.8 ± 86	885.9 ± 401	137.9 ± 22
		Kontrol	21.7 ± 5.9	2.11 ± 0.3	0.28 ± 0.03	526.2 ± 21	154.06 ± 1	957.6 ± 10	209.84 ± 5

B

Bitki	Organ	B (mg kg <sup>-1</sup> )	N (%)	P (%)	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Na (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )
<i>Typha latifolia</i>	Yaprak	113.5	0.81	0.74	87.42	458.8	740.2	118.5
	Gövde	32.92	0.43	0.37	441.6	86.14	174.2	61.83
	Kök	172.4	1.25	1.24	344.8	493.8	1138.6	189.2
<i>Phragmites australis</i>	Yaprak	87.73	0.55	0.76	39.74	34	418.9	50.77
	Gövde	58.33	0.56	0.55	81.14	81.72	40.03	18.95
	Kök	210.7	1.13	0.98	513.15	348.85	633.65	119.27

### 3.5. Bitkilerin Bor(B) Akümülyasyon Oranları

*T. latifolia* ve *P. australis* bitkilerinin araştırma periyodu içerisinde bünyelerine aldıkları B miktarları, formül 3 kullanılarak bitki organlarına göre ayrı ayrı hesaplanmış olup sonuçlar Şekil 3.9’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre *T. latifolia* için yüzde B akümülyasyon oranları, kök için %27,2, yaprak için %9,5 ve gövde için %4,2 olarak belirlenmiştir. Buna karşın *P. australis* için belirlenen oranlar kök, yaprak ve gövde için sırasıyla, %21,9, %4,4 ve %1,4’tür.



Şekil 3.9. *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* için belirlenen akümülyasyon oranları

### 3.6. Bitkilerdeki Diğer Bazı Elementlerin Miktarları

*T. latifolia* ve *P. australis* bitkileri ile kontrol bitkilerinin içerdikleri Azot(N), Fosfor(P), Kalsiyum(Ca), Magnezyum(Mg), Potasyum(K) ve Sodyum(Na) miktarları standart hataları ile birlikte Çizelge 3.2’de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre *T. latifolia*’nın yapraklarının içerdiği ortalama N, P, Ca, Mg, K ve Na miktarı sırasıyla %0,5, %0,34, 626,2 mg kg<sup>-1</sup>, 59,0 mg kg<sup>-1</sup>, 80,7 mg kg<sup>-1</sup> ve 154,3 mg kg<sup>-1</sup> olarak kaydedilmiştir. Aynı bitkinin gövdelerinin ortalama % 0,34 N, %0,27 P, 211,4 mg kg<sup>-1</sup> Ca; 56,0 mg kg<sup>-1</sup> Mg, 107,5 mg kg<sup>-1</sup> Na ve 356,6 mg kg<sup>-1</sup> K içerdiği tespit edilmiştir. Köklerde belirlenen ortalama N, P, Ca, Mg, K ve Na konsantrasyonu ise sırasıyla %0,9, %0,92, 1138,6 mg kg<sup>-1</sup>, 189,2 mg kg<sup>-1</sup>, 493,8 mg kg<sup>-1</sup>, 344,8 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

Araştırma periyodu sonunda *P. australis* için yapılan analizlerde yaprakların ortalama % 0,5 N, %0,41 P, 397,7 mg kg<sup>-1</sup> Ca; 62,1 mg kg<sup>-1</sup> Mg; 53,46 mg kg<sup>-1</sup> Na ve 68,7 mg kg<sup>-1</sup> K; gövdelerin ortalama % 0,34 N, % 0,37 P, 67,02 mg kg<sup>-1</sup> Ca; 26,3 mg kg<sup>-1</sup> Mg; 53,46 mg kg<sup>-1</sup> Na ve 68,7 mg kg<sup>-1</sup> K içerdiği bulunmuştur. Aynı bitkinin köklerinin ise ortalama % 0,83 N, % 0,7 P, 885,9 mg kg<sup>-1</sup> Ca; 137,9 mg kg<sup>-1</sup> Mg; 297,8 mg kg<sup>-1</sup> Na ve 540,0 mg kg<sup>-1</sup> K konsantrasyonuna sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca kontrol bitkileri için yapılan analizlerde belirlenen N, P, Ca, Mg, Na ve K miktarları Çizelge 3.2’de gösterildiği gibidir.

### 3.7. Sediment Örnekleri

Sediment örneklerinin, araştırma öncesi (sediment no 1) ve araştırma sonrasında (sediment no 2-3) ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.3 de verilmektedir. Ayrıca rezerv alanı dışında, B ile kirlenmemiş doğal sulak alanlardan toplanan ve kontrol grubunu oluşturan sediment örneğinin analiz sonuçları da aynı çizelgede gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerinde dolgu malzemesini oluşturan 1 nolu sediment örneğinin, 60,06 mg l<sup>-1</sup> B; %0,053 N; % 1,17 P; 1065 mg kg<sup>-1</sup> Ca; 206 mg kg<sup>-1</sup> Mg; 143 mg kg<sup>-1</sup> Na ve 159 mg kg<sup>-1</sup> K içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Aynı örnek için pH seviyesi 8,19 ve toplam kireç miktarı % 1,758 olarak belirlenmiştir. Bu sediment örneği, fiziksel özellikleri açısından değerlendirildiğinde ise, örnekte kum miktarının % 68,88, kil miktarının % 20,84 ve toz miktarının % 10,28 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu örnek kumlu balçık bünyesine sahip topraklar grubunda yer almaktadır.

ES<sub>1</sub> sisteminden araştırma sonunda toplanan 2 nolu sediment örneği ise 18,34 mg kg<sup>-1</sup> B; % 0,0844 N; % 2,44 P; 1351 mg kg<sup>-1</sup> Ca; 364 mg kg<sup>-1</sup> Mg; 412 mg kg<sup>-1</sup> Na ve 257 mg kg<sup>-1</sup> K içerdiği belirlenmiştir. Aynı örnek için pH seviyesi 8,74 ve toplam kireç miktarı ise % 2,823’tür. Sediment örneği, fiziksel açıdan değerlendirildiğinde, kum miktarının %92,72; kil miktarının %4,56 ve toz miktarının %2,72 olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu sediment örneği kum bünyesine sahip topraklar grubunda yer almaktadır.

ES<sub>2</sub> sisteminden araştırma sonunda toplanan 3 nolu sediment örneği; 66,34 mg kg<sup>-1</sup> B; % 0,0693 N; % 1,60 P; 2078 mg kg<sup>-1</sup> Ca; 243 mg kg<sup>-1</sup> Mg; 346 mg kg<sup>-1</sup>

Na ve  $257 \text{ mg kg}^{-1}$  K konsantrasyonuna sahip olduğu görülmektedir. Aynı örnek için pH seviyesi 9,01 ve toplam kireç miktarı % 8,422 olarak belirlenmiştir. Bu sediment örneği, fiziksel açıdan değerlendirildiğinde, kum miktarının % 71,88; kil miktarının %20,84 ve toz miktarının %7,28 olduğu kaydedilmiştir. Ayrıca bu örneğin kumlu-killibalçık bünyesine sahip topraklar grubunda yer aldığı tespit edilmiştir.

Kontrol grubunu oluşturan 4 nolu sediment örneği için yapılan analizlerde; bu örneğin  $1,2 \text{ mg kg}^{-1}$  B; % 0,0554 N; % 1,42 P;  $1260 \text{ mg kg}^{-1}$  Ca;  $1110 \text{ mg kg}^{-1}$  Mg;  $215 \text{ mg kg}^{-1}$  Na ve  $257 \text{ mg kg}^{-1}$  K konsantrasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı örnek için pH seviyesi 8,08 ve toplam kireç miktarı % 11,472'dir. Sediment örneği, fiziksel açıdan değerlendirildiğinde ise, kum miktarının % 83,88; kil miktarının %15,84 ve toz miktarının %0,28 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu sediment örneğinin kumlu-killi balçık bünyesine sahip topraklar grubunda yer aldığı görülmektedir.

### 3.8. Borun Sulak Alanlar İçerisindeki Dağılımı

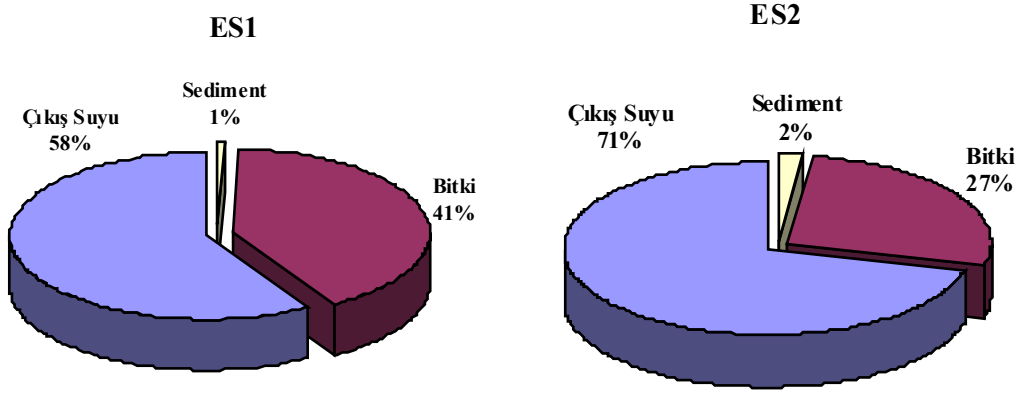
Araştırma sonunda yapılan analizlere göre B'un  $ES_1$  ve  $ES_2$  sistemleri içerisindeki dağılımı Çizelge 3.4'te ve Şekil 3.10 'da gösterilmektedir. Bu dağılıma göre  $ES_1$  sistemi için araştırma süresi içerisinde eklenen toplam 3092 mg B'un, 1792 mg 'ının çıkış suyuna, 18 mg'inin sedimente ve 1300 mg'inin ise bitkilere dağıldığı görülmektedir. Aynı çizelgeye göre  $ES_2$  sistemine giriş suyu ile birlikte eklenen toplam B miktarı 3092 mg'dır. Bu miktarın 2234 mg'inin çıkış suyuna, 66 mg'inin sedimente, 852 mg'inin ise bitkilere dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Bu değerler yüzdesel olarak grafiğe döküldüğünde (Şekil 3.10),  $ES_1$  sistemi için, eklenen B'un % 57'sinin çıkış suyuna, %1'inin sedimente ve % 42'sinin bitkilere dağıldığı görülmektedir. Şekil 3.10'da gösterildiği gibi  $ES_2$  sistemine eklenen B'un %71'inin çıkış suyuna, %2'sinin sedimente ve %27'sinin bitkilere dağıldığı tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Sediment ve kontrol grubu örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Tarih	Sediment No	B (mg kg <sup>-1</sup> )	N (%)	P (%)	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	Na (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)	Toprak Fiziki			Toprak Bünyesi
											Kum (%)	Kil (%)	Toz (%)	
28.06.2009	1	60,06	0,0503	1,17	1065	206	143	159	8,19	1,7588	68,88	20,84	10,28	kumlu balçık
20.10.2009	2	18,34	0,0844	2,44	1351	364	412	257	8,74	2,8239	92,72	4,56	2,72	kum
17.10.2010	3	66,34	0,0693	1,60	2078	243	346	257	9,01	8,4228	71,88	20,84	7,28	kumlu-killi balçık
Kontrol	4	1,27	0,0554	1,42	1260	1110	215	257	8,08	11,472	83,88	15,84	0,28	kumlu-killi balçık

**Çizelge 3.4.** Deneysel çalışmalar sonrası B'un sistemler içerisindeki dağılımı

Sistem	Toplam eklenen B (mg)	Çıkarış suyunda kalan B miktarı (mg)	Sedimentte kalan B miktarı (mg)	Bitki organlarında kalan toplam B miktarı (mg)				Akümüle edilen B miktarı(mg)
				Yaprak	Gövde	Kök	Toplam	
ES <sub>1</sub>	3092	1871	18	384	221	975	1580	1300
ES <sub>2</sub>	3092	2258	66	285	285	851	1422	858



Şekil 3.10. ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> içerindeki B'nin yüzdesel dağılımı

### 3.9. Bor'un Diğer Bazı Elementler İle İlişkileri

*T. latifolia* ve *P. australis* bitkilerinde belirlenen B konsantrasyonunun, bitkideki diğer elementler ile ilişkisi bitki kısımlarına göre, Pearson Korelasyon Analizi ile ortaya konularak, Çizelge 3.6 ve 3.7'de verilmiştir. Çizelgeler, yalnızca bitkilerdeki diğer elementler ile B arasındaki ilişkiyi değil, aynı zamanda tüm elementlerin birbirleriyle olan ilişkilerini de içermektedir.

Çizelge 3.5 incelendiğinde, *T. latifolia*'nın yapraklarındaki B konsantrasyonu ile Mg ve P konsantrasyonu arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunduğu görülmektedir ( $p < 0,05$ ). Benzer şekilde aynı bitkinin yapraklardaki B konsantrasyonu ile Na konsantrasyonu arasındaki ilişki, pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p < 0,05$ ). Ayrıca *T. latifolia*'nın gövdelerindeki B konsantrasyonu ile Na konsantrasyonu arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. *T. latifolia*'nın köklerindeki B konsantrasyonu ile N, Ca, Mg, Na ve K arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p > 0,05$ ).

Çizelge 3.6'da gösterildiği gibi, *P. australis*'in yapraklarındaki B konsantrasyonu ile N, Mg ve Na konsantrasyonu arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunduğu görülmektedir ( $p < 0,05$ ). Bununla birlikte aynı bitkinin yapraklarındaki B konsantrasyonu ile K konsantrasyonu arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir ( $p < 0,01$ ). *P. australis*'in köklerindeki B konsantrasyonu ile N, Ca, Mg, Na ve K arasındaki ilişkiler ise istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p > 0,05$ ).

Çizelge 3.5. *Typha latifolia*'da bulunan B konsantrasyonunun diğer elementlerle ilişkisi (Pearson Korelasyon Analizi)

		YAPRAK							GÖVDE							KÖK						
		B	N	P	Ca	Mg	K	Na	B	N	P	Ca	Mg	K	Na	B	N	P	Ca	Mg	K	Na
B	Pearson Correlation	1	-.275	.960**	.428	.975**	0.88	.971**	1	-.556	.523	.407	.131	.057	.641**	1	.138	.585	-.298	.433	-.107	.219
	Sig. (2-tailed)		.442	.000	.217	.000	.810	.000		.095	.121	.243	.719	.877	.046		.705	.076	.404	.211	.769	.544
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
N	Pearson Correlation	-.275	1	-.240	.243	-.331	-.505	-.244	-.556	1	-.163	.436	.245	-.476	.014		1	.198	-.249	.061	.026	.479
	Sig. (2-tailed)	.442		.505	.498	.351	.137	.497	.095		.652	.208	.496	.164	.970		.641	.488	.867	.943	.161	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
P	Pearson Correlation	.960**	-.240	1	.452	.961**	.149	.962**	.523	-.163	1	.300	.088	.076	.325	.585	.198	1	-.692*	.380	.169	.351
	Sig. (2-tailed)	.000	.505		.189	.000	.682	.000	.121	.652		.400	.808	.835	.359	.076	.641		.027	.278	.641	.321
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ca	Pearson Correlation	.428	.243	.452	1	.469	-.297	.331	.407	.436	.300	1	.550	-.457	.770**	-.298	-.249	-.692*	1	-.005	-.129	-.170
	Sig. (2-tailed)	.217	.498	.189		.172	.405	.350	.243	.208	.400		.100	.184	.009	.404	.488	.027		.990	.723	.638
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mg	Pearson Correlation	.975**	-.331	.961**	.469	1	.141	.945**	.131	.245	.088	.550	1	-.100	.796**	.433	.061	.380	-.005	1	-.321	-.047
	Sig. (2-tailed)	.000	.351	.000	.172		.698	.000	.719	.496	.808	.100		.783	.006	.211	.867	.278	.990		.365	.898
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
K	Pearson Correlation	.088	-.505	.149	-.297	.141	1	.234	.057	-.476	.076	-.457	-.100	1	-.065	-.107	.026	.169	-.129	-.321	1	.488
	Sig. (2-tailed)	.810	.137	.682	.405	.698		.515	.877	.164	.835	.184	.783		.858	.769	.943	.641	.723	.365		.153
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Na	Pearson Correlation	.971**	-.244	.962**	.331	.945(**)	.234	1	.641**	.014	.325	.770**	-.796	-.065	1	.219	.479	.351	-.170	-.047	.488	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.497	.000	.350	.000	.515		.046	.970	.359	.009	.006	.858		.544	.161	.321	.638	.898	.153	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

\*\* p<0,01

\* p<0,05

**Çizelge 3.6.** *Phragmites australis*'de bulunan B konsantrasyonunun diğer elementlerle ilişkisi (*Pearson Korelasyon Analizi*)

		YAPRAK							GÖVDE							KÖK						
		B	N	P	Ca	Mg	K	Na	B	N	P	Ca	Mg	K	Na	B	N	P	Ca	Mg	K	Na
B	Pearson Correlation	1	,893**	-,337	,573	,974**	0,816*	,981**	1	-,236	,260	,927**	,899**	,522	,295	1	,014	-,574	-,500	-,324	,133	,585
	Sig. (2-tailed)		,003	,414	,137	,000	,014	,000		,574	,534	,001	,002	,184	,478		,974	,137	,207	,434	,754	,127
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
N	Pearson Correlation	,893**	1	-,119	,341	,905**	-,894**	,922**	-,236	1	-,366	-,027	,011	,011	-,036	,014	1	,457	-,357	-,487	,455	,292
	Sig. (2-tailed)	,003		,779	,408	,002	,003	,001	,574		,372	,949	,980	,980	,933	,974		,255	,385	,221	,287	,483
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
P	Pearson Correlation	-,337	-,119	1	-,855**	-,306	,110	-,270	,260	-,366	1	,062	,174	,343	,833*	-,574	,457	1	,546	,432	-,043	-,317
	Sig. (2-tailed)	,414	,779		,007	,480	,795	,519	,534	,372		,884	,680	,406	,010	,137	,255		,162	,285	,920	,444
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Ca	Pearson Correlation	,573	,341	-,855**	1	,471	,244	,537	,927**	-,027	,062	1	,926**	,482	,302	-,500	-,357	,546	1	,813*	-,504	-,734*
	Sig. (2-tailed)	,137	,408	,007		,239	,560	,170	,001	,949	,884		,001	,227	,467	,207	,385	,162		,014	,203	,038
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mg	Pearson Correlation	,974(**)	,905**	-,306	,471	1	,819*	,974**	,899**	,011	,174	,926**	1	,745*	,355	-,324	-,487	,432	,813*	1	-,338	-,330
	Sig. (2-tailed)	,000	,002	,480	,239		,013	,000	,002	,980	,680	,001		,034	,006	,434	,221	,285	,014		,413	,424
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
K	Pearson Correlation	,816(*)	-,894**	,149	,244	,819*	1	,891**	,522	,011	,343	,482	,745*	1	,370	,133	,455	-,043	-,504	-,338	1	,775*
	Sig. (2-tailed)	,810	,003	,682	,405	,698		,515	,184	,980	,406	,227	,034		,367	,754	,287	,920	,203	,413		,024
	N	8	8	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Na	Pearson Correlation	,981(**)	,922**	-,119	,537	,974**	,891*	1	,295	-,036	,833*	,302	,355	,370	1	,585	,292	-,317	-,734	-,330	,775*	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,001	,779	,170	,000	,003		,478	,933	,010	,467	,389	,367		,127	,483	,444	,038	,424	,024	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

\*\* p<0,01

\* p<0,05

### 3.10. Küresel Isınma Senaryosu Bulguları

Senaryo için kullanılan *Typha glauca*, *Typha latifolia* ve *Typha angustifolia* bitkilerinin düşük/normal(370 ppm) ve yüksek(720 ppm) CO<sub>2</sub> seviyelerinde 4 hafta sürecindeki boyları Çizelge 3.8., 3.9., 3.10. ve 3.11’de verilmiştir. Ayrıca bitki boylanmalarına ait ilgili grafikler standart hata çubukları ile birlikte Şekil 3.11., 3.12., 3.13. ve 3.14’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 incelendiğinde düşük/normal CO<sub>2</sub> seviyesinde gelişmeye bırakılan *T. glauca*, *T. latifolia* ve *T. angustifolia* bitkilerinin birinci hafta sonundaki boyları sırasıyla ortalama 6,4, 16,1 ve 12,2 cm olarak belirlenmiştir. Aynı çizelge incelendiğinde yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *T. glauca*, *T. latifolia* ve *T. angustifolia*’nın birinci hafta sonundaki boyları ise sırasıyla ortalama 8,5, 14,4 ve 12,6 cm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3.8 incelendiğinde düşük/normal CO<sub>2</sub> seviyesinde gelişmeye bırakılan *T. glauca*, *T. latifolia* ve *T. angustifolia* bitkilerinin ikinci hafta sonundaki boyları sırasıyla ortalama 12,4, 24,1 ve 21,3 cm olarak belirlenmiştir. Aynı çizelge incelendiğinde yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *T. glauca*, *T. latifolia* ve *T. angustifolia* bitkilerinin ikinci hafta sonundaki boyları sırasıyla ortalama 14,5, 20,9 ve 19,5 cm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3.9 incelendiğinde düşük/normal CO<sub>2</sub> seviyesinde gelişmeye bırakılan *T. glauca*, *T. latifolia* ve *T. angustifolia* bitkilerinin üçüncü hafta sonundaki boyları sırasıyla ortalama 25,6, 33,8 ve 39,3 cm olarak belirlenmiştir. Aynı çizelge incelendiğinde yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *T. glauca*, *T. latifolia* ve *T. angustifolia* bitkilerinin üçüncü hafta sonundaki boyları sırasıyla ortalama 18,4, 26,4 ve 27,7 cm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3.10 incelendiğinde düşük/normal CO<sub>2</sub> seviyesinde gelişmeye bırakılan *T. glauca*, *T. latifolia* ve *T. angustifolia* bitkilerinin dördüncü hafta sonundaki boyları sırasıyla ortalama 40,3, 42,3 ve 52,1 cm olarak belirlenmiştir. Aynı çizelge incelendiğinde yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *T. glauca*, *T. latifolia* ve *T. angustifolia* bitkilerinin dördüncü hafta sonundaki boyları sırasıyla ortalama 21,4, 30,2 ve 34,0 cm olarak tespit edilmiştir.

Şekil 3.15'te gösterildiği gibi dört hafta sonunda düşük/normal CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *T. glauca*'nın, yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan aynı tür bitkiye göre ortalama 18,9 cm ile daha yüksek boylanma gösterdiği tespit edilmiştir.

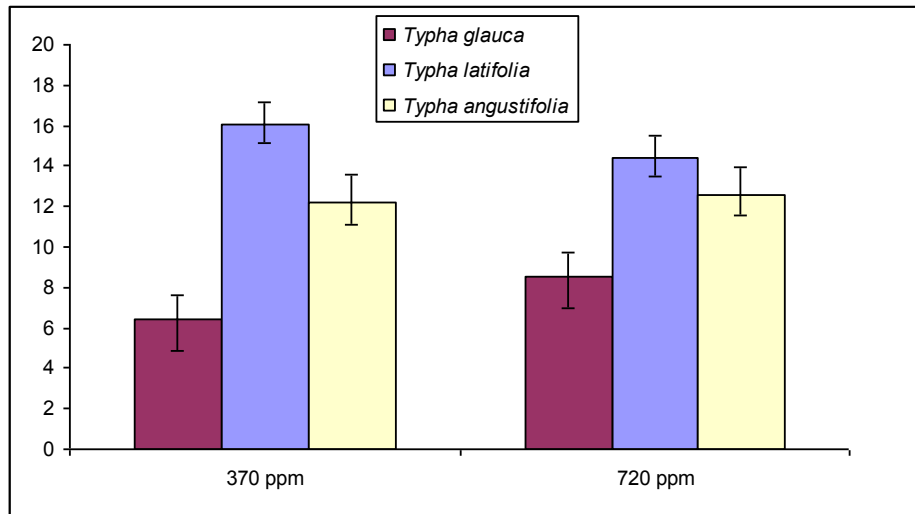
Şekil 3.16'da gösterildiği gibi dört hafta sonunda düşük/normal CO<sub>2</sub> seviyesinde gelişmeye bırakılan *T. latifolia*, yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan aynı türe ait bitkiye göre ortalama 12,1 cm daha yüksek boylanma gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 3.17'de gösterildiği gibi dört hafta sonunda düşük/normal CO<sub>2</sub> seviyesinde gelişmeye bırakılan *T. angustifolia*, yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan aynı türe ait bitkiye göre ortalama 18,1 cm daha yüksek boylanma gösterdiği tespit edilmiştir.

Araştırmalar için kullanılan bitkilere ait karşılaştırmalı grafik Şekil 3.18'de gösterilmektedir. Bu grafiğe göre yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan tüm bitki türlerinin 4 hafta sonunda boylanmalarında bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bununla birlikte 4 hafta süresince düşük/normal ve yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *T. latifolia* bitkisinin deney sonunda ulaştıkları boylar sırasıyla 52,1 ve 34 cm'dir. Aynı grafikte gösterildiği üzere benzer sonuçlar *T. angustifolia* ve *T. glauca* için yapılan çalışmalarda da belirlenmiştir. Araştırma sonunda düşük/normal ve yüksek CO<sub>2</sub> seviyelerinde tutulan bitki türlerine ait fotoğraflar Şekil 3.19, 3.20 ve 3.21'de gösterilmektedir.

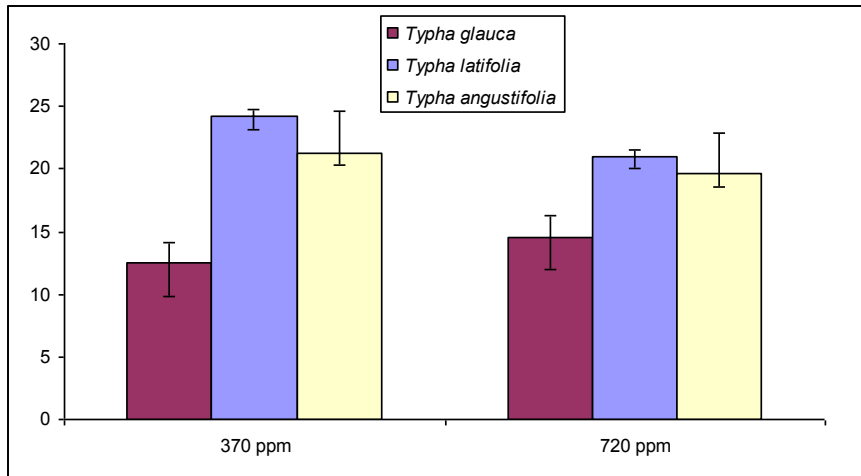
Çizelge 3.7. Birinci hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyelerindeki bitki boyları

		Bitki Boyu (cm)		
CO <sub>2</sub> Seviyesi	Bitki No.	<i>Typha glauca</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>
370 ppm	1	13,1	17,3	10,6
370 ppm	2	7,2	15,6	9,5
370 ppm	3	7,2	18,4	14,9
370 ppm	4	4,1	16,9	14,5
370 ppm	5	5,6	16,9	2
370 ppm	6	4,6	17,4	14,6
370 ppm	7	3,5	18,6	12
370 ppm	8	-	8,4	14,6
370 ppm	9	-	13,1	12,9
370 ppm	10	-	16,5	13,7
370 ppm	11	-	16,9	13,4
370 ppm	12	-	17,3	13,9
<b>Ortalama</b>		<b>6,4 ±1,2</b>	<b>16,1 ±0,8</b>	<b>12,2 ±1</b>
CO <sub>2</sub> Seviyesi	Bitki No.	<i>Typha glauca</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>
720 ppm	1	9	15,5	13,9
720 ppm	2	13,8	14	12,1
720 ppm	3	1,2	14,9	9,4
720 ppm	4	11,9	12,7	9,1
720 ppm	5	10,9	16,8	13,4
720 ppm	6	11,2	9,7	13,1
720 ppm	7	7,1	14,3	15,1
720 ppm	8	-	15,6	15,8
720 ppm	9	-	15,5	16,1
720 ppm	10	-	13,5	7,1
720 ppm	11	-	19	12
720 ppm	12	-	11,5	14,1
<b>Ortalama</b>		<b>8,5 ±1,5</b>	<b>14,4 ±0,7</b>	<b>12,6 ±0,8</b>

Şekil 3.11. Birinci hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyesinde bitki boylarının grafiği

Çizelge 3.8. İkinci hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyelerindeki bitki boyları

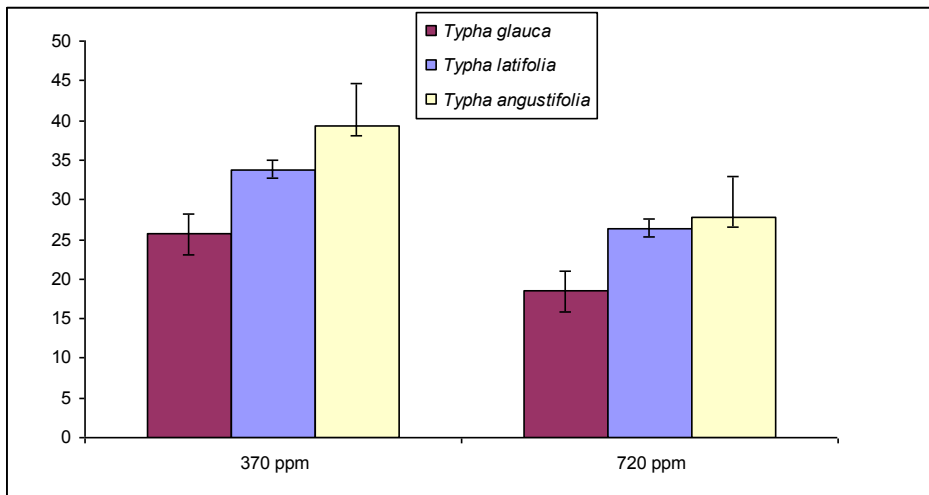
		Bitki Boyu (cm)		
CO <sub>2</sub> Seviyesi	Bitki No.	<i>Typha glauca</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>
370 ppm	1	19	25,6	18
370 ppm	2	15,6	24,3	17,2
370 ppm	3	14,7	27	27,1
370 ppm	4	7,2	25,4	26,2
370 ppm	5	14	23,4	1,8
370 ppm	6	8,4	23,5	25,6
370 ppm	7	8,5	26,3	20,5
370 ppm	8	-	17,4	26,1
370 ppm	9	-	20,9	24,6
370 ppm	10	-	25,5	23,9
370 ppm	11	-	26,1	22,5
370 ppm	12	-	24,6	22,2
<b>Ortalama</b>		<b>12,4 ±1,6</b>	<b>24,1 ±0,5</b>	<b>21,3 ±3,3</b>
CO <sub>2</sub> Seviyesi	Bitki No.	<i>Typha glauca</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>
720 ppm	1	15,2	22,7	22
720 ppm	2	20,6	20,2	17,3
720 ppm	3	2,3	20,3	14,5
720 ppm	4	19,9	20,2	17
720 ppm	5	17,7	23	20,4
720 ppm	6	18,5	15	19,5
720 ppm	7	7,9	22	21,5
720 ppm	8	-	24	24,8
720 ppm	9	-	21,4	24,1
720 ppm	10	-	19,2	14,1
720 ppm	11	-	26	16,6
720 ppm	12	-	17,5	23,1
<b>Ortalama</b>		<b>14,5 ±2,6</b>	<b>20,9 ±1</b>	<b>19,5 ±1</b>



Şekil 3.12. İkinci hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyesinde bitki boylarının grafiği

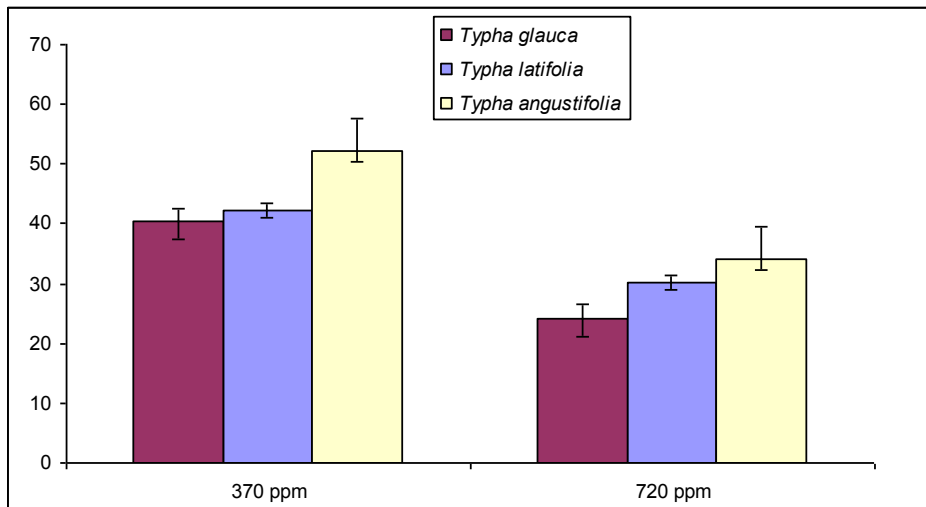
Çizelge 3.9. Üçüncü hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyelerindeki bitki boyları

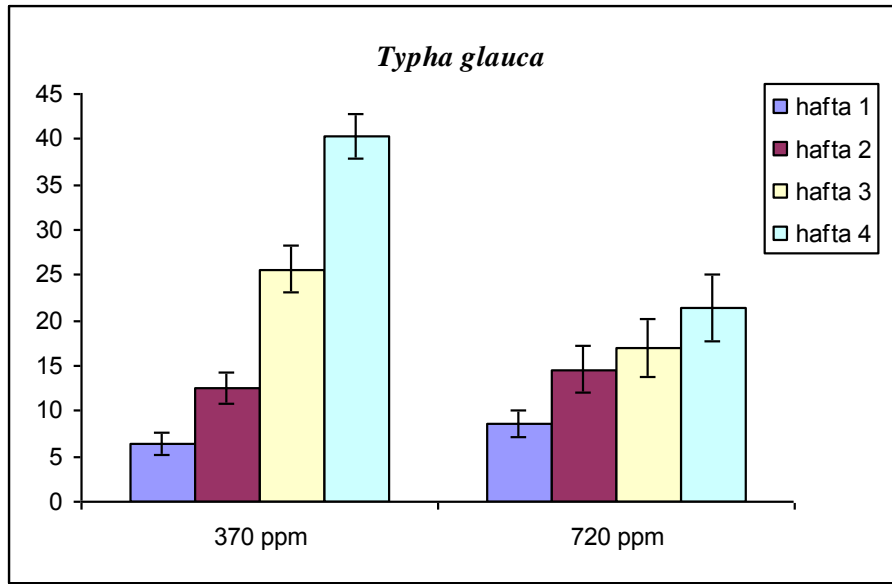
CO <sub>2</sub> Seviyesi	Bitki No.	Bitki Boyu (cm)		
		<i>Typha glauca</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>
370 ppm	1	29,8	34,8	34
370 ppm	2	30,9	33,3	35,6
370 ppm	3	26,5	38	46,1
370 ppm	4	12,2	32,7	46,5
370 ppm	5	32	30,9	7,6
370 ppm	6	26,9	30,8	45,7
370 ppm	7	21,5	38	40,5
370 ppm	8	-	28	47,2
370 ppm	9	-	30,5	40,4
370 ppm	10	-	37,5	43,1
370 ppm	11	-	35,2	41,8
370 ppm	12	-	36,2	44,1
<b>Ortalama</b>		<b>25,6 ±1,6</b>	<b>33,8 ±0,5</b>	<b>39,3 ±3,3</b>
CO <sub>2</sub> Seviyesi	Bitki No.	<i>Typha glauca</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>
720 ppm	1	19,6	29	30,1
720 ppm	2	22,2	24,1	25,2
720 ppm	3	6,5	26,1	20,8
720 ppm	4	26,1	23,7	25,7
720 ppm	5	23,7	27,5	28,7
720 ppm	6	23,3	20,5	28,1
720 ppm	7	13	28,4	30
720 ppm	8	-	28,9	30,7
720 ppm	9	-	25,5	33
720 ppm	10	-	26,5	22,4
720 ppm	11	-	32,2	21,1
720 ppm	12	-	24,5	36,9
<b>Ortalama</b>		<b>18,4 ±2,6</b>	<b>26,4 ±1,1</b>	<b>27,7 ±1,2</b>

Şekil 3.13. Üçüncü hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyesinde bitki boylarının grafiği

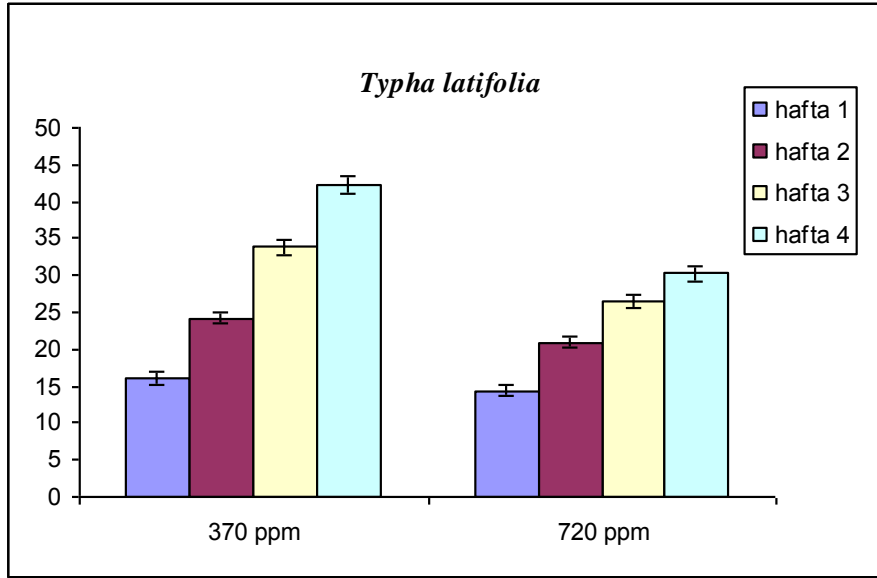
Çizelge 3.10. Dördüncü hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyelerindeki bitki boyları

CO <sub>2</sub> Seviyesi	Bitki Boyu (cm)			
	Bitki No.	<i>Typha glauca</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>
370 ppm	1	38,6	43,6	47,1
370 ppm	2	40,9	42,2	47,5
370 ppm	3	38,3	44,6	57,5
370 ppm	4	51,8	39,7	62
370 ppm	5	39	37,1	17,5
370 ppm	6	33,5	40,1	57,4
370 ppm	7	-	45	52,7
370 ppm	8	-	37,1	64,4
370 ppm	9	-	39,2	52,4
370 ppm	10	-	51,5	56,7
370 ppm	11	-	43	53,9
370 ppm	12	-	44,7	56,6
<b>Ortalama</b>		<b>40,3 ±1,6</b>	<b>42,3 ±0,5</b>	<b>52,1 ±3,3</b>
CO <sub>2</sub> Seviyesi	Bitki No.	<i>Typha glauca</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>
720 ppm	1	22,8	34,5	36,5
720 ppm	2	26,5	27,3	33,1
720 ppm	3	12,5	30,4	24,8
720 ppm	4	35,1	27,8	32,5
720 ppm	5	28	29,9	34,1
720 ppm	6	28,2	24,4	36,1
720 ppm	7	15,9	32,9	37,1
720 ppm	8	-	33,5	36,7
720 ppm	9	-	27,1	37,4
720 ppm	10	-	30,6	30,3
720 ppm	11	-	36,2	25,8
720 ppm	12	-	28,5	44,3
<b>Ortalama</b>		<b>21,4 ±2,6</b>	<b>30,2 ±1,1</b>	<b>34,0 ±1,2</b>

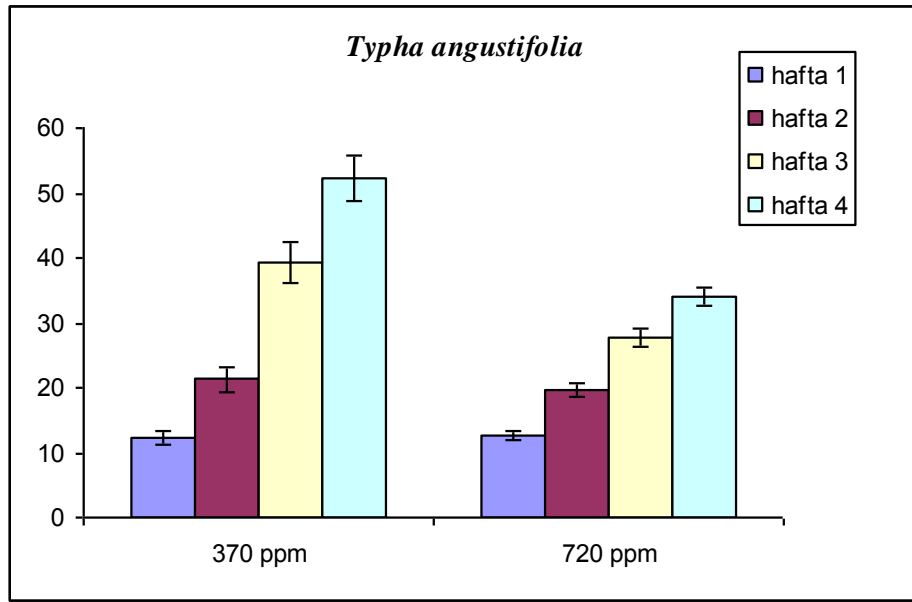
Şekil 3.14. Dördüncü hafta sonunda 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyesinde bitki boylarının grafiği



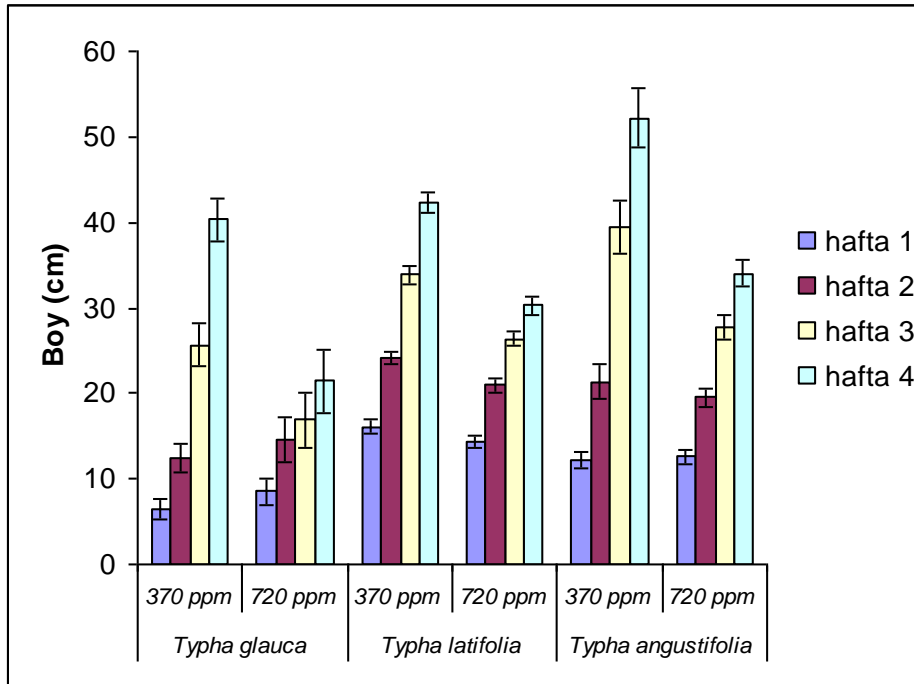
Şekil 3.15. Dört hafta boyunca 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *Typha glauca* bitkisinin boylanma miktarı



Şekil 3.16. Dört hafta boyunca 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *Typha latifolia* bitkisinin boylanma miktarı



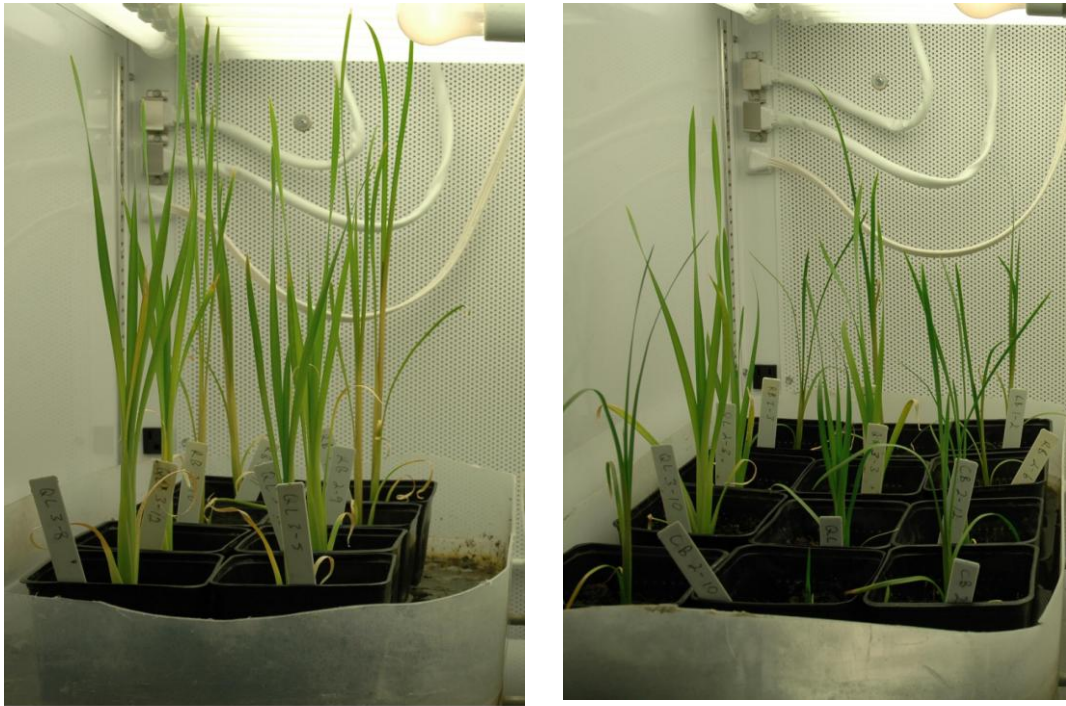
Şekil 3.17. Dört hafta boyunca 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan *Typha angustifolia* bitkisinin boylanma miktarı



Şekil 3.18. Dört hafta süresince 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyelerinde tutulan bitkilerin boylarının karşılaştırmalı grafiği



Şekil 3.19. Dördüncü hafta sonunda *Typha glauca* bitkisinin sırasıyla 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyelerindeki boyları



Şekil 3.20. Dördüncü hafta sonunda *Typha latifolia* bitkisinin sırasıyla 370 ppm ve 720 ppm CO<sub>2</sub> seviyelerindeki boyları



Şekil 3.21. Dördüncü hafta sonunda *Typha angustifolia* bitkisinin sırasıyla 720 ppm ve 370 ppm CO<sub>2</sub> seviyelerindeki boyları

#### 4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar; karmaşık ve birbirine bağlı ekosistem ve habitat ağları oluşturarak, tüm yaşamın dayandığı benzersiz ekosistem hizmetleri sunmaktadırlar (Farrell ve ark 2007; WWF 2010; Sagoff 2011). İnsanlar da yaşadıkları süreç boyunca farkında olmadan sunulan bu ekosistem hizmetlerinden doğrudan ya da dolaylı olarak faydalanmaktadırlar (Dudley ve Stolton 2003; Laird ve ark. 2003; Ricketts ve ark. 2004). Günümüzde ilerleyen teknoloji, ekosistem hizmetlerinden bazılarını yerine getirebilse de, kökeni doğal ekolojik mekanizmalara dayanan birçok hizmetin yerine konabilecek henüz hiçbir sistem bulunmamaktadır. Bununla birlikte ekosistem hizmetlerinin devamlılığı ise ancak ekosistemi destekleyen biyoçeşitliliğin ve buna bağlı olarak oluşan ekosistem ağlarının korunması, desteklenmesi ve izlenmesi ile sağlanabilecektir (Türe ve Türe 2010).

Ekilmiş sulak alanlar, insanlara doğrudan veya dolaylı olarak yarar sağlayan yapay ekosistem hizmetleridir. Bu sistemlerin, endüstriyel ve evsel atık suları doğal mekanizmalarla arıtımının yanında, birçok omurgalı ve omurgasız canlı için habitat oluşturması, biyoçeşitliliğin korunması ve devamlılığı ile yakından ilişkilidir. Yaklaşık 10 yıl öncesine kadar ekilmiş sulak alanlar üzerine yapılan çalışmaların temelinde arıtım verimleri ve ekonomik önemler yer almaktaydı (Gessner ve ark. 2005; Ong ve ark. 2010; Yalcuk ve ark. 2010). Ancak, günümüzde bu sistemlerin biyoçeşitliliğin korunmasındaki önemleri de ekologların oldukça fazla ilgisini çekmektedir. Knight ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, Kuzey Amerika'da kurulan ekilmiş sulak alanların birçok memeli, kuş, amfibi, sürüngen, balık ve omurgasız canlı için habitat oluşturduğunu, bu sayede sistemlerin bölgedeki biyoçeşitliliğin korunmasına yardımcı olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra Rousseau ve ark (2008) da, Avustralya'nın Melbourne bölgesinde 10850 hektarlık bir arazi üzerine kurulan bir ekilmiş sulak alanın, birçok kuş türünün göç yolunda bulunduğunu ve konaklama habitatı oluşturduğu için Ramsar alanı olarak kabul edildiğini bildirmişlerdir. Bu tür çalışmalar, ekilmiş sulak alanların sadece insanların atık su arıtma taleplerini karşılayan bir sistem olarak değil; aynı zamanda önemli türleri barındıran ve biyoçeşitliliğin korunması ile sürdürülebilir kullanımın

bütünleştirilmesini sağlayan bir ekosistem olarak değerlendirilmesi sonucunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bu sistemlerin maden deşarj sularının arıtılması için kullanılması, sistemlerden hasat edilen bitkilerin gübre ya da yakacak olarak değerlendirilmesi gibi çözüm önerileri getirmeyi amaçlayan araştırmalar, bu teknolojileri daha da önemli hale getirmektedir.

Dünyada bilinen B (bor) rezerv alanlarının büyük bir kısmının Türkiye’de bulunması, araştırmaların laboratuvar şartlarından ziyade doğal iklim koşulları altında gerçekleştirilmesi açısından değerli bir fırsat sağlamaktadır. Bu nedenle yüksek derecede B içeren suların ekilmiş sulak alanlar ile arıtılması ve performanslarının belirlenmesi amacıyla yapılan bu yüksek lisans tez çalışması,

- Dünyanın bilinen en büyük B rezerv alanlarından biri olan Kırka B maden sahası içerisinde ve doğal iklim koşullarında gerçekleştirilmiş olması,
- B içeren suların arıtımı için yüzey altı akışlı ekilmiş sulak alan tipinin seçilmiş olması,
- Ekilmiş sulak alanların bitkilendirilmesinde kullanılan *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* türlerinin B akümülyasyon oranlarının tespit edilmesi,
- Bitkideki B konsantrasyonu ile bitkideki N, P, Ca, Na, Mg ve K gibi elementler arasındaki etkileşimlerin incelenmesi,
- Kurulan küresel ısınma senaryosu üzerinden, gelecekte artması öngörülen CO<sub>2</sub> oranının, ekilmiş sulak alanlarda kullanılan *Typha sp.* türleri üzerine olan olası etkilere ilişkin araştırmalar içermesi nedeniyle bu alanda yapılan diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir.

Araştırmaların ilk adımı olarak, sulak alanların B arıtım oranlarının tespit edilmesi ve karşılaştırılması planlanmıştır. Bu kapsamda, iki farklı sulak alan bitkisi kullanılarak kurulan iki yüzey altı yatay akışlı ekilmiş sulak alan sisteminin giriş ve çıkış suları düzenli olarak örneklenmiş ve analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.1). Elde edilen verilere göre araştırma periyodu içerisinde, beklendiği gibi her iki sulak alanda atık su içerisinde bulunan çözünmüş B’u azaltıcı yönde bir çalışma performansı göstermiştir. Giriş ve çıkış sularının içerdikleri B konsantrasyonu, Pearson Korelasyon Analizi ile değerlendirilmiş ve  $p < 0,05$

düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Bu ilişki, atık su içerisinde bulunan B'un ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemleri ile verimli bir şekilde azaltıldığını göstermektedir.

Araştırmada belirlenen B giderim oranları incelendiğinde, *T. latifolia* ile bitkilendirilen ES<sub>1</sub> sisteminin ortalama B arıtımı %40 iken, *P. australis* ile bitkilendirilen ES<sub>2</sub> sisteminin ortalama B arıtım oranının %27 olduğu tespit edilmiştir. Bu durum aynı çalışma süresi ve operasyonel koşullarda ES<sub>1</sub> sisteminin ES<sub>2</sub> sistemine göre daha başarılı bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 15 ile 60. izleme günleri arasında ES<sub>2</sub> sisteminin, 60 ile 90. günler arasında ise ES<sub>1</sub> sisteminin daha başarılı arıtım yüzdesine sahip olduğu görülmektedir. Bu da, B derişiminin artması ile doğru orantılı olarak ES<sub>1</sub> sisteminin B giderim oranının arttığını, ES<sub>2</sub> sisteminde ise B gideriminin azaldığını belirtmektedir. Ayrıca bu sonuçlara göre ES<sub>1</sub> sisteminin yüksek B konsantrasyonlarında, ES<sub>2</sub> sisteminin ise nispeten daha düşük B konsantrasyonlarında başarılı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, B ile kirlenmiş sularının arıtılması amacıyla kurulacak bir ekilmiş sulak alanın *T. latifolia* ile bitkilendirilmesi, arıtım performansları ve ekolojik risklerin önlenmesi açısından değerlendirildiğinde, *P. australis*'e göre daha doğru bir seçim olacağı düşünülmektedir. Araştırmada elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında giderim oranları açısından bazı benzerliklerin ve farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Ye ve ark. (2003) 14 sulak alan bitkisi kullanarak yaptıkları çalışmada ortalama %31 B giderim oranı sağladığını rapor etmişlerdir. Ayrıca Şaşmaz ve Öbek (2009)'in yaptığı bir çalışmada *Lemna gibba* bitkisi kullanarak %41 B giderim oranı tespit etmişlerdir. Bu çalışmalarda belirlenen giderim oranları araştırmada elde edilen değerler ile benzerlik göstermektedir. Buna karşın Davis ve ark. (2002) *Spartina alterniflora* ile yaptıkları bir laboratuvar çalışmasında B için herhangi bir arıtım sağlayamadıklarını bildirmişlerdir. Kröpfelova ve ark. (2010) ise kurdukları ekilmiş sulak alanlarda B için ortalama % 15 arıtım verimi elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar araştırmada tespit edilen değerlerden daha düşüktür. ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerine ait giriş sularının içerdikleri ortalama B konsantrasyonu 10 ile 2019 mg l<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Bu değişim aralığı yapılan diğer çalışmalar

ile karşılaştırıldığında (Ye ve ark 2003; Davis ve ark 2002; Marin ve Oron, 2007; Şaşmaz ve Öbek, 2009; Kröpfelova ve ark 2009) daha yüksek B içermesi nedeniyle ayrıca önem taşımaktadır.

Çalışma periyodu süresince yapılan pH ölçümlerinde çıkış sularının pH değerinin, ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemleri için tüm izleme günlerinde giriş suyu pH değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.1). Oertli ve Grgurevic (1975) tarafından yapılan bir çalışmada, ortam pH'sının 6,3 ile 6,5 arasında olması durumunda bitkiler tarafından alınan B miktarı en yüksek düzeyde iken, pH'nın yükselmesi ile birlikte B alınımının düştüğü rapor edilmiştir. Çalışmada en düşük B arıtım veriminin belirlendiği ES<sub>1</sub> sistemi için 15 ile 45. izleme günleri arasında, ES<sub>2</sub> sistemi için ise 60 ile 90. izleme günleri arasında elde edilen bulguların Oertli ve Grgurevic (1975)'in sonuçları ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemleri için, çıkış suyu pH'sının yüksek olduğu izleme günlerinde B gideriminin düşük olduğu, tam tersi durumda ise B gideriminin yüksek olduğu görülmektedir. Düşük giderimin sağlandığı izleme günlerinde ES<sub>1</sub> sistemi için, çıkış suyu pH'sı 7,41 ile 7,98 arasında, ES<sub>2</sub> sistemi için ise 7,57 ile 7,84 arasında değişmektedir. Aynı izleme günlerindeki B giderim oranlarının ise ES<sub>1</sub> için % 10 ile 34 arasında, ES<sub>2</sub> sistemi için ise % 18 ile 24 arasında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar pH'nın yükselmesi ile B alınımının hızla azaldığı düşünüldüğünde beklenen bir sonuçtur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, pH'nın düşüşünün temel etkenlerinin başında ortamda gerçekleşen organik madde mineralizasyonun, nitrifikasyonun ve denitrifikasyonun geldiği bildirilmiştir (Cossu ve ark. 2001; Stottmeister ve ark. 2003; Maine ve ark. 2009). Bu çalışmalara göre ortamda nitrifikasyon basamağının oluşabilmesi için 6,6 üzerinde pH değeri, denitrifikasyon basamağı içinde 6,5 ile 9,5 arasında pH değeri ideal bir değer olarak kabul edilmektedir. Elde edilen sonuçlarda, sistemler içerisinde bekletilen suyun çıkış pH'sının ES<sub>1</sub> sistemi için 7,19 ile 7,98 arasında; ES<sub>2</sub> sistemi için 6,94 ile 7,84 arasında kaldığını tespit edilmiştir. Bu değerler nitrifikasyon ve denitrifikasyon basamaklarının oluşabilmesi için gereken şartların sistemler içerisinde oluştuğunu göstermektedir. Bu durumda, muhtemelen ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemi içerisinde gerçekleşen organik madde mineralizasyonu sonucu ortaya

çıkan ve bitki köklerinden salınan CO<sub>2</sub> gazı ile, nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları sonucunda ortaya çıkan NO<sub>3</sub>(Nitrat) ve NO<sub>2</sub> (Nitrit) bileşikleri pH'nın düşmesini sağlamıştır. Ancak bu durum ile ilgili tam yargıya varabilmek için sudaki NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> ve alkalinite değerlerini de bilmek gereklidir. Ayrıca bitki köklerinden suya salınan malat sitrat, amino asit, benzoik asit, fenol gibi organik asitlerin suyun pH'sının düşmesinde ayrıca rol oynamış olabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak sistemlerin içerisinde süregelen mekanizmalar, suyun pH'sında dalgalanmalar meydana getirmiş, bu da bitkilerin akümülyasyon oranlarını etkileyerek farklı arıtma performanslarının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Elektriksel iletkenlik (EC) ortamda çözünmüş iyonların varlığını gösteren bir parametre olarak tanımlanmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar izleme günleri açısından değerlendirildiğinde B derişimlerinin artmasıyla birlikte EC değerinin hem giriş suyunda hem de çıkış suyunda artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Çalışma süresince sistemlerin giriş sularındaki ortalama iletkenlik değeri 1494 µS/cm olarak belirlenmiştir. Ayrıca ES<sub>1</sub> ve ES<sub>2</sub> sistemlerinin çıkış sularının sahip olduğu ortalama EC değerleri ise sırasıyla 1157 ve 1267 µS/cm'dir. Giriş ve çıkış sularında EC açısından belirlenen bu farklılıkların, suda çözünmüş halde bulunan Ca, Na, Mg ve K gibi iyonların sediment tarafından absorbe edilerek atık sudan uzaklaştırılması sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. Araştırma sonunda sistemlerden toplanan 2 ve 3'nolu sediment örneklerindeki miktarın, 1 nolu sediment örneğine göre daha yüksek miktarda olması bu durumu destekler niteliktedir. Yapılan analizler sistemlerin atık su içerisindeki çözünmüş B'u oldukça verimli bir şekilde giderdiğini gösterse de, EC için aynı oranda verim sağlanamamıştır. Ancak EC için tam bir yargıya varabilmek için suyun alkalinite, toplam çözünmüş katı ve klorür değerlerini bilmek gereklidir.

B mineralinin bitkiler tarafından kullanılabilir formu olan borik asitin, tuz veya esterleri "*borat*" olarak adlandırılmaktadır (Türe ve Bell 2004). Boraks suda, üleksit ve kolemanit minerallerine göre daha fazla çözünmekte ve bu da ortamda daha fazla kullanılabilir B varlığı anlamına gelmektedir (Böçük 2010). Dünyanın bilinen en büyük B rezerv alanına sahip Kırka (Eskişehir) B rezerv alanı, boraks

ve türevleri bakımından zengin bir yapı göstermektedir (Türe ve Bell 2004; Boren 2011). Bu nedenle de bünyesinde bulundurduğu yüksek konsantrasyonda B mineralleri nedeniyle, canlı grupları için ekstrem ekolojik koşulların oluşmasına neden olmaktadır. Bu bölgede yayılış gösteren birçok bitki de böyle zorlu ortamların içerisinde ya da yakın çevresinde gelişebilme yeteneği gösterebilmektedirler. 2009 yılının Mayıs ayında sulak alanlarda kullanılacak bitkilerin belirlenmesi amacı ile yapılan arazi çalışmalarında maden rezerv alanı içerisinde *T. latifolia* ve *P. australis* bitkilerinin doğal yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. Böcük (2010) tarafından yapılan bir çalışmada bu bitkiler yüksek oranda B içeren topraklarda yayılış gösterdiği için “*B tolerant bitki*” olarak da değerlendirilmiştir. Her iki bitki türü için gübreleme periyodu sonunda hesaplanan hayatta kalma oranı *T. latifolia* ve *P. australis* için sırasıyla %87,5 ve %100’dur. Bu sonuçlar, bu bitkilerin buldukları hem iklimsel hem de operasyonel şartlara uyum sağladığını göstermektedir. Ayrıca elde edilen bu yüksek değerler, bu bitkilerin bölgede doğal yayılış gösteren ve doğal florada bulunan bitkiler olması nedeniyle de beklenen bir sonuçtur.

Deney ve kontrol grubunu oluşturan bitkilerdeki başta B olmak üzere P, Ca, Mg, Na ve K elementlerin miktarları ICP cihazında belirlenmiştir. Ancak analizler sırasında azot (N), ICP cihazında itici gaz olarak kullanıldığından örneklerde ICP aracılığıyla N analizi yapılamamaktadır. Bu nedenle, bitki örneklerindeki N miktarı, Kjeldahl metoduna göre tespit edilmiştir. ICP analizlerinden elde edilen veriler deney grubu bitkilerinin kontrol bitkilerine göre daha yüksek B konsantrasyonuna sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlarda araştırma periyodu içerisinde deney grubu bitkilerinin, atık su içerisinde çözülmüş halde bulunan B’u kendi bünyelerine akümüle ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte bitkilerin köklerinde belirlenen B konsantrasyonunun, yaprak ve gövdede belirlenen miktara göre daha yüksek olduğu ayrıca kökteki B konsantrasyonunun yaprak ve gövdedeki toplam miktara oranı 1’den büyük olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar başta kökler olmak üzere toprak altı kısımların B alınımında ilk basamağı oluşturduğunun ve bitki içerisinde B’un köklerden yapraklara doğru taşındığını göstermektedir. Öte yandan bitki köklerinin etrafında

ya da kök yüzeyinde gerçekleşen mikrobiyal aktivite de köklerde B konsantrasyonunun daha yüksek olmasına neden olmuş olabilir.

*T. latifolia*'da belirlenen en yüksek B derişiminin yapraklarda 113, gövdede 32 ve köklerde 172 mg kg<sup>-1</sup> olduğu görülmektedir. *P. australis* bitkisinde ise en yüksek B derişimi yapraklarda 87, gövdede 58 ve kökte 210 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Ye ve ark (2003) elektrik deşarj sularının arıtılması için kullanılan bir laboratuvar ölçekli çalışmada, *T. latifolia* ve *P. australis* için 200 mg kg<sup>-1</sup> 'nin üzerinde B tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar, çalışmada elde edilen değerler ile benzerlik göstermektedir. Smith ve ark (1988) Amerika'da bir gölden topladıkları *T. latifolia*'da 28 mg kg<sup>-1</sup>, Vymazal ve ark (2009) Çek Cumhuriyeti'nde evsel atık sular için kurulan bir ekilmiş sulak alandan toplanan *P. australis*'de 8 mg kg<sup>-1</sup> ve Bonanno (2011) kentsel ve tarımsal kirlilikten etkilenen bir habitattan toplanan aynı bitkide 54 mg kg<sup>-1</sup> B tespit etmişlerdir. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlar çalışmadaki deney grubu bitkilerindeki B miktarından daha düşük olmakla birlikte, kontrol grubu bitkileriyle benzerlik göstermektedir. Araştırmada elde edilen sonuçlar yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında ekilmiş sulak alanlarda gelişen bitkilerin, doğal ortamda gelişen bitkilere göre daha yüksek konsantrasyonlarda B içerdiği görülmektedir. Bunun da en önemli nedeninin ekilmiş sulak alanlara verilen yüksek derecede B içeren giriş suyu olabileceği düşünülmektedir.

Ekilmiş sulak alanlar tasarlanırken kullanılacak bitki türünün kirletickiye karşı gösterdiği tolerans seviyesi ve akümülyasyon kapasitesinin bilinmesi doğru tasarım için önemlidir (Marin ve Oron 2007). Yapılan analizlerde araştırma süreci içerisinde deney grubunu oluşturan *T. latifolia* ve *P. australis* için akümülyasyon oranları sırasıyla %40 ve %26 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.9). Oranlar sistemlerin giderim performansları ile karşılaştırıldığında yakın benzerliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu da kullanılan bitkilerin sahip olduğu akümülyasyon kapasitelerinin, sulak alanların giderim performansları üzerinde önemli bir rolünün olduğunu vurgulamaktadır. Elde edilen verilere göre *T. latifolia*'nın yaprak ve gövdelerinin içerdiği B konsantrasyonunun, *P. australis*'e göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, *T. latifolia*'nın köklerinden yapraklara ve gövdeye taşınan B'un, *P. australis*'e nazaran daha yüksek olduğu sonucunu ortaya

çıkarmaktadır. Sonuç olarak gelecekte B içeren suların arıtılması için kurulacak bir ekilmiş sulak alanda, yaprak ve gövdedeki akümülyasyon oranları dikkate alındığında, olası hasat yönteminin *T. latifolia* için *P. australis*'e göre daha başarılı olacağı düşünülmektedir.

Bir toprak çözeltisinde bulunan kullanılabilir B konsantrasyonu, sadece o toprakta bulunan B minerallerinin toplam miktarı ile değil, aynı zamanda toprağın diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerini oluşturan unsurlarının karşılıklı etkileşimleri ile gerçekleşen bir sürecin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Böcük 2010). Bu araştırmada, sistemlerde dolgu malzemesi olarak kullanılan sediment örneklerinin içerdiği B konsantrasyonu ile diğer fiziksel ve kimyasal unsurlarının analiz sonuçları Çizelge 3.13'te verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, araştırma sonunda en yüksek B konsantrasyonu 66,3 mg kg<sup>-1</sup> ile ES<sub>2</sub> sisteminden örneklenen 3 nolu sedimentte; en düşük B konsantrasyonu ise 18,34 mg kg<sup>-1</sup> ile ES<sub>1</sub> sisteminden elde edilen 2 nolu sedimentte belirlenmiştir. Ortaya çıkan farklı değerlerin sistemlerde kullanılan bitki türlerinin akümülyasyon kapasiteleri ve toprak pH'sı ile yakından ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Buna göre; *T. latifolia*'nın, *P. australis*'e göre yüksek B akümülyasyon kapasitesine sahip olması, daha çok miktarda B' un sedimentten, *T. latifolia* bitkisine taşınmasını sağlamış olabileceğini düşündürmektedir. Sediment örnekleri için yapılan pH analizlerinde, 2 nolu sediment örneğinin pH'sı 8,72 iken, 3 nolu sediment örneğinin pH'sı 9,02 olarak belirlenmiştir. Yüksek toprak pH'sının bitkilerin B alınımını negatif yönde etkilediği düşünüldüğünde, 3 nolu sediment örneğinin daha çok B içermesi beklenen bir sonuçtur.

B'un sistemler içerisindeki dağılımına göre; bitkilerde kalan toplam B miktarı ES<sub>1</sub> için 1580 mg, ES<sub>2</sub> için 1422 mg olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3.5). Bu miktarlar yüzde cinsinden değerlendirildiğinde, ES<sub>1</sub> sisteminde B'un % 41'inin, ES<sub>2</sub> sisteminde ise % 27'sinin bitkilerde kaldığı görülmektedir. Araştırma sonunda sedimentteki belirlenen B miktarı ES<sub>1</sub> sistemi için 18 mg, ES<sub>2</sub> sistemi için ise 66 mg'dır. Elde edilen sonuçlara göre bitki bünyesinde bulunan biyolojik olarak kullanılabilir B miktarının, sedimentte kalan miktardan daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Bu durum ekilmiş sulak alanlarda kullanılan bitkilerin atık su içerisinde çözülmüş halde bulunan B'un giderilmesinde ve

akümülyasyonunda önemli bir rolünün olduğunu göstermektedir. Ancak aynı çizelge incelendiğinde sistemlerde kalan B'un çok daha fazlasının çözünmüş halde çıkış suyunda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle B içeren suların arıtılması için kurulacak ekilmiş sulak alanlar tasarlanırken bitkilerin sulak alan içerisine sık ve yoğun bir şekilde konumlandırılması, giderim oranlarının yükselmesini ve arıtım performanslarının artmasını sağlayacak bir etken olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca işletme süresi içerisinde bu bitkilerin belirli aralıklarla hasat edilmesi, hem eski vejetasyonda toplanan B'un sulak alandan uzaklaştırılmasını hem de B'un yaratabileceği ekolojik risklerin kontrol altında tutulmasını sağlayacaktır.

Pek çok araştırmacı N, K, Mg, Na ve P gibi elementleri bitki içerisinde hareketli; B, Cu, Fe ve S'ü ise hareketsiz elementler olarak bildirmişlerdir (Lehto ve ark. 2000; Taiz ve Zeigler 2008). Araştırmada kullanılan *T. latifolia* ve *P. australis* bitkilerinin içerdikleri B konsantrasyonları ile diğer bazı elementler arasındaki ilişkiler yapılan Pearson Korelasyon Analizi'nde tespit edilmiştir (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7). Elde edilen sonuçlara göre, *T. latifolia* ve *P. australis*'in yapraklarındaki Mg, Na ve P miktarları ile B konsantrasyonunun istatistiksel olarak pozitif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ). Tespit edilen bu istatistiksel ilişkilerin bitki içerisindeki Mg, Na ve P'un hareket edebilme potansiyeli ile yakından ilgili olabilir. Buna göre bitkide Mg, Na ve P miktarlarının yüksek olması, bitki içerisinde bu elementlerin hareketliliğini arttırmakla birlikte, bitkilerin B alımını ve köklerden yapraklara doğru taşınımını pozitif yönde etkilediği düşünülmektedir. Ayrıca B ile Mg, Na ve P arasında bitki yapraklarında oluşabilecek bir antagonist etki, B'un zehirlilik etkisini yok ederek yaprakların daha süratli büyümesine neden olmuş olabilir. Bitkilerdeki B miktarı ile diğer elementler arasındaki etkileşimler incelendiğinde, kökte bulunan Mg, Na, P, N ve K iyonları ile B konsantrasyonu arasında bir ilişkinin bulunmaması oldukça dikkat çekicidir. Köklerin B alımında ilk basamağı oluşturması nedeniyle, B derişiminin bu kısımlarda yüksek oluşu B ile bu elementler arasında herhangi bir ilişkinin kurulamamasını açıklamaktadır.

En iyimser senaryolara göre yeryüzü sıcaklıklarında 2100 yılına kadar 1.4 ile 5.8 °C arasında bir artış öngörülmektedir (Houghton et al. 2001, IPCC 2007).

Bu artışı tetikleyen en temel etkenlerin başında ise antropojenik kaynaklı olarak atmosferdeki miktarı gittikçe artan ve sera etkisine neden olan CO<sub>2</sub> gelmektedir. Yükselen CO<sub>2</sub> miktarının bitkilere olası etkileri konusunda literatürde birçok çalışma mevcuttur (Trivedi ve ark 2008; Lloret ve ark 2009; Grabherr 2009; Pompe ve ark. 2010; Trisurat ve ark. 2011). Yapılan çalışmalar incelendiğinde, artan CO<sub>2</sub>'nin bitkiler üzerinde yoğun bir baskı oluşturabileceği, dünya genelini ekolojik, ekonomik ve sosyolojik bakımdan olumsuz etkileyeceği ileri sürülmektedir. Bu nedenle çalışmanın bir sonraki basamağını, bir küresel ısınma senaryosu üzerinden, gelecekte artması öngörülen CO<sub>2</sub> oranının *Typha* türlerinin üzerindeki etkilerin belirlenmesine ilişkin araştırmalar oluşturmaktadır.

Araştırmada elde edilen sonuçlara göre, düşük/normal (370 ppm) CO<sub>2</sub> seviyesinde bulunan *T. latifolia*, *T. glauca* ve *T. angustifolia* bitkilerinin boyları, yüksek (720 ppm) CO<sub>2</sub> seviyesindeki bitkilerin boylarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Gelişmeye bırakılan üç tür bitkide de sonuçların benzerlik göstermesi yüksek CO<sub>2</sub>'in bitki gelişimi üzerinde negatif bir etkisinin olduğunu vurgulamaktadır. Muhtemelen yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde gelişen bitkiler CO<sub>2</sub> stresine maruz kalmış ve bu stresi azaltmak için stomalarını kapatmışlardır. Sonuç olarak yaprakların iç kısmındaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun azalmasına bağlı olarak bitkide C<sub>3</sub> yolunu verimsiz kılan fotorespirasyon olayı gerçekleşmiştir. Fotorespirasyon ile birlikte bitkilerde bağlanmış bulunan karbonun büyük bir kısmının serbest CO<sub>2</sub> formunda ortama verilmesi bitki biyomasının azalmasına neden olmuştur. Literatürdeki pek çok çalışmada da, yüksek CO<sub>2</sub> seviyesinde tutulan bitkilerde bodurlaşma ve biyomas kaybının olduğu rapor edilmiştir (Bassow ve ark, 1994; Huxman ve ark., 1998; Roden ve Ball, 1996; Taub ve ark, 2000). Öte yandan arazi koşullarında yapılan uzun süreli çalışmalarda, artan CO<sub>2</sub> oranının bitkilerde fotosentez hızını arttırarak ve stoma por açıklığını düşürerek, bitkilerin su kullanım verimliliğini yükselttiği belirlenmiştir. (Körner 2006; Ainsworth ve ark. 2007; Leakey ve ark. 2009). Aynı çalışmalarda artan CO<sub>2</sub>'in bitkilerde biyomas üretimini pozitif yönde etkilediği bildirilmiştir. Bu nedenle yüksek CO<sub>2</sub>'in ekilmiş sulak alanlarda kullanılan bitkilere olan olası etkileri ile ilgili kesin bir yargıya varabilmek için arazi koşullarında yapılacak uzun süreli çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada ekilmiş sulak alan teknolojisinin, yüksek derecede çözünmüş B içeren maden deşarj sularının arıtımı için arazi koşullarında kurulmuş küçük ölçekte iki sulak alan ile ilgili gözlemler ve analizler bulunmaktadır. Bu analizlere göre araştırma süresi içerisinde *T. latifolia* ve *P. australis* bitkileri kullanılarak oluşturulan sulak alanlar sırasıyla %40 ve %27 arıtım performansı ile çalışmışlardır. B rezerv alanı içerisinde ve doğal iklim koşullarında yapılan ilk çalışmalardan biri olan bu araştırma, her ne kadar kısıtlı imkanlar ile tasarlanmış sistemler olsa da, yapılan analizler sistemlerin oldukça verimli çalıştığını göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçlar gelecekte B ile kirlenmiş suların arıtılmasında kullanılacak gerçek boyutlarda bir sulak alan konusunda önemli fikirler vermektedir.

Kurulan sistemlerin B arıtım performansları açısından ters ozmoz ve iyon değiştirici sistemler kadar yüksek giderim performansına sahip olmadığı görülmektedir (Feklistov ve Fedina 2009; Kir ve ark. 2011). Ancak ilk kurulum ve işletme maliyetleri göz önüne alındığında elde edilen kabul edilebilir arıtım oranları, bu sistemlerin konvansiyel arıtım sistemlerine bir alternatif olarak B ile kirlenmiş atık suların veya yer altı sularının arıtılması için kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca ters ozmoz ve iyon değiştirici sistemler ile birlikte kullanılacak ekilmiş sulak alanlar, hem bu sistemlerde kullanılan membranların ömürlerini uzatabilir, hem de arıtım performanslarını olumlu yönde etkileyebilir.

Yapılan analizlere göre sistemlerden salınan suların hala tarımsal sulama ve içme suyu standartlarını karşılamadığı görülmektedir. Ancak bu tür suların birden fazla seride kurulan ekilmiş sulak alan sistemlerinden geçirilmesi, bu suların istenilen standartlara getirilmesini sağlayabilir. Bununla birlikte işletme sahası içerisinde bulunan atık su göletlerinin ve dekabaj alanlarının etrafına ekilmiş sulak alanların kurulması bu bölgelerden kaynaklanacak sızıntıların hem kontrolünü sağlayabilir hem de bunların çevreye vereceği zararları en aza indirebilir.

Çevre bilincinin her geçen gün arttığı günümüzde, bitkilerin yeşil gübre olarak kullanım potansiyelleri bir başka çevre dostu uygulama olarak ön plana çıkmaya başlamıştır (Arevalo ve ark. 2005; Tejada ve ark. 2008). Ekilmiş sulak alanda kullanılan bitkilerin, belirli periyotlar ile hasat edilip, B ve diğer besleyici

element içeriği bakımından fakir olan alanlarda yeşil gübre olarak kullanılabilceği düşünülmektedir. Bu uygulama ile birlikte, besleyici mineraller bakımından fakir topraklara, doğal unsurların kullanılması kimyasal gübrelerin uygulanması ile meydana gelebilecek ekolojik sorunlar engellenebilir.

Kısıtlı olanaklar dahilinde gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen bilgilerin, günlük B yükleme oranları, optimum hidrolik bekletme zamanı, farklı dolgu malzemeleri ve yatak boşluk hacmi gibi değerlendirmeleri de içerecek şekilde planlanacak araştırmalar için önemli bir veritabanı sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ainsworth, EA. ve Rogers, A. (2007), "The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO<sub>2</sub>]: mechanisms and environmental interactions", *Plant Cell Environ*, **30**, 258-270.
- Akman, Y., Ketenoğlu, O. ve Geven, F. (2001), *Vejetasyon ekolojisi ve araştirma yöntemleri*, Ankara.
- Akratos, C.S., Papaspyros, J.N.E. ve Tsihrintzis, V.A. (2008), "An artificial neural network model and design equations for BOD and COD removal prediction in horizontal subsurface flow constructed wetlands", *Chemical Engineering Journal*, **143**, 96-110.
- Akratos, C.S., Papaspyros, J.N.E. ve Tsihrintzis, V.A. (2009), "Total nitrogen and ammonia removal prediction in horizontal subsurface flow constructed wetlands: Use of artificial neural networks and development of a design equation", *Bioresource Technology*, **100**, 586-596.
- Alberini, A., Rosato, P., Longo A., Zanatta. (2005), "Information and willingness to pay in a contingent valuation study: the value of S. Erasmo in the Lagoon of Venice", *Journal of Environmental Planning and Management*, **48**, 155-175.
- Anonim (1994), *Orman toprak laboratuvarlarının kuruluş esasları ve laboratuvar teknikleri semineri*, T.C. Orman Bakanlığı Eskişehir Orman Toprak Laboratuvar Müdürlüğü, Eskişehir.
- Arevalo, C.B.M., Drew, A.P. ve Volk, T.A. (2005), "The effect of common Dutch white clover (*Trifolium repens* L.) as a green manure, on biomass production, allometric growth and foliar nitrogen of two willow clones", *Biomass and Bioenergy*, **29**, 22-31.
- Arienzo, M., Christen, E.W. ve Quayle, W.C. (2009), "Phytotoxicity testing of winery wastewater for constructed wetland treatment", *Journal of Hazardous Materials*, **169**, 94-99.
- Ayyildiz, H.F. ve Kara, H. (2005), "Boron removal by ion exchange membranes", *Desalination*, **180**, 99-108.

- Bahr, T.G., Ball, R. C. ve Tanner, H. A. (1974), *The Michigan State University Water Quality Management Program, In Wastewater Use in the Production of Food and Fiber-Proceedings*. U.S.EPA, 660/2-74-041.
- Barbera, A.C., Cirelli, G. L., Cavallaro, V., Silvestro, I. D., Pacifici, P., Castiglione, V., Toscano, A. ve Milani, M. (2009), "Growth and biomass production of different plant species in two different constructed wetland system in Sicily", *Desalination*, **45**, 26-38.
- Bassow, S. L., McConnaughay, K. D. M. ve Bazzaz, F. A. (1994), "The response of temperate tree seedlings grown in elevated CO<sub>2</sub> to extreme temperature events", *Ecological Applications*, **4**, 593-603.
- Bastías, E.I., González-Moro ve González-Murua, C. (2004), "Zea mays L. amylacea from the Lluta Valley (Arica-Chile) tolerates salinity stress when high levels of boron are available", *Plant and Soil*, **267**, 73-84.
- Batar, T., Köksal, N.S. ve Yersel, Ş.E. (2009), "Atık Bor, Atık Kağıt ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu", *Ekoloji* **18**, 45-53.
- Beaugrand, G. (2009). "Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas", *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **56**, 656-673.
- Belmont, M. A., Cantellano, E., Thompson, S., Williamson, M., Sánchez, A. ve Metcalfe, C.D. (2004) "Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico", *Ecological Engineering*, **23**, 299-311.
- Bentli, İ., Özdemir, O., Çelik, M.S. ve Ediz, N. (2001), "Bor Atıkları ve Değerlendirilme Stratejileri"
- Blankenberg, A-G.B., Haarstad, K. ve Søvik, A-K. (2008), "Nitrogen retention in constructed wetland filters treating diffuse agriculture pollution" *Desalination*, **226**, 114-120.
- Blevins, D.G. ve Lukaszewski, K.M. (1998), "Boron in plant structure and function", *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **49**, 481-500.
- Bolanos, L., Lukaszewski, K., Bonilla, I. ve Blevins, D. (2004), "Why Boron?" *Plant Physiology and Biochemistry*, **42**, 907-912.

- Bonanno, G., (2011), “Trace element accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) and biomonitoring applications”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **74**, 1057–1064.
- Boren, (2011), Bor Ulusal Araştırma Enstitüsü, <http://www.boren.gov.tr/>.
- Böcük, H. (2010), *Batı Anadolu’da Yüksek Bor İçeren Topraklarda Doğal Yayılış Gösteren Bitkilerin Toprak Bitki İlişkisi Bakımından Araştırılması*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 2010.
- Brander, L.M., Beukering, P.V. ve Cesar, H.S.J. (2007), “The recreational value of coral reefs: a meta-analysis”, *Ecological Economics*, **63**, 209-218.
- Brix, H. ve Arias, C.A. (2005) “The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines”, *Ecological Engineering*, **25**, 491-500.
- Brown, P.H., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F. ve Röheld, V. (2002), “Boron in Plant Biology”, *Plant Biol.*, **4**, 205-223.
- Bulc, T.G. ve Ojstršek, A. (2008), “The use of constructed wetland for dye-rich textile wastewater treatment”, *Journal of Hazardous Materials*, **155**, 76-82.
- Burton, T.M. ve Tiner, R.W. (2001), “Ecology of Wetlands”, *Trends in Ecology & Evolution*, **16**, 112.
- Calheiros, C.S.C., Teixeira, A., Pires, C., Franco, A.R., Duque, A.F., Crispim L.F.C., Moura, S.C. ve Castro, P.M.L. (2010), “Bacterial community dynamics in horizontal flow constructed wetlands with different plants for high salinity industrial wastewater polishing”, *Water Research*, **44**, 5032-5038.
- Candela, L., Igel, W.V., Elorza, F.J. ve Aronica, G. (2009), “Impact assessment of combined climate and management scenarios on groundwater resources and associated wetland (Majorca, Spain)”, *Journal of Hydrology*, **376**, 510-527.
- Chauveheid, E. ve Denis, M. (2004), “The boron-organic carbon correlation in water”, *Water Research*, **38**, 1663-1668.
- Chen, T.Y., Kao, C.M., Yeh, T.Y, Chien, H.Y. ve Chao, A.C. (2006) “Application of a constructed wetland for industrial wastewater treatment: A pilot-scale study” *Chemosphere*, **64**, 497-502.

- Chen, Z.M., Chen, Y. ve Zhou, J.B. (2009), “Emergy as embodied energy based assessment for local sustainability of a constructed wetland in Beijing”, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, **14**, 622–635.
- Cheng, S., Grosse, W., Karrenbrock, F. ve Thoennessen, M. (2002), “Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals”, *Ecological Engineering*, **18**, 317-325.
- Clair, T.A., Arp, P., Moore, T.R., Dalva, M. ve Meng, F.-R. (2002), “Gaseous carbon dioxide and methane, as well as dissolved organic carbon losses from a small temperate wetland under a changing climate” *Environmental Pollution*, **116**, 143-148.
- Clark, R.B., Zeto, S.K., Ritchey, K.D. ve Baligar, V.C. (1999), “Boron accumulation by maize grown in acidic soil amended with coal combustion products”, *Fuel*, **78**, 179-185.
- Cooper, P. F., Job, G. D., Green, M. B. ve Shutes, R. B. E. (1996), *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, WRc Publications, Medmenham, Marlow, UK.
- Cossu, R., Haarstad, K., Lavagnolo, M. C. ve Littarru, P. (2001), “Removal of Municipal Solid Waste COD and NH<sub>4</sub>-N by Phyto-reduction: A Laboratory-scale Comparison of Terrestrial and Aquatic Species at Different Organic Loads”, *Ecological Engineering*, **16**, 459–470.
- Costanza, R., Fisher, B., Mulder, K., Liu, S. ve Christopher, T. (2007), “Biodiversity and ecosystem services: a multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production”, *Ecological Economics*, **61**, 478-491.
- Cronk, K.J. ve Fennessy, M.S. (2001), *Wetlands Plants: Biology and Ecology*, Lewis Publishers, Washington D.C., U.S.A.
- Czerepko, J., (2008), “A long-term study of successional dynamics in the forest wetlands”, *Forest Ecology and Management*, **255**, 630-642.
- Çiftçi, H., Kaplan Ş. Ş., Köseoğlu, H., Karakaya, E. ve Kitiş, M. (2007). “Yapay Sulak Alanlarda Atıksu Arıtımı ve Ekolojik Yaşam”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **23**, 149-160.

- Çöl, M. ve Çöl, C. (2003), “Environmental boron contamination in waters of Hisarcik area in the Kutahya Province of Turkey”, *Food and Chemical Toxicology*, **41**, 1417-1420.
- Davies, L.C, Cabrita, G.J.M., Ferreira, R.A., Carias, C.C., Novais, J.M. ve Martins-Dias, S. (2009), “Integrated study of the role of *Phragmites australis* in azo-dye treatment in A constructed wetland: From pilot to molecular scale”, *Ecological Engineering*, **35**, 961-970.
- Davis, S.M., Drake, K.D. ve Maier, K.J. (2002), “Toxicity of boron to the duckweed, *Spirodella polyrrhiza*”, *Chemosphere*, **48**, 615-620.
- Davison, L., Pont, D., Bolton, K. ve Headley, T. (2006), “Dealing with nitrogen in subtropical Australia: Seven case studies in the diffusion of ecotechnological innovation”, *Ecological Engineering*, **28**, 213-223.
- Dawson, T.P., Bery, P. ve Kampa, E. (2003), “Climate change impacts on freshwater wetland habitats”, *Journal for Nature Conservation*, **11**, 25-30.
- De Jong, J., (1976), *The purification of wastewater with the aid of rush or reed ponds*, in: *Biological Control of Water Pollution*, J. Tourbier, Pennsylvania University Press, Philadelphia, USA.
- Debusk, T.A., Laughlin Jr., R.B. ve Schwartz, L.N. (1996), “Retention and compartmentalization of lead and cadmium in wetland microcosms”, *Water Research*, **30**, 2707-2716.
- Demirörs, B. (2006), “Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Deng, H., Ye, Z.H. ve Wong, M.H. (2004), “Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China”, *Environmental Pollution*, **132**, 29-40.
- Dominguez-Tagle, C., Romero-Tertero, V.C. ve Delgado-Torres, A.M. (2011), “Boron removal efficiency in small seawater Reverse Osmosis systems”, *Desalination*, **265**, 43-48.
- Dordio, A., Carvalho, A.J.P., Teixeira, D.M., Dias, C.B. ve Pinto, A.P. (2010), “Removal of pharmaceuticals in microcosm constructed wetlands using *Typha* spp. and LECA”, *Bioresource Technology*, **101**, 886-892.

- Drinkwater, J.E, Beaugrand, G., Kaeriyama, M., Kim, S., Ottersen, G., Perry, R.L, Pörtner, H-O., Polovina, J.J. ve Takasuka, A. (2010), “On the processes linking climate to ecosystem changes”, *Journal of Marine Systems*, **79**, 374-388.
- Dudley, N. ve Stolton, S. (2003), *Running Pure: The importance of forest protected areas to drinking water*, WWF International, Switzerland.
- Dunne, E.J., Culleton, N., O’Donovan, G., Harrington, R. ve Olsen, A.E. (2005), “An integrated constructed wetlands to treat contaminants and nutrients from dairy farmyard dirty water”, *Ecological Engineering*, **24**, 219-232.
- Eraslan, F., İnal, A., Guneş, A. ve Alpaslan, M. (2007), “Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity”, *Scientia Horticulturae*, **113**, 120-128.
- Feklistov, K. ve Fedina, L.I. (2010), “Boron non-uniform precipitation in Si at the Ostwald ripening stage”, *Physica B*, **404**, 4641–4644.
- Fountoulakis, M.S., Terzakis, S., Chatzinotas, A., Brix, H., Kalogerakis, N. ve Manios, T. (2009), “Pilot-scale comparison of constructed wetlands operated under high hydraulic loading rates and attached biofilm reactors for domestic wastewater treatment”, *Science of The Total Environment*, **407**, 2996-3003.
- Galletti, A., Verlicchi, P. ve Ranieri, E. (2010), “Removal and accumulation of Cu, Ni and Zn in horizontal subsurface flowconstructed wetlands Contribution of vegetation and filling medium”, *Science of The Total Environment*, **408**, 5097-5105.
- Gan, X., Cai, Y., Choi, C., Ma, Z., Chan, J. ve Li, B.E. (2009), “Potential impacts of invasive *Spartina alterniflora* on spring bird communities at Chongming Dongtan, a Chinese wetland of international importance” *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **83**, 211-218.
- García-Lledó, A., Ruiz-Rueda, O., Vilar-Sanz A., Sala, L. ve Bañeras L. (2010), “Nitrogen removal efficiencies in a free water surface constructed wetlands in relation to plant coverage”, *Ecological Engineering*, **37**, 678-684.

- Gessner, T.P., Kadlec, R.H. ve Reaves, R.P., “Wetland remediation of cyanide and hydrocarbons”, *Ecological Engineering*, **25**, 457-469.
- Ghosh, D. ve Gopal, B. (2010), “Effect of hydraulic retention time on the treatment of secondary effluent in a subsurface flow constructed wetland”, *Ecological Engineering*, **36**, 1044-1051.
- Golbach, H.E., Wimmer, M.A. ve Findelee, P. (2000), “Discussion paper: Boron-How can the critical level be defined?”, *J. Plant Nutr. Soil. Sci.*, **163**, 115-121.
- Goldberg, S., Shouse, P.J., Lesch, S.M., Grieve, C.M., Poss, J.A., Forster, H.S. ve Suarez, D.L. (2003), “Effects of high boron application on boron content and growth of melons”, *Plant and Soil*, **256**, 403-411.
- Gottschall, N., Boutin, C., Crolla, A., Kinsley, C. ve Champagne, P. (2007), “The role of plants in the removal of nutrients at a constructed wetland treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada”, *Ecological Engineering*, **29**, 154-163.
- Goutlet, R.R. ve Pick, F.R., “Changes in dissolved and total Fe and Mn in a young constructed wetland: Implications for retention performance”, *Ecological Engineering*, **17**, 37-84.
- Grabherr, G. (2009), “Biodiversity in the high ranges of the Alps: Ethnobotanical and climate change perspectives”, *Global Environmental Change*, **19**, 167-172.
- Grafias, P., Xekoukoulotakis, N.P., Mantzavinos, D. ve Diamadopoulos, E. (2010), “Pilot treatment of olive pomace leachate by vertical flow constructed wetland and electrochemical oxidation: An efficient hybrid process”, *Water Research*, **44**, 2773-2780.
- Greiner, R.W. ve de Jong, J. (1984), *The Use of Marsh Plants for the Treatment of Waste Water in Areas Designated for Recreation and Tourism*. RIJP Report No. 225, Lelystad, The Netherlands.
- Grievea, C.M., Possa, J.A., Grattanb, S.R., Suarez, D.L. ve Smith T.E. (2010), “The combined effects of salinity and excess boron on mineral ion relations in broccoli”, *Scientia Horticulturae*, **125**, 179–187.

- Güyağüler, T. (2001), Türkiye Bor Potansiyeli, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s. 18-27, İzmir.
- Hadad, H.R, Maine, M.A. ve Bonetto, C.A. (2006), “Macrophyte growth in a pilot-scale constructed wetland for industrial wastewater treatment”, *Chemosphere*, **63**, 1744-1753.
- Hallberg, K.B. ve Johnson, D.B., (2005) “Microbiology of a wetland ecosystem constructed to remediate mine drainage from a heavy metal mine” *Science of the Total Environment*. **338**, 53-66.
- Han, S., Tang, N., Jiang, X-H., Yang, L-T., Li, Y. ve Chen, L-S. (2009), “CO<sub>2</sub> assimilation, photosystemII photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress”, *Plant Science*, **176**, 143-153.
- Harrington, R. ve McInnes, R. (2009), “Integrated Constructed Wetlands (ICW) for livestock wastewater management”, *Bioresource Technology*. **100**, 5498-5005.
- Haslam, S.M. (2003), *Understanding Wetlands: Fen, Bog, and Marsh*, Taylor & Francis, London, UK.
- Hatvany, M.G. (2009), “Wetlands and Reclamation”, *International Encyclopedia of Human Geography*, 241-246.
- Haydar, S. ve Aziz, J.A. (2009), “Characterization and treatability studies of tannery wastewater using chemically enhanced primary treatment (CEPT)-A case study of Saddiq LeatherWorks”, *Journal of Hazardous Materials*, **163**, 1076–1083.
- He, H., Pan, Y.Z., Zhu, W.Q., Liu, X.L., Zhang, Q. ve Zhu, X.F. (2005), “Measurement of terrestrial ecosystem service value in China”, *Chinese Journal of Applied Ecology*, **16**, 1122-1127.
- Herrick, B. ve Wolf, A.T. (2005), “Invasive Plant Species in Diked vs. Undiked Great Lakes Wetlands”, *Journal of Great Lakes Research*, **31**, 277-287.
- Hodgson, C.J., J. Perkins, J. ve Labadz, J.C., “The use of microbial tracers to monitor seasonal variations in effluent retention in a constructed wetland”, *Water Research*, **38**, 3833-3844.

- Houghton, J. T., Ding, Y. ve Griggs, D. J. (2001), *Climate change of 2001. The Scientific Basis*, Cambridge University Pres, Cambridge, UK.
- Hougner, C., Colding, J. ve Söderqvist, T., (2006), “Economic valuation of a seed dispersal service in the Stockholm National Urban Park, Sweden”, *Ecological Economics*, **59**, 364-374.
- Huang, J., Wang, S, Yan, L., ve Zhong, Q. (2010), “Plant photosynthesis and its influence on removal efficiencies in constructed wetlands”, *Ecological Engineering*, **36**, 1037-1043.
- Huxman, T. E., Hamerlynck, E. P., Loik, M. E. ve Smith, S. D. (1998), “Gas exchange and chlorophyll fluorescence responses of three south-western *Yucca* species to elevated CO<sub>2</sub> and high temperature”, *Plant, Cell and Environment*, **21**, 1275-1283.
- Hyung, H. ve Kim, J-H. (2006), “A mechanistic study on boron rejection by sea water reverse osmosis membranes”, *Journal of Membrane Science*, **286**, 269-278.
- IPCC. (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jenkins, W.A., Murray, B.C, Kramer, R.A. ve Faulkner, S.P. (2010), “Valuing ecosystem services from wetlands restoration in the Mississippi Alluvial Valley”, *Ecological Economics*, **69**, 1051-1061.
- Ji G.D., Sun, T.H., ve Ni, J.R. (2007), “Surface flow constructed wetland for heavy oil-produced water treatment”, *Bioresource Technology*, **98**, 436-441.
- Jing, S-R., Lin, Y-F., Lee, D-Y. ve Wang, T-W. (2001), “Nutrient removal from polluted river water by using constructed wetlands”, *Bioresource Technology*, **76**, 131-135.
- Joackin, A. (2007) “Removal of Pesticides from Wastewater by Constructed Wetlands: the influence of an inoculum”, Master Thesis, Uganda.
- Johnson, D.B., ve Hallberg, K.B. (2005), “Acid mine drainage remediation options: a review”, *Science of the Total Environment*, **338**, 3-14.

- Kabay, N., Sarp, S., Yuksel, M., Arar, Ö. ve Bryjak, M. (2007), “Removal of boron from seawater by selective ion exchange resins”, *Reactive & Functional Polymers*, **67**, 1643-1650.
- Kabay, N., Yilmaz-Ipek, I., Soroko, I., Makowski, M., Kirmizisakal, O., Yag, S., Bryjak, M. ve Yuksel, M. (2009), “Removal of boron from Balçova geothermal water by ion exchange–microfiltration hybrid process”, *Desalination*, **241**, 167-173.
- Kacar, B. (1995), *Bitki ve toprağın kimyasal analizleri*, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No:3, Ankara.
- Kadlec, R.H. ve Knight, R.L. (1996), *Treatment Wetlands*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Kadlec, R.H., Axler, R., McCarthy, B. ve Henneck, J. (2003), *Constructed Wetlands for Wastewater treatment in Cold Climates*, WIT Press, Southampton, UK.
- Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. ve Haberl, R., (2000), *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. IWA Specialist Group on use of Macrophytes in Water Pollution Control. IWA Publishing.
- Kantawanichkul, S., Kladprasert, S. ve Brix, H. (2009), “Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetlands planted with *Typha angustifolia* and *Cyperus involucratus*”, *Ecological Engineering*, **35**, 238-247.
- Karabal, E., Yücel, M. ve Öktem, H.A. (2003), “Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity”, *Plant Science*, **164**, 925-933.
- Keffala, C. ve Ghrabi, A. (2005), “Nitrogen and bacterial removal in constructed wetland treating domestic waste water”, *Desalination*, **185**, 383-389.
- Kehal, M., Reinert, L. ve Duclaux, L. (2010), “Characterization and boron adsorption capacity of vermiculite modified by thermal shock or H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reaction and/or sonication”, *Applied Clay Science*, **48**, 561-568.

- Khan, S., Ahmad, I., M. Shah, M.T., Rehman, S. ve Khaliq, A. (2009) “Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater”, *Journal of Environmental Management*, **90**, 3451-3457.
- Kim, S.G. (2010), “The evolution of coastal wetland policy in developed countries and Korea”, *Ocean & Coastal Management*, **53**, 592-569.
- Kir, E., Gurler, B. ve Gulec, A. (2011), “Boron removal from aqueous solution by using plasma-modified and unmodified anion-exchange membranes”, *Desalination*, **267**, 114-117.
- Knight, R.L., Clarke R.A. ve Bastian, R.K. (2001), “Surface flow (SF) treatment wetlands as a habitat for wildlife and humans”, *Wat. Sci. Technol.*, **44(11-12)**, 27-37.
- Koskiaho, J., Ekholm, P., Rätty, M., Riihimäki, J. ve Puustinen, M. (2003), “Retaining agricultural nutrients in constructed wetlands-experiences under boreal conditions”, *Ecological Engineering*, **20**, 89-103.
- Körner, C. (2006), “Plant CO<sub>2</sub> responses: an issue of definition, time and resource supply”, *New Phytol*, **172**, 393-411.
- Krejčova, A. ve Černohorsky, T. (2003), “The determination of boron in tea and coffee by ICP-AES method”, *Food Chemistry*, **82**, 303-308.
- Kröpfelova, L., Vymazal, J., Švehla, J. ve Štichová, J. (2010), “Removal of trace elements in three horizontal sub-surface flow constructed wetlands in the Czech Republic”, *Environmental Pollution*, **157**, 1186-1194.
- Kusler, J. (2005), “Common Questions: Wetland, Climate Change, and carbon sequestering”, two workshop and synthesis as part of the Quebec international conference.
- Laba, M., Blair, B., Downs, R., Monger, B., Philpot, W., Smith, S., Sullivan, P. ve Bavey, P.C. (2010), “Use of textural measurements to map invasive wetland plants in the Hudson River National Estuarine Research Reserve with IKONOS satellite imagery”, *Remote Sensing of Environment*, **114**, 876-886.
- Laird, S., Johnston, S., Wynberg, R., Lisinge, E. ve Lohan, D. (2003), *Biodiversity access and benefit-sharing policies for protected areas: an introduction*, United Nations University Institute of Advanced Studies, Japan.

- Leakey, ADB., Ainsworth, EA., Bernacchi, CJ., Rogers, A., Long, SP., Ort, DR. (2009) “Elevated CO<sub>2</sub> effects on plant carbon, nitrogen, and water relations:six important lessons from FACE”, *J exp Bot.* **60**, 2859–76.
- Lee, M.S., Drizo, A., Rizzo, D.M., Druschel, G., Hayden, N. ve Twohig, E. (2010) “Evaluating the efficiency and temporal variation of pilot-scaleconstructed wetlands and steel slag phosphorus removing filters for treating dairy wastewater”, *Water Research*, **44**, 4077-4086.
- Lee, W.L., Teal, J.M. ve Hinkle, R. (2005), “Designing large-scale wetland restoration for Delaware Bay”, *Ecological Engineering*, **25**, 231-239.
- Lehto, T., Kallio, E. ve Aphalo, P. J. (2000), “Boron Mobility in Two Coniferous Species”, *Annals of Botany*, **86**, 547-550.
- Lesage, E., Rousseau, D.P.L., Meers, E., Tack, F.M.G. ve De Pauw, N. (2007), “Accumulation of metals in a horizontal subsurface flow constructed wetland treating domestic wastewater in Flanders, Belgium” *Science of The Total Environment*, **380**, 102-115.
- Lesley, B, Daniel, H. ve Paul., Y. (2008), “Iron and manganese removal in wetland treatment systems: Rates, processes and implications for management”, *Science of the Total Environment*, **394**, 1-8.
- Li, H., Ye, Z.H., Wei, Z. J. ve Wang, M.H. (2011), “Root porosity and radial oxygen loss related to arsenic tolerance and uptake in wetland plants” *Environmental Pollution*, **159**, 30-37.
- Lindner, M. Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M.J ve Marchetti, M. (2010), “Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems”, *Forest Ecology and Management*, **259**, 698-709.
- Liu, J., Dong, J. Xu, H., Wang, D. ve Xu, J. (2007), “Accumulation of Cd, Pb and Zn by 19 wetland plant species in constructed wetland”, *Journal of Hazardous Materials*, **147**, 947-953.
- Lloret, F., Penuelas, J., Prieto, P., Llorens, L. ve Estiarte, M. (2009), “Plant community changes induced by experimental climate change: Seedling and

- adult species composition”, *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **11**, 53-63.
- Macedonio, F. ve Drioli, E. (2009), “Pressure-driven membrane operations and membrane distillation technology integration for water purification”, *Desalination*, **223**, 396–409.
- Maddison, M., Mairing, T., Remm, K., Lesta, M. ve Mander, Ü. (2009), “Dynamics of *Typha latifolia* L. populations in treatment wetlands in Estonia”, *Ecological Engineering*, **35**, 258-264.
- Maine, M.A., Suñe, N., Hadad, H, Sánchez, G. ve Bonetto, C. (2009), “Influence of vegetation on the removal of heavy metals and nutrients in a constructed wetland”, *Journal of Environmental Management*, **90**, 355-363.
- Majidi, A., Rahnemaie, R., Hassani, A. ve Malakouti, M.J. (2010), “Adsorption and desorption processes of boron in calcareous soils”, *Chemosphere*, **80**, 733–739.
- Maltais-Landry, G., Maranger, R ve Brisson, J. (2009), “Effect of artificial aeration and macrophyte species on nitrogen cycling and gas flux in constructed wetlands”, *Ecological Engineering*, **35**, 221-229.
- Manios, T., Stentiford, E. ve Millner, P., (2003), “The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferous water”, *Ecological Engineering*, **20**, 65-74.
- Marin, C.M.D-C. ve Oron, G. (2007), “Boron removal by the duckweed *Lemna gibba*: A potential method for the remediation of boron-polluted waters”, *Water Research*, **41**, 4579-4584.
- Milzow, C., Burg, V. ve Kinzelbach, W. (2010), “Estimating future ecoregion distributions within the Okavango Delta Wetlands based on hydrological simulations and future climate and development scenarios”, *Journal of Hydrology*, **381**, 89-100.
- Mitsch, J.M. ve Day, J.W. Jr. (2006), “Restoration of wetlands in the Mississippi–Ohio–Missouri (MOM) River Basin: Experience and needed research”, *Ecological Engineering*, **26**, 55-69.

- Mitsch, W.J. ve Gosselink, J.G. (1993), *Wetlands (2nd ed.)*, Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Mothes, F., Reiche, N., Fiedler, P., Moeder, M., ve Borsdorf, H. (2010) “Capability of headspace based sample preparation methods for the determination of methyl tert-butyl ether and benzene in reed (*phragmites australis*) from constructed wetlands”, *Chemosphere*, **80**, 396-403
- Murray-Guldea, C., Heatleya, J.E., Karanfil, T., Rodgers Jr., J.H. ve Myers, J.E., (2003), “Performance of a hybrid reverse osmosis-constructed wetland treatment system for brackish oil field produced water”, *Water Research*, **37**, 705–713.
- Mustafa, A., Scholz, M., Harrington, R. ve Carroll, P. (2009), “Long-term performance of a representative integrated constructed wetland treating farmyard runoff”, *Ecological Engineering*, **35**, 779-790.
- Naghii, M.R. ve Samman, S., (1999) “The Effect of Boron on Plasma Testosterone and Plasma Lipid in Rats”, *Nutrition Research*, **17**, 523-531.
- Neal, C., Williams, R.C., Bowes, M.J., Harrass, M.C., Neal, M., Rowland, P., Wickham, H., Thacker, S., Harman, S., Vincent, C. ve Jarvie, H.P. (2010), “Decreasing boron concentrations in UK rivers: Insights into reductions in detergent formulations since the 1990s and within-catchment storage issues”, *Science of the Total Environment*, **408**, 1374-1385.
- Nyquist, J. ve Greger, M., (2009), “A field study of constructed wetlands for preventing and treating acid mine drainage”, *Ecological Engineering*, **35**, 630-642.
- O’Farrell, P.J., Donaldson, J.S. ve Hoffman, M.T. (2007), “The influence of ecosystem goods and services on livestock management practices on the Bokkeveld plateau, South Africa”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **122**, 312–324.
- Oertli, J.J. ve Grgurovic, E. (1975), “Effect of pH on the absorption of boron by excized barley noots”, *Agron. Journal*, **67**, 278.
- Okada, M., Grewell, B.J. ve Jasieniuk, M. (2009), “Clonal spread of invasive *Ludwigia hexapetala* and *L. grandiflora* in freshwater wetlands of California” *Aquatic Botany*. **91**, 123-129.

- Okay, O., Güçlü, H., Soner E. ve Balkaş, T. (1985), “Boron pollution in the Simav River, Turkey and various methods of boron removal”, *Water Research*, **19**, 857-862.
- Onderkov, B., Schlosser, S., Blahusiak, M. ve Bugel, M. (2009), “Microfiltration of suspensions of microparticulate boron adsorbent through a ceramic membrane”, *Desalination*, **241**, 148-155.
- Ong, S.A., Uchiyama, K., Inadama, D ve Yamagima, K. (2009), “Simultaneous removal of color, organic compounds and nutrients in azo dye-containing wastewater using up-flow constructed wetland”, *Journal of Hazardous Materials*, **165**, 696-703.
- Ong, S-A., Uchiyama, K., Inadama, D., Ishida, Y. ve Yamagiwa, K. (2010) “Performance evaluation of laboratory scale up-flow constructed wetlands with different designs and emergent plants”, *Bioresource Technology*, **101**, 7239-7244.
- Oren, Y., Linder, C., Daltrophe, N., Mirsky, Y., Skorka, J. ve Kedem, O. (2006), “Boron removal from desalinated seawater and brackish water by improved electrodialysis”, *Desalination*, **199**, 52–54.
- Ouattara, J-M.P., Coulibaly, L., Tiho, S., Ouattara, A. ve Gourene, G. (2011), “*Panicum maximum* (Jacq.) density effect upon macrofauna structure in sediments of pilot-scale vertical flow constructed wetland treating domestic wastewater”, *Ecological Engineering*, **37**, 217-223.
- Özpeker, Ö. (2001), Bor Yataklarının Değerlendirilmesi Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi, s 57-68.
- Öztürk, N. ve Köse, T.E. (2008), “Boron removal from aqueous solutions by ion-exchange resin: Batch studies”, *Desalination*, **227**, 233–240.
- Papadakis, I.E., Dimassi, K.N., Bosabalidis, A.M., Therios, I.N., Patakas, A. ve Giannakoula, A. (2004), “Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of ‘Navelina’ orange plants grafted on two rootstocks”, *Environmental and Experimental Botany*, **51**, 247-257.
- Pompe, S., Hanspach, J., Badeck, F-W, Klotz, S., Bruelheide, H. ve Kühn, I. (2010), “Investigating habitat-specific plant species pools under climate change”, *Basic and Applied Ecology*, **11**, 603-611.

- Prato, T. (2008), "Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change", *Ecological Complexity*, **5**, 329-338.
- Prochaska, C.A. ve Zouboulis, A.I. (2006), "Removal of phosphates by pilot vertical-flow constructed wetlands using a mixture of sand and dolomite as substrate", *Ecological Engineering*, **26**, 293-303.
- Reid, R. (2010), "Can we really increase yields by making crop plants tolerant to boron toxicity?", *Plant Science*, **178**, 9-11.
- Renman, A., Hylander, L.D. ve Renman, G. (2008), "Transformation and removal of nitrogen in reactive bed filter materials designed for on-site wastewater treatment", *Ecological Engineering*, **34**, 207-214.
- Resmi Gazete, (1997), *Say:23144*, Tarih 18/10/1997.
- Richardson, C.J., Flanagan, N.E., Ho, M. ve Pahl, J.W. (2011), "Integrated stream and wetland restoration A watershed approach to improved water quality on the landscape", *Ecological Engineering*, **37**, 25-39.
- Ricketts, T.H., Daily, G.C., Ehrlich, P.R. ve Michener, C.D. (2004), "Economic value of tropical forest to coffee production", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**, 12579-12582
- Robbins, W.A., Xun, L., Jia, J., Kennedy, N., Elashoff, D.A. ve Ping, L. (2010), "Chronic boron exposure and human semen parameters", *Reproductive Toxicology*, **29**, 184-190.
- Roden, J. S. ve Ball, M. C. (1996), "Growth and photosynthesis of two eucalypt species during high temperature stress under ambient and elevated [CO<sub>2</sub>]", *Global Change Biology*, **2**, 115-128.
- Ronkanen, A-K. ve Klove, B. (2008), "Hydraulics and flow modelling of water treatment wetlands constructed on peatlands in Northern Finland" *Water Research*, **42**, 3826-3836.
- Rousseau, D.P.L., Lesage, E., Story, A., Vanrolleghem, P.E. ve De Pauw, N. (2008), "Constructed Wetlands for water reclamation", *Desalination*. **218**, 181-189.
- Rousseau, D.P.L., Vanrolleghem, P.A. ve De Pauw, N. (2004), "Constructed wetlands in Flanders: a performance analysis", *Ecological Engineering*, **23**, 151-163.

- Rygiewicz, P.T., Monleon, V.J., Ingham, E.R., Martin, K.J. ve Johnson, M.G. (2010), "Soil life in reconstructed ecosystems: Initial soil food web responses after rebuilding a forest soil profile for a climate change experiment", *Applied Soil Ecology*, **45**, 26-38.
- Sagoff, M. (2011), "The quantification and valuation of ecosystem services" *Ecological Economics*, **70**, 497-502.
- Sah, R.N. ve Brown, P.H. (1997), "Boron determination-A review of analytical methods", *Microchemical Journal*, **56**, 285-304.
- Sartaj, M. ve Fernandes, L. (2005), "Adsorption of boron from landfill leachate by peat and the effect of environmental factors", *J Environ Eng Sci*, **4**, 19-28.
- Sasmaz, A. Obek, E., (2009). "The accumulation of arsenic, uranium, and boron in *Lemna gibba* L. exposed to secondary effluents", *Ecological Engineering*, **35**, 1564-1567.
- Sattout, E.J., Talhouk, S.N. ve Caligari, P.D.S. (2007). "Economic value of cedar relics in Lebanon: an application of contingent valuation method for conservation" *Ecological Economics*, **61**, 315-322.
- Scholz, M. ve Xu, J., (2002), "Performance comparison of experimental constructed wetlands with different filter media and macrophytes treating industrial wastewater contaminated with lead and copper", *Bioresource Technology*, **83**, 71-79.
- Sciall, A. R., Bonde, J.P., Brüske-Hohlfeld, I., Culver, B.D., Li, Y. ve Sullivan, F.M. (2010), "An overview of male reproductive studies of boron with an emphasis on studies of highly exposed Chinese workers", *Reproductive Toxicology*, **29**, 10-24.
- Scialli, A.R., Bonde, J.P, Brüske-Hohlfeld, I., Culver, B.D., Li, Y. ve Sullivan, F.M. (2010), "An overview of male reproductive studies of boron with an emphasis on studies of highly exposed Chinese workers", *Reproductive Toxicology*, **29**, 10-24.
- Seki, Y., Seyhan, S. ve Yurdakoc, M. (2006), "Removal of boron from aqueous solution by adsorption on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based materials using full factorial design" *Journal of Hazardous Materials*, **B138**, 60-66.

- Serrano, L., Varga, D., Ruiz, I. ve Soto, M. (2010), “Winery wastewater treatment in a hybrid constructed wetland” *Ecological Engineering*, **37**, 744-753.
- Sharma, K.R., Srivastava, P.C., Srivastava, P. ve Singh, V.P. (2006), “Effect of farmyard manure application on boron adsorption–desorption characteristics of some soils”, *Chemosphere*, **65**, 769-777.
- Smith, C.S., Adams, M.S. ve Gustafson, T.D. (1988), “The importance of belowground mineral element stores in cattails (*Typha latifolia* L.)” *Aquatic Botany*, **30**, 343-352.
- Smith, T.E., Grattan, S.R. Grieve, C.M., Poss, J.A. ve Suarez, D.L. (2010), “Salinity's influence on boron toxicity in broccoli: II. Impacts on boron uptake, uptake mechanisms and tissue ion relations”, *Agricultural Water Management*, **97**, 783-791.
- Sohsalam, P., Englande, A.J. ve Sirianuntapiboon, S. (2008), “Seafood wastewater treatment in constructed wetland: Tropical case”, *Bioresource Technology*, **99**, 1218–1224.
- Sosnova, M., Digglen, R.V. ve Klimesova, J. (2010), “Distribution of clonal growth forms in wetlands”, *Aquatic Botany*, **32**, 33-39.
- Stoltz, E. ve Greger, M., (2006) “Influences of wetland plants on weathered acidic mine tailings”, *Environmental Pollution*, **144**, 689-694.
- Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O., Müller, R.A. ve Moormann H. (2003), “Effects of Plants and Microorganisms in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment”, *Biotechnology Advances*, **22**, 93– 117.
- Sun, G., Zhao, Y. ve Allen, S., “Enhanced removal of organic matter and ammoniacal-nitrogen in a column experiment of tidal flow constructed wetland system”, *Journal of Biotechnology*, **115**, 189-197.
- Şimşek, A., Korkmaz, D., Velioglu, Y.S. ve Ataman, O.Y. (2003), “Determination of boron in hazelnut (*Coryllus avellana* L.) varieties by inductively coupled plasma optical emission spectrometry and spectrophotometry”, *Food Chemistry*, **83**, 293-296.
- Taiz, L. ve Zeiger, E. (2008), *Bitki fizyolojisi*, (Çeviri Editörü: İsmail Türkan), Palme Yayıncılık, Ankara.

- Tang, X., Eke, P.E., Scholz, M. ve Huang, S. (2009), “Processes impacting on benzene removal in vertical-flow constructed wetlands”, *Bioresource Technology*, **100**, 227-234.
- Taniguchi, M., Kurihara, M. ve Kimura, S. (2001), “Boron reduction performance of reverse osmosis seawater desalination process” *Journal of Membrane Science*, **183**, 259-267.
- Tao, W., Hall, K.J. ve Duff, S.J.B. (2006), “Performance evaluation and effects of hydraulic retention time and mass loading rate on treatment of woodwaste leachate in surface-flow constructed wetlands”, *Ecological Engineering*, **26**, 252-265.
- Taub, D. R., Seemann, J. R. ve Coleman, J. S. (2000), “Growth in elevated CO<sub>2</sub> protects photosynthesis against high-temperature damage”, *Plant, Cell and Environment*, **23**, 649-656.
- Tebitendwa, S.M. (2011), “A comparative study of the performance and economics of a waste stabilization pond and constructed wetland system in Juja, Kenya”, Master Thesis, Uganda.
- Tejeda, M., Gonzalez, J.L., Garcia-Martinez, A.M. ve Parrado, J. (2008), “Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield”, *Bioresource Technology*, **99**, 1758-1767.
- Trebitz, A. ve Taylor, D. (2007), “Exotic and Invasive Aquatic Plants in Great Lakes Coastal Wetlands Distribution and Relation to Watershed Land Use and Plant Richness and Cover”, *Journal of Great Lakes Research*, **33**, 705-721.
- Trivedi, M. R., Morecroft, M.D., Berry, P.M. ve Dawson, T.P. (2008), “Potential effects of climate change on plant communities in three montane nature reserves in Scotland, UK”, *Biological Conservation*, **141**, 1665-1675.
- Tu, K.L., Nghiem, L.D. ve Chivas, A.R. (2010), “Boron removal by reverse osmosis membranes in seawater desalination applications”, *Separation and Purification Technology*, **75**, 87–101.
- Tunçsiper, B. (2009) “Nitrogen removal in a combined vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetland system” *Desalination*, **247**, 466-475.

- Türe, C. ve Bell, R.W. (2004), "Plant Distribution and its Relationship to Extractable Boron in Naturally-Occuring High Boron Soils Turkey", *Israel Journal of Plant Science*, **52**, 125-132.
- Türe, C. ve Türe C. (2010), "Ekonomik Büyümenin Yeryüzündeki Gölgesi: Ekolojik Ayak İzi" *ESO-Eskişehir Sanayi Odası Dergisi*. **1**, 64-68.
- Türe, C., Bingöl, N.A. ve Middleton B. (2004), "Characterization of the Habitat of *Lhytrum salicaria* L. in Flood Plain Forests Along in Western Turkey - Effects of High and Seed Production" *Wetlands(Journal)*. **24**, 711-716.
- Türker, O.C., Türe, C. ve Böcük, H. (2010) "Bir Yatay Ekilmiş Sulak Alanın Yüksek Derecede Bor İçeren Suların Remediasyonu İçin Kullanılabilirliğinin ve Verimliliğinin Araştırılması" *Ekoloji Kongresi 2010, Aksaray Üniversitesi*.
- Uygan, D. ve Çetin, Ö. (2004), Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası" II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Üncü, R.Ü. (2001), Dünya Ham ve rafine Bor Pazarına Bir Bakış 4 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s 7-17, İzmir.
- Veenstra, S. (1998), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Vymazal, J. ve Kröpfelova, L. (2008), *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub- Surface Flow*, Publisher Springer.
- Vymazal, J. (2010), "The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater", *Ecological Engineering*, **35**, 1-17.
- Vymazal, J., Kröpfelová, L., Švehla, J., Chrastný, J. ve Štíhová, J. (2009) "Trace elements in *Phragmites australis* growing in constructed wetlands for treatment of municipal wastewater. *Ecological Engineering*, **35**, 303-309.
- Vymazal, J., Kröpfelová, L., Švehla, J. ve Štíhová, J. (2010), "Can multiple harvest of aboveground biomass enhance removal of trace elements inconstructe wetlands receiving municipal sewage?", *Ecological Engineering*, **36**, 939-945.
- Walker, D.J. ve Hurl, S. (2002), "The reduction of heavy metals in a stormwater wetland", *Ecological Engineering*, **18**, 407-414.

- Walker, N.J. ve Schulze R.E, (2008), “Climate change impacts on agro-ecosystem sustainability across three climate regions in the maize belt of South Africa”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **124**, 114-124.
- Wang, J., Seliskar, D.M. ve Gallagher, J.L. (2007), “Growth of tissue culture–regenerated salt marsh monocots in a simulated marsh field plot: Implication for wetland creation and restoration”, *Ecological Engineering*, **29**, 8-16.
- Wang, Q., Lu, L., Wu, X., Li, Y. ve Lin, J. (2003), “Boron influences pollen germination and pollen tube growth in *Picea meyeri*”, *Tree Physiology*, **23**, 345-351.
- Wang, S., McGrath, R., Hanafin, J., Lynch, P., Semmler, T. ve Nolan, P. (2008), “The impact of climate change on storm surges over Irish waters”, *Ocean Modelling*, **25**, 83-94.
- Wen, Y., Chen, Y., Zheng, N, Yang, D. ve Zhou, Q. (2010), “Effects of plant biomass on nitrate removal and transformation of carbon sources in subsurface-flow constructed wetland”, *Bioresource Technology*, **101**, 7286-7292.
- White, D. ve Fennessy, S. (2005), “Modeling the suitability of wetland restoration potential at the watershed scale”, *Ecological Engineering*, **24**, 359-377.
- White, R. A., Freeman, C. ve Kang, H. (2011), “Plant-derived phenolic compounds impair the remediation of acid mine drainage using treatment wetlands”, *Ecological Engineering*, **37**, 172-175.
- Whitney, D., Rossman, A. ve Hayden, N. (2003), “Evaluating an existing subsurface flow constructed wetland in Akumal, Mexico”, *Ecological Engineering*, **20**, 105-111.
- Withey, P. ve Van Kooten, G.C., “The effect of climate change on optimal wetland and waterfowl management in Western Canada” *Ecological Economics*, **70**, 798-805.
- WWF Yaşayan Gezegen Raporu (2010), *Biyçeşitlilik, biyolojik kapasite ve kalkınma*.
- Wyness, A.J., Parkman, R.H. ve Neal, C. (2003), “A summary of boron surface water quality data throughout the European Union”, *Science of the Total Environment*, **314-316**, 255-269.

- Xu, J-C, Chen, G., Huang, X-F, Li, G-M, Liu, J., Yang, N. ve Gao., S-N. (2009), “Iron and manganese removal by using manganese ore constructed wetlands in the reclamation of steel wastewater”, *Journal of Hazardous Materials*, **169**, 309-317.
- Yadav, A.K., Kumar, N ., Sreekrishnan, T.R., Satya, S. ve Bishnoi, N. R. (2010), “Removal of chromium and nickel from aqueous solution in constructed wetlands Mass balance, adsorption–desorption and FTIR study”, *Chemical Engineering Journal*, **160**, 122-128.
- Yalcuk, A., Pakdil, N.B. ve Turan, S.Y. (2010), “Performance evaluation on the treatment of olive mill waste water in vertical subsurface flow constructed wetlands”, *Desalination*, **262**, 209-214.
- Yang, W., Chang, J., Xu, B., Peng, C. ve Ge, Y. (2008), “Ecosystem service value assessment for constructed wetlands: A case study in Hangzhou, China” *Ecological Economics*, **68**, 116-125.
- Ye, Z., Lin, Z., Whiting, S., de Souza, M. ve Terry, N. (2003) “Possible use of constructed wetland to remove selenocyanate, arsenic, and boron from electric utility wastewater”, *Chemosphere*, **52**, 1571-1579.
- Yeh, T.Y., Chou, C.C. ve Pan, C.T. (2009), “Heavy metal removal within pilot-scale constructed wetlands receiving river water contaminated by confined swine operations”, *Desalination*, **249**, 368-373.
- Yılmaz, A.E., Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M.M. ve Kocadağistan, E. (2008), “An empirical model for kinetics of boron removal from boron containing wastewaters by the electrocoagulation method in a batch reactor”, *Desalination*, **230**, 288-297.
- Zaijun, L., Qijun, S., Zhengwei, C., Qin, W. ve Juan, Z. (2005), “1-(2,3,4-Trihydroxybenzylideneamino)-8-hydroxynaphthalene-3,6-disulfonic acid as reagent for spectrophotometric determination of boron in plants”, *Talanta*, **65**, 1307-1312.
- Zedler, J.B. ve Callaway, J.C. (2000), “Evaluating the progress of engineered tidal wetlands”, *Ecological Engineering*, **15**, 211-225.

- Zhang, L-Y., Zhang, L., Liu, Y-L., Shen, Y-W., Liu, H. ve Xiong, Y. (2010) “Effect of limited artificial aeration on constructed wetland treatment of domestic wastewater” , *Desalination*, **250**, 915-920.
- Zhou, J.B., Jiang, M.M., Chen, B. ve Chen, G.Q. (2009), “Emergy evaluations for constructed wetland and conventional wastewater treatments”, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, **14**, 1781-1789.
- Zhou, S. ve Hosomi, M. (2008), “Nitrogen transformations and balance in a constructed wetland for nutrient-polluted river water treatment using forage rice in Japan”, **32**, 147-155.
- Zhu, N., An, P., Krishnakumar, B., Zhao, L., Sun, L., Mizuochi, M. ve Inamori, Y., (2007), “Effect of plant harvest on methane emission from two constructed wetlands designed for the treatment of wastewater”, *Journal of Environmental Management*, **85**, 936-943.
- Zurita, F., De Anda, J. ve Belmont, M.A. (2009), “Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands”, *Ecological Engineering*, **35**, 861-869.

**EK-1** Sıcaklık ve basınç faktörleri verileri

		<b>S I C A K L I K</b>																				
		<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
<b>B A S I N Ç</b>	<b>660</b>	1.629	1.618	1.611	1.603	1.594	1.587	1.582	1.573	1.565	1.556	1.550	1.541	1.532	1.523	1.515	1.507	1.498	1.490	1.480	1.471	1.461
	<b>661</b>	1.631	1.621	1.614	1.605	1.596	1.590	1.584	1.576	1.567	1.559	1.552	1.543	1.534	1.526	1.518	1.509	1.500	1.492	1.483	1.473	1.464
	<b>662</b>	1.634	1.623	1.616	1.608	1.599	1.592	1.587	1.578	1.570	1.561	1.555	1.546	1.537	1.528	1.520	1.512	1.502	1.495	1.485	1.475	1.466
	<b>663</b>	1.636	1.626	1.619	1.610	1.601	1.595	1.589	1.581	1.572	1.564	1.557	1.548	1.539	1.530	1.523	1.514	1.505	1.497	1.487	1.478	1.468
	<b>664</b>	1.639	1.628	1.621	1.613	1.604	1.597	1.592	1.583	1.575	1.566	1.560	1.551	1.542	1.533	1.525	1.517	1.507	1.499	1.480	1.480	1.471
	<b>665</b>	1.641	1.631	1.624	1.615	1.606	1.600	1.594	1.586	1.577	1.569	1.562	1.553	1.544	1.535	1.527	1.519	1.510	1.502	1.492	1.482	1.473
	<b>666</b>	1.644	1.633	1.626	1.618	1.609	1.602	1.597	1.588	1.580	1.571	1.564	1.555	1.546	1.538	1.530	1.521	1.512	1.504	1.494	1.484	1.475
	<b>667</b>	1.646	1.636	1.629	1.620	1.611	1.605	1.599	1.591	1.582	1.574	1.567	1.558	1.549	1.540	1.532	1.524	1.514	1.506	1.497	1.487	1.478
	<b>668</b>	1.649	1.638	1.632	1.623	1.614	1.607	1.601	1.593	1.584	1.576	1.569	1.560	1.551	1.543	1.535	1.526	1.517	1.509	1.499	1.490	1.480
	<b>669</b>	1.651	1.641	1.634	1.625	1.616	1.610	1.604	1.595	1.587	1.579	1.571	1.563	1.553	1.545	1.537	1.528	1.519	1.511	1.501	1.492	1.482
	<b>670</b>	1.654	1.644	1.637	1.628	1.619	1.612	1.606	1.598	1.589	1.581	1.574	1.565	1.556	1.547	1.539	1.531	1.521	1.513	1.504	1.496	1.485
	<b>671</b>	1.695	1.646	1.639	1.630	1.621	1.615	1.609	1.600	1.592	1.584	1.576	1.568	1.558	1.550	1.542	1.533	1.524	1.516	1.506	1.497	1.487
	<b>672</b>	1.639	1.649	1.642	1.633	1.624	1.617	1.611	1.603	1.594	1.586	1.579	1.570	1.561	1.552	1.544	1.536	1.526	1.518	1.508	1.499	1.489
	<b>673</b>	1.661	1.651	1.644	1.635	1.626	1.620	1.614	1.605	1.597	1.588	1.581	1.572	1.563	1.555	1.547	1.538	1.529	1.520	1.511	1.501	1.492
	<b>674</b>	1.663	1.654	1.647	1.638	1.629	1.622	1.616	1.608	1.599	1.591	1.584	1.575	1.566	1.557	1.549	1.540	1.531	1.523	1.513	1.504	1.494
	<b>675</b>	1.666	1.656	1.649	1.640	1.631	1.625	1.619	1.610	1.602	1.593	1.586	1.577	1.568	1.559	1.551	1.543	1.533	1.525	1.515	1.506	1.496
	<b>676</b>	1.669	1.659	1.652	1.643	1.634	1.627	1.621	1.613	1.604	1.596	1.588	1.580	1.570	1.562	1.554	1.545	1.536	1.527	1.518	1.508	1.499
	<b>677</b>	1.671	1.661	1.654	1.646	1.637	1.630	1.624	1.615	1.606	1.598	1.591	1.582	1.573	1.564	1.556	1.547	1.538	1.530	1.520	1.511	1.501
	<b>678</b>	1.674	1.664	1.657	1.648	1.639	1.632	1.626	1.618	1.609	1.601	1.593	1.584	1.575	1.567	1.558	1.550	1.540	1.532	1.523	1.513	1.503
	<b>679</b>	1.676	1.667	1.659	1.652	1.642	1.635	1.628	1.620	1.611	1.603	1.596	1.587	1.578	1.569	1.561	1.532	1.543	1.534	1.525	1.515	1.506
<b>680</b>	1.679	1.669	1.662	1.653	1.644	1.637	1.631	1.622	1.611	1.606	1.598	1.589	1.580	1.572	1.563	1.554	1.545	1.537	1.527	1.518	1.508	
<b>681</b>	1.681	1.672	1.664	1.656	1.647	1.640	1.633	1.625	1.616	1.608	1.600	1.592	1.582	1.574	1.566	1.557	1.548	1.539	1.530	1.520	1.510	
<b>682</b>	1.684	1.674	1.667	1.658	1.649	1.642	1.636	1.627	1.619	1.610	1.603	1.594	1.585	1.576	1.568	1.559	1.550	1.542	1.532	1.522	1.513	
<b>683</b>	1.686	1.677	1.669	1.662	1.652	1.645	1.638	1.630	1.621	1.613	1.605	1.596	1.587	1.579	1.570	1.562	1.552	1.544	1.534	1.525	1.515	
<b>684</b>	1.689	1.679	1.672	1.663	1.654	1.647	1.641	1.632	1.624	1.615	1.608	1.599	1.590	1.581	1.573	1.564	1.555	1.546	1.537	1.527	1.518	
<b>685</b>	1.691	1.682	1.674	1.666	1.657	1.650	1.643	1.635	1.626	1.618	1.610	1.601	1.592	1.584	1.575	1.566	1.557	1.549	1.539	1.529	1.520	

BASINÇ

686	1.694	1.684	1.677	1.668	1.659	1.652	1.646	1.637	1.629	1.620	1.612	1.604	1.594	1.586	1.577	1.569	1.560	1.551	1.541	1.532	1.522
687	1.696	1.687	1.679	1.671	1.662	1.655	1.648	1.640	1.631	1.623	1.615	1.606	1.597	1.588	1.580	1.571	1.562	1.553	1.544	1.534	1.525
688	1.699	1.689	1.682	1.673	1.664	1.657	1.650	1.642	1.633	1.625	1.617	1.608	1.599	1.591	1.582	1.574	1.564	1.556	1.546	1.537	1.527
689	1.701	1.692	1.684	1.676	1.667	1.660	1.653	1.644	1.636	1.627	1.620	1.611	1.602	1.593	1.585	1.576	1.567	1.558	1.548	1.539	1.529
690	1.704	1.695	1.687	1.678	1.670	1.662	1.656	1.647	1.638	1.630	1.622	1.613	1.604	1.596	1.587	1.578	1.569	1.560	1.551	1.541	1.532
691	1.706	1.697	1.689	1.681	1.672	1.665	1.658	1.649	1.641	1.632	1.624	1.616	1.607	1.598	1.589	1.581	1.572	1.563	1.553	1.544	1.534
692	1.709	1.700	1.692	1.683	1.674	1.667	1.660	1.652	1.643	1.635	1.627	1.618	1.609	1.600	1.592	1.583	1.574	1.565	1.556	1.546	1.536
693	1.711	1.702	1.694	1.685	1.677	1.670	1.663	1.654	1.646	1.637	1.629	1.620	1.612	1.603	1.594	1.585	1.576	1.567	1.558	1.548	1.539
694	1.714	1.705	1.697	1.688	1.680	1.672	1.665	1.657	1.648	1.640	1.632	1.623	1.614	1.605	1.597	1.588	1.579	1.570	1.560	1.551	1.541
695	1.716	1.707	1.699	1.691	1.682	1.675	1.668	1.659	1.652	1.642	1.634	1.625	1.616	1.608	1.599	1.590	1.581	1.572	1.563	1.553	1.543
696	1.719	1.710	1.702	1.693	1.684	1.677	1.670	1.662	1.653	1.645	1.636	1.627	1.619	1.610	1.601	1.593	1.583	1.574	1.565	1.555	1.546
697	1.721	1.712	1.704	1.696	1.687	1.680	1.672	1.664	1.656	1.647	1.639	1.630	1.621	1.612	1.604	1.595	1.586	1.577	1.567	1.558	1.548
698	1.724	1.715	1.707	1.698	1.689	1.682	1.675	1.667	1.658	1.650	1.641	1.633	1.623	1.615	1.606	1.597	1.588	1.579	1.570	1.560	1.550
699	1.726	1.723	1.709	1.701	1.692	1.685	1.677	1.669	1.660	1.652	1.644	1.635	1.626	1.617	1.609	1.600	15.901	1.561	1.572	1.562	1.553
700	1.729	1.720	1.712	1.703	1.694	1.687	1.680	1.671	1.663	1.654	1.646	1.637	1.628	1.620	1.611	1.602	1.593	1.584	1.574	1.565	1.555
701	1.731	1.723	1.714	1.706	1.697	1.690	1.682	1.674	1.665	1.657	1.649	1.640	1.631	1.622	1.613	1.604	1.595	1.586	1.577	1.567	1.557
702	1.734	1.725	1.717	1.708	1.700	1.692	1.685	1.676	1.668	1.659	1.651	1.642	1.633	1.624	1.616	1.607	1.598	1.589	1.579	1.569	1.560
703	1.736	1.728	1.719	1.711	1.702	1.695	1.687	1.679	1.670	1.662	1.653	1.645	1.636	1.627	1.618	1.609	1.600	1.591	1.581	1.572	1.562
704	1.738	1.730	1.722	1.713	1.705	1.697	1.690	1.681	1.673	1.664	1.656	1.647	1.638	1.629	1.621	1.612	1.602	1.593	1.584	1.574	1.564
705	1.741	1.733	1.724	1.716	1.707	1.700	1.692	1.684	1.675	1.667	1.658	1.649	1.640	1.632	1.623	1.614	1.605	1.596	1.586	1.576	1.567
706	1.744	1.735	1.727	1.718	1.710	1.702	1.695	1.686	1.677	1.669	1.661	1.652	1.643	1.634	1.625	1.616	1.607	1.596	1.588	1.579	1.569
707	1.746	1.738	1.729	1.721	1.712	1.705	1.697	1.689	1.680	1.672	1.663	1.654	1.645	1.637	1.628	1.619	1.609	1.600	1.591	1.581	1.571
708	1.749	1.740	1.732	1.723	1.715	1707	1.699	1.691	1.682	1.674	1.665	1.657	1.648	1.639	1.630	1.621	1.612	1.603	1.593	1.583	1.574
709	1.751	1.743	1.735	1.726	1.717	1.710	1.702	1.693	1.685	1.676	1.668	1.659	1.650	1.641	1.633	1.623	1.614	1.605	1.595	1.586	1.576
710	1.754	1.745	1.737	1.728	1.720	1.712	1.704	1.696	1.687	1.679	1.670	1.661	1.652	1.644	1.635	1.626	1.617	1.607	1.598	1.588	1.579
711	1.756	1.748	1.740	1.731	1.722	1.715	1.707	1.698	1690	1.381	1.673	1.664	1.655	1.646	1.637	1.628	1.619	1.610	1.600	1.591	1.581
712	1.759	1.750	1.742	1.733	1.725	1.717	1.709	1.701	1.692	1.684	1.675	1.666	1.657	1.649	1.640	1.631	1.621	1.612	1.603	1.593	1.583
713	1.761	1.753	1.745	1.736	1.727	1.720	1.712	1.703	1.695	1.686	1.678	1.669	1.660	1.651	1.642	1.633	1.624	1.614	1.605	1.595	1.586
714	1.764	1.756	1.747	1.738	1.730	1.722	1.714	1.706	1.697	1.689	1.680	1.671	1.662	1.653	1.644	1.635	1.626	1.617	1.607	1.596	1.588

## EK-2 Toprak fiziği üçgeni

