

**SU MERCİMEĞİ (*LEMNA MINOR*) BİTKİSİ
İLE AĞIR METAL İÇEREN GALA GÖLÜ
SULARININ İLERİ ARITIMININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**
Özge Bahar ÖZKOÇ
Yüksek Lisans Tezi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

Tekirdağ, 2011

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SU MERCİMEĞİ (*LEMNA MINOR*) BİTKİSİ İLE AĞIR METAL İÇEREN GALA
GÖLÜ SULARININ İLERİ ARITIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÖZGE BAHAR ÖZKOÇ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN : YRD. DOÇ. DR. GÜNAY YILDIZ TÖRE

TEKİRDAĞ-2011

Her hakkı saklıdır.

Yrd. Doç. Dr. Günay Yıldız Töre danışmanlığında, Özge Bahar ÖZKOÇ tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Süreyya Meriç PAGANO

İmza :

Üye : Prof. Dr. Aydın ADILOĞLU

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SU MERCİMEĞİ (*LEMNA MINOR*) BİTKİSİ İLE AĞIR METAL İÇEREN GALA GÖLÜ SULARININ İLERİ ARITIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Özge Bahar ÖZKOÇ

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

Juri: Prof. Dr. Süreyya Meriç PAGANO

Juri: Prof. Dr. Aydın ADILOĞLU

Literatürde ağır metal (Kadmiyum, Bakır, Kurşun, ve Nikel) kirliliğine sahip olan Gala gölü ve çevresindeki tarımsal faaliyet dönüş sularının karakterizasyonuna yönelik bir çok çalışma yapılmış olmasına karşın, ağır metal kirliliğinin giderimi için en uygun arıtma yönteminin belirlenmesine yönelik herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır. Bu çalışmada; son yıllarda çevre dostu arıtma teknolojileri kapsamında dünyada yaygın olarak kullanılan DOĞAL ARITMA SİSTEMLERİ'ne odaklanılmıştır. Bu amaçla Gala gölü suları ile bu alandaki tarımsal faaliyetlerden dönüş sularının toplandığı deşarj kanalında (IP-1) ağır metal kirliliğinin Gala Gölü florasında yaygın olarak bulunan su mercimeği (*Lemna minor*) bitkisi ile giderim verimliliği laboratuvar koşullarında araştırılmıştır.

Bu çerçevede, çalışmanın birinci aşamasında; Gala Gölünden ve deşarj kanalından (IP 1) alınan su numunelerinde yukarıda belirtilen ağır metal analizleri bazında bir karakterizasyon yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise; karakterizasyonu yapılan su numunelerindeki ağır metal giderim verimi, Gala Gölü'nün kuzeyinde bulunan Tekke deresinden toplanan su mercimekleri (*Lemna Minor*) ile tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar iki farklı hacimde (100ml ve 500 ml), iki kontrol grubu kullanılarak bitkili (Kontrol 1) ve bitkisiz (Kontrol 2) olmak üzere kesikli olarak yürütülmüş ve ağır metaller (Kadmiyum, Bakır, Kurşun, ve Nikel) bazında bir değerlendirme yapılmıştır. 100ml'lik bitkili Test ve Kontrol 1 reaktörlerinde deşarj kanalından (IP-1) alınan su numunesinde giderim verimleri sırasıyla Kadmiyum (Cd), Bakır (Cu) ve Kurşun (Pb) giderimleri sırasıyla %78, %87 ve %90, bitkisiz olan Kontrol 2 reaktöründe ise sırasıyla %53, %52 ve %60 olarak bulunmuştur. 500ml'lik bitkili Test ve Kontrol 1 reaktörlerinde deşarj kanalından (IP-1) alınan su numunesinde ise sırasıyla Kadmiyum(Cd), Bakır(Cu) ve Kurşun(Pb) giderimleri %85, %92 ve %96, Kontrol 2(bitkisiz) reaktöründe ise sırasıyla %59, %54 ve %64 olarak bulunmuştur. Deşarj kanalı (IP-1) su numunesinde Nikel kirliliğine rastlanmamıştır. Gala Gölünden alınan su numunesinde ise sadece Kurşun kirliliği tespit edilmiş olup, 100ml ve 500ml'lik bitkili test ve Kontrol 1 reaktörlerinde kurşun giderim verimi sırasıyla %80 ve %91, Kontrol 2 (bitkisiz) reaktörlerinde ise sırasıyla %58 ve %67 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmanın üçüncü aşamasında su mercimekleri (*Lemna Minor*) laboratuvar şartlarına adapte edildikten sonra Gala Gölü'nden ve deşarj kanalından (IP-1) alınan su numuneleri içersinde yedi gün bekletilmiş ve bitkide ağır metal ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, literatürdeki çalışmalarla uyumlu olarak Su mercimeği (*Lemna Minor*) bitkisinin bünyesine ağır metal tuttuğu bulunmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen tüm veriler çerçevesinde, su mercimeği (*Lemna Minor*) bitkisinin kullanıldığı doğal arıtma prosesinin, sudan başlıca önemli ağır metallerin (Kadmiyum(Cd), Bakır(Cu), Kurşun(Pb), Nikel (Ni)) gideriminde etkili ve daha düşük maliyetli bir alternatif olarak değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

2011, 88+viii sayfa

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Doğal arıtım sistemleri, Su mercimeği, Ağır metal giderimi, sucul bitkiler

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

THE USE OF DUCKWEED (*LEMNA MINOR*) FOR TERTIARY TREATMENT OF HEAVY METAL CONTAINING GALA LAKE

Özge Bahar ÖZKOÇ

DEPARTMENT OF ENVIROMENTAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF NAMIK KEMAL

Supervisor : Asist. Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

Jury : Prof. Dr. Süreyya Meriç PAGANO

Jury : Prof. Dr. Aydın ADILOĞLU

In literature, despite the many studies that have been done to characterize water samples from Lake Gala which has a heavy metal pollution and wastewater around it caused by agricultural activities (rice planting), there are no evaluation to determine the most appropriate treatment method for the removal of heavy metal pollution. Therefore in this study; in the scope of eco-friendly treatment technologies that are widely used around the world focus on the "NATURAL TREATMENT SYSTEMS". To achieve this, for heavy metal pollution in the discharge channel (IP-1) where the water in Lake Gala and the wastewater from agricultural activities collected, heavy metal pollution removal efficiency with duckweed (*Lemna minor*) commonly found in the flora of Lake Gala were investigated in laboratory conditions.

For this purpose, the first stage of the study the heavy metal content in water samples taken from Lake Gala and the discharge channel (IP-1) was characterized.

The second stage of the study, heavy metal pollution removal efficiency was determined by collected from the Tekke River (north of Gala Lake) duckweed plant (*Lemna minor*) from the characterized water samples. Experiments were carried out on two different volumes of water (100ml and 500ml) and two control groups were used, Control 1 (with *Lemna Minor*) and Control 2 (without *Lemna minor*). Performed in a semi-batch system, the heavy metal contents were measured. Results obtained from the discharge channel (IP-1) from 100ml Test and Control 1 reactors (with plant) showed removal efficiency; Cd 78%, Cu 87% and Pb 90%. 100ml Control 2 (without plant) showed removal efficiency; Cd 53%, Cu 52% and Pb 60%. 500ml Test and Control 1 (with plant) reactors from discharge channel (IP-1) showed removal efficiency; Cd 85%, Cu 92% and Pb 96%. 500ml Control 2 (without plant) removal efficiency; Cd 59%, Cu 54% and Pb 64%. No Nickel trace was found in water samples taken from the discharge channel (IP-1). Analysis from Lake Gala's water samples measured only the lead content. They showed the following results for lead removal efficiency in both 100ml and 500ml volumes; Test and Control 1 (with plant) (100ml) Pb 80% and (500ml) Pb 91%. Control 2 (without plant) (100ml) Pb 58% and (500ml) Pb 67%.

The third stage of the study after duckweed plants (*Lemna minor*) were adapted in laboratory conditions, then introduced into the water samples from Lake Gala and the discharge channel (IP-1) and left for seven days and heavy metal analysis of the duckweed (*Lemna minor*) was measured. According to results heavy metal was absorbed by duckweed (*Lemna Minor*) in the line with studies previously carried out.

According to all results from this study, natural treatment proses using duckweed (*Lemna minor*) is effective and low-cost alternative waste water proses for removing important heavy metals (cadmium(Cd), copper (Cu), lead(Pb), nickel(Ni)) from water.

2011, 88+viii pages

Key words : Heavy metal, natural wetland, duck weed, heavy metal removal, aquatic plants

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

DSİ	: Devlet Su İşleri
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
AKM	: Askıda Katı Madde
NH ₃ -N	: Amonyak Azotu
NH ₄ -N	: Amonyum Azotu
NO ₂ -N	: Nitrit Azotu
NO ₃ -N	: Nitrat Azotu
Pb(C ₂ H ₅) ₄	: Kurşun tetra etil
CdS	: Kadmiyum sülfür
CuS	: Kovallin
Cu ₂ S	: Kalkosin
Cu ₅ FeS ₄	: Bornit
CuFeS ₂	: Kalkopirit
Ni(Co) ₄	: Karbonik Nikel
PO ₄	: Fosfat Yüğü
BOD ₅	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
kg	: Kilogram
g	: Gram
mg	: Miligram
µg	: Mikrogram
m	: Metre
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
pH	: Hidrojen iyonları konsantrasyonu
P	: Fosfor
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SNF	: Su Kalite Sınıfı

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
SİMGELER DİZİNİ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Ağır Metallerden Kaynaklanan Çevre Kirliliği	1
1.2.Ağır Metallerin Çevredeki Kirlenici Etkileri	3
1.2.1. Kurşun.....	5
1.2.2.Kadmiyum.....	6
1.2.3.Bakır	8
1.2.4.Nikel.....	9
2.KAYNAK ÖZETLERİ	10
2.1.Gala Gölü Milli Parkı Genel Özellikleri.....	10
2.2.Kirlenici Kaynaklar ve Atık Yükleri	14
2.2.1.Noktasal Kirlenici Kaynaklar	15
2.2.2. Yayılı Kirlenici Kaynakalar	16
2.2.3.Toplam Kirlenici konsantrasyonları ve Değerlendirme.....	20
2.3. Doğal Arıtma Sistemleri	25
2.3.1. Su Bitkileri ile Atıksu Arıtımı.....	26
2.3.1.1Su Mercimeği	36
2.4.Sulak Alanların Türkiyede'ki ve Dünya'daki Yeri	40
2.4.1.Türkiye'de yapılan sulak alan çalışmaları	41
2.4.2.Dünyada yapılan sulak alan çalışmaları.....	47
2.5.Literatürde Sucul Bitkilerle Yapılan Ağır Metal Giderim Çalışmaları	48
3.MATERYAL VE METOD	53
3.1.Deneysel Çalışma Esasları.....	53
3.2. Laboratuar Çalışmaları	55
3.3. Analiz Metodları	58

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	60
4.1. Ağır Metal Giderim Verimlerinin Değerlendirilmesi.....	62
4.1.1.Kadmiyum Giderimi	64
4.1.2. Bakır Giderimi	66
4.1.3. Kurşun Giderimi	68
4.1.4. Nikel Giderimi	72
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR.....	82
TEŞEKKÜR	86
ÖZGEÇMİŞ.....	87
EKLER	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Çevrede Kirletici etkileri en fazla görülen ağır metaller	4
Çizelge 1.2. Tatlı sularda bazı ağır metallerin tipik toksisite değerleri	5
Çizelge 2.1. Milli Park alanının başlıca merkezlere uzaklıkları	14
Çizelge 2.2.Kara Kökenli Kirletici Kaynaklar	14
Çizelge 2.3 Yıllık kullanılan gübrelerin cins ve miktarları	17
Çizelge 2.4 İpsala İlçesi Çiftçiye Gübre Satış Miktarları	18
Çizelge 2.5 Yöredeki çeltik alanlarında kullanılan tarımsal ilaçların tür ve miktarları	18
Çizelge 2.6 Yöredeki Çeltik Alanlarında kullanılan tarımsal ilaçların miktarları.....	19
Çizelge 2.7 Ekim öncesi belirli noktalardan alınan su örnekleri için bazı parametreler	21
Çizelge 2.8 Ekim zamanı belirli noktalardan alınan su örnekleri için bazı parametreler.....	22
Çizelge 2.9 Hasat zamanı belirli noktalardan alınan su örnekleri için bazı parametreler	22
Çizelge 2.10 Meriç Nehri (Kapıkule mevki) su kaliteleri	23
Çizelge2.11.Meriç Nehri (Kapıkule Mevki) su kaliteleri.....	24
Çizelge 2.12Doğal arıtım sistemlerinde gerçekleşen arıtım mekanizmaları	31
Çizelge 2.13 Sucul Bitkilerin ortam koşulları	32
Çizelge 2.14 Yapay Sulak Alanlarda kullanılan köklü ve yüzücü bitkiler.....	34
Çizelge 2.15Su mercimeği için en iyi gelişme şartları	37
Çizelge 3.1.Ölçülen parametreler ve analiz metodları	59
Çizelge 3.2 ICP için önerilen ve kullanılan dalga boyları	59
Çizelge 3.3 Ağır metal analizlerinde ICP-OES için çalışma koşulları	59
Çizelge 4.1.Ekim Öncesi alınan sudaki ağır metal sonuçları	60
Çizelge 4.2.Ekim Zamanı alınan sudaki ağır metal sonuçları	60
Çizelge 4.3..Hasat sonrası alınan sudaki ağır metal sonuçları	60
Çizelge 4.4.Ekim zamanı deşarj kanalındaki giriş ve çıkış değerleri	62
Çizelge 4.5. Ekim zamanı Gala Gölü'ndeki deney öncesi ve sonrası değerleri.....	63
Çizelge 4.6 Su mercimeği bitkisinde bulunan ağır metal konsantrasyonları	78

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Gala Gölü Milli Parkının bölgedeki konumu	11
Şekil 2.2 Gala Gölü ve çevresindeki küçük göller	11
Şekil 2.3 Kullanılan toplam gübre miktarının yıllara göre değişimi	17
Şekil 2.4 Arıtma sistemleri ve doğal arıtma çeşitleri	25
Şekil 2.5 Arıtma sistemlerinde kullanılan bitki türleri	27
Şekil 2.6 Yüzealtı akışlı Yapay sulak alan sisteminin basit olarak görünüşü	29
Şekil 2.7 Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle konvansiyonel sistemlerin karşılaştırılması.....	30
Şekil 2.8 Sucul bitkiler	33
Şekil 2.9 Su mercimeği çeşitleri	36
Şekil 2.10 Yapay sulak alan akım şeması	42
Şekil 2.11 Yapay Sulak Alan görüntüsü.....	42
Şekil 2.12. Yapay sulak alan kesit görünüşü	46
Şekil 2.13. Yeniyayla Yapay atıksu akış diyagramı	46
Şekil 2.14 Hasır otu bitkisi	47
Şekil 2.15. <i>Canna indica</i> (Kana Çiçeği).....	47
Şekil 2.16. Baima Kanal Bitkisel Atık su Arıtma Sistemi.....	48
Şekil 3.1 Gala Gölü konumu	53
Şekil 3.2 Numune alma noktaları	53
Şekil 3.3. Su mercimeklerinin toplandığı alan	54
Şekil 3.4. <i>Lemna minor</i> bitkisinin doğal arazi şartlarındaki görünümü	55
Şekil 3.5 Laboratuvar ortamına adapte edilen Su mercimeklerinin görüntüsü	56

Şekil 3.6. Gala Gölünden alınan su numunesinin 100 ml lik reaktörlerdeki deney öncesi görünümü.....	56
Şekil 3.7 Sulama Kanalından alınan su numunesinin 100 ml lik reaktörlerdeki deney öncesi görünümü.....	57
Şekil 3.8 Gala Gölünden alınan su numunesinin 500 ml lik reaktörlerdeki deney öncesi görünümü.....	57
Şekil 3.9 Sulama Kanalından alınan su numunesinin 500 ml lik reaktörlerdeki deney öncesi görünümü.....	58
Şekil 4.1. IP-1 Deşarj kanalında ağır metal giderim verimlikleri.....	62
Şekil 4.2. Gala Gölü'nde ağır metal giderim verimlilikleri	63
Şekil 4.3. Deşarj Kanalında Kadmiyumun <i>Lemna minor</i> ile 100ml' lik reaktörlerde giderimi.	64
Şekil 4.4. Deşarj Kanalında Kadmiyumun <i>Lemna minor</i> ile 500 ml'lik reaktörlerde giderimi	65
Şekil 4.5. Deşarj Kanalında Bakırın <i>Lemna minor</i> ile 100 ml'lik reaktörlerde giderimi.....	66
Şekil 4.6. Deşarj Kanalında Bakırın <i>Lemna minor</i> ile 500 ml'lik reaktörlerde giderimi.....	67
Şekil 4.7. Deşarj Kanalında Kurşunun <i>Lemna minor</i> ile 100 ml'lik reaktörlerde giderimi	68
Şekil 4.8. Deşarj Kanalında Kurşunun <i>Lemna minor</i> ile 500 ml'lik reaktörlerde giderimi	69
Şekil 4.9. Gala Gölü'nde Kurşunun <i>Lemna minor</i> ile 100 ml'lik reaktörlerde giderimi.....	70
Şekil 4.10. Gala Gölü'nde Kurşunun <i>Lemna minor</i> ile 500 ml'lik reaktörlerde giderimi.....	71
Şekil 4.11. Deney öncesi 2l'lik kaplarda bitki örnekleri.....	72
Şekil 4.12. Deney sonrası 2l'lik kaplarda bitki örnekleri.....	72
Şekil 4.13 Su Mercimeğinde (<i>Lemna minor</i>) Ağır Metal Tutumu ölçmek için NMKL No 161 (1998) e göre yapılan ön işlemlerin akım şeması	73
Şekil 4.14. Etüve girmeden önce yüzeyden toplanan bitki örnekleri	74
Şekil 4.15. Etüvden sonra kurutulmuş bitki örnekleri	74
Şekil 4.16. Desikatörde soğutulan kurumuş bitki örnekleri	75
Şekil 4.17 Analitik terazide tartım işlemi	75
Şekil 4.18 Mühürleme işlemi	76
Şekil 4.19 Bitkilerin mikrodalgada yakılma işlemi	77

1.GİRİŞ

1.1. Ağır Metallerden Kaynaklanan Çevre Kirliliği

Hızlı ve dengesiz bir biçimde artan dünya nüfusu, yetersiz beslenme, plansız şehirleşme, yanlış arazi kullanımı, tehlikeli atıklar, hızla azalan yeşil alanlar ve ormanlar, bilinçsiz enerji tüketimi, endüstrileşme gibi daha birçok insan etkinliğinin yarattığı olumsuzluklar günümüzde yaşanan en önemli çevre sorunları olarak sıralanabilir (Yıldız ve ark. 2000). Bütün bunların bir sonucu olarak ortaya çıkan çevre kirliliği çağdaş yaşamın getirdiği bir olumsuzluktur. Evsel ve endüstriyel atıklar çevre kirliliğini oluşturan temel unsurlardır ve herhangi bir işlem görmeden doğaya verildiğinde “atık” adını alırlar. Atıkların çevre kirliliği oluşturmayacak şekilde başka yerlerde değerlendirilmesi yada parçalanarak doğaya verilmesi ile çevre kirlenmesi en aza iner ve bu orandaki bir kirliliği doğal süreçler zaten temizleyebilmektedir (<http://www.zmo.org.tr/etkinlikler/5tk02/44.pdf>).

Teknolojik gelişmelerin, sanayileşmenin ve sosyal yaşamın insanlığa kazandırdığı sayısız faydaların yanısıra, istenmeyen ve ekolojik dengeyi bozan ağır metal kirliliği her geçen gün artmaktadır. Bu oluşum önemli bir çevresel kirliliktir ve çok küçük konsantrasyonlarda bile toksiktir (<http://www.zmo.org.tr/etkinlikler/5tk02/44.pdf>). Özellikle endüstriyel faaliyetlerden, tarımsal faaliyetlerden, madencilikten, plansız şehirleşmeden, evsel veya belediye atıklarından çevreye yayılan ağır metaller zamanla doğada birikirler. Bazı kirleticilerin hava, su ve toprakta düşük miktarda bulunmalarına karşın, besin zincirlerinin birbirlerini izleyen halkalardaki tüketicilerde, giderek artan yoğunlukta bulunması olayına “biyolojik birikim” denir.

Biyolojik birikimin en önemli nedenleri şunlardır (Yıldız ve ark. 2000);

- Bu maddelerin suda çözünmeyip, yağda çözünür olması ve böylece hayvanların yağ dokularında birikmesi,
- Bu tür maddelerin doğada kimyasal ya da biyolojik ayrışımının olmaması veya çok geç olması,
- Besin zincirinde enerji aktarımının verimsiz olması.

Bu nedenlerle besin piramitlerinde enerji aktarımının aksine olarak tabandan tepeye doğru çıkıldıkça bu tür maddelerin birikimi artmakta ve üst basamaktaki canlılar daha çok etkilenmektedir (Yıldız ve ark. 2000).

Ağır metal kirliliği içeren atık sular biyolojik oksijen ihtiyacı değeri düşük, genellikle asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirli, kendi kendine temizlenme

ve arıtılmada etken mikroorganizmaları öldürücü nitelikte inorganik karakterli sulardır. Ağır metal kirliliğe neden olan etkenler arsenik, civa, kurşun, krom, kadmiyum, nikel, demir, bakır ve çinko gibi ağır metal iyonları ile radyoaktif elementlerdir (Özer ve ark. 1996)

İnsanlar, çevredeki ağır metal iyonlarının geleceği hakkında endişelenmektedir. Ağır metal iyonlarının hayvanlarda ve insanlarda çok farklı zararlara neden oldukları, bitkilerin ve tarımsal ürünlerin gelişimlerini geciktirdikleri, hatta gen mutasyonlarına neden oldukları bilinmektedir (Shen 2003).

Yüzen su bitkileri ile arıtma yapılarak sadece nütrient giderimi değil, ağır metal giderimi de yapılmaktadır. Bu teknik tüm dünyada uygulanmaktadır. Su mercimeği bu amaçla kullanılan bitkilerden biri olup, bu sistemlerde bitkilerin mikroorganizmalarla beraber büyüme esasına dayanmaktadır (Wolverton 1986)

Ağır metaller organizmaların hücre fonksiyonlarına zarar vererek, biyolojik aktiviteyi inhibe ederler. Bu yüzden atık sudan giderilmeleri gerekmektedir (Smith ve ark. 2001, Boniardi ve ark. 1999). Bu ağır metaller yüzen su bitkileri ile oluşturulan sistemlerle sudan uzaklaştırılabilmektedir (Rahmani ve ark. 1999, Bergman ve ark. 2000). Ağır metaller çok yüksek konsantrasyonlarda olmadıkları sürece, su mercimeğine dayalı atık su arıtma sistemlerinde, çamur olarak çökeltme, bitki tarafından alım ve adsorpsiyon prosesleri ile giderilirler (Smith ve ark. 2001).

Bitkilerle ağır metal alımının esas yolu köklerdir. Köksüz bitkiler yalnızca metalleri sudan hızlı bir şekilde ayırmada etkiliyken, köklü bitkiler metalleri sedimentten ayırmada, sudan ayırmada etkili olduğu kadar verimli değildir. Ağır metallerin yapraklarda absorpsiyonu, sulu fazda yarıklardan epiderma ya da stomadan hücre duvarına ve sonra plazmaya geçişiyle olur (Reddy ve Debusk 1087).

Sadece Gala Gölü ve çevresi değil, yörenin bütündeki sosyal ve ekonomik hayat için de ciddi bir tehlike oluşturmaya başlayan kirlilik üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Altınayar ve ark. 1986, Kontaş 1990, Yıldırım 2001, Beşer ve ark. 2002, Altınayar 2003). Buna rağmen ağır metal kirliliğinin giderimi için en uygun arıtma yönteminin belirlenmesine yönelik herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada; Gala gölü suları ile bu alandaki tarımsal faaliyetlerden dönüş sularının toplandığı deşarj kanalında (IP-1) ağır metal kirliliğinin yörede yaygın olarak bulunan su mercimeği (*Lemna minor*) bitkisi ile giderim verimliliği araştırılmıştır. Bu bölgede yapılan çeltik tarımı yüksek oranda su kullanımı gerektiren bir tarımsal faaliyettir. Çeltik tarımı için yerel su kaynaklarının dışında, başta Meriç nehri olmak üzere Ergene Irmağı ve Gala Gölü'nden alınan

sular kullanılmaktadır. Gala Gölü'nden alınan tarımsal faaliyetler sonucu kirlenen sular deşarj kanalına (IP-1) buradan da Meriç Nehri'ne verilmektedir (Zal ve ark. 2006).

Bu çalışmada bir su mercimeği olan *Lemna minor* 'ün ağır metal giderim kapasitesini araştırmak amacıyla Literatürde ağır metal kirliliği bulunan su numuneleri Gala Gölü'nden ve deşarj kanalından (IP-1) alınmıştır. Bu su numunelerinde dört ağır metalin (Bakır (Cu), Nikel (Ni), Kurşun (Pb) ve Kadmiyum (Cd)) su mercimeği (*Lemna minor*) bitkisiyle giderim verimlilikleri araştırılmıştır

(http://www.cevreanaliz.com/NEWS_FILE/SKKY%20Numune%20Alma%20ve%20Analiz%20Metodlari%20Teblihi.pdf).

1.2. Ağır Metallerin Çevredeki Kirletici Etkileri

Sular fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik kirlilik gösterebilir. Suyun fiziksel özelliklerinin değişmesi (renk, koku, tat, saflık vs.) fiziksel kirliliğe neden olurken, ağır metaller ve inorganik atıklar atıksuda kimyasal kirliliğe neden olmaktadır.

Kimyasal kirleticiler özelliklerine göre üç sınıfta toplanabilir (<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~emrecan/tez/atiksu.htm>):

a. Bozulmadan kalanlar: Klorür gibi bileşiklerle zamanla parçalanma görülmez. Derişimleri alıcı suda zamanla artarken yağmur suyu ile azalır.

b. Değişebilenler: Biyolojik olarak parçalanabilen organik kirleticilerdir. Mikroorganizmalar tarafından parçalanarak inorganik kararlı maddelere dönüşürler.

c. Kalıcılar: Zamanla biyolojik birikime yol açan cıva, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, bakır gibi ağır metaller, tarım ilaçları gibi organik maddeler ve uzun yarı ömürlü radyoaktif maddelerdir (Özer ve ark. 1998, <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~emrecan/tez/atiksu.htm>).

Metaller ve diğer atıklardan oluşan kalıcı kirleticiler (<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~emrecan/tez/atiksu.htm>);

- çok çeşitli kaynaklardan ortaya çıkabilmeleri,
- yaygın kirlenme nedeni oluşturmaları,
- çevre koşullarına dayanıklı olmaları,
- daima biyolojik sistemlere yönelik etki göstermeleri,
- kolaylıkla besin zincirine girerek, canlılarda artan yoğunluklarda birikebilmeleri

nedeniyle tüm kirleticiler arasında ayrı bir önem taşırlar.

Ağır metal içeren atık sular, madencilik faaliyetlerinden, maden filizlerinin rafine edilmesinden, radyoaktif maddelerin işlenmesinden, metal kaplama faaliyetlerinden, tarımsal faaliyetlerden, evsel veya belediye atıklarından, boyalardan, pillerden ve pestisitlerden gibi birçok etkenden dolayı ortaya çıkar ve evre kirliliğine neden olur (Gravilescu 2004).

Metaller tüm aerobik ve çoğu anaerobik organizma için esansiyel maddelerdir. Bununla birlikte bakır, kurşun, kadmiyum ve civa gibi birçok ağır metalin yüksek miktarlarının insan sağlığını ciddi derecede etkilediği kanıtlanmıştır. İnsan vucudu ağır metalleri işleyemez ve dışarı atamaz. Sonuçta bu ağır metaller çeşitli organlarda birikir. Yüksek miktarlarda birikim de insan vücudunda ciddi zaralara neden olabilir. Çevrede kirletici etkileri en fazla gözlenen bazı ağır metaller izelge 1.1 de verilmiştir (Forster ve Wase 1997).

Çizelge 1.1 evrede Kirletici etkileri en fazla görülen ağır metaller (Forster ve Wase 1997)

Kadmiyum	Nikel	Civa
Krom	Gümüş	
Kobalt	Kalay	
Bakır	inko	
Kurşun	Lantanitler/Aktinitler	

Endüstriyel atık sular, özellikle suya ulaştığı zaman atığın içeriği ile doğru orantılı olarak ciddi problemler ortaya çıkarabilir. Ağır metallerin suda yaşayan pek çok canlıya toksik etki yaptığı ve hatta direkt ölümlere neden olduğu bilinmektedir. Bazı ağır metaller biyolojik moleküllerdeki elementlerle yer değiştirme eğilimindedir ve bu durum bu moleküllerin fonksiyonsuz hale gelmelerine neden olur. Bunun yanı sıra proteinlerin denatüre olmasına veya enzimatik aktivitelerin inhibe olmasına neden olan ağır metallerde vardır (Yang 1999).

Sucul ortamda bir organizma için toksisite, metalin tür ve konsantrasyonuna, organizmanın türüne, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişir. Tatlı sularda yaşayan bazı balıklar üzerindeki ağır metallerin toksik etkileri izelge 1.2 de verilmiştir (Forster ve Wase 1997).

Çizelge 1.2. Tatlı sularda bazı ağır metallerin tipik toksisite değerleri (Forster ve Wase 1997)

Metal	Etkilenen Tür	Etkisi	Konsantrasyon (mg/L)
Kadmiyum	Sazan	96h LC50	22
Krom	Alabalık	96h LC50	59
Kurşun	Alabalık	96h LC50	3.4
Nikel	Gök kuşağı Alabalığı	96h LC50	45
Çinko	Gök kuşağı Alabalığı	48h LC50	34

1.2.1. Kurşun

Kurşun , kimyasal simgesi Pb olup, metalik gri renkte ve yumuşaktır. Atom numarası 82 ve kütle numarası 207,19 dur. Korozyona karşı dayanıklı ve kolayca şekillendirilebilen bir metaldir. Özgül ağırlığı $11,4 \text{ gr/cm}^3$ tür (<http://tr.wikipedia.org>).

Kurşun, yaklaşık 16 mg/kg konsantrasyonla yer kabuğunun doğal bir bileşenidir. Kurşun belirli sayıda metalin içerisinde bulunur, bunlardan birisi galenit (Kurşun Sülfür) tir. Galenit kübik yapıdaki kristallere sahip, parlak ve metal görünümünde bir mineraldir. Bazı kurşun mineralleri Seruzit (PbCO_3), Anglezit (PbSO_4), Krokit (PbCrO_4) sayılabilir (Baykurt 1979).

Kurşun boru, boya, akü vb sanayi dallarında kullanılmaktadır. İnsan vücuduna alınan yüksek miktarda kurşun, böbrek ve beyin faaliyet bozukluklarına neden olmaktadır (Samsunlu 1999).

Kurşun birçok ülkede çok geniş kullanım alanına sahiptir. Madencilik ve maden işleme prosesleri ve elde edilen ürünlerin kullanılması sonucunda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Dolayısıyla kurşun havada, yiyeceklerde, suda, toprakta ve tozlarda mevcuttur. Kurşun çevrede çoğunlukla inorganik formda bulunur. Fakat kurşunlu benzin kullanımından ve metil kurşun bileşiklerini meydana getirmek için kullanılan doğal alkinasyon proseslerinden az miktarda organik kurşun ortaya çıkmaktadır (Harrison ve Johnson 1985).

Kurşun toprakta hareketsiz halde bağlandığından, en üst toprak tabakalarda birikir. Biriken kurşun bileşikleri karbonat, fosfat ve sülfat gibi çok zor çözünen bileşiklere dönüşmektedir. Yüksek derecede kurşun birikimi olan bitkilerden, besin zinciri ile diğer canlılara geçen kurşun, zehir etkisi yapabilmektedir. Bazı bitkilerin kurşun birikimine karşı toleransı yüksektir. Örneğin turp bitkisi, toprak üstü organlarda 136 ppm, yumrularında 498 ppm kurşun biriktirdiği halde zarar görmeden gelişebilmektedir. İnsanlar katı besin maddeleri

ile aldığı günlük kurşun miktarının 600 mikrogramı geçmemesi gerektiği bildirilmektedir (Çepel 1997).

Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme en önemli zararı veren ilk metal olma özelliğine sahiptir. Kurşun atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından ve her durumda toksik özellik taşıdığından (Çalışma ortamında izin verilen sınır $0,1 \text{ mg/m}^3$) çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir. 1920'lerde kurşun bileşikleri (kurşuntetraetil $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) benzine ilave edilmeye başlamıştır ve bu kullanım kurşunun ekolojik sisteme yayınımlarında önemli rol oynar (227.250 ton/yıl ABD). Günümüzde kurşunsuz benzin kullanımı ile atmosfere kurşun yayınımları azalmaktadır. Kurşun bir çok birincil metal üretim aşamasından atmosfere kurşun ve kurşun bileşiklerinin olarak yayılır. Dünyada en yaygın kurşun kullanımı Kuzey Amerika'dadır ve yıllık tüketim 1,300,000 ton seviyelerine ulaşır ve bu kullanım koşullarında atmosfere atılan miktar yıllık 600.000 ton seviyelerine ulaşır (Evers ve Schlipköter 1995).

Kurşunun çoğu kemiklerde depolanmasına rağmen beyne, anne karnındaki cenine ve anne sütüne de geçebilmektedir. Bebekler ve çocuklarda düşük olan kurşun oranı, ilerleyen yaşlarla beraber, kurşuna maruz kalınmasıyla artış göstermektedir. Kanda 40mg/L seviyesini aşınca tansiyon arttırıcı etki de ortaya çıkar. Diğer taraftan kronik kurşun alınımları ile sperm sayısı ve morfolojisi de sınırlanır. Dünya sağlık örgütü sınıflandırmasına göre (1995) kurşun 2. Sınıf kanserojen grubuna dahildir (Evers ve Schlipköter 1995).

1.2.2. Kadmiyum

Kadmiyum, kimyasal simgesi Cd olan, gümüş beyazlığında, elektrik, seramik, pil ve akü sanayisinde kullanılan yumuşakça, kanserojen, toksik bir ağır metal elementtir. Atom numarası 48, atom ağırlığı 112.40, erime noktası 320°C , özgül ağırlığı 8.6 gr/cm^3 tür (<http://tr.wikipedia.org>).

Kadmiyum insan için mutlak gerekli bir element değildir. Toprakta, bitkilerde ve insan besinlerinde bulunur. Kadmiyum; maden işletmelerinden, pil, boya ve plastik sanayinden, taşıt araçlarından, demir ürünleri ve kaplama sanayinden çevreye yayılır. Ayrıca mineral gübrelerden, pestisitlerden, arıtma çamurlarından da kaynaklanabilir. İnsan vücuduna alınan yüksek miktarda kadmiyum, yüksek kan basınçlarına ve böbrek bozukluklarına sebep olur (Samsunlu 1999).

Kadmiyum doğada sarı renkli kadmiyum sülfür (CdS) şeklinde, çinko filizi ile birlikte bulunur. Metalik kadmiyum korozyona dayanıklı olduğundan geniş kullanım alanı bulunmaktadır. Alaşım, kaplama, cila, boya gibi maddelerin yapımında sıklıkla kullanılır.

En toksik çevresel kirleticilerden olan kadmiyum, düşük konsantrasyonlarda bile biyolojik sistemler üzerinde son derece zararlı bir etkiye sahiptir. Kadmiyum çevre kirliliği görülen denizlerde, canlı vücuduna alınarak birikmekte olduğu ve değişik seviyelerde toksik etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Gökkuşuğu alabalığında kadmiyum birikimi ve biyolojik etkileri araştırılmıştır. Porter ve McKay 'ın 2002 yılında yaptığı araştırmaya göre kadmiyum alabalıkların en fazla karaciğer, böbrek ve solungaçlarında biriktirdiği tespit edilmiştir (Ho ve ark. 2002).

Kadmiyum en çok yer kabuğunda bulunur. Her zaman çinko ile kombinasyon halinde bulunur. Kadmiyum ayrıca endüstrilerde çinko, kurşun ve bakır ekstraksiyonunun kaçınılmaz yan ürünüdür. Kadmiyum gübre ve pestisitlerde bulunduğundan dolayı doğaya başlıca toprak yolu ile girmektedir. Kadmiyum insanlar tarafından yüksek miktarda alımı başlıca gıdalar yoluyla olmaktadır. Kadmiyum bakımından zengin gıdalar, insan vücudunda kadmiyum konsantrasyonunu oldukça arttırabilir. Karaciğer, mantar, kabuklu deniz ürünleri, midye, kakao tozu ve deniz yosunu bu gıdalara verilebilecek bazı örneklerdendir (Ho ve ark. 2002).

İnsanlar sigara içtiklerinde yüksek miktarda kadmiyuma maruz kalırlar. Tütün dumanı kadmiyumu akciğerlere taşır. Kan da vücudun diğer kısımlarına taşır. Diğer yüksek miktarlarda maruz kalmalar, tehlikeli atık bölgelerine veya kadmiyumu hava ile serbest bırakan fabrikalara yakın yerlerde yaşayan insanlarda ve metal rafinasyon endüstrisinde çalışan insanlarda görülmektedir. İnsanlar kadmiyumu soluduklarında, ciddi akciğer rahatsızlıklarına neden olur, hatta ölümle bile sonuçlanabilir (www.atsdr.cdc.gov).

Gıdalardan gelen kadmiyum toksisitesi nadirdir ve sadece çevresel kirlenmeden veya kadmiyum miktarı çok yüksek gıdaların kronik alımından sonra meydana gelmektedir (<http://www.lenntech.com>).

Kadmiyumdan kaynaklanan akut zehirlenmede öncelikle halsizlik, baş ağrısı, ateş, terleme, kaslarda gerilme ve ağrıya beraber kusmayla 24 saat içinde ortaya çıkar ve üçüncü gün en şiddetli belirtilerini göstererek, bir hafta içinde yeni bir yüklenme söz konusu değil ise kaybolmaya başlar. Kronik kadmiyum zehirlenmesi özellikle akciğer ve prostat kanserine yol açar. Kronik zehirlenmede böbrek hasarı da ortaya çıkabilir ve idrarda düşük molekülü protein görülebilir. Aşırı dozda kadmiyum alımını (60-480 mikrogram/gram böbrek) böbrekler üzerinde tahrip edici etkinin ortaya çıkmasına yol açar. Kadmiyum zehirlenmesine bağlı olarak kemik erimesi ve buna bağlı olarak hastalıklarda görülür. Diğer taraftan

kansızlık, dişlerin dökülmesi, ve koku duyumunun yitilmesi de önemli etkilerdir. Dünya sağlık örgütünün sınıflandırmasına göre (1993) Kadmiyum 1.sınıf kansorejendir (<http://www.lenntech.com>).

Kadmiyum topraktaki tipik yoğunluğu 0.5 kg/ha dan daha azdır. Zehir etkisi 0.1-1.0 mg/L toprak çözeltilisi olarak bildirilmektedir. Atık su ile sulama yapılacaksa sınır değer 5-20 kg/ha alınmalıdır. Sürekli olarak süperfosfatla gübrelenen topraklarda zehir etkisi yapacak kadar birikebilmektedir (Çepel 1997).

1.2.3. Bakır

Bakırın kimyasal simgesi Cu olup, oda sıcaklığında turuncu renkli, yumuşak bir metaldir. Atom numarası 29 ve kütle numarası 63.55 tir. Özgül ağırlığı 8.920 g/cm³'dür.

Bakır yer kabuğunun yapısında kovallin (CuS), kalkosin (Cu₂S), bornit (Cu₅FeS₄), kalkopirit (CuFeS₂) mineralleri şeklinde bulunur (<http://tr.wikipedia.org>).

Çok değişik alanlarda kullanılır. Yüzeysel sularda bakır 1.0 mg/L'nin altında bile su bitkilerine zehirli etki yapabilir. Bağcılıkta, pestisit olarak ve zaman zaman alglerin yok edilmesi için bakır tuzları kullanılabilir. Bazı balıklar için 1 mg/L konsantrasyonda bile toksik olabilir (Samsunlu 1999).

Bakır alglerin gelişimi için gerekli olan bir besi maddesi olmakla birlikte yüksek konsantrasyonlarda algleri öldürmekte kullanılır. Deniz suyunda hem partikül formunda, hem de organik kompleksler halinde bulunur. Okyanuslarda denizdekilerden daha fazla bakır vardır (Kratochvil ve Volesky 1998).

Bakır insanlarda beyin, deri, karaciğer, pankreas ve kalp kasında birikmesi sonucu "Wilson Hastalığına" sebep olduğu belirlenmiştir. EPA'nın verilerine göre bakır konsantrasyonu atık sularda 1,3 mg/L üzerinde olmamalıdır. İstenilen bu değerde bakırı tutabilmek için çok yüksek arıtım teknolojisi gerekmektedir. Bakır, kirli suda Cu⁺² iyonları, hidroliz ürünleri CuCO₃ veya organik kompleksleri şeklinde bulunur (Patterson ve ark. 1977, Zajic 1971).

Bakır, üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakırın kullanıldığı sektörler; elektrik ve elektronik sanayi, inşaat sanayi, ulaşım sanayi, endüstriyel ekipman yapımı, kimya sanayi, kuyumculuk, boya sanayi ve turistik eşya yapımı şeklinde tanımlanabilir (Patterson ve ark. 1977).

Bakır, kanalizasyonda kullanılan bakır boruların korozyonu sonucunda doğal sulara karışabilir. Bunun nedeni ise bakırın asidik ortamda korozyona uğramasıdır. Bu durum sular

kalsit yataklarına verilerek, nötralize edilir. Böylece hem korozif şartlar ortadan kalkar, hemde bakır iyonları elimine edilmiş olur (Patterson ve ark. 1977).

2.4. Nikel

Nikel kimyasal simgesi Ni olan, gümüş beyaz renkte ve periyodik cetvelde geçiş metalleri arasında yer alan bir metaldir. Nikelin havaya gösterdiği oksitlenme direnci sayesinde bozuk para üretiminde, kimyasal araç ve gereçlerin üretiminde ve Alman gümüşü gibi birçok alaşımın üretiminde kullanılır. Atom numarası 28, atom ağırlığı 58,6934 , erime noktası 1455°C, özgül ağırlığı 8.908g/cm³'tür (<http://tr.wikipedia.org>).

Nikel'in zararlılık sınırı balıklar için 1-5 mg/L, küçük su canlıları için 3-4 mg/L'dir. Sudaki 6 mg/L nikel konsantrasyonu sularda mikrobiyolojik olayları inhibe edebilir (Haktanır 1983).

Nikel sert bir metal olup, elektro kaplama sanayinde kullanılır. Nikel tuzları deride duyarlılık meydana getirir. Karbonik nikel (Ni(Co)₄) (kokusuz bir gaz) başağrısı, kusma ve ödeme yol açar (Ridley and Channing 2003).

Kimyasal ve canlılardaki fizyolojik özellikleri açısından kobaltla benzerlik gösteren nikel elementi çelik ve alaşım üretiminde, boya pigmentlerinde, kozmetik sanayinde, makine parçaları, akü ve elektrik aksamı üretiminde kullanılır. Trafığın yoğun olduğu yerlerde yol kenarlarından uzaklaştıkça, topraktaki nikel miktarı da azalmakta ve bunun nedeni nikel ihtiva eden yakıtların kullanılması ile izah edilmektedir (Tok 2007).

2.KAYNAK ÖZETLERİ

2.1.Gala Gölü Milli Parkı Genel özellikleri

Gala Gölü ve çevresindeki sulak alanlar; Edirne ili Enez ilçesinin 10 km Kuzey doğusunda olup, 3 600 ha büyüklüğündedir. Gala Gölü ve çevresindeki sulak alanların doğu-batı doğrultusunda uzunluğu 14km, genişliği 3 km'dir. Göllerin 0.00 m kotunda kapladığı alan 2 857 ha ve hacmi 51,39hm³ tür. Gala Gölü alanının 2857 ha'lık kısmı sulak alan, geri kalan 743 ha'lık kısmını Hisarlı dağı oluşturmaktadır. Küçük Gala ve Pamuklu gölleri çevresindeki 2 369 ha'lık alan, 1991 yılında "Tabiatı koruma Alanı" olarak ilan edilmiştir. Tabiatı Koruma Alanı; Tabii ve tabiat olaylarının meydana getirdiği özelliklere ve bilimsel değerlere sahip milli park esasları dahilinde korunan tabiat parçalarıdır. Bu objeler bazen bir kaya, bir şelale de olabilir. Bilim ve eğitim bakımından önem taşıyan nadir, tehlikeye maruz ve kaybolmaya yüz tutmuş ekosistemler, türler ve tabii olayların meydana getirdiği seçkin örnekleri ihtiva eden, bilim ve eğitim amaçlarıyla kullanılmak üzere ayrılmış, turistik amaçlı kullanılmasına izin verilmeyen tabiat parçalarıdır. (<http://www.kultur.gov.tr>)

Tabiatı koruma alanı içerisinde çelişen bazı uygulamaları önlemek ve alanın sağlıklı bir biçimde yönetilmesini sağlamak amacıyla 5.3.2005 tarihli resmi gazetede yayınlanan 2005/8547 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile Gala Gölü Milli Park ilan edilmiştir. Gala Gölü Türkiye'nin 36. Milli parkıdır (<http://www.bugday.org>). 6090 ha alana sahiptir.

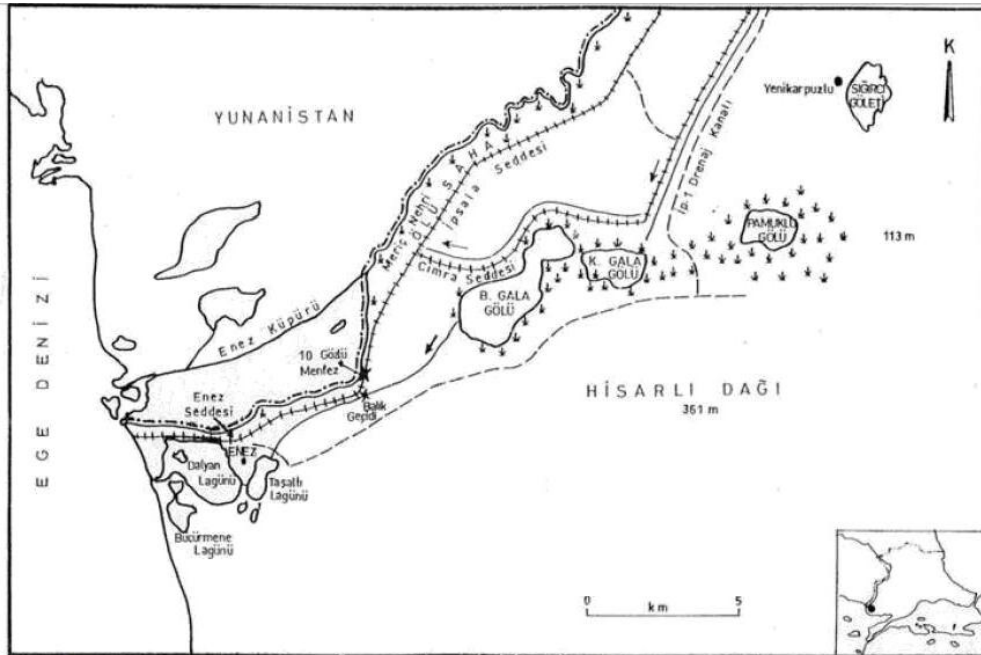
Türkiye-Yunanistan sınırını meydana getiren Meriç Nehri geniş bir delta yapar (Şekil 2.1). Bu delta içerisinde, Enez ilçesi' nin 10 km. kadar kuzeydoğusunda Gala Gölü, güneyinde Dalyan Gölü vardır, Sığırcı ve Pamuklu Gölleri Gala Gölü'nün kuzeydoğusundadır (Şekil 2.2). Bunların dışında Domuz Gölü, Bücürmene Gölü ve Küçük Göl diye birkaç küçük göl daha vardır. Gala Gölü Meriç ırmağının Ege denizine döküldüğü Edirne ili İpsala-Enez ilçeleri arasında yer alan alüvyon set gölüdür. Alüvyal set gölleri, Alüvyonlarla akarsuyun önünün kapanması sonucu oluşur (Baldan 2009).

Gala Gölü Büyük Gala (Çeltik Gölü) ve Küçük Gala olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Küçük Gala Gölü'nün derinliği 1-1,5 m. dir ve göl tamamen sazlarla kaplıdır. Her ikisinin toplam alanı 1.700 ha.'dır. Pamuklu, Gala Gölü ve Meriç'le irtibatlıdır. Enez ile İpsala arasında, Meriç nehri boyunca yapılan seddenin doğusunda kalan sahanın büyük kısmında yazın çeltik ekimi yapılır (Baldan 2009). Türkiye'nin çeltik üretiminin %24'ü bu bölgeden sağlanmaktadır (Güher ve Kırgız 2007). Kış aylarında ise bu saha ince bir su tabakası ile kaplanır. Su kuşları için iyi bir beslenme alanıdır. Gala Gölü'nün denizden yüksekliği 2 m dir. Gölün derinliği 0.4-2.2 m arasında değişmektedir (Baldan 2009).

Şekil 2.1’de Gala Gölü’nün Milli park alanının bölgedeki konumu belirtilmiştir (www.hgk.mil.tr).



Şekil 2.1. Gala Gölü Milli Parkının bölgedeki konumu (www.hgk.mil.tr)



Şekil 2.2 Gala Gölü ve çevresindeki küçük göller (DSİ 2001)

Gala Gölü Şekil 2.2’de görüldüğü gibi Güney Batı kısmına açılan bir kanal (Gala Gölü ayağı) ile doğrudan Taşaltı lagün gölüne ve bu kanal üzerinde inşa edilen bir regülatör kanalı ile de Meriç nehrine bağlanmaktadır. Genelde yaz aylarında Büyük Gala’nın Kuzey

doğusunda bulunan Küçük Gala gölü tamamen kurumakta, Büyük Gala ise suların çekilmesi ile çok küçülmekte ve en derin yeri 50-60cm kadar düşebilmektedir.

Gala Gölü ve çevresindeki sulak alanlar, Meriç Nehri'nin Ege denizine döküldüğü Edirne ili İpsala ve Enez sınırları içerisinde bulunan ve Türkiye' deki bölümü yaklaşık 35000 ha olan Meriç Deltasının 3600 ha'lık bölümünü kapsamakta olup, koordinatları 40° 45' 30"- 40° 48' 00" kuzey enlemleri ile 26° 07' 30"- 26° 17' 30" doğu boylamları arasında yer almaktadır (DSİ 2001).

Mülki açıdan Edirne İli sınırları içinde bulunan Gala Gölü Milli Parkı'nda, Milli Park statüsüne ilişkin faaliyetlerin yürütülmesinden sorumlu kuruluş, Edirne İl Çevre ve Orman Müdürlüğü'ne bağlı Keşan Milli Parklar Av-Yaban Hayatı Müdürlüğü'dür.

Milli Park'ın yakınındaki yerleşim birimlerinin geçmişte alanı yoğun biçimde kullanılmıştır. Bu kullanım günümüzde de devam etmesine karşın Gala Gölü 2005 yılında Milli Park ilan edilmesinden sonra yapılan denetlemeler sonucu azalmıştır ancak kullanım çeşitli şekillerde devam etmektedir (Baldan 2009)

1. Gala Gölü'nün civardaki çeltik tarlaları için sulama amacıyla kullanılmasıdır. Geçmişte çeltik tarlaları için gerekli sular Gala ve Pamuklu Gölleri'nden çekilmekteydi. Kullanılan su yeniden bu göllere salınmaktaydı. Yakın zamanda Devlet Su İşleri tarafından yapılan sulama sisteminin (IP-1) inşa edilmesiyle çeltik tarlaları için gerekli su Meriç Nehri'nden çekilmekte ve yine bu Nehre atılmaktadır. Zaman zaman Gala Gölü'nden de sulama amaçlı sular kullanılmaktadır.
2. Balıkçılık: Geçmişte Gala Gölü'nde yoğun bir balıkçılık faaliyeti söz konusuydu, fakat alanın yakın zamanda Milli Park sınırları içinde kalmasıyla birlikte balıkçılık resmi olarak yasaklanmıştır. Yöredeki balıkçılar, Meriç Nehri ile Sığırca Gölleri'ne ve ayrıca büyük su kanallarına yönlendirilmişlerdir. Milli Park sınırları içinde ancak olta balıkçılığına izin verilmektedir. Yeni Karpuzlu, Koyuntepe ve Işıklı Köyü sakinleri veya hafta sonları civar yerleşimlerden piknik amacıyla gelenler tarafından küçük çaplı, amatör olta balıkçılığı yapılmaktadır.
3. Hayvan otlatma: Hayvan otlatma geçmişte kuzeyde Gala Gölü ve Pamuklu Gölü arasındaki arazilerde ve güneydeki dağlık alanlarda yapılmaktaydı. Geçmişle kıyaslandığında hiç şüphesiz köylerin nüfusundaki azalmayla birlikte hayvancılık yapan ailelerin sayısında, alanın Milli Park ilan edilmesinden sonra azalma söz konusu olmuştur. Ancak yakın zamanda hayvancılığın yeniden canlandırılmasıyla birlikte, az sayıda ailenin elinde bulunan hayvan sayısında artış olmuştur. Kimi şirketlerin açık arazide otlanan hayvanların sütüne ve ayrıca keçi peynirine olan talepleri, yörede

hayvancılığa olan ilgiyi artırmıştır. Bu nedenlerden dolayı Park alanındaki otlak alanları yöre sakinleri tarafından kullanılmaya devam etmektedir.

4. Milli Park içindeki otlaklardan doğrudan yararlanılması. Otların belli bir büyüklüğe ulaştığı yaz aylarında, Park sınırları içinde kalan kimi arazilerde ot biçilerek kış için hazırlanmaktadır.
5. Kara hayvanı avcılığıdır. Alan içinde bildircin, ördek, kaz, keklik gibi kuş türleri ve tavşan gibi memeli av hayvanları bolca bulunmaktadır. Geçmişte karaca türünün de olduğu, ancak aşırı avlanmayla yok olduğu söylenmektedir. Milli Park alanının hemen her yerinde av hayvanları oldukça boldur ve geçmişte avcılık çok daha yaygındı. Ancak Milli Park ilanından sonra avcılık ruhsatlı olmak kaydıyla alan dışına kaydırılmıştır. Buna rağmen alan içinde kaçak avlanmanın devam ettiği vurgulanmaktadır.
6. Milli Park alanındaki ormanların ürünlerinden yararlanılmasıdır. Özellikle güney kesiminde geniş orman alanları bulunmaktadır. Orman alanlarından odun sağlama amacıyla yararlanılmaktadır. Bu yararlanma iki biçimde olmaktadır. Birincisi daha çok Park sınırları dışında olmak üzere orman köyü statüsünde bulunan köylere “makta” olarak tanımlanan kereste özelliğini yitirmiş ağaçların kesim izninin verilmesidir. İkincisi ise yöre sakinleri tarafından kaçak kesim şeklindedir.
7. Park alanı içindeki yabancı bitkilerden ve meyvelerden yararlanmadır. Özellikle Mili Park alanının güney kesimlerinde kekik, böğürtlen, ıhlamur, kuşburnu, kızılıcık, yaban elması, ahlat, armut ve mantar bulunmaktadır. Park alanı içindeki meyvelerin bir kısmı aşılınmış olup eskiden beri toplanmaktadır. Bu otlar ve meyveler yöre köylüleri tarafından değişik mevsimlerde toplanarak çeşitli şekillerde gıda maddesi olarak tüketilmektedir. Doğrudan tüketildikleri gibi kurutulmakta ve reçel yapımında da kullanılmaktadır.

Enez'e 8km, İpsala'ya 23km uzaklıktadır. Çizelge 2.1'de Milli Park alanının başlıca merkezlere olan uzaklıkları görülmektedir.

Çizelge2.1 Milli Park alanının başlıca merkezlere uzaklıkları (Baldan 2009)

Başlıca Merkezler	Uzaklık (km)
Enez	8
İpsala	23
Keşan	49
Malkara	70
Edirne	154
Tekirdağ	126
Kırklareli	164
İstanbul	240
Ankara	711
İzmir	521
Çanakkale	169

2.2.Kirletici Kaynaklar ve Atık Yükleri

Genel olarak kara kökenli kirletici kaynaklar noktasal ve yayılı olarak ikiye ayrılmakta olup Çizelge 2.2' de gösterilmiştir (Sarı 1993).

Çizelge 2.2.Kara Kökenli Kirletici Kaynaklar (Sarı 1993)

NOKTASAL KİRLETİCİ KAYNAKLAR	YAYILI KİRLETİCİ KAYNAKLAR
Evsel Kirletici Kaynaklar	Tarım ve Orman Alanlarından gelen kirleticiler
Endüstriyel Kirletici Kaynaklar	Yerleşim Alanlarından gelen yağış suları ve drenajlar
Kanallardan Gelen Kirleticiler	Katı atık depo ve dökme sahalarından gelen kirleticiler
	Atmosferden Taşınma

2.2.1.Noktasal Kirletici Kaynaklar

Evsel Kirletici Kaynaklar

Milli Park alanı içerisinde, yerleşim olmadığı için herhangi bir kanalizasyon şebekesi, fosseptik, arıtma yoktur. Bu bölümde, Milli Park'ı kullanan aynı zamanda Park alanına en yakın civar yerleşimlerin etkisi incelenmiştir. Milli Park yakınında Milli Park'la ilişkili yerleşim yerleri İpsala'ya bağlı olan Yeni Karpuzlu, Koyuntepe ve Enez'e bağlı Çataltepe Mahallesi, Hisarlı, Çandır ve Işıklı'dır.

Enez İlçesi'nde kanalizasyon şebekesi vardır, ancak deşarjı Meriç Nehri'ne Milli Park'ı etkilemeyecek şekilde, güney batısından ancak doğrudan yapılmaktadır. Enez'e bağlı Çataltepe Mahallesi'nde kanalizasyon şebekesi yoktur. Her evin, kendi fosseptik çukuru bulunmaktadır. Çandır ve Hisarlı Köyleri'nde konutların kendi fosseptik çukuru vardır. Işıklı Köyü'nde, kanalizasyon toplama sistemi vardır. Toplanan atıksular, yaklaşık 2 sene önce inşa edilen Armalık Mevkii'ndeki dört gözlü sızdırmalı fosseptik tankında toplanmakta ve deşarj suyu Şordurdak Deresi'ne verilmektedir (Baldan 2009).

Endüstriyel Kirletici Kaynaklar

Gala Gölü Milli Park alanında endüstriyel bir faaliyet söz konusu olmadığından herhangi bir endüstriyel kirletici kaynak bulunmamaktadır

Kanallardan gelen kirleticiler

Gala Gölüne giren sular şu şekilde sıralanmaktadır (DSİ 2001):

- 1-Cimra kapalı havzası ile; (Cimra Havzasının Drenaj sularını drenaj pompası ile atarak)
- 2-Telmata Kapalı Havzası ile;(Telmata Havzasın drenaj sularını drenaj pompası ile atarak)
- 3-Kadıköy Havzası ile;(Kadıköy barajı ile Dokuzdere ve Mercan Gölet sularından dönen sular)
- 4-Pamuklu Havzası ile;(Koyuntepe,Hamzadere, Karpuzlu drenaj alanlarından ve Keşan Havzasından gelen sular)
- 5-Hisarlı Dağı havzası ile;(Hisarlı Dağı alanındaki yağış suları)

2.2.2. Yayılı Kirletici Kaynaklar

Tarım ve orman alanlarından gelen kirleticiler

Enez İlçesi'nde toplam tarım arazisi 161.649 dekar olup, bunun 31.800 dekarı sulu arazidir. İlçe'de su kaynakları potansiyel olarak bulunmasına rağmen tarımda sulanan alan azdır (ÇOB 2010).

Bölgede temel ekonomik faaliyet tarımdır. Çeltik ve ayçiçeği temel ürünlerdir. Bu ürünlerin yanında, buğday, arpa, mısır, kanola, çavdar, yonca, ceviz, Macar fiği, yem şalgamı, karpuz, üzüm, yulaf, badem, elma, şeftali, domates, fasulye, kavun, biber, susam, pancar, patlıcan, armut, salatalık, nohut ve havuç ta yetiştirilmektedir. Makineli tarım yaygındır. Toprağın fiziksel, kimyasal yapısı ve çevresel etkenler çeltik ekimine uygundur. Sulama projesi olmayan alanlarda çeltik tarımı, alan sahiplerince Meriç nehrinden büyük masraflarla ve birkaç kademeli pompajla yapılabilmektedir (Sarı 1993).

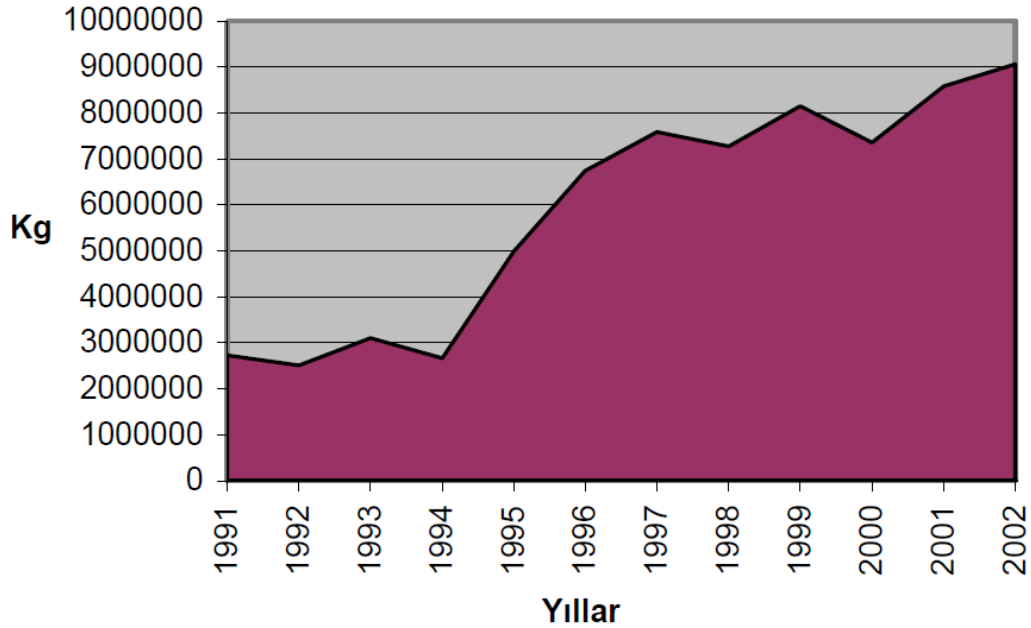
Tarımdan gelen kirleticilerin temel iki kaynağı vardır. Bunlar gübreler ve kimyasal bileşikler yani pestisitlerdir. Bunların aşırı kullanımından kaynaklanan kirlilik hem toprakta hem de suda önemli zararlar yapmaktadır. Bunların başında ağır metal ve iz element birikimi gelmektedir (Zal ve ark. 2006).

Aşırı ilaç ve gübre kullanımı suda kirliliğe yol açtığı gibi toprak kirliliğine de neden olmaktadır. Tarımsal faaliyetlerden dönen suların toplandığı deşarj kanalı (IP-1) 2010 yılı başı itibariyle Gala Gölü' ne değil Meriç Nehri'ne verilmeye başlamıştır. Bu yüzden Meriç nehrinde gübre, pestisit ve ilaçlamalardan kaynaklı bir kirlilik söz konusudur (Zal ve ark. 2006)

1991 ve 2002 yılları arasında yörede tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübrelerin cins ve miktarları ile yıllık ekilen çeltik alanları Çizelge 2.3 ve Şekil 2.3'te verilmiştir (İpsala Tarım İlçe Müdürlüğü 2004).

Çizelge2.3 Yıllık kullanılan gübrelerin cins ve miktarları (İpsala Tarım İlçe Müdürlüğü 2004)

Yıllar	Ekilen Alan (da)	Üre (NH ₂ CONH ₂)	Kompoze	Amonyumsülfat (NH ₄) ₂ SO ₄	Triple süperfosfat Ca(H ₂ PO ₄) ₂	Toplam (kg)
1991	28768	431520	863040	863040	575360	2732960
1992	26458	396870	793740	793740	529160	2513510
1993	32637	489555	979110	979110	652740	3100515
1994	28107	421605	843210	843210	562140	2670165
1995	52682	790230	1580460	1580460	1053640	5004790
1996	71016	1065240	2130480	2130480	1420320	6746520
1997	79856	1197840	2395680	2395680	1597120	7586320
1998	76645	1149675	2299350	2299350	1532900	7281275
1999	85754	1286310	2572620	2572620	1715080	8146630
2000	77523	1162845	2325690	2325690	1550460	7364685
2001	90351	1355265	2710530	2710530	1807020	8583345
2002	95363	1430445	2860890	2860890	1907260	9059485



Şekil 2.3 Kullanılan toplam gübre miktarının yıllara göre değişimi (İpsala Tarım İlçe Müdürlüğü 2004).

Çizelge 2.3 ve Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi çeltik ekim alanları son on yıl içerisinde yaklaşık üç kat artmış, buna paralel olarak gübre kullanımı da fazlaşmıştır (Zal ve ark. 2006).

Diğer yandan 2010- 2011 (ilk 6 ay) yılları için çiftçiye satılan gübre miktarları Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4.İpsala İlçesi Çiftçiye Gübre Satış Miktarları (Edirne İl Tarım, Gıda ve Hayvancılık Müdürlüğü 2011)

Gübre Cinsi	2011 (İlk 6 ay)	2010
Üre %46	3234500	3934250
Komp.	5204570	7840350
Amonyum Sülfat	9699150	14240750
K.Amonyum Nitrat %26	2657500	2160700
Amonyum Nitrat %33	1116200	1189600
DAP	397050	1649300
Potasyum Sülfat	18350	1800
Çinko Sülfat	9980	1240
23.12.9+İE	61150	-
Mono Potasyum Fosfat	-	200
Magnezyum Nitrat	-	100
Potasyum Nitrat	-	200
% 15,5N+25,5CaO	-	600
TOPLAM (kg)	22398450	31019090

Yörede tarım arazilerinde sıkça ilaçlama yapılmaktadır. İlaçlama çeltiğin gelişim evrelerine ve tarımsal faaliyetin evrelerine göre cins ve miktar olarak farklılıklar göstermektedir (Çizelge 2.5) (İpsala Tarım İlçe Müdürlüğü 2004).

Çizelge 2.5 Yöredeki çeltik alanlarında kullanılan tarımsal ilaçların tür ve miktarları (İpsala Tarım İlçe Müdürlüğü 2004)

Dönemi	Cinsi	Türü	Toplam miktar (kg)
Ekim öncesi	Herbisitler	Ordram 6 E	1000
		Agro dram 6 E	750
		Kem-Ray	1800
		Sultan 10 WP	200
		Nomine	20
		Clincher	250
Ekim Aşamasında	Fungusitler	Bavistin	260
		Benlate	280
Başak Döneminde	İnsektisitler	Karate 5 EC*	150
		Folidol 360 M EC	400
Toplam			5110

*EC: Emulsiyon Consantre

Kimyasal bileşikler (pestisidler) böcek, fare vb. hayvanlar, bazı bitkiler, mantarlar ve/veya bakteri ve virüs gibi zararlıları önlemek için kullanılan kimyasal bileşiklerdir (Zal ve ark. 2006). Pestisidler genel olarak pest (organizma) gruplarına göre sınıflandırılmaktadır. Buna göre;

1. Insektisitler (böcek öldürücüler),
2. Fungusitler (mantar öldürücüler),
3. Herbisitler (yabancı ot öldürücüler),
4. Rodentisitler
5. Nematotistler.

Pestisidler formülasyon şekline göre 3 grubu ayrılır;

- Suda çözünen tozlar (WP)
- Sulu çözeltiler (EC)
- Granüller (WG)

Pestisidler formülasyon şekline, zararlının biyolojik dönemine (larva,ergin), zararlının habitatına (kültür bitkisi zararlıları, orman zararlıları, vb.) göre uygulanır. Uygulama yerleri de genel olarak bitki yaprakları, toprak yüzeyi ve direkt olarak toprağın içine ilavesi şeklindedir. Kimyasal yapıları bakımından topraktaki davranışları da değişiklik gösterebilmektedir (Zal ve ark. 2006)

Çizelge 2.6'dan da görüldüğü gibi yörede kullanılan tarımsal ilaçların miktarları her yıl artmaktadır.

Çizelge 2.6 Yöredeki Çeltik Alanlarında kullanılan tarımsal ilaçların miktarları (Edirne İl Tarım, Gıda ve Hayvancılık Müdürlüğü 2011)

Cinsi	Grubu	Etkili Madde	2010 Yılı	2009 Yılı	2008 Yılı	2007 Yılı
Fungusitler	Benzimi Dazoller	Benomyl 50 WP	5660	5660	4410	4410
	Benzimi Dazoller	Carbendazim 50WP	5660	5660	4760	4760
	Strobil Urinler	Trifloxystrobin %50 WG	2000	2000	1800	1800
Herbisitler	Sulfoni Ureler	Azim Sulfuron	0	50	80	100
		Ethoxy Sulfuron %60	750	850	700	900
	Diazinler	Bentozone+MCPA 259g/L 125g/L	9750	5600	2000	1050
	Phenoxy Bileşikleri	Cyhalafob Buty 200g/L	2300	2350	2000	1800
	Diğer	Bispyribac Sodium 400gr/L	550	600	650	700
Toplam			26670	22770	16400	15520

*Diğer: Herhangi bir gruba girmeyenler *WP: Water Powder *WG: Water Granule

Yerleşim alanlarından gelen Yağış suları ve drenajlar

Gala Gölü Milli Parkı alanı içerisinde herhangi bir yerleşim alanının bulunmadığından göle deşarj olan yağmur suyu kaynaklı herhangi bir kirlilik yükü oluşmamaktadır.

Katı atık depo ve dökme sahalarından gelen kirleticiler

Gala Gölü Havzasında herhangi bir katı atık toplama ve depolama alanı bulunmamaktadır. Dolayısıyla çöp sızıntı sularından gelebilecek kirlilik yükü bulunmamaktadır (Sarı 1993).

2.2.3. Toplam Kirletici konsantrasyonları ve Değerlendirme

Su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre kıta içi yüzeysel suların kaliteleri için yapılan sınıflandırmaya göre sular 4 gruba ayrılmaktadır (ÇOB 31.12.2004 tarihli 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği).

Sınıf 1: Yüksek Kaliteli su

Sınıf 2: Az kirlenmiş su

Sınıf 3: Kirli su

Sınıf 4: Çok kirlenmiş su

Su kirliliği Kontrol yönetmeliği Tablo 1'de sınıflandırma için geçerli su kalite parametreleri ve bunlara ait sınır değerleri Sınıf I, II, III ve IV için ayrı ayrı verilmiştir.

Yukarıda belirtilen kalite sınıflarına karşılık gelen suların, aşağıdaki su kullanım alanları için uygun olduğu kabul edilir.

a) Sınıf I - Yüksek kaliteli su;

1) (Değişik:R.G.-13/2/2008-26786) İçme suyu olma potansiyeli yüksek olan yüzeysel sular

2) Rekreatyonel amaçlar (yüzme gibi vücut teması gerektirenler dahil)

3) Alabalık üretimi,

4) Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı,

5) Diğer amaçlar.

b) Sınıf II - Az kirlenmiş su;

1) (Değişik:R.G.-13/2/2008-26786) İçme suyu olma potansiyeli olan yüzeysel sular,

2) Rekreatyonel amaçlar,

- 3) Alabalık dışında balık üretimi,
 4) Teknik Usuller Tebliği'nde verilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu olarak,

5) Sınıf I dışındaki diğer bütün kullanımlar.

c) Sınıf III - Kirlenmiş su; gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren endüstriler hariç olmak üzere uygun bir arıtmadan sonra endüstriyel su temininde kullanılabilir.

d) Sınıf IV - Çok kirlenmiş su; Sınıf III için verilen kalite parametrelerinden daha düşük kalitede olan ve üst kalite sınıfına iyileştirilerek kullanılacak yüzeysel sulardır (ÇOB 31.12.2004 tarihli 25687 sayılı SKKY).

Zal ve arkadaşlarının 2006 yılında Gala Gölü ve civarında yaptığı çalışmada su numuneleri belirli noktalardan alınıp, ağır metaller bazında değerlendirmeler yapılmıştır . Çizelge 2.5, Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7 incelendiğinde Bakır değerleri Küçük Gala Gölü ve Deşarj kanalında (IP-1) yüksek çıkmıştır. Nikel değerleri ise ekim öncesinde yüksek olup, ekim zamanında düşmüş, hasat sonrası ise tekrar artmıştır. Kurşun değerleri ekim zamanında Sığırcı Göletinde belirlenen 0.065 mg Pb/L (SKKY Kıtaıçi su kaynaklarına göre IV.Sınıf) değer dışında normaldir (Zal ve ark. 2006).

Çizelge 2.7 Ekim öncesi belirli noktalardan alınan su örnekleri için bazı parametreler (Zal ve ark. 2006)

Numunenin Alındığı Tarih

: 22.05.2003

Parametre	Sığırcı Göleti	SNF *	Meriç Nehri	SNF	10 Gözlü Menfez	SNF	Büyük Gala Gölü	SNF	Küçük Gala Gölü	SNF	Deşarj Kanalı	SNF
Sıcaklık (°C)	17.4	I	17.0	I	17.5	I	17.5	I	17.8	I	17.4	I
pH	8.49	I	8.27	I	7.89	I	8.5	I	8.5	I	8.32	I
Amonyum Azotu (mg/L)	0.33	I	0.55	I	0.32	I	0.23	I	0.26	I	0.69	I
Sülfat (mg/L)	110	I	150	I	165	I	155	I	175	I	155	I
Nitrit Azotu (mg/L)	0.003	I	0.015	II	0.005	I	0.03	I	0.005	I	0.023	II
Nitrat Azotu (mg/L)	1.6	I	3.2	I	0.4	I	1.1	I	1.1	I	0.8	I
COD (KOl) (mg/L)	19	I	6	I	29	II	45	II	53	III	43	II
BOD (BOİ) (mg/L)	3.5	I	1	I	4	I	8	I	9.5	II	8	II
Bakır (mg/L)	0.01	I	0.01	I	0.12	II	0.07	II	0.07	II	0.47	IV
Krom (mg/L)	0.00	I	0.00	I	0.00	I	0.00	I	0.00	I	0.01	I
Nikel (mg/L)	0.147	III	0.138	III	0.205	III	0.178	III	0.203	III	0.274	III
Demir (mg/L)	0.01	I	0.01	I	0.23	I	0.09	I	0.07	I	0.12	I
Mangan (mg/L)	0.144	I	0.151	I	0.231	I	0.279	I	0.054	I	0.214	I
Kurşun (mg/L)	0.021	II	0.01	I	0.011	I	0.011	I	0.001	I	0.025	II
Çinko (mg/L)	0.01	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I

*31.12.2004 tarihli 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Yüzeysel suların kıtaıçi su sınıflandırılmasına göre su kalite sınıfları

Çizelge 2.8 Ekim zamanı belirli noktalardan alınan su örnekleri için bazı parametreler (Zal ve ark. 2006)

Numunenin Alındığı Tarih

: 29.07.2003

Parametre	Sığircı Göleti	SNF *	Meriç Nehri	SNF	10 Gözlü Menfez	SNF	Büyük Gala Gölü	SNF	Küçük Gala Gölü	SNF	Deşarj Kanalı	SNF
pH	7.9	I	6.9	I	7.2	I	6.8	I	7.1	I	7.2	I
Sıcaklık (°C)	17.4	I	17	I	17.5	I	17.5	I	17.8	I	17.4	I
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	9	I	8.4	I	8	I	9.7	I	10.8	I	5.6	II
Amonyum Azotu (mg/L)	0.322	I	0.862	I	0.708	I	0.566	I	0.862	I	0.644	I
Nitrit Azotu (mg/L)	0.003	I	0.005	I	0.012	II	0.017	II	0.003	I	0.014	II
Nitrat Azotu (mg/L)	1.1	I	0.2	I	0.7	I	1	II	1.1	I	1	I
Sülfat (mg/L)	130	I	165	I	175	I	165	I	320	III	165	I
Bakır (mg/L)	0.01	I	0.17	III	0.05	II	0.02	I	0.45	IV	0.19	III
Krom (mg/L)	0	I	0	I	0	I	0	I	0	I	0	I
Nikel (mg/L)	0.064	II	0.021	I	0.005	I	0.001	I	0.001	I	0.001	I
Kurşun (mg/L)	0.065	IV	0.019	II	0.011	I	0.011	I	0.004	I	0.023	II
Çinko (mg/L)	0.06	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I
Demir (mg/L)	0.09	I	0.08	I	0.02	I	0.01	I	0.19	I	0.03	I
Mangan (mg/L)	0.371	II	0.659	II	0.151	I	0.235	I	2.2	III	0.161	I

*31.12.2004 tarihli 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Yüzeysel suların kıta içi su sınıflandırılmasına göre su kalite sınıfları

Çizelge 2.9 Hasat sonrası belirli noktalardan alınan su örnekleri için bazı parametreler (Zal ve ark. 2006)

Numunenin Alındığı Tarih

: 21.10.2003

Parametre	Sığircı Göleti	SNF *	Meriç Nehri	SNF	10 Gözlü Menfez	SNF	Büyük Gala Gölü	SNF	Küçük Gala Gölü	SNF	Deşarj Kanalı	SNF
pH	8.31	I	8.64	II	8.61	II	8.4	I	7.69	I	7.78	I
Sıcaklık (°C)	17.4	I	17.0	I	17.5	I	17.5	I	17.8	I	17.4	I
Çözünmüş Oksijen (mg/lt)	13.1	I	14.3	I	9.9	I	8.8	I	10.2	I	7.2	I
Amonyum Azotu (mg/lt)	0.051	I	0.42	I	0.077	I	0.013	I	0.51	I	0.42	I
Nitrit Azotu (mg/lt)	0.009	II	0.044	III	0.011	II	0.007	II	0.039	III	0.113	IV
Nitrat Azotu (mg/lt)	0.1	I	0.1	I	0.4	I	0.4	I	1.3	I	0.8	I
Sülfat (mg/lt)	115	I	180	I	165	I	185	I	175	I	235	II
Bakır (mg/lt)	0.01	I	0.10	II	0.02	I	0.13	II	0.15	III	0.98	IV
Krom (mg/lt)	0.00	I	0.01	I	0.02	I	0.01	I	0.00	I	0.01	I
Nikel (mg/lt)	0.144	III	0.095	II	0.030	I	0.075	II	0.014	I	0.024	I
Kurşun (mg/lt)	0.017	II	0.017	II	0.01	I	0.007	I	0.015	I	0.018	II
Çinko (mg/lt)	0.01	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I	0.01	I
Demir (mg/lt)	0.06	I	0.01	I	0.04	I	0.02	I	0.01	I	0.03	I
Mangan (mg/lt)	0.013	I	0.234	I	0.150	I	0.054	I	0.148	II	0.086	I
BOD(BOİ) (mg/lt)	7	II	14	II	21	IV	11	II	8	II	2	I
COD(KOİ) (mg/lt)	24	I	35	II	43	II	35	II	33	I	8	I

*31.12.2004 tarihli 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Yüzeysel suların kıta içi su sınıflandırılmasına göre su kalite sınıfları

Çalışma alanında bulunan tarımsal faaliyetler sonucu kirlenmiş suların toplandığı deşarj kanalı (IP-1) ile Meriç Nehri etkileşim halindedir. Yıllık iki ekstrem arasında salınım gösteren Meriç Nehri akım rejimi beraberinde birçok ekonomik ve fiziksel olumsuz sonuçlara yol açmaktadır (Zal ve ark. 2006).

Meriç Nehri Bulgaristan sınırından ülkemize girmeden önce Bulgaristan'daki kömür flatasyon tesisleri ve tarımsal faaliyetlerden dönen sularla belli bir kirlilik yükü taşımaktadır. DSİ tarafından yapılan ölçümlerde Meriç Nehri ülkemiz sınırlarına girdiği Kapıkule noktasında sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler çizelge 2.10' da verilmiştir (Zal ve ark. 2006).

Çizelge 2.10 Meriç Nehri (Kapıkule mevki) su kaliteleri (Altınayar 2003)

Kalite Parametreleri	Birim	Ortalama Değer	SNF *	SKKY Tablo 1 Su kalite Sınıfları			
				I	II	III	IV
Amonyum Azotu	(mg/L)	4,54	IV	0,2	1	2	>2
Nitrit Azotu	(mg/L)	0,06	IV	5	10	20	>20
Toplam Fosfor	(mg/L)	3,13	IV	0,02	0,16	0,65	>0,65
Kurşun	(mg/L)	78	IV	10	20	50	>50
Bakır	(mg/L)	200	IV	20	50	200	>200

*31.12.2004 tarihli 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Yüzeysel suların kıta içi su sınıflandırılmasına göre su kalite sınıfları

Çizelge 2.11' de 2008 ve 2011 yılları arasında Meriç Nehri' nin ülkemiz topraklarına giriş noktasındaki su kaliteleri bazı parametreler bazında verilmiştir. Su kalitesindeki bu düşüşün önlenmesi önem taşımaktadır.

Çizelge 2.11.Meriç Nehri (Kapıkule Mevki) su kaliteleri (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED İzin ve denetim genel müdürlüğü ölçüm ve izleme dairesi başkanlığı Çevre Referans Lab. Kimya Lab., 2011)

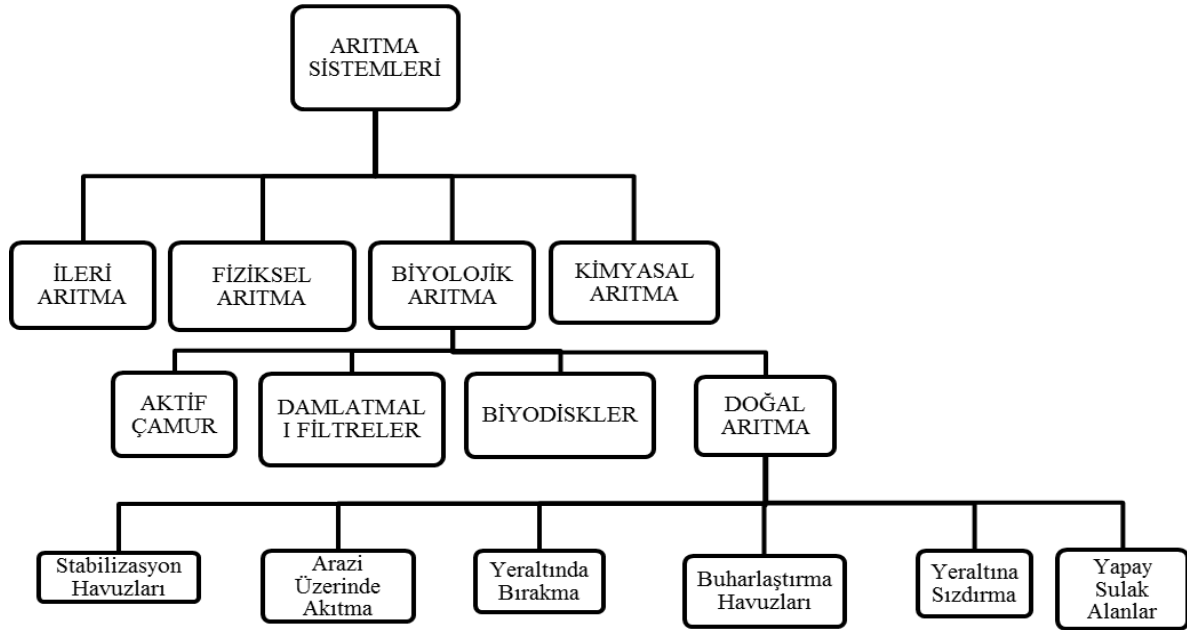
Numune Alma Tarihi	24.10.2011		28.01.2008		09.06.2008		SKKY Tablo 1 Su kalite Sınıfları				Kullanılan Method
	Ölçülen değer	SNF *	Ölçülen değer	SNF	Ölçülen değer	SNF	I	II	III	IV	
Amonyum Azotu (mg/L)	0,9539	II	0,13	I	0.13	I	0,2	1	2	>2	SM(2005) 4500-NH3 B-C
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	4,09	II	0,56	II	0,6	I	0,5	1.5	5	>5	SM(2005) 4500- Norg B
Nitrit Azotu (mg/L)	-	-	0,05	IV	-	-	0,002	0,01	0,05	>0,05	SM (2005) 4110 B
Nitrat Azotu (mg/L)	-	-	3,38	I	-	-	5	10	20	>20	SM (2005) 4110 B
Toplam Fosfor (mg/L)	-	-	0,644	IV	0,383	II	0,02	0,16	0,65	>0,65	SM (2005) 4500 PB,E
Kadmiyum (g Cd/L)	1	I	1	I	1	I	3	5	10	>10	EPA 2007
Kurşun (mg Pb/L)	9	II	3	I	20	II	10	20	50	>50	EPA 2007
Bakır (mg Cu/L)	6	I	140	II	13	I	20	50	200	>200	EPA 2007
Nikel (mg Ni/L)	4	I	3	I	10	I	20	50	200	>200	EPA 2007

*31.12.2004 tarihli 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Yüzeysel suların kıta içi su sınıflandırılmasına göre su kalite sınıfları

Çizelge 2.10'daki su kalite parametreleri Çizelge 2.11'deki su kalite parametreleri ile kıyaslandığında amonyum azotu, kurşun ve bakır parametre konsantrasyonlarında düşüş meydana gelmiş olmasına rağmen Nitrit Azotu ve toplam fosfor parametresi halen yüksektir (IV.kalite).

2.3. Doğal Arıtma Sistemleri

Doğal arıtma atık suların arıtılmasında kullanılan biyolojik sistemler içinde, maliyeti en düşük ve çevre dostu arıtma şeklidir. Doğal arıtma, doğal malzeme ve yöntemlerle yapılan arıtma işleminin genel adıdır. Doğal arıtma sistemlerinde toprak, su, bitkiler, mikroorganizmalar ve atmosfer, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylarla sürekli olarak karşılıklı etkileşim halindedir. Bu sistemlerin avantajı, doğal hızlarla ve tek bir ekosistem reaktörü içerisinde eş zamanlı olarak yürütülmesidir. Mekanik sistemler ise bunun tersine hem ayrı reaktörlerde hem de sürekli bir enerji girdisiyle gerektirdiğinden daha hızlı olarak yürütülmektedir. Arıtma sistemleri ve doğal arıtma çeşitleri Şekil 2.4'de verilmiştir (2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010).



Şekil 2.4.Arıtma sistemleri ve doğal arıtma çeşitleri (2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010)

2.3.1. Su Bitkileri ile Atıksu Arıtımı

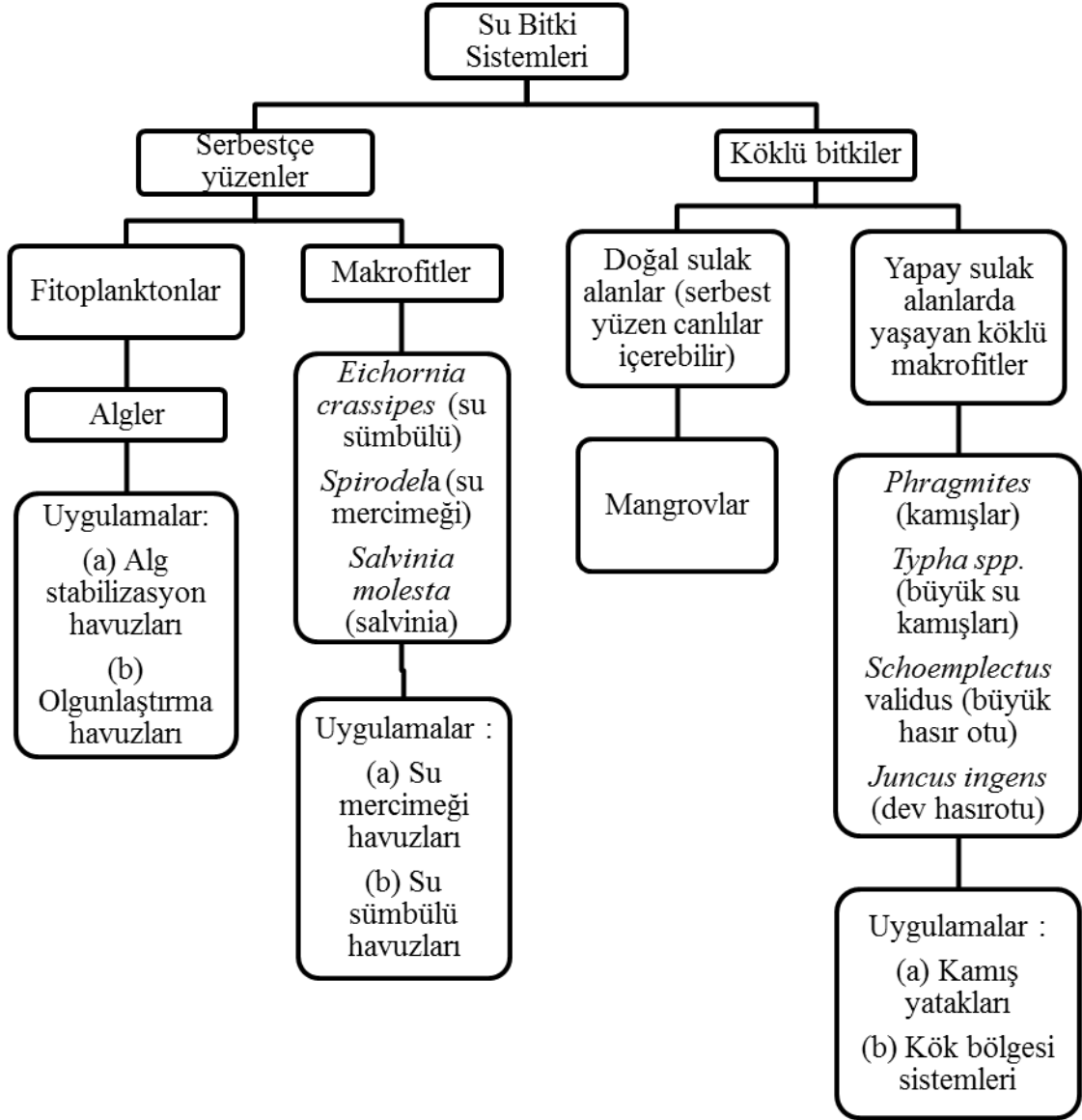
Bitkilerle oluşturulan sistemler, genellikle paralel olarak yapılan uzun ve dar havuzlardan oluşmaktadır. Doğal arıtma sistemleri içinde sayılan bu sistemler, yaygın arıtma sistemlerinden farklı olarak havalandırma, pompalama gibi çeşitli tesisat gereksinimi olmadığından tercih edilmektedir. Yatırım ve işletme maliyeti oldukça düşüktür. Yaygın arıtma sistemlerine göre, daha az miktarda stabil çamur oluşturmaktadır. Ayrıca oluşan çamuru arıtmak, diğer sistemlere göre daha az problemlidir. Buna ilaveten, bitki sistemleri doğal olmayan hiçbir proses içermediğinden atıksuyu arıtırken ortama zarar vermezler (Karagöz 1998).

Bitki sistemleri çeşitli şekillerde oluşturulabilir. Bir bitki türü ya da birden fazla bitki türü bir arada kullanılabilir. Su bitkileri ile oluşturulan arıtma sistemleri bitki türüne göre iki sınıfa ayrılmaktadır (Bayhan ve ark. 1996):

- a) Yüzen su bitkileri ile oluşturulan arıtma sistemleri,
- b) Köklü su bitkileri ile oluşturulan arıtma sistemleri.

Bu sınıflandırmaya göre yapılan uygulamalar ve kullanılan bitki türleri Şekil 2.5' te verilmiştir (Bayhan ve ark. 1996).

Bu sistemlerin yapım işletim maliyetlerinin düşük olması, herhangi bir kimyasal madde veya mekanik teçhizata gerek olmayışı, tamamen doğal bir mekanizma ile çalışması ve buna ilave olarak evsel atıksu gibi besi maddesince zengin bir ortamda, organik yükün proteince zengin bitki biyokütlelerine dönüştürülmesi, bu sistemleri ekonomik olarak cazip hale getirmektedir. Çünkü atıksu arıtımının yanı sıra, protein içeriği yüksek biyokütlelerden hayvan yemi yapımında ve biyogaz üretiminde yararlanılabilmektedir (Uysal ve Taner 2007).



Şekil 2.5 Arıtma Sistemlerinde kullanılan bitki Türleri (Bayhan ve ark. 1996).

Su bitki sistemlerinde atıksu arıtımı için temel ilke, bitkilerin mikroorganizmalarla birlikte büyümesidir. Arıtma proseslerinde organik maddelerin giderimi, bitki kök sistemlerinin üzerinde ve etrafında yaşayan mikroorganizmalarla sağlanmaktadır.

Mikroorganizmaların su bitkilerinin köklerinde olduğu ve bitkilerle simbiyotik ilişkileri olduğu tespit edilmiştir (Wolverton 1986). Organik maddelerin mikrobiyal giderimi süresince, besin kaynağı olarak yararlanılan azot, fosfor ve diğer minerallerin bitkiler tarafından absorbe edilmesiyle metabolitler üretilmekte ve mikroorganizmalar, üretilen bu metabolitlerin bir kısmını ya da tamamını doğrudan bitki köklerinde besin kaynağı olarak kullanmaktadırlar. Atık ürünlerin kullanılmasıyla, organik maddelerin atıksudan hızlı bir şekilde giderim için reaksiyonların oluşması sağlanmaktadır. Su bitkileri, oksijeni bitkinin üst

kısımlarından, istenilen atıksu arıtımını gerçekleştiren, aerobik bölgenin oluştuğu köklere kadar taşıyan bir özelliğe sahiplerdir.

Çevresel kirleticiler, bitkiler ve mikroorganizmalar arasında oluşan biyolojik reaksiyonlar, oldukça fazla sayıda, kompleks ve tam anlaşılması oldukça zordur. Fakat bazı bilim adamı ve mühendisler göre, su bitkileri, mikroorganizmaların fonksiyonlarının çoğunu yerine getirmelerine hizmet etmektedirler (Wolverton 1986).

Su bitkileri ile meydana gelen arıtma işleminde çeşitli arıtma mekanizmaları oluşmaktadır. Bunlar (Karagöz 1998).

- 1) Çökeltme: Uzun bekleme sürelerine sahip sistemler olduklarından su hızı yavaştır. Bu sebeple sistem içinde çökeltme meydana gelmektedir.
- 2) Adsorpsiyon: Bitkilerin kökleri sayesinde organik madde ve nütrient giderimi büyük oranda gerçekleşir.
- 3) Bakteriyel ayrışma: Aerobik ve anaerobik ortamda organik madde bakteriler tarafından ayrıştırılır.
- 4) Bitkisel Kullanım: Bitkiler ihtiyaçları olan azot ve fosforu atık sudan almaktadırlar.

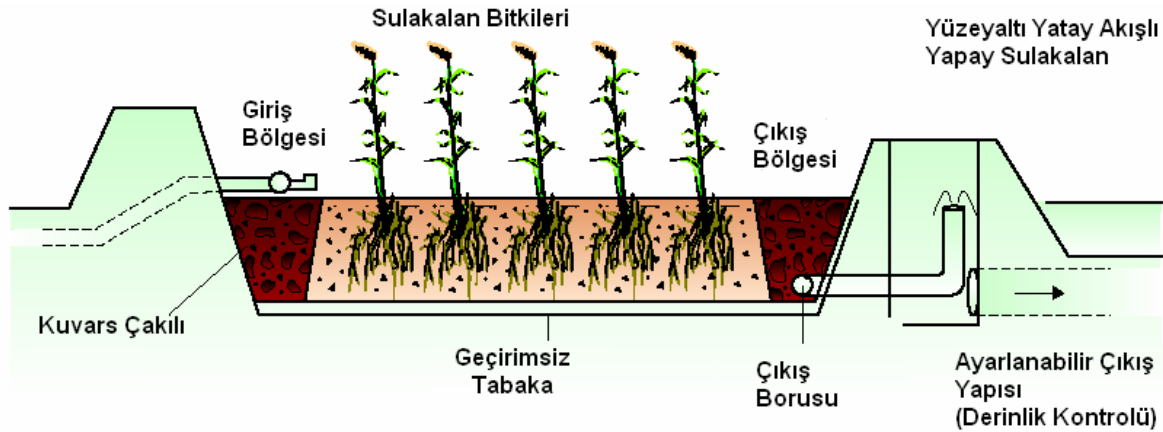
Günümüzde bitki ile iyileştirme yöntemi ucuz ve kolay bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu iyileştirme yöntemleri aşağıdaki gibidir (Zaimoğlu ve ark. 2004).

1. Bitki ile giderim: Topraktaki ve sudaki metal ve organik madde gibi kirleticilerin giderilmesi amacıyla bitkilerin kullanılmasıdır. Bitkiler kirleticileri alarak toprak üstündeki süngünlerine depo ederler.
2. Bitki ile süzme: Sudaki veya sıvı atıklardaki metallerin veya diğer kirleticilerin bitki kökleri veya süngünleri kullanarak emilmesidir. Hava ile etkileşen sularda yetişen bitkilerde bitki kökleri veya süngünleri sudaki zehirli metalleri emer ve deriştirir.
3. Bitki ile sabitleme: Sudaki veya sıvı atıklardaki metallerin ve diğer kirleticileri sabit hale getirerek, havaya geçmesine ya da kirleticilerin toprağın yıkanması sonucu derinlere oradan da yeraltı sularına karışmasına engel olur.
4. Bitki ile buharlaştırma: Kirleticilerin uçucu hale getirilmesi için bitkilerin kullanılmasıdır. Bitkiler uçucu kirleticileri (Selenyum, civa vb) topraktan alarak yaprakları vasıtasıyla uçmasını sağlarlar.
5. Bitki ile değişim: Bitki köklerinin ve bitkilerle birlikte toprakta yaşayan mikroorganizmaların, organik kirleticilerin azaltılmasında kullanılmasıdır.

Sucul bitkilerle arıtım sistemlerinin temel biyolojik bileşenleri; yüzücü bitkiler, batık bitkiler, köklü bitkiler, balıklar, diğer hayvanlar ve planktonik organizmalardır. Bu arıtım

sistemleri serbest akışlı sulak alan sistemlerine benzerdir (Metcalf and Eddy 2004). Serbest akışlı sulak alanlar yüzey akışlı ve yüzey altı akışlı sulak alan olmak üzere iki çeşidi mevcuttur.

- a) Serbest yüzey akışlı sulak alanlar: Serbest yüzey akışlı sulak alanlar, su derinliği 0.1-0.6 m, tabanı az geçirimli bariyer veya zemin olan üzerinde bitkiler yaşayan havuz ya da kanal biçimindeki sistemlerdir. Bu sulak alanlar içerisinde tüm bitki türleri yaşayabilmektedir. Genellikle ikincil veya ileri arıtım için dizayn edilir (Yılmaz 2003).
- b) Yüzey altı akışlı sulak alanlar: Yüzey altı akışlı sulak alanlar, az geçirimliliğe neden olacak şekilde çakıl ve taşların, bitkilerin içinde bulunduğu kanallardan oluşur. Yüzeyaltı akışlı sulak alanlar aynı zamanda "kök bölgesi" yada "çakıl-su kamışı filtreleri" olarak tanımlanır. Bu sistemler ikincil veya ileri arıtım için dizayn edilir (Metcalf and Eddy 2004). Yüzeyaltı akışlı sistemler yüzey akışlı sistemlere nazaran daha düşük bir alan gerektirirler ve koku, sivrisinek problemine neden olmazlar. Yüzey altı akışlı bir arıtma sistemi Şekil 2.6'da verilmiştir (Aydın ve ark. 2005).

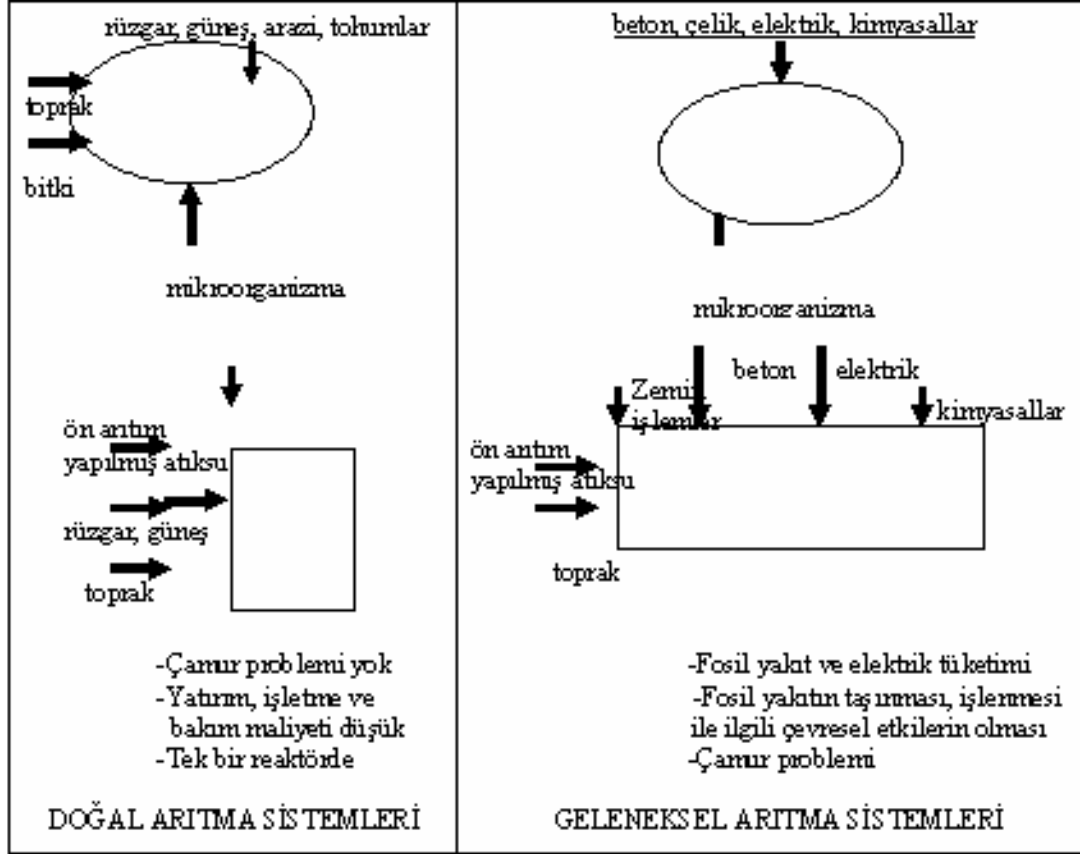


Şekil 2.6. Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan sistemi (Aydın ve ark. 2005).

Sucul bitkilerle doğal arıtım sistemlerinde, mekanik arıtım sistemlerinde gerçekleşen proseslerin (sedimentasyon, filtrasyon, gaz transferi adsorpsiyon, iyon değişimi, kimyasal çöktürme, kimyasal ve biyolojik redoks) hemen hemen hepsi kendiliğinden gerçekleşir. Bunun yanında sadece doğal sistemlere özel olan fotosentez, fitooksidasyon ve bitkisel kullanım gibi proseslerde atıksu arıtımında kullanılır (Sarıalioğlu 2003).

Doğal arıtım sistemleri, diğer sistemlere göre basit inşaat ve basit işletme, proses kararlılığı, düşük çamur üretimi, düşük maliyetler gibi özelliklerinden dolayı gelişmekte olan ülkeler için; çevre sorunlarının çözümünde önemli bir alternatif durumundadır. Doğal arıtım sistemleri, atıksu arıtımında çekici kılan üç temel işlevi vardır (Sarıalioğlu 2003).

- Kirleticilerin yüzey toprağında ve/veya bitkisel ortamda tutulması,
- Mikroorganizmaların organik bileşikleri kullanıp parçalaması,
- Sabit bir arıtım seviyesi sağlanmasındaki düşük enerji ve bakım maliyetleri,(Şekil 2.7)



Şekil2.7.Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle konvansiyonel sistemlerin karşılaştırılması (Yılmaz 2003).

Sucul sistemlerde, atıksu temel olarak bakteriyel metabolizma ve fiziksel çökelme yoluyla arıtılır. Atıksu arıtımında sucul bitkilerin katkıları azdır. Bu bitkilerin işlevi daha çok, atıksu arıtım kapasitesini geliştiren sucul çevre bileşenlerini desteklemektir. Genel olarak doğal arıtım tesislerinde sucul bitkilerin özel fonksiyonları şöyledir; kök ve dallar, bakterilerin gelişebileceği bir yüzey ve katıların adsorbe ve filtre edilebileceği bir ortam sağlar; su yüzeyinde bulunan dal ve yapraklar güneş ışınlarının sisteme girişini engelleyerek, alg oluşumunu önlerler. Rüzgarın su üzerindeki etkilerini azaltır, bitkilerin su altındaki kısımları ise gaz alışverişinde önemli rol oynarlar. Çizelge 2.12’de doğal arıtım sistemlerinde gerçekleşen arıtım mekanizmaları özetlenmiştir (Sarılioğlu 2003).

Çizelge 2.12. Doğal Arıtıma Sistemlerinde gerçekleşen arıtım mekanizmaları (Sarıalioğlu 2003).

Parametre	Giderim mekanizması
AKM	Çökelme, süzülme
BOİ	-Biyolojik ayrışma (aerobik, anaerobik) -Çökelme (organik maddelerin yada çamurun sediment ara yüzeyinde birikmesi)
Azot	-Amonyakın açığa çıkması -Amonyaklaşmanın ardından nitrifikasyon/denitrifikasyon -bitkilerle kullanım
Fosfor	-Dolgu malzemesi tarafından tutunma (kil mineralleri, demir, kalsiyum, aliminyum ile adsorpsiyon ve çökelme reaksiyonları) Bitkilerle kullanım
Patojenler	-Çökelme -Ölüm -UV Radyasyonu -Bitki köklerinden antibiyotiklerin çıkarılmasıyla

Sucul bitkili Arıtma Sistemleri tasarlanırken alanın topoğrafyası, toprak özellikleri, sel tehlikesi ve iklim gibi yer özelliklerine dikkat edilmelidir. Eğimi az olan bir alan seçilmelidir. Hava sıcaklığı bitkilerin üreme hızlarını etkilediğinden bu sistemlerin sıcak bölgelere kurulmaları gerekmektedir. Sıcaklığın en az 1°C olması gerekmektedir.

Bitki sistemlerinden önce Askıda Katı Madde (AKM)'nin bir kısmını gidermek için bekletme süresi kısa olan havalandırma havuzu veya dengeleme havuzu tasarlanmalıdır. Yüzen su bitkileri ile oluşturulan arıtma sistemlerinde, fosfor giderimi minimum olduğundan fosfor çıkışının sınırlandırıldığı yerlerde ön arıtma uygulanması gerekmektedir.

Bu sistemlerdeki bitkiler çok hızlı üreme özelliğine sahiptir. Bu nedenle yüzeyi oldukça yoğun olarak kapladıklarında, belli bir zaman sonra ölümler başlayacaktır. Ölen bitkiler havuz tabanına çöküp çürüdüklerinde su ortamına içerdikleri azot ve fosforu verirler. Bu yüzden şartlara göre hasat etme zamanlarında bu faktörlerin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Hasat ihtiyacı, çıkışta istenilen su kalitesine ve bitki büyüme hızına bağlıdır. Örneğin su mercimeklerin hasadı, sıcak ortam koşullarında haftada bir kere yapılmalıdır (Karagöz 1998).

Atık su ortamında yaygın olarak kullanılan Sucul Bitkileri ortam koşulları Çizelge 2.13'te verilmiştir (Knight 1992).

Çizelge 2.13 Sucul Bitkilerin ortam koşulları (Knight 1992).

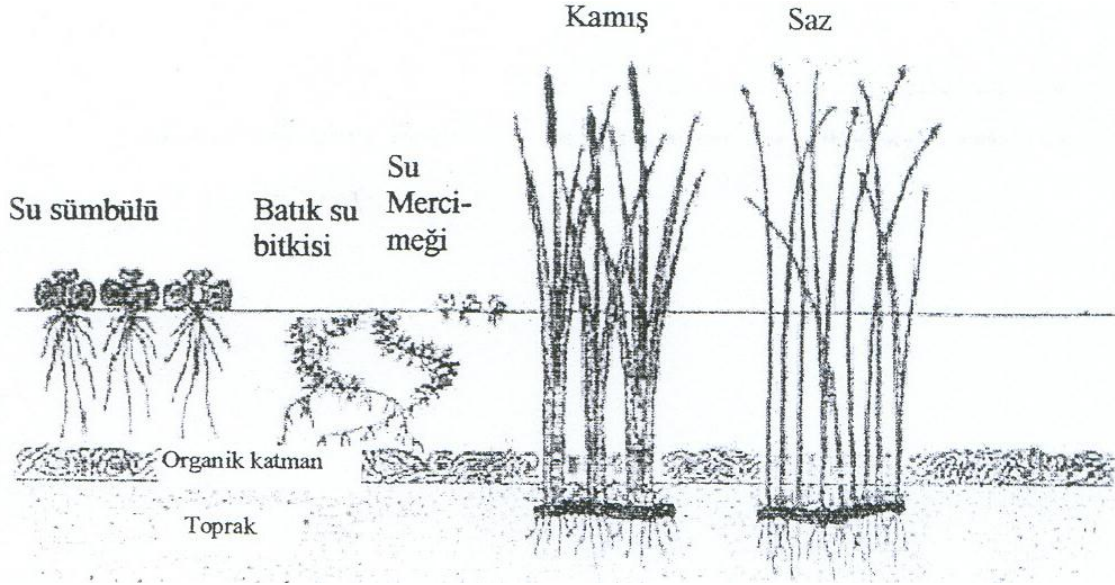
BİTKİ	Yayılm	Optimum Sıcaklık °C		Max. Tuzluluk Toleransı (mg/L)	Optimum pH
		Yaz	Kış		
Su sümbülü (<i>Eichornia crass</i>)	G.Amerika	20-30	10	800	5-7
Su Mercimeği (<i>Lemma minor Lemma gibba Wolfia spp.</i>)	Amerika	20-30	5	3500	5-7
Su Eğreltisi (<i>Azolia Caroliniana Azolina Filiculoides</i>)	Amerika	>10	5	2500	3.5-7

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda sucul bitkilerin atıksudaki patojen mikroorganizmaları ve kirleticileri yok ettiği gözlenmiş, ve bu özelliğe sahip birçok bitki incelenmiştir (Yılmaz 2003). Bunların arasında özellikle etkili olanlar *Phragmites* ve *Typha latifolia* olarak bilinen su sazı ve su kamışı türleridir.

Bitki ile iyileştirmede kullanılacak bitkilerin özellikleri aşağıdaki gibidir (Zaimoğlu ve ark. 2004);

1. Yüksek metal ve kirlilik düzeylerinde yaşayabilmeli,
2. Hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal ve kirletici toplayabilmeli,
3. Hızlı büyüebilme yeteneği olmalı,
4. Arazide çok miktarda biyokütle üretebilme potansiyeline sahip olmalı,
5. Güçlü ve zengin bir kök sistemi olmalı.

Sucul bitkilerle arıtım sistemlerinde kullanılan sucul bitkiler şekil 2.8'de verilmiştir. Bu sistemler yüzücü bitkiler ve batık bitkiler kullanılan sistemler olarak iki bölüme ayrılır (Yılmaz2003).



Şekil 2.8 Sucul bitkiler (Yılmaz 2003).

Yüzen Su Bitkileri Kullanılan Sistemler

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması için son yıllarda geliştirilen birçok yöntemin yanında, özellikle iklimi sıcak ve güneşlenme süresinin uzun olduğu yerlerde, yüzen su bitkilerinin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır (Zeren ve ark. 2001).

Yüzen su bitkileri, yaprak kısımları su yüzeyine, kökleri ise su içine doğru genişleyen bitkilerdir. Yüzen su bitkileri, fotosentez yaparak sisteme oksijen kazandırmaktadırlar. Bitkilerin fotosentetik kısımları; kök kısımları ve su yüzeyinde bulunan yapraklarıdır. Bitki köklerinde aerobik bakteriler yaşamaktadır. Bu bakteriler, sisteme yüzen bitkiler tarafından kazandırılan oksijeni kullanarak organik maddeleri ayrıştırmaktadır (Karagöz 1998).

Atık su arıtımda günümüze kadar birçok su bitkisi kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; Su mercimeği (*Lemnacea*), Su sümbülü (*Eichhornia crassipes*), Su marulu (*Pistia stratiotes*), Pennywort (*Hydrocotyle umbellata*), Azolla (*Azolla caroliniana*), Egeria (*Egeria Densa*), Pak Bung (*Ipomoea aquatica*) türleridir. Bu bitkilerin en yüksek ve en ekonomik arıtım potansiyeline sahip bitki türleri Su mercimeği türleridir. Yapılan araştırmalarda su bitkileri ile atıksu arıtımının, aktif çamur sistemlerinde 2-8 kat daha ucuz olduğu bulunmuştur (Uysal ve Zeren 1998).

Yapay sulak alanlarda kullanılan Köklü ve yüzücü bitkiler Çizelge 2.13' de verilmiştir (Knight 1992).

Çizelge 2.14 Yapay Sulak Alanlarda kullanılan köklü ve yüzücü bitkiler (Knight 1992).

Bitki Cinsi	Büyüme Şekli	Yetiştirme Yeri	Gölge Toleransı
<i>Acer negundo</i>	Ağaç	Ormanlık sulak alanlarda	Tamamen güneşli yerler
<i>Acorus calamus</i>	Otsu Bitki	Tatlı sulardan az tuzlu sulak alanlara kadar her yerde	Kısmi gölgeli yerler
<i>Alnus serrulata</i>	Çalı, funda	Sulak Alanlar	Tam güneşli
<i>Carex spp.</i>	Otsu Bitki	Sulak Alanlar, göl kıyıları	Tam gölgeli ve tam güneşli yerler
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Su içinde	Göller ve yavaş akan dereler	-
<i>Cyperus esculentus</i>	Otsu Bitki	Yeni bataklıklar, ıslak çayırlar	Tam güneşli yerler
<i>Eichhornia crassipes</i>	Köksüz yüzen bitki	Tatlı su gölleri ve ağır akan dereler	Tam güneşli yerler
<i>Hrdrocotyle umbellata</i>	Yüzen bitki	Kıyılarda, sığ sulak alanlar	Kısmi gölgeli yerler
<i>Nyssa sylvatica</i>	Ağaç	Ormanlık sulak alanlar	Kısmi gölgeli
<i>Phragmites australis</i>	Otsu Bitki	Tatlı veya tuzlu su sulak alanlar	Tam güneşli yerler
<i>Pontederia cordata</i>	Otsu Bitki	Tatlı ve tuzlu sulak alanlar, gölet kıyıları	Kısmi gölgeli
<i>Populus deltoides</i>	Ağaç	Ormanlık sulak alanlar	Tam güneşli yerler
<i>Nuphar luteum</i>	Yüzen su bitkisi	Sulak Alanlar, göletler	Kısmi gölgeli
<i>Scirbus americanus</i>	Otsu Bitki	Tuzlu sulu ve alkali sulak alanlar	Tam güneşli yerler
<i>Sparganim eurycarpm</i>	Otsu Bitki	Sulak Alanlar, gölet kıyıları	Kısmi gölgeli yerler
<i>Taxodium distichum</i>	Ağaç	Tatlı sulu sulak alanlar	Kısmi gölgeli yerler
<i>Typha latifolia</i>	Otsu Bitki	Tatlı su sulak alanları, gölet kıyıları	Tam güneşli yerler
<i>Scirpus valides</i>	Otsu Bitki	Tatlı tuzlu sulak alanlar	Tam güneşli yerler

Su bitkilerine dayalı atıksu arıtma sistemleri genel olarak, atık su ile temas halinde bulunan ve sığ havuzlarda yetiştirilen bitki monokültür veya polikültürlerinden ibarettir. Bu sistemler, atıksuları birkaç günden, birkaç haftaya kadar değişen alıkonma süresinde sahip olan sığ havuzlardan (0.5-1.0 m derinliğinde) oluşur (Uysal ve Zeren 1998). Bu sistemlerde alıkonma süresi, kirletici giderim mekanizmasına göre ayarlanır ve canlı bitkiyi genç olarak tutmak için periyodik olarak hasatlama yapılır. Hasat etme sıklığı, hava ve su sıcaklığı, besi maddesi yükü ve bitki büyüme hızına bağlıdır (Uysal ve Zeren 1998). Hasat edilen bitkiler genellikle kurutulur ve arazide düzenli olarak depolanır. Ancak kurutma işlemi sırasında koku

sorunu ortaya çıkabilmektedir. ABD'nin birçok bölgesinde sucul bitkilerle oluşturulan arıtma sistemlerinin sınırlandırılmasında, sivrisinek oluşumu bir faktör olarak görülmektedir. Bu nedenle sivrisinek oluşumunu kontrol etmek amacıyla bazı stratejiler geliştirilmiştir. Bunlar (Erol 1997);

1. Havuzlarda sivrisinek balıklarının geliştirilmesi,
2. Sistemde organik yükü azaltmak için daha etkili bir arıtma yapmak,
3. Daha sık hasat yapmak,
4. Akşam saatlerinde su püskürtmek,
5. Kimyasal kontrol unsurları kullanmak,
6. Havalandırma ekipmanları ile oksijen difüzyonu sağlamak,
7. Biyolojik kontrol unsurları sağlamak,

Sucul arıtma sistemlerinde genel olarak kullanılan Su bitkileri Su mercimeği, Su sümbülü ve Azolla'dır (Erol 1997).

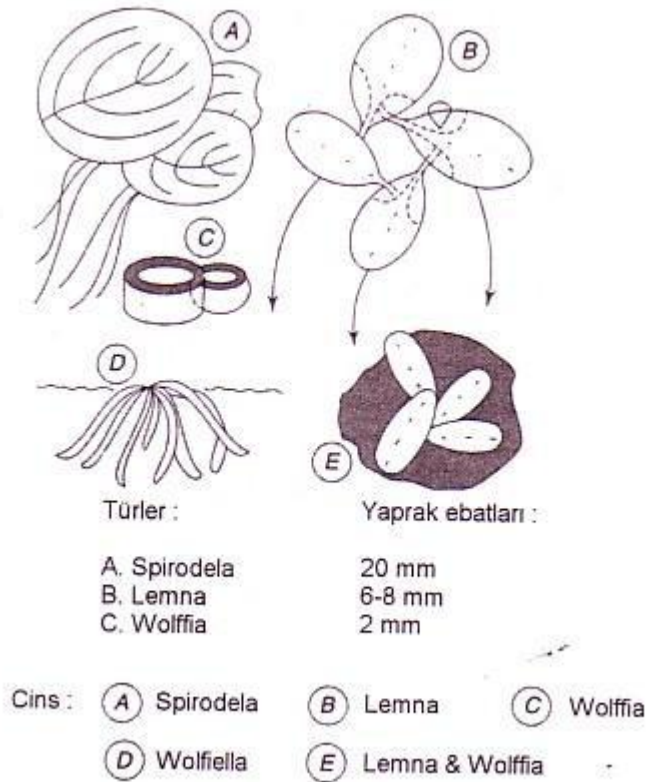
Batık Su Bitkileri Kullanılan Sistemler

Batık su bitkileri kullanılan sistemler için uygun su sıcaklığı 10-25 °C' dir. Suda asılı olarak veya sedimette köklü olarak bulunabilirler. Bu bitkilerin ekolojileri ve morfolojileri çok fazla değişiklik göstermektedir. "Rosette" tipi, düşük üretkenliğe sahip olup yalnızca oligotrofik sularda (örneğin; *Isoetes lacustris* ve *Lobelia dortmanna*) büyüebilmekte, "Eloedid" tipi ise daha yüksek üretkenliğe sahip ötrofik sularda (örneğin; *Elodea canadensis*) yaşamaktadır. Bu tür bitkiler, kirletilmiş sulardaki besi maddeleri asimile edebilmektedir. Yalnızca oksijen kazandırılmış sularda çok iyi üreyebilmektedir (Yılmaz 2003).

Organik maddelerin biyolojik ayrışımı, anoksik şartlar oluşturulduğu için, yüksek oranda ayrışabilen organik maddeleri içeren atıksularda bu bitkilerle birincil arıtım yapılmamaktadır. Bu nedenle bu tür sistemlere ikincil arıtılmış su verilerek ileri arıtım yapılmaktadır. Bu bitkiler sudaki çözünmüş inorganik karbonu tüketir ve yüksek oranda fotosentez faaliyeti ile çözünmüş oksijen konsantrasyonunu arttırlar. Böylece pH artarken, amonyağın uçurularak giderilmesi ve fosforunda kimyasal olarak çöktürülmesi sağlanabilir. Ayrıca yüksek oksijen içeriği, sudaki organik maddelerin ayrışması için en uygun şartları sağlar. Bitkilerle asimile edilen besi maddeleri, özellikle bitkilerin kök dokuları ve köklere temas halindeki mikroflora tarafından tutulmaktadır (Yılmaz 2003).

2.3.1.1. Su Mercimeği

Su mercimeği (*Lemnaceae*) familyası, dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak bulunan küçük yüzen su bitkileridir. Bu bitkiler nutrient içeriği yüksek tatlı sularda, su yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayarak gelişirler. Özellikle ılıman tropikal iklimlerde, durgun su ortamlarında yaygın olarak bulunurlar. Kısmen kirlenmiş sularda, tuzlu sularda ve ötrofik su ortamlarında da yaşamlarını sürdürebilmektedir. Bu familya; *Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia*, ve *Wolffiella* olmak üzere dört cinsten ve 28 türden oluşmaktadır. Şekil 2.9'da bazı tipik su mercimeği çeşitleri verilmiştir (Uysal ve Zeren 1998).



Şekil 2.9. Su mercimeği çeşitleri (Uysal ve Zeren 1998).

Su mercimekleri türleri küçük ve yeşil temiz su bitkileri olup, yaprakları 1-3mm genişliğinde, kökleri ise 1 cm civarındadır. Bunlar çiçekli bitkilerin en küçük ve basit, fakat en hızlı çoğalan türleridir. Yapraktaki hücreler bölünmek suretiyle yeni bir yaprak meydana gelir. Su mercimekleri yapraklarına birleşik anlamına gelen “frond” adı verilir. Tüm bitki düz, yassı ve yumurta şeklinde oval frondlara sahiptir. Su mercimeği frondları %92-94 oranında su içermektedirler. Su mercimeğinin her bir yaprağı, hayat devresi boyunca 10-20 defa çoğalır (Bayhan ve ark. 1996).

Su mercimeği türleri diğer vasküler bitkilerden en az iki misli daha hızlı büyümektedirler. Soğuğa karşı Su sümbülünden daha dayanıklıdır ve donma şartlarında kalsa bile hava tekrar ısınana kadar canlılığını korumaya devam eder. Bitki metabolik olarak aktif hücrelerden oluşmuştur ve lifli yapı çok azdır (Bayhan ve ark. 1996).

Su mercimeği türlerinin bu kadar cazip olması şu özelliklerinden ileri gelmektedir (DSİ 2001,Sarı 1993):

1. Su mercimeklerinin büyüme hızı çok yüksektir (0.10-0.35 g/gün).
2. Su mercimekleri çok yüksek besin değerlerine sahiptir. Çünkü, tüm bitki metabolik olarak aktif dokulardan ibarettir.
3. Su mercimeği hasatı kolaydır. Hasatlama işlemi frondların su yüzeyinden sıyrılarak alınmasıyla gerçekleşir. Atıksuda başarılı bir şekilde gelişirler ve parçalanabilir kirleticileri proteince zengin biyokütlelere dönüştürürler. Arıtılan çıkış suları, sulama amaçlı kullanılabilirler.

Su mercimeği türleri 5-7 °C gibi düşük su sıcaklıklarında ve 1-3°C gibi düşük hava sıcaklıklarında da gelişebilmektedirler. Bu bitki geniş pH aralığına karşı toleranslıdır. En iyi pH aralığı ise 4.5-7.5' tir. pH'ın 10'un üzerinde olması büyümeyi önemli ölçüde etkilemektedir (Bayhan ve ark. 1996, Uysal ve Taner 2007).

Su mercimeği türlerinin en iyi gelişme şartları Çizelge 2.15' de verilmiştir (Uysal ve Zeren 1998).

Çizelge 2.15.Su mercimeği için en iyi gelişme şartları (Uysal ve Zeren 1998)

Parametre	En İyi Gelişim	Tolerans Sınırları
pH	4.5 - 7.5	3.5 - 8.5
Sıcaklık (°C)	20 - 30	1 - 32
Işık Şiddeti	Sınırlayıcı değil	Geniş tolerans sınırı

Su mercimeği türleri tüm su yüzeyine yayılarak serbest olarak yüzerler. Hızlı akışlarda, dalda rüzgar hareketleriyle su kıyılarına doğru sürüklenebilir ve burada biriken bitkiler zamana kuruyarak ölebilirler. Bu sebeple, bu tür bitkilerle arıtımın yapıldığı arıtma tesislerinde, özellikle rüzgar problemlere neden olabilmektedir. Bunların yanı sıra, yüzen su bitkilerinin kullanıldığı arıtma sistemlerinde, arıtımın yüksek verimle sürdürülebilmesi için bitkilerin su yüzeyini tamamen kaplaması gerekmektedir. Bitkilerin havuz yüzeyine düzgün bir şekilde dağılımını sağlamak için birbirine paralel olarak yüzen bariyer ızgaralar yerleştirilebilir ya da düşük kenar yüksekliğinde toprak bentler yapılabilir (Uysal ve Zeren 1998).

Su mercimeği, atık suların arıtılmasında aerobik ve anaerobik bakteriler ile işbirliği içindedir. Su yüzeyini tamamen kaplayan su mercimeği tabakası, su mercimeğine dayalı atıksu arıtma havuzlarında üç bölge oluşmasına neden olur. Bunlar, aerobik bölge (su mercimeği tabakasının 10cm aşağısı), anoksik ve anaerobik bölgelerdir. Aerobik bölgede, organik maddeler, aerobik bakteriler tarafından, havadan su mercimeğinin köklerine transfer edilen oksijen kullanılarak oksitlenir. Organik azotun, anoksik bakteriler tarafından su mercimeğinin nutrient olarak kullandığı ara ürünler olan amonyum ve orta- fosfatlara ayrıştırıldığı bölgede nitrifikasyon ve denitrifikasyon meydana gelir. Havuz tabanındaki organik maddeler anaerobik bakteriler tarafından ayrıştırılır ve bu CO₂, H₂S, ve CH₄ gibi gazların oluşmasına yol açar (Metcalf and Eddy 2004).

Su mercimeği bitkisi uygun şartlarda çok bol yetiştiğinden, atıksu arıtımında etkili olarak kullanılmaktadır. Bu bitkiler, kolayca toplanabilmekte ve balık yemi olarak kullanılabilir. Sonuç olarak, balık gibi pazarlanabilir bir ürün elde edilebilmektedir. Su mercimeği havuzlarında yüksek derecede arıtım sağlanmaktadır. Su mercimeğine dayalı arıtma sistemleri, aşağıda belirtilen amaçlarla kullanılabilir (Dalu and Ndamba 2003).

1. Alg stabilizasyon havuzlarıyla ve mekanik havalandırılmalı lagünlerde arıtılan atık suların ileri arıtımda kullanılırlar. Özellikle arıtılmış atıksudaki toplam askıda katı madde miktarı alge dayalıysa ve alıcı ortama deşarjda BOI ve TSS(Toplam askıda katı madde) standartları yüksekse, bu tip havuzlar tercih edilir.

Zimbabve'de iki küçük kırsal alanda atıksu arıtımı için su mercimeği kaplı stabilizasyon havuzlarında üç yıl süren bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma arıtılmış atıksu kalitesinin artırmaya yönelik, çevre yönetimi geliştirmeyi amacıyla yapılmıştır. Çalışma toplam nüfusu 23.000 olan Nemanwa ve Gutu Growth noktalarında gerçekleştirilmiştir. Bu iki merkez, Zimbabve'nin küçük kırsal alanlarının %70'inde olduğu gibi, evsel atıksuların arıtılması için alg havuzları kullanılarak, çıkış suyunu fidanlıkların sulanmasında kullanılmaktadır. Su mercimeği, olgunlaştırma havuzlarında su yüzeyinin en az % 50'sinin kaplayacak şekilde yerleştirilmiştir. Ölçülen parametrelerin giriş ve çıkış değerleri karşılaştırıldığında %60'tan fazla giderim gözlenmiştir. Zimbabve'nin küçük kırsal alanlarında, su mercimeğine dayalı atıksu stabilizasyon havuzları evsel atıksuların arıtılması için başarılı bir şekilde kullanılır.

2. Arıtılmış atık suyu bir nehir ya da göle deşarj etmeden önce, daha çok denitrifikasyon sağlamak için kullanılırlar.
3. Balık yetiştirecek geliri olan bir arıtma tesisi yapmak için kullanılırlar.

Yaygın atıksu arıtma sistemleri hem ilk yatırım hemde işletme masrafları bakımından oldukça maliyetlidir. Diğer taraftan, atık stabilizasyon havuzları nutrientler için çıkış standartlarını sağlamakta başarısız olabilir. Su mercimeğinin kullanıldığı atıksu arıtma sistemleri, çıkış standartlarının sağlanması ve su mercimeğinin satılmasından elde edilecek gelir bakımından çok önemlidir. Organik bileşik konsantrasyonlarını ve patojenleri kabul edilebilir seviyeye düşürmesine rağmen, su mercimeği atıksu arıtma sistemleri oldukça fazla alan gereksinimine sahiptir (Smith ve ark. 2001).

Su Mercimeği Kullanılan Atıksu Arıtma Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Diğer atıksu arıtma sistemleri ile karşılaştırıldıklarında Su Mercimeği kullanılan atıksu arıtma sistemlerinin birçok avantajı vardır. Bunlar (Smith ve ark. 2001);

- Yüksek nütrient giderimi,
- Alg gelişiminin engellenmesi,
- Koku ve sinek oluşumunun engellenmesi,
- Klorun etkisinin azaltılması,
- Düşük maliyet ve yüksek gelir elde edilmesidir.

Avantajlarının yanı sıra bu tür sistemlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar:

- Düşük patojen giderimi,
- Eğer diğer arıtma yöntemleri ile kullanılmıyorsa, şok yüklemelere karşı etkisiz olması,
- Rüzgarlı yerlerde uygulanmasının elverişsiz olması,
- Hayvan yemi olarak toplananan su mercimekleri toksik organik bileşikler ve ağır metaller içerebilmesidir.

Sucul bitkilerle arıtma sistemlerinin kontrolünde dikkat edilmesi gereken önemli etkenler; bitkilerin hasat edilme sıklığı, sivrisinek problemi ve alg oluşumudur. Bitki hasat edilme gerekliliği su kalite özelliklerine, bitkilerin büyüme hızına ve buğday biti gibi zararlıların üreme hızına bağlıdır. Besi maddelerinin yüksek oranda giderilebilmesi için sucul bitkilerin sürekli hasat edilmeleri gereklidir. Örneğin su sümbülleri her üç veya dört haftada bir hasat edilir. Buğday biti (Weevil) su sümbülü popülasyonunun sağlığı için önemli bir sorun oluşturur. Su sümbülü kolayca kompost edilebilir. Su mercimeğinin ise sıcak zamanlarda haftada bir kez hasat edilmesi istenebilir (Metcalf and Eddy 2004).

Sucul arıtım sistemlerinde sivrisineklerin üremesi, bu sistemlerin kullanılmasına izin verilip verilemeyeceği konusunda kritik bir faktördür. Sivrisinek popülasyonunun kontrolü şu stratejileri içerir (Yılmaz 2003);

1. Sivrisinek balıkları (*Gambusia spp.*) yetiştirilebilir.
2. Toplam organik yükü azaltıcı daha etkili bir ön arıtma, aerobik şartlara yardım amacıyla yapılabilir.
3. Geri besleme yapılabilir.
4. Bitkiler daha sık aralıklarla hasat edilebilir.
5. Akşam saatlerinde bitkiler üzerine su spreylemesi yapılabilir.
6. Kimyasal ve biyolojik kontrol uygulanabilir.
7. Havalandırma ekipmanları ile oksijen difüzyonu yapılabilir.

Zaman zaman sucul bitki arıtım sistemlerinde alg çoğalması gözlenir. Algler suyun kokusunu ve tadını bozarlar, köpük oluştururlar, pH'ın değişimine neden olurlar, su arıtma tesisinin masrafını arttırmaları, rekreasyonu ve turizmi olumsuz etkilerler, toksik madde üretirler ve su kalitesini düşürürler. Algleri baskın hale getiren yavaş su hareketi, yüksek besin maddesi içeriği, yüksek pH, sıcaklık, bulanıklık, tuzluluk ve güneş gibi faktörlerdir. Bu faktörler kısıtlanarak algler kontrol altına alınabilirler. Bunun için genelde yüzücü bitki türleri kullanılır. Özellikle su mercimeği ve su sümbülü güneş ışığını bloke ederler ve yüzeyi tamamen kapladıklarından hava/su ara yüzeyinden atmosferik hava girişini engellerler. Bunun dışında çeşitli kimyasallar(bakırsülfat gibi) kullanılarak da algler belirli ölçüde giderilebilirler. Fakat kimyasal maddeler suda toksik etki oluşturabileceğinden doğal yollarla alg giderimi daha fazla tercih edilir (Yılmaz 2003).

2.4. Sulak Alanların Türkiyede'ki ve Dünya'daki Yeri

T.C Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünün himayesinde başlayan ‘ Doğal Arıtma Projesi’ çok düşük maliyetle, doğal arıtım sağlamakta, kırsal atık kirliliğini önlemekte ve ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Atık suların arıtılması konusunda “ Yapay Sulak Alanlar” veya “ Ekili Sulak Alanlar” olarak bilinen Doğal Arıtma yönteminde 2004 yılından bugüne kadar 43 köyde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. 174 köyde de daha çalışmalar devam etmektedir. Doğal Arıtma projesinin uygulandığı 43 köyden 4’ü Konya’dadır.

Ayrıca Ilgın- Kapaklı, Akşehir-Çamlı, Tuzlukçu-Erdoğdu köylerinde Doğal arıtma Projesi inşaatları tamalanmış, bitkilendirme çalışmaları da bitmek üzeredir (<http://sutek.blogcu.com/atik-suyu-temizleyen-bitkiler/5112799>).

2.4.1.Türkiye'de yapılan sulak alan çalışmaları

Türkiye'de yapay sulak alanlarla evsel atık suların arıtılmasına yönelik deneysel çalışmalar TÜBİTAK tarafından başlatılmıştır. Köy hizmetleri genel müdürlüğü 2003 yılında küçük ölçekli kırsal yerleşimler için çok geniş kapsamlı yapay sulak alan projesini başlatmıştır. Köy hizmetleri kapatıldıktan sonra projeyi İl Özel İdareleri devralmıştır (2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010).

Türkiye'nin 2003 yılında tanıştığı doğal arıtma tesisleri, hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Su mercimeği, Su sümbülü ve Su kamışı gibi bitkilerin kökleri atık sudaki maddeleri bünyesine alarak kanalizasyon atıklarını, tarımda kullanabilecek hale getirmektedir. Doğal arıtma sistemlerinde arıtma işlemi beş gün içerisinde gerçekleşir. Atık suyun içindeki azot, fosfor ve potasyum gibi maddelerle, bitki kökleri ve çakıllar arasındaki mikroorganizmalar tarafından parçalanmaktadır. Daha sonra su koku ve atıktan arındırılmış halde tarımsal sulamaya hazır hale gelmektedir (2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010).

Ankara-Haymana-Dikilitaş Köyü Yapay Sulak Alanı

İlk olarak Ankara-Haymana- Dikilitaş Köyünde yürütölmekte olan sistem, özel olarak yataklarda yetiştirilen bitkiler vasıtasıyla atıksuyun arıtılması esasına dayanmaktadır. Sistem pahalı ekipmanlara ihtiyaç duymamaktadır. Enerji ihtiyacı yoktur. Bakım, onarım ve işletmesi kolaydır. Köylüler tarafından çok rahat işletilmektedir. Şekil 2.10'da tesisin akım şeması görölmektedir. Şekil 2.11'de ise Yapay Sulak Alan görüntüsü verilmiştir (http://khgm.gov.tr/arıtma_prj.htm).

Çevredeki doğal malzeme kullanılarak ihtiyaç büyüklüğünde hazırlanan havuzlarda atıksuyun filtre edilmesi ve yetiştirilen sulak alan bitkileri ile suyun arıtılması esasına dayanan bu sistem, doğal yapının küçük taklitleridir. Sulak alanlar, ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendi kendini yenileyebilme kapasitesine sahiptirler. Birçok canlı türüne yaşama alanı sağlayarak yabani hayat oluştururlar. Ortamdaki karbondioksiti tüketip oksijen

üretmek atmosferin doğal dengesinin korunmasını sağlarlar. Organik maddeyi, askıda katı maddeyi, besinleri, toksik maddeleri, ağır metalleri ve biyolojik unsurları giderebilmesinden dolayı yüksek miktarda arıtım kapasitesine sahiptirler (http://khgm.gov.tr/aritma_prj.htm)



Şekil 2.10 Yapay sulak alan akım şeması (http://khgm.gov.tr/aritma_prj.htm)



Şekil 2.11 Yapay Sulak Alan görüntüsü (http://khgm.gov.tr/aritma_prj.htm)

T.C Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilen ilk sulakalan projesi Dikilitaş köyünde gerçekleşmiştir. 2000 yılı sayımına göre nüfusu 455 kişi olan köyün kanalizasyon sistemi 500 ve 250 kişi kapasiteli olmak üzere iki adet fosseptikle sona ermektedir. İlk aşamada 250 kişilik fosseptik çıkışına bir yapay sulakalan inşa edilecek, denendikten sonra gerekli düzeltmeler yapılarak 500 kişilik fosseptik çıkışında da bir sulakalan yapılması planlanmıştır (Eremektar ve ark. 2005).

Samsun-Havza-Kamlık Köyü Doğal Arıtma Tesisi

Samsun İl Özel İdaresi'nce Havza ilçesi Kamlık köyünde yapılan “Doğal Arıtma Tesisi” inşaatı 2009 yılında tamamlanmıştır. Proje kapsamında pilot uygulama olarak yaklaşık 600 kişinin yaşadığı Kamlık köyü fosseptiğinden çıkan atık suyun, yapay sulak alan oluşturularak arıtılmasında sonra, alıcı ortama deşarj edilmektedir. Projenin uygulama aşamasında, tesis inşaatına öncelikle sulak alan yatağının kazısı yapılarak başlanmıştır. Yatak tabanına gerekli eğim verilerek, taban ve yan yüzeylerin geçirimsizliği beton ile sağlandıktan sonra yatak ortamına atık suyun filtre edilebilmesi için 40 cm. kalınlığında çakıl, filtre malzemesinin üzerine yatak ortamına dikilecek sulak alan bitkilerinin kök gelişiminin sağlanabilmesi için 20 cm kalınlığında tuvenan malzeme serilerek, sulak alan yatağı hazırlanmıştır. Fosseptikten gelen atık suyun yatak ortamına dağıtılması ve sulak alan yatağından çıkan arıtılmış suyun toplanabilmesi için, dağıtım ve toplama rögarlarının yapılması, dağıtım drenaj borularının döşenmesi ve bitki ekimi ile tesisin inşası tamamlanarak tesis işletmeye alınmıştır (<http://samsunozelidare.gov.tr/haberyazdir.asp?newsId=454>).

Tesiste sulak alan bitkisi olarak *Typha latifolia* (geniş yapraklı su kamışı) kullanılmıştır. Bu proje sayesinde; yüksek yatırım ve işletme maliyeti gerektiren geleneksel arıtma tesisleri yerine, köylerde doğal arıtma yöntemi ile atık suların arıtılması için proje çalışmalarına devam edilerek ve tesisin uygun alan olan yerlerde yaygınlaştırılmasının hedeflenmiştir. Doğal arıtma sistemleri işletmesi kolay, güvenilir ve çevre dostu sistemlerdir. Tesisin işletilmesinde elektrik enerjisi gerektirmediği için enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Konu ile ilgili çalışmalar devam etmekte olup bu sistemlerden çıkan suyun, sulama suyu kalitesinde olduğu ifade edilmektedir (<http://samsunozelidare.gov.tr/haberyazdir.asp?newsId=454>).

Ortadoğu Teknik Üniversitesindeki Pilot Uygulama Çalışması

ODTÜ kampüsünde evsel atık suların arıtımında kullanılacak, kampus içerisindeki çamur kurutma yatağının 90 m² sini kaplayan, farklı dolgu malzemelerinden yapılmış iki tane sulak alan inşa edilmiştir. Bu sulak alanlardan biri aşağı dikey akışlı, diğeri ise yatay akışlıdır. Bu sulak alanlarda Dünya'daki diğeri örneklerle performansını kanıtlamış kargı (*Phragmites australis*) bitkisi kullanılmaktadır (Eremektar ve ark. 2005).

Paşaköy Arıtma Tesisi İçinde İnşa Edilmiş Yapay Sulak Alan

İstanbul Paşaköy arıtma tesisi içinde inşa edilmiş yapay sulak alan ile İstanbul'da mevcut su temin edilen yüzeysel kaynaklarda su kalitesinin korumaktadır. Atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ile beslenen, birbirinden ayrı üç tane sulak alan sistemi vardır. Yüzeysel akışlı bir sistemdir. Sinek ve koku problemi yoktur. Su dağıtımı borularla yapılmakta, zeminin geçirimsizliği kille kaplanarak sağlanmaktadır. Dolgu malzemesi çakıl taşı, ve bitki olarak ta köklü bir bitki olan *Cyperus*, yani bilinen adıyla Japon şemsiyesi kullanılmıştır. Japon şemsiyesi yaz aylarında yeşil olup, boyu 1.5-5m civarındadır. Estetik açıdan güzel bir görüntü oluşturmaktadır. Fakat kış aylarında Japon şemsiyesi bitkisi hasat edilmiş ve soğuk hava şartlarından dolayı sararmış durumdadır (Eremektar ve ark. 2005).

Ömerli'deki Baraj Suyunu Koruma Amaçlı İnşa Edilen Pilot Ölçekli Yapay Sulak Alan

Bu sistemin yapılmasındaki amaç, Ömerli'deki baraj suyunu noktasal ve yayılı kaynaktan gelen kirleticilerden korumak, büyük miktarlardaki suyu Ömerli'ye geri kazandırmaktır. Yapay sulak alan birbirine seri bağlı sistemden oluşmaktadır. Birinci sistem yüzeysel akışlı olup, bu sistem için dört tane tank kullanılmıştır. Bu dört tankın çıkış suyu ikinci sisteme yani beşinci tanka verilmektedir. İkinci sistem serbest yüzey akışlıdır ve bu sistemin çıkış suyu da üçüncü sisteme yani altıncı tanka verilmektedir. Üçüncü sistem de serbest yüzey akışlıdır. Yüzeysel akışlı birinci sistemde köklü bitkiler (*Cana, Cyperus, Typhia, Juncus* gibi), serbest yüzey akışlı ikinci sistemde yüzücü bitkiler (*Lemna, Pistia, Salvina* gibi), serbest yüzey akışlı üçüncü sistemde batık bitkiler (*Elodea, Egeria* gibi) kullanılmıştır (Eremektar ve ark. 2005).

İzmir-Torbalı-Korucuk Köyü Yapay Sulak Alan Tesisi

İzmir-Torbalı-Korucuk Köyü 2000 nüfus sayımına göre 1095 kişidir (280 hane). Köyde kanalizasyon ve fosseptik mevcuttur. Atıksu, tesise girmeden önce dört haneli bir fosseptik çukuruna gelmektedir . Bu dört haneli fosseptik ön çökeltme tankı görevi yapmaktadır. Fosseptikten çıkan atıksu yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alana verilmektedir (Eremektar ve ark. 2005).

İzmir-Torbalı-Çakırbeyli Köyü Yapay Sulak Alan Tesisi

Çakırbeyli köyünün nüfusu 2000 yılı nüfus sayımına göre 1000 kişidir. Kanalizasyonu ve fosseptiği mevcuttur. Yüzey altı yatay akışlı bir yapay sulak alan tesisi yapılmıştır .Yüzey altı akışlı sistemlerde koku ve sivrisinek sorunu olmaması, tesisin yüzey altı akışlı seçilmesinde önemli bir etkidir. Atıksu tesise girmeden önce dört haneli bir fosseptik çukuruna gelmektedir. Bu dört haneli fosseptik ön çökeltme tankı görevi yapmaktadır. Zemin geçirimsizliği sağlamak amacıyla ilk olarak kil malzeme ile kaplanmıştır. Saçak köklü bir bitki olan *Vetivergras* kullanılmıştır. Ülkemizde yetişmemekte olan bu bitki, İtalya'dan deneme amaçlı ithal edilmiştir (Eremektar ve ark. 2005).

Manisa-Akhisar-Sakarkaya Köyü Yapay Sulak Alan Tesisi

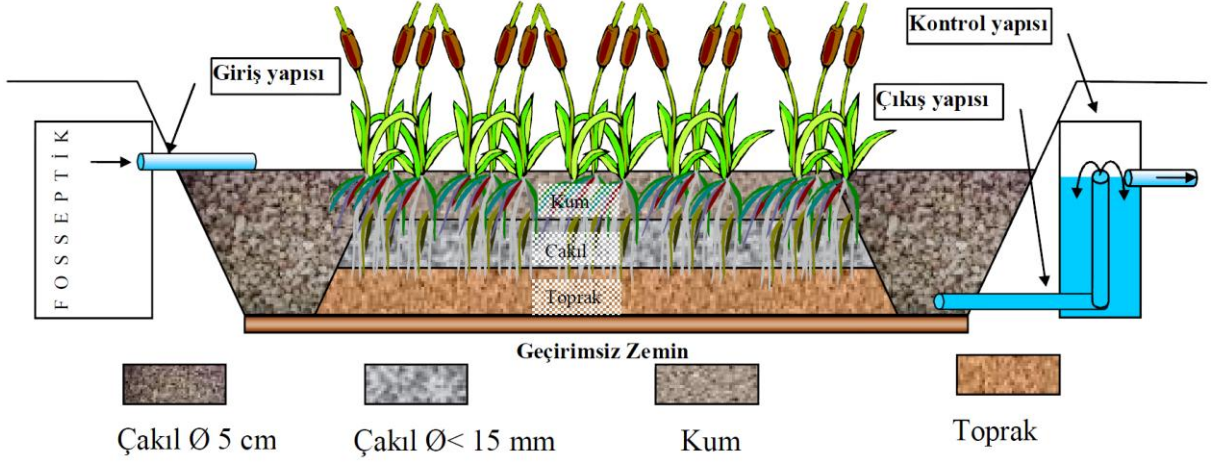
Sakarkaya Köyü 2000 yılı nüfus sayımına göre 724 kişidir. (145 hane) Köyde kanalizasyon şebekesi ve fosseptik mevcuttur. Atıksu fosseptikten çıktıktan sonra yüzeyaltı yatay akışlı yapay sulak alan tesisine verilmektedir (Eremektar ve ark. 2005).

Manisa-Saruhanlı-Yeni Osmaniye Köyü Yapay Sulak Alan Tesisi

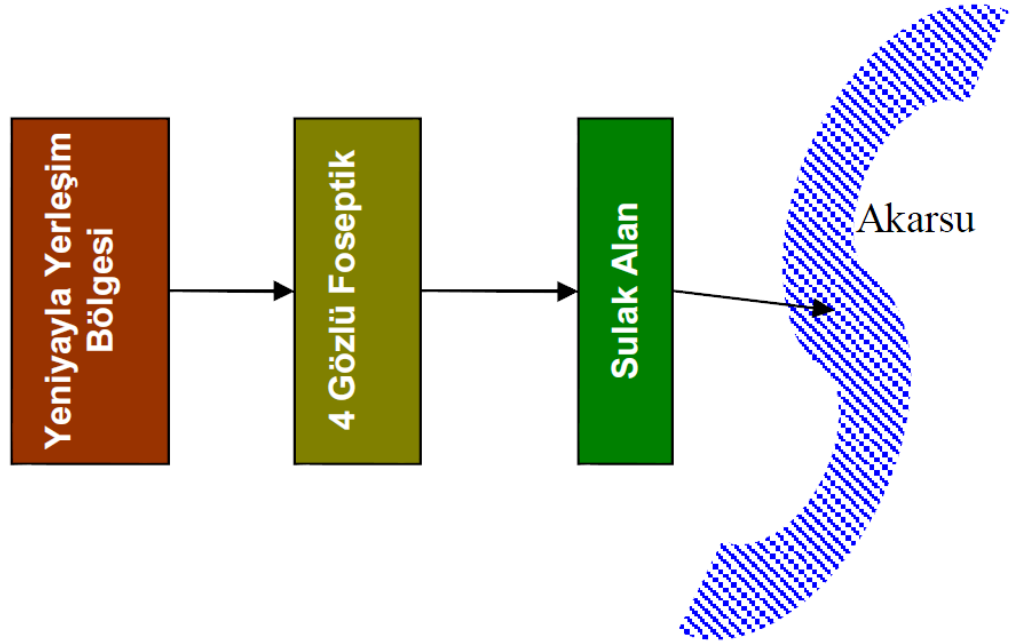
Yeni Osmaniye köyü 2000 nüfus sayımına göre nüfusu 246 kişidir. (49 hane) Kanalizasyon şebekesi ve fosseptiği mevcut. Fosseptikten çıkan atıksuyun yüzey altı yatay akışlı sisteme verilmesi planlanmıştır (Eremektar ve ark. 2005).

Adana- Yüreğir- Yenyayla Köyü Doğal Arıtma Projesi

Yenyayla Köyü 2000 yılı nüfus sayımına göre 850 kişidir. (250 hane) Köyün kanalizasyonu ve fosseptiği mevcuttur. Sulak alan tek hücrelidir ve köklü bitkilerin kullanıldığı, yüzey altı akışlı sistemdir. Yatak zemini ve şevler sızdırmazlığı sağlamak için killi malzeme ile sıkıştırılmıştır. Yapay sulak alanda yatak derinliği 0.6m olarak belirlenmiştir. Giriş ve çıkış yapıları için 5 cm çapında çakıl malzeme seçilmiştir. Bitkilerin yetiştirileceği filtre ortamı için ise üç katman oluşturulmuştur. Bu katmanlar çakıl (<15 mm), kum ve bitki toprağından meydana gelmektedir. Sulak alana gelen atıksu ön arıtım olarak fosseptikten geçmektedir. Şekil 2.12'de yapay sulak alanın kesit görünüşü ve Şekil 2.13'te akım şeması verilmiştir (Eremektar ve ark. 2005).



Şekil 2.12 Yapay sulak alan kesit görünüşü (Eremektar ve ark. 2005)



Şekil 2.13 Yenyayla Yapay atıksu tesisi akış diyagramı (Eremektar ve ark. 2005)

Yenyayla Doğal arıtma Tesisinde civardan kolaylıkla temin edilebilen Hasırotu (Büyük Su Kamışı; *Typha Latifolia*) ve Kana (Benekli Hint Kamışı; *Canna İndica*) köklü bitkileri kullanılmıştır. (Şekil 2.14 ve Şekil 2.15) (2000 Kişilik Eysel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010).



Şekil 2.14 Hasır otu bitkisi



Şekil 2.15 *Canna indica* (Kana Çiçeği) (2000

Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010).

2.4.2.Dünya'da Yapılan Sulak alan Çalışmaları

Amerika'nın her bölgesinde, Kanada'nın bazı bölgelerinde yapay sulak alanlar mevcuttur. Bunların arasında otuz yıldır çalışan sistemler de vardır. Avrupa'da sulak alan uygulamalarının en yaygın olduğu bölge Danimarka'dır. Yapay sulak alanların atıksu arıtımında kullanan diğer ülkeler ise Almanya, Çek Cumhuriyeti ve İtalya'dır. Hindistan, Çin, Hong Kong, Güney Amerika'da ise uygulamalar yaygınlaşmaktadır (2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010).

Yüzer bitki sistemlerine örnek vermek gerekirse, Amerika'da su sümbülü ile oluşturulan tam ölçekli bir arıtma sistemi kullanılmaktadır. Bunun dışında *Lemna* ile benzer uygulamalar yapılmaktadır. (EPA 832-F-00-023 2000, Reddy ve Debusk 1987).

Başlangıçta evsel atık su arıtmasında kullanılan sulak alan sistemleri yeni ve farklı uygulamalarda da kullanılmaktadır. On yıldan fazla "The Ecovillage Institute"de makineler üzerinde çalışan Michael Shaw endüstriyel atık suların, tarımsal sulama sularının, su kanallarının, içme suyu rezervi olan baraj ve göllerin arıtılmasında bitkisel arıtmanın başarılı örneklerini hayata geçirdiklerini söylemiştir. Bunlara bir örnek olarak Çin'in Funzou kentinde 125000 kişilik sanayi, ticari ve evsel atık suların aktığı su kanallarında kurulan 7,2 km

uzunluğunda yüzen bir bitkisel arıtma sistemi verilebilir (Şekil 2.16) (2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010).



Şekil 2.16. Baima Kanal Bitkisel Atık su Arıtma Sistemi, Fuzhou,Çin (2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010)

Amerikan Gıda devi Tyson Food, yüksek yağ ve organik atık içeren tavuk işleme tesisinin atıklarını arıtmak için bitkisel arıtma tercih etmiştir. Bitkisel arıtma ayrıca Dünya 'da maden çıkarma çalışmalarında oluşan suların ve sel sularının arıtılmasında da kullanılmaktadır (2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu 2010).

2.5.Literatürde Sucul Bitkilerle Yapılan Ağır Metal Giderim Çalışmaları

Reddy ve De Busk (1985)'nin yaptığı çalışmalar sonucu yapay sulak alanların yüksek bir ağır metal giderim yeteneğine sahip olduğunu ve %75–99 oranında Kadmiyum, %40–96 oranında Bakır, %86 oranında Kurşun, %49–88 oranında Nikel ve %33–96 oranında Çinko giderimi sağladığını göstermektedir (Reddy ve Debusk 1985).

Wolverton ve Mc Donald yapmış olduğu çalışmalarda, Florida gibi iklimi daha uygun olan bölgelerde bu büyüme hızının, günde bitki yüzey alanının % 15'ine kadar çıkabileceğini göstermiştir. Hesaplamalar evsel atıklar içeren bir gölü temizleyebilmek için gölün toplam alanının %30'u kadar bir su sümbülü ekim alanının yeterli olacağını ortaya çıkarmıştır. Florida'da daki bu çalışmanın sonucuna göre günde hektar başına 2,2 milyon litre atık su havuza verildiğinde, içerdiği azotlu bileşiklerin %80'i ve fosforlu bileşiklerin % 40'ı iki gün içinde bu bitki tarafından atık sudan uzaklaştırabilmektedir. Su sümbülleri ile yapılan bu

çalışmadan yola çıkarak, California'da 6500 nüfuslu bir yerleşim merkezinde doğal biyolojik sistemlerin kullanıldığı bir arıtma tesisi kurulmuş olup 1981 yılından beri kentin tüm atıkları bu yolla arıtılmaktadır. Bu sistem en büyüğü 0,450 hektar yüzey alanına sahip üç göletten oluşmaktadır. Göletlerin yüzeyi su sümbülleri ve su mercimekleri (*Lemna Sp*) ile kaplıdır (Wolverton 1986).

Umut verici potansiyele sahip biyosistemler arasında en çok dikkat çeken bitki, Su Sümbülü'dür (*Eichornia crassipes*). Ilıman ve subtropikal iklimlerde doğal olarak yaşayan bu bitkiye güzel görünüşüne rağmen, hızla büyüyen vejetatif çoğalma ile yayılması ve sonuçta su kanallarını tıkaması nedeniyle 70'li yıllara kadar zararlı bir su otu gözü ile bakılmaktaydı. NASA tarafından Mississippi'de yapılan ön laboratuvar denemeleri, bitkinin evsel atık sulardan organik maddeleri büyük bir hızla absorplayip metabolize edebildiğini göstermiştir. Bitki, bu atık organik maddeleri hücre materyali sentezinde kullanır. Durgun suların yüzeyinde yaşayan, gövdesinden çıkarttığı vejetatif uzantılar ve tomurcuklar ile çok büyük bir hızla çoğalan ve tüm su yüzeyini kısa bir süre içinde kaplayabilen bu bitki, toplandığında günde hektar başına 20-40 ton yaş biyolojik materyal verebilir (Srivastav ve ark. 1993).

Hindistan'da yapılan bir çalışmada *Salvinia* ve *Spirodela* sucul bitkileri kullanılarak krom ve nikel giderimi çalışılmıştır. Bütün konsantrasyonlarda giderim ilk iki günde gerçekleşmiştir. İlk iki günün sonunda giderim oranı, 1.0-8.0 ppm konsantrasyonlarında %56-96 dır. 14 günün sonunda ise giderim oranı %18-72 dir. Zamanla krom ve nikel giderim oranları sürekli azalmıştır. Benzer ölçümler krom ve nikelin karışımı olan deney grubunda da gözlenmiştir. Giderim oranı, karışım halinde olan deney grubunda daha düşüktür. İlk iki günde giderim oranı %35- 83, deney sonunda ise %53-10 oranında değişir. Benzer sonuçlar Chigbo (1982) ve Muramoto ve Oki (1983) tarafından yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir (Srivastav ve ark. 1993).

Uysal ve arkadaşlarının 1997 yılında yaptığı çalışmada, atıksu arıtım sistemlerinde su mercimeklerinin (*Lemna minor*) nütrient giderimindeki etkinliğinin araştırılması amacıyla sucul bitkiler 40x20x15 boyutlarında iki adet havuz ile, bu iki havuz dan oluşan çalışma düzeneğinde yetiştirilmiştir. Atıksu kaynağı olarak günlük hazırlanan sentetik atıksu kullanılmış ve 3-6 gün alıkonulmuştur. Arıtma verimliliğinin belirlenmesi amacıyla giriş ve çıkış sularında amonyak azotu (NH₃-N), çözünmüş fosfor (PO₄-P) ve KOİ değerleri analiz edilmiş ve giderim değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. PO₄-P giderimi bitkinin ihtiyaçları ile sınırlı olduğundan diğer parametrelere göre daha düşük çıkmıştır (Uysal ve Zeren 1998).

Su mercimeği ile kurşun giderimine yönelik bir çalışmada %85-90 civarında giderim olduğu belirtilmiştir (Rahmani 1999).

Minnesota Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yapılan bir çalışmada ise kesikli ve yarı kesikli reaktörlerde *Cladophora* (alg) kullanılarak Kadmiyum giderimi çalışılmıştır. Kesikli ve yarı kesikli sistemlerde %80- 94 oranında kadmiyum giderimi sağlanmıştır. Deney sonucunda sadece % 12,7 oranında kadmiyum reaktörde kalmıştır (Strenberg ve Dorn 2002).

Axtell ve arkadaşları 2003 yılında yaptığı bir çalışmada çeşitli laboratuvar şartları altında *Microspora* (mikro-alg) ve *Lemna minor* kullanarak kurşun ve nikel giderimini konu edinmiştir. *Microspora* kesikli sistemde, *Lemna minor* ise yarı-kesikli sistemde test edilmiştir. Deneyde başlangıç kurşun konsantrasyonları 0.0, 5.0 ve 10mg/L ve Nikel konsantrasyonları 0.0, 2.5, ve 5.0 mg/L dir. Deney sonunda *Lemna minor* kurşunu %76 ve Nikeli % 82 oranda gidermiştir. *Microspora* ile yapılan çalışmada başlangıçta 38 mg/L konsantrasyonunda kurşun kullanılmıştır ve %95 oranında giderim verimi sağlanmıştır (Axtell ve ark. 2003)

Batık bir sucül bitkinin (*Myriophyllum spicatum*) ağır metalleri adsorplayabilme karakteristikleri üzerine Keskinhan ve arkadaşları tarafından 2003 yılında Çukurova Üniversitesi'nde bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada kurşun, çinko ve bakır için *Myriophyllum spicatum*'un adsorpsiyon özellikleri araştırılmış ve sonuçlar diğer sucül bitkilerle karşılaştırılmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasiteleri bakır için 10,37 mg/L, çinko için 15,59 mg/L ve kurşun için 46,49 mg/L bulunmuştur. Sonuç olarak *Myriophyllum spicatum*' un ağır metal gideriminde etkili olduğu gözlenmiştir (Keskinhan ve ark. 2003).

Chaoui ve Ferjani (2005), Lombardi ve Sebastiani(2005)'nin yapmış olduğu çalışmalarda bakır iyonlarının *Lemna minor* için çok toksik olduğu, morfolojisinin değiştirdiğini ve büyüme hızını düşürdüğünü saptamışlardır (Chaoui ve Ferjani 2005, Lombardi ve Sebastiani 2005).

Yılmaz ve ark. (2005) yaptığı çalışmalarda ağır metallerin önemli bir kısmının ilk üç günde giderildiği tespit edilmiş ancak nihai giderim seviyelerine yaklaşık yedi günlük bekleme süresinde ulaşılmış ve Al, Cr, ve Pb gideriminde bitkili tanklarda ortalama sırasıyla % 75, %77 ve % 82, bitkisiz tanklarda ise %63, %61 ve %70 oranlarında giderim sağlanmıştır (Yılmaz ve ark. 2005).

Kara ve Kara (2005) yaptığı bir çalışmada kadmiyumun *Lemna trisulca L.* ile uzaklaştırılması çalışılmış ve bu çalışmada 3mg/L- 7mg/L konsantrasyonlarındaki Kadmiyum çözeltisi, 6,5 pH'ta dört gün muamele edilmiş ve sonuç olarak bitkinin sırasıyla %75-% 85 kadmiyum giderimi ölçülmüştür (Kara ve Kara 2005).

Yoon ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yapılan bir çalışmada Kuzey Florida' da kirlenmiş bir alanda yetiştirilen 36 adet bitki (17 tür) değerlendirilmiştir. Bitki ve toprakta kirliliğe neden olan metal konsantrasyonlarını belirlemek için örnekler alınıp analiz edilmiştir. Bitkilerdeki yüksek biyokonsantrasyon faktörü (BCF, topraktan bitkinin köklerine ulaşan metal konsantrasyon oranı) ve düşük transfer faktörü (TF, köklerden bitkiye geçen metal konsantrasyon oranı) bitkisel stabilizasyon için belirlenmiştir. Örneğin *Phyla nodiflora* bitkisi en etkin olarak bakır ve çinkoyu bünyesine almıştır (TF: 12 ve 6.3) (Yoon ve ark. 2006).

Artan (2007) sentetik olarak hazırladığı (5-10mg/L) konsantrasyonlarda Kadmiyum giderim verimi 100ml'lik reaktörde %96, 500 ml'lik reaktörde ise %90 olarak gerçekleşmiştir. 10-20mg/L lik bakır konsantrasyonlarında 100ml ve 500ml'lik reaktörlerde yaklaşık %89, 10-20-50 mg/L' lik bakır konsantrasyonlarında 100ml ve 500ml'lik reaktörlerde yaklaşık %98-100 verim elde etmiştir (Artan 2007).

Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yapılan bir çalışmada ise Kadmiyum iyonlarının *Lemna minor*'ün büyüme hızına etkisi araştırılmıştır. Değişen pH (4,5-8,0) ve sıcaklık (15-35⁰C) koşullarında Kadmiyum iyonu 0,005-20,5 ppm araştırılmıştır. Bitkinin zamana bağlı fyond sayısı değişiminden kinetik model çıkarılmış ve birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uyduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde Kadmiyum iyonlarının *Lemna minor* için çok toksik olduğu ve bitki büyüme hızını düşürdüğünü göstermiştir (Uysal ve Taner 2007).

Khellaf ve Zerdaoui (2009) tarafından ağır metal kirliliğinin *Lemna minor*'ün büyümesi üzerine etkisi araştırılmıştır. *Lemna minor* üzerindeki metallerin toksisitesi hasar sırasına göre azalan sıra ile Cu>Cd>Ni>Zn olarak verilmiştir. Bu çalışmada *Lemna minor*, Bakır (Cu) ve Kadmiyum (Cd) kirliliğine oldukça hassastır olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Khellaf ve Zerdaoui 2009).

Lombardi ve Sebastiani (2005), Axtell ve ark (2003), Rahmani ve Sternberg (1999) ve Artan (2007) yaptığı çalışmalarda da *Lemna minor*'ün bünyesine ağır metal absorbladığı saptanmıştır (Lombardi ve Sebastiani 2005, Axtell ve ark. 2003, Rahmani ve Sternberg 1999, Artan 2007).

S.S.Sharma ve J.P. Gaur (1994) yaptığı diğer bir çalışmada ise *Lemna polyrrhiza* 'nın ağır metalleri uzaklaştırma potansiyeli konu edinilmiş ve söz konusu çalışmada *Lemna polyrrhiza* 10mg/L çinko (Zn), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) dört gün boyunca maruz bırakılmış, altı saat aralıklarla bitkiler yüzeyden toplanarak içindeki ağır metal oranları analiz edilmiştir.

Lemna polyrrhiza'daki ağır metal alımı Zn, Pb ve Ni sırasıyla 27µg/mg, 10 µg/mg ve 5,5 µg/mg olarak ölçülmüştür (Sharma ve Gaur 1994).

Typha latifolia ve *Juncus effusus* bitkileri üzerinde yapılan araştırmalarda ağır metal birikim eğiliminin sırasıyla kök, rizom ve yapraklarda olduğu saptanmıştır (Taylor ve Crowder 1983). Kuvvetli metal bağlayıcı sentetik kimyasallar EDTA(Etilen diamin tetra asidik asit) ve EDDS (Etilen di amin disuksinikası) metallerin çözünürlüğünü artırmakta ve metallerin bitkiler tarafından alınımını kolaylaştırmaktadır (Luo ve ark. 2005).

Öbek (2009) yaptığı çalışmada ise farklı ağır metallerin *Lemna gibba* bünyesinde birikim derecesi incelenmiştir, sırasıyla Krom (Cr), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd) ve Nikel (Ni) Cr>Cu>Zn>Pb>Cd>Ni olarak çıkmıştır (Öbek 2009).

3.MATERYAL VE METOD

3.1.Deneysel Çalışma Esasları

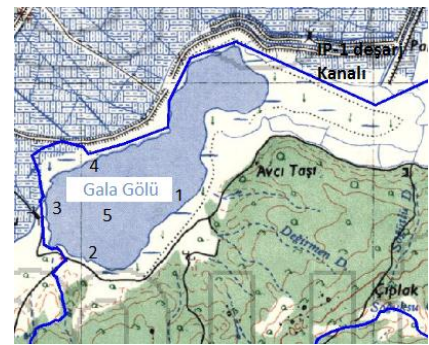
Deneysel çalışma düzeneği Trakya Üniversitesi Kimya bölümü Analitik Kimya laboratuvarına kurulmuştur. Deneysel ölçümler ise Edirne Ticaret borsası toprak laboratuvarındaki ICP-OES cihazında Mayıs 2011 ile Ekim 2011 tarihleri arasında yapılmıştır. Bu çalışma üç aşamalı olarak yürütülmüştür.

Çalışmanın birinci aşamasında su numuneleri Gala Gölünde Çevre ve Orman Bakanlığı'nın daha önce belirlediği, göle su girişi, çıkışlarının ve sirkülasyonunun olduğu beş noktadan (Şekil 3.1 ve 3.2'de görülen dört nokta göl kenarında, bir nokta göl içinde olmak üzere) ve bu alandaki tarımsal faaliyetlerden dönüş sularının toplandığı deşarj kanalında

(IP-1) ise 30 cm derinlikteki iki farklı noktadan (kanal giriş ve çıkışı) olmak üzere, 10 Ekim 2009 tarihli 27372 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan SKKY Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği'nde belirtilen koşullara uygun olarak , üç farklı zamanda (çeltik ekimi öncesi, ekim zamanı ve hasat sonrası) alınmıştır. Su numuneleri önceden temizlenip etiketlenen 5l'lik pet şişelere konulduktan sonra laboratuvara getirilmiştir. Örnekler ICP-OES cihazında ölçülmeden önce filtre kağıdından süzülerek askıda katı maddelerden arındırılmış ve ağır metal analizleri (Kadmiyum, Bakır, Kurşun, ve Nikel) yapılmıştır (http://www.cevrealiz.com/NEWS_FILE/SKKY%20Numune%20Alma%20ve%20Analiz%20Metodlari%20Tebliigi.pdf).



Şekil 3.1 Gala Gölü konumu (ÇOB,2010)



Şekil 3.2 Numune alma noktaları

Daha sonra su mercimekleri (*Lemna minor*) doğal ortamdan şekil 3.3'te belirtilmiş Gala Gölünün Kuzeyinde yer alan Tekke deresi kıyısından toplanmış, laboratuvar şartlarına adapte edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise doğal arazi şartlarından toplanan su mercimeklerinin (*Lemna minor*) Gala Gölünden ve deşarj kanalından (IP-1) alınan su numunelerinde laboratuvar ortamında ağır metal giderim verimlilikleri araştırılmıştır. Şekil 3.4' te su mercimeklerinin doğal arazi şartlarında görüntüsü verilmiştir. Deneysel çalışmalar Gala Gölü'nden beş farklı noktadan alınan su numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları birbirlerine yakın değerler çıkmış olduğundan birinci noktadan ekim zamanı alınan Gala Gölü suyu içerisinde ve deşarj kanalından (IP-1) ise kanal çıkışından olmak üzere alınan iki farklı su numunesinde çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar 100ml' lik ve 500ml' lik reaktörler olmak üzere iki farklı hacimde yürütülmüştür. 100ml' lik reaktörlerde farklı zaman aralıkları için ayrı reaktörler hazırlanmıştır ve bir bitkili, bir bitkisiz olmak üzere iki kontrol grubunda çalışılmıştır. 500ml reaktörlerde ise numuneler farklı zaman aralıklarında aynı reaktörden alınmıştır. Her bir deney seti ile ilgili çalışma bir hafta sürdürülmüştür. Numuneler sabah ve akşam olmak üzere günde iki defa alınmıştır.

Çalışmanın son aşamasında su mercimekleri (*Lemna minor*) Gala Gölü'nden ve deşarj kanalından (IP-1) alınan su numunesi içerisinde yedi gün bekletilmiş ve su mercimeklerinde (*Lemna minor*) ağır metal analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.3 Su mercimeklerinin toplandığı alan



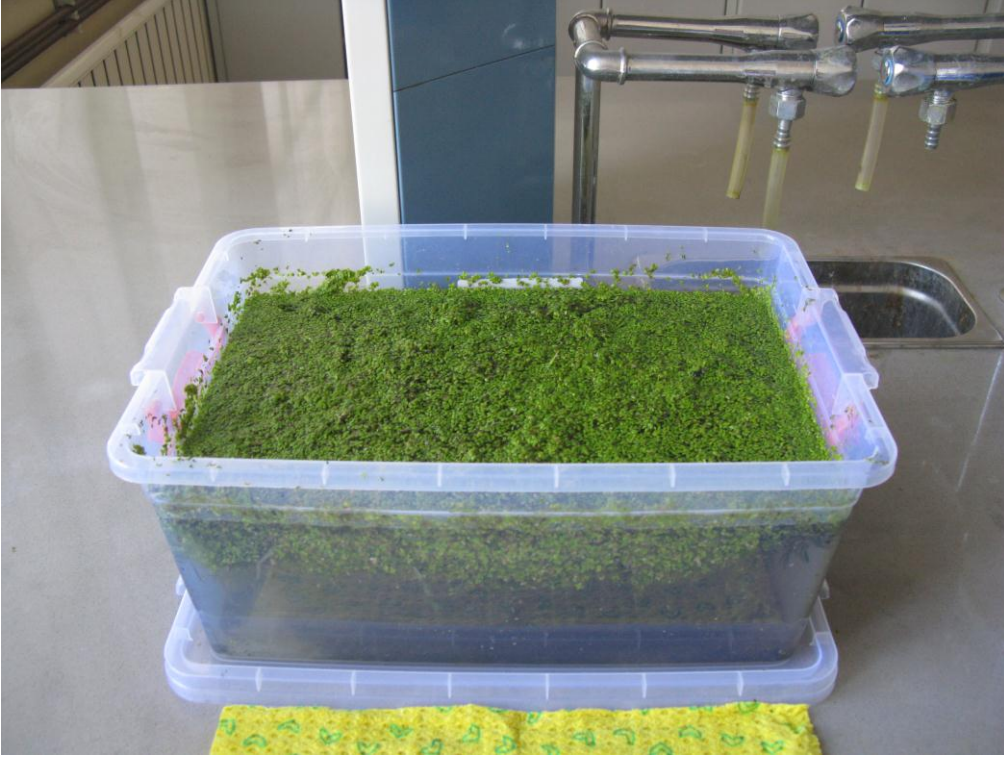
Şekil 3.4 *Lemna minor* bitkisinin doğal arazi şartlarındaki görünümü

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Kırklareli İnce- Dokuzhöyük arasında uzanan Tekke Deresinden toplanan su mercimekleri (*Lemna minor*) Trakya Üniversitesi Kimya Bölümü Analitik Kimya Laboratuvarına taşınmıştır. Bitkiler 5 L' lik plastik kapta iki gün boyunca bekletilerek laboratuvar şartlarına uyumu sağlanmıştır. Şekil 3.5'te laboratuvar ortamına adapte edilen bitki örnekleri verilmiştir. Çoğalma esasına bağlı bitki uyumu gözlemlendikten sonra yaş su mercimekleri Libror EB-330 H marka hassas terazide, 100ml (2 gr bitki) ve 500ml'lik(10 gr bitki) plastik kaplara tartımı yapılmıştır. Üzerine Gala Gölü'nden ve tarımsal faaliyetlerden dönüş sularının toplandığı deşarj kanalından (IP-1) alınan su numuneleri ilave edilmiştir.

Yılmaz (2005) yaptığı çalışmalarda ağır metal (Al, Cr ve Pb) giderim verimliliklerini ölçmek için kesikli bir sistem kullanıp önce on gün bekleme süresi almıştır. Ancak parametrelerin önemli kısmının yedi gün içinde azaldığı, yedi günlük bekleme süresi ile on günlük bekleme süresi sonunda elde edilen giderim verimlerinin birbirine yakın olduğu bulunmuştur. Bu nedenle bekleme süresi yedi gün olarak seçilmiş ve numuneler sabah ve akşam olmak üzere günde iki defa alınmıştır. Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'de deney öncesi Gala Gölü ve Deşarj kanalındaki (IP-1) 100ml ve 500 ml' lik kaplardaki su mercimekleri (*Lemna minor*) görüntüleri verilmiştir.

Bitkide ağır metal analizleri için su mercimekleri (*Lemna minor*) Gala Gölü'nden ve deşarj kanalından (IP-1) alınan su numunesi içerisinde yedi gün boyunca bekletilmiştir. Deney öncesi Tekke deresinden toplanan bitkideki ağır metal konsantrasyonları ölçülmüş ve yedi gün sonunda reaktörlerin su yüzeylerinden toplanan su mercimeklerinde de (*Lemna minor*) ağır metal analizleri yapılmıştır.



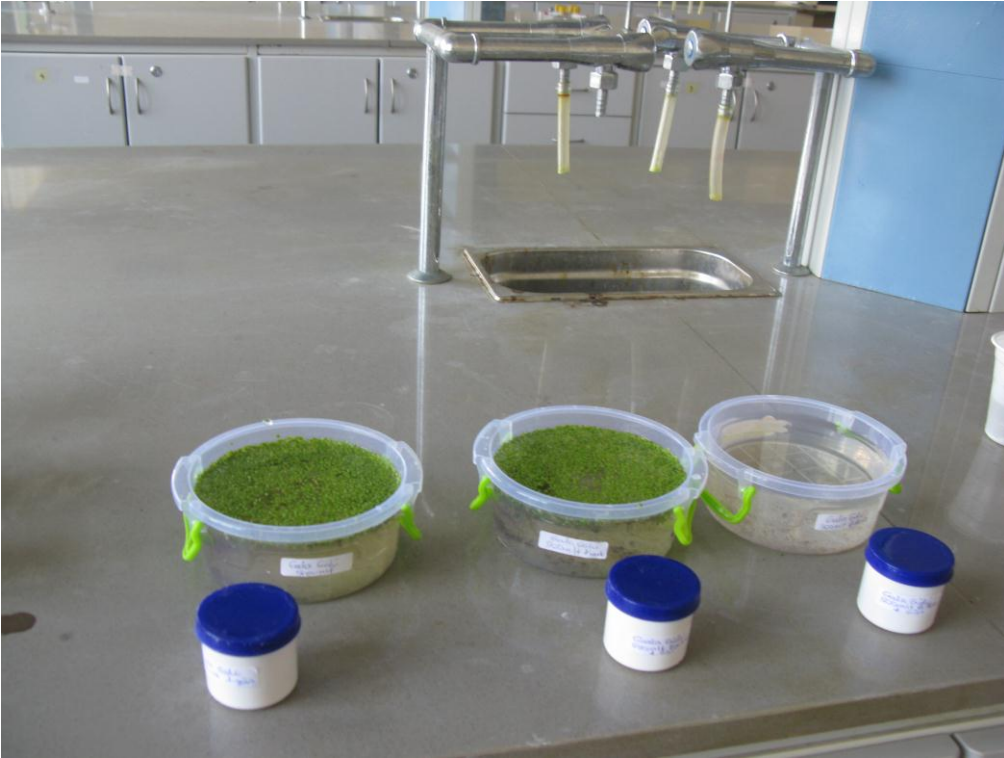
Şekil 3.5 Laboratuvar ortamına adapte edilen Su mercimeklerinin görüntüsü



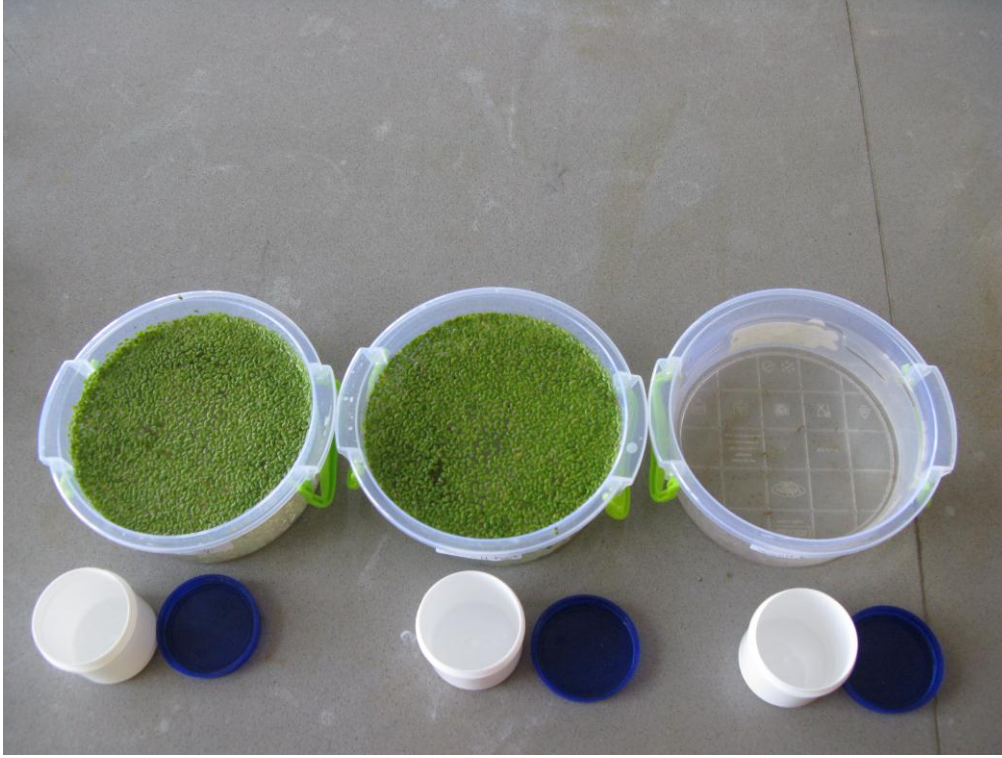
Şekil 3.6 Gala Gölünden alınan su numunesinin 100 ml'lik reaktorlerdeki deney öncesi görünümü



Şekil 3.7 Deşarj Kanalından (IP-1) alınan su numunesinin 100 ml'lik reaktörlerdeki deney öncesi görünümü



Şekil 3.8 Gala Gölünden alınan su numunesinin 500 ml'lik reaktörlerdeki deney öncesi görünümü



Şekil 3.9 Deşarj Kanalından (IP-1) alınan su numunesinin 500 ml'lik reaktorlerdeki deney öncesi görünümü

3.3. Analiz Metodları

Bu çalışmada su ile ilgili analizler Ticaret ve Sanayi Borsası toprak laboratuvarında ICP-OES cihazında, bitkideki ağır metal ölçümündeki ön işlemler (Nordic Committee on Food Analysis, No 161, 1998) Edirne Tarımsal Araştırma Kontrol Laboratuvarında, ölçümler ise Ticaret ve Sanayi Borsası Laboratuvarında ICP-OES cihazında yapılmıştır (Nordic Committee on Food Analysis, No 161, 1998) Numuneler ICP cihazında ölçülmeden önce cihazda olabilecek tıkanma problemine karşı filtre kağıdından süzölmüştür. Gala Gölünden ve Deşarj kanalından (IP-1) alınan su numunelerinde ölçölen parametreler ve analiz metodları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

ICP (Inductively coupled plasma) cihazının ağır metal analizleri yapılırken önerilen dalga boyları ve kullanılan dalga boyları Çizelge 3.2'de verilmiştir (Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater 1998). Ayrıca cihazın çalışma koşulları (ICP makinasındaki değerler) Çizelge 3.3' te verilmiştir. Cihazda ağır metal analizleri yapılırken beş ayrı konsantrasyonda (1.25, 0.625, 0.3125, 0.15620 ve 0,0625mg/L') mixed metal standardı kullanıldı.

Çizelge 3.1 Ölçülen parametreler ve analiz metodları

Parametre	Metod	Alet	Kaynak
Sudaki Ağır Metaller (Ni, Cu, Pb, Cd)	Standart Method	Varian marka Vista-MPX ICP-OES, Libror EB-330H marka hassas terazi, filtre kağıdı	Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3
Bitkideki Ağır Metaller (Ni, Cu, Pb, Cd) ön işlem	NMKL*	Binder Marka Etüv (kurutma), desikatör, sartarious marka analitik terazi, Milestone marka mikrodalga	NMKL No 161,1998
Bitkideki Ağır Metaller (Ni, Cu, Pb, Cd)	Standart Method	Varian marka Vista-MPX ICP-OES	Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3

*NMKL Nordic Committee on Food Analysis, No 161, 1998

Çizelge 3.2 ICP için önerilen ve kullanılan dalga boyları (Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater 1998).

Parametreler	Önerilen Dalga Boyu (nm)	Alternatif Dalga Boyu (nm)	Kullanılan Dalga Boyu (nm)
Ni	231.60	221.65	231.604
Cd	226.5	214.44	214.439
Pb	220.35	217.00	220.353
Cu	324.75	219.96	327.395

Çizelge 3.3 Ağır metal analizlerinde ICP-OES için çalışma koşulları

Inductively coupled plasma (ICP)	Varian Vista-MPX
Nebulizer flow (L/min)	0.75
Power (kW)	1000
Replicate	3
Plasma Flow (L/min)	15
Auxiliary Flow (L/min)	1.5
Sample uptake delay (s)	30
Correlation coefficient	0,999865

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında Mayıs 2011 ile Ekim 2011 tarihleri arasında Gala gölü ve tarımsal faaliyetlerden dönüş sularının toplandığı deşarj kanalında (IP-1) Kadmiyum (Cd) , Kurşun (Pb) , Nikel (Ni) ve Bakır'ın (Cu) karakterizasyonları yapılmıştır. Gala Gölü ve deşarj kanalında (IP-1) ekim öncesi, ekim zamanı ve hasat sonrası yapılan ağır metal ölçümleri ve SKKY Kıtaçi su kaynaklarına göre sınıfları Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1.Ekim öncesi alınan sudaki ağır metal sonuçları

Numunenin alındığı Tarih				17.05.2011	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo1 Su Kalite Sınıfları (µg/L)			
Parametre (µg/L)	IP-1 Deşarj Kanalı ort.	SNF*	Gala Gölü ort.	SNF	I	II	III	IV
Ni	268,95	IV	19,25	I	20	50	200	>200
Cu	499,21	IV	9,27	I	20	50	200	>200
Pb	37,16	II	18,29	I	10	20	50	>50
Cd	4,75	II	2,81	I	3	5	10	>10

*31.12.2004 tarihli 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Yüzeysel suların kıtaçi su sınıflandırılmasına göre su kalite sınıfları

Çizelge 4.2.Ekim Zamanı alınan sudaki ağır metal sonuçları

Numunenin alındığı Tarih				01.07.2011	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo1 Su Kalite Sınıfları (µg/L)			
Parametre (µg/L)	IP-1 Deşarj Kanalı ort.	SNF	Gala Gölü ort.	SNF	I	II	III	IV
Ni	8,12	I	4,21	I	20	50	200	>200
Cu	441,27	IV	19,21	I	20	50	200	>200
Pb	65,29	IV	25,46	II	10	20	50	>50
Cd	5,35	II	2,95	I	3	5	10	>10

Çizelge 4.3.Hasat sonrası alınan sudaki ağır metal sonuçları

Numunenin alındığı Tarih				07.10.2011	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo1 Su Kalite Sınıfları (µg/L)			
Parametre (µg/L)	IP-1 Deşarj Kanalı ort.	SNF	Gala Gölü ort.	SNF	I	II	III	IV
Ni	21,89	I	7,54	I	20	50	200	>200
Cu	786,92	IV	134,68	II	20	50	200	>200
Pb	17,86	I	17,34	I	10	20	50	>50
Cd	2,13	I	1,529	IV	3	5	10	>10

Deşarj kanalında (IP-1) kadmiyum konsantrasyonu ekim öncesi ve ekim sırası yüksek çıkmış, ve hasat sonrası azalmıştır. Kadmiyum gübre ve pestisitlerde yüksek miktarda bulunduğundan, ekim öncesi yüksek çıkan kadmiyumun nedeninin kullanılan gübre ve pestisitlerden gelen bir kirlilik olduğu düşünülmektedir.

Deşarj kanalında (IP-1) ekim öncesi, ekim zamanı ve hasat sonrası ölçülen bakır konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni deşarj kanalının açık kanal olmasından dolayı kanala giren organik çürüntüden kaynaklandığı düşünülmektedir. Gala Gölü'ndeki bakır konsantrasyonu ekim öncesi ve ekim sırası normalken, hasat sonrası bu kirlilik artmıştır. Bunun hasat sonrası organik çürüntü ve alkaliliğin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Deşarj kanalında (IP-1) kurşun konsantrasyonu ekim öncesi ve hasat sonrası normal çıkıp, ekim sırasında bu değer oldukça yükselmiş, Gala Gölünde ise ekim sırasında sadece kurşun konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Bunun nedeninin, ekim zamanında Gala Gölü alanındaki ekim faaliyetlerinde kullanılan araçlar ve numunenin alındığı dönemlerde (Haziran- Temmuz ayları) Gala Gölü'ne ulaşım yolunun asfaltlama çalışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Nikel konsantrasyonu sadece deşarj kanalında (IP-1) ekim öncesi oldukça yüksek çıkmış, ekim sırası ve hasat zamanı bu kirlilik düşmüştür. Bunun nedeni ekim öncesi Meriç Nehri en yukarıda Bulgaristan ve aşağılarda Ergene Havzası'nın kirliliğini taşıdığından, Meriç Nehri'nden gelen bir kirlilik olduğu düşünülmektedir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde deşarj kanalında (IP-1) ölçülen ağır metal konsantrasyonları literatürle uyum içerisinde olup, Gala Gölü'ndeki ağır metal konsantrasyonlarına nazaran daha yüksek çıkmıştır. Gala Gölü'ndeki ağır metal konsantrasyonları ise literatürün aksine düşük çıkmıştır. Bunun nedeni ise tarımsal faaliyet dönüş suları daha önce deşarj kanalında toplanıp Gala Gölü'ne geri verilirken 2010 yılı başı itibariyle doğal akışla Meriç Nehri'ne, Meriç Nehri de Ege Denizine dökülmektedir.

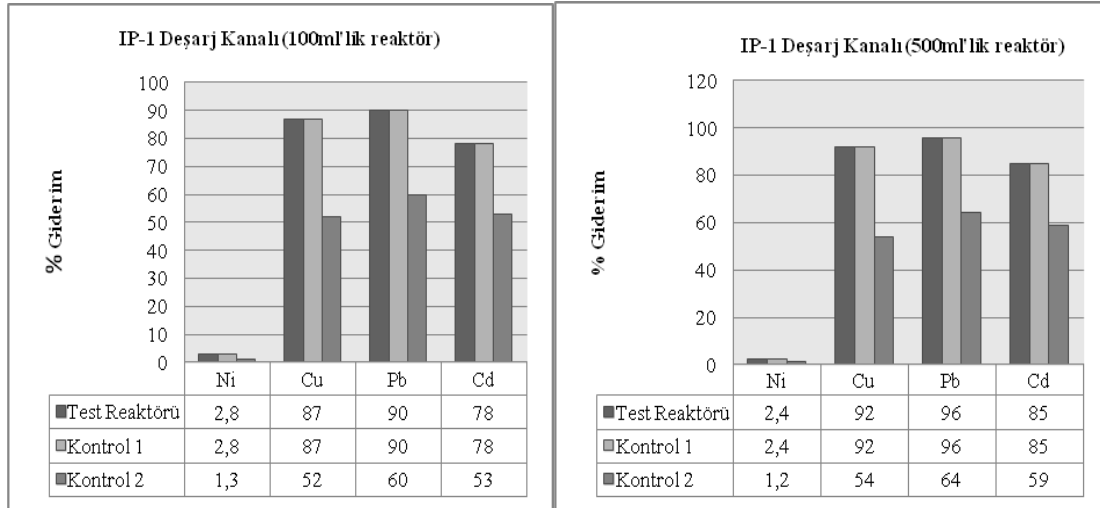
4.1. Ağır Metal Giderim Verimlerinin Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında elde edilen sonuçlar ve grafik değerlendirilmesi Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.4.Ekim zamanı deşarj kanalındaki (IP-1) deney öncesi ve sonrası değerleri

		IP-1 Deşarj Kanalı (100ml'lik reaktör)						IP-1 Deşarj Kanalı (500ml'lik reaktör)					
Parametre (µg/L)	Deney Öncesi	Deney sonrası											
		Test reaktörü ¹	GV*	Kontrol 1 ²	GV	Kontrol 2 ³	GV	Test reaktörü	GV	Kontrol 1	GV	Kontrol 2	GV
Ni	8.12	7.90	2.8	7.90	2.8	8.02	1.3	8.00	2.4	8.00	2.4	8.10	1.2
Cu	441.27	57.40	87.0	57.40	87.0	211.95	52.0	35.30	92.0	35.30	92.0	202.99	54.0
Pb	65.29	6.53	90.0	6.53	90.0	26.12	60.0	2.62	96.0	2.62	96.0	23.52	64.0
Cd	5.35	1.14	78.0	1.14	78.0	2.53	53.0	0.80	85.0	0.80	85.0	2.20	59.0

¹Su mercimeği bulunan tank ²Su mercimeği bulunan kontrol tankı ³Su mercimeği bulunmayan kontrol tankı GV* Giderim verimi



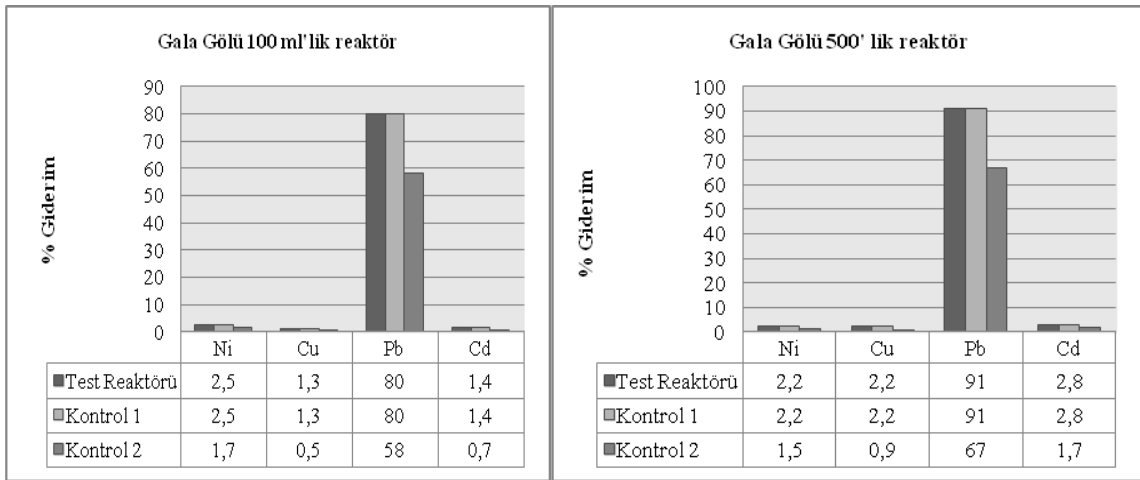
Şekil 4.1. Deşarj kanalında (IP-1) ağır metal giderim verimlilikleri

Şekil 4.1'deki grafiklerde de görüldüğü gibi deşarj kanalında (IP-1)100 ml'lik bitkili olan Test ve Kontrol1 reaktörlerinde Ni, Cu, Pb ve Cd gideriminde sırasıyla %2,8, %87, %90 ve %78, 500ml'lik bitkili Test ve Kontrol 1 reaktörlerinde ise %2,4, %92, %96 ve %85 oranlarında arıtım verimi elde edilmiştir. 100ml'lik bitkisiz (Kontrol 2) reaktöründe Ni, Cu, Pb ve Cd sıra ile %1,3, %52, %60 ve %53 , 500ml'lik bitkisiz (Kontrol 2) reaktöründe ise sıra ile %1,2 ,%54, %64 ve %59 giderim verimleri bulunmuştur.

Deşarj kanalında (IP-1) ve Gala Gölü'ndeki test ve kontrol reaktörleri kıyaslandığında tüm hacimlerde bitkili reaktörlerde tüm parametrelerde kontrol-2 (bitkisiz) reaktörlerine göre daha yüksek verim elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Ekim zamanı Gala Gölü'ndeki deney öncesi ve sonrası değerleri

		Gala Gölü (100ml'lik reaktör)						Gala Gölü (500ml'lik reaktör)					
Parametre (µg/ L)	Deney Öncesi	Deney sonrası											
		Test reaktörü	GV	Kontrol 1	GV	Kontrol 2	GV	Test reaktörü	GV	Kontrol 1	GV	Kontrol 2	GV
Ni	0.12	0.12	2.5	0.12	2.5	0.12	1.7	0.13	2.2	0.13	2.2	0.1	1.5
Cu	19.22	18.98	1.3	18.98	1.3	19.12	0.5	18.87	2.2	18.87	2.2	19.1	0.9
Pb	25.47	5.09	80.0	5.09	80.0	10.70	58.0	2.32	91.0	2.32	91.0	8.5	67.0
Cd	2.95	2.91	1.4	2.91	1.4	2.93	0.7	2.87	2.8	2.87	2.8	2.9	1.7



Şekil 4.2. Gala Gölü'nde ağır metal giderim verimlilikleri

Gala Gölü'nde yapılan analiz sonuçlarına göre Çizelge 4.5'te de görüldüğü gibi sadece Pb konsantrasyonu yüksek çıkmış olup, 100ml'lik bitkili Test ve Kontrol 1 Reaktöründe % 80, bitkisiz (Kontrol 2) reaktöründe %58 oranında giderim söz konusudur. 500ml'lik bitkili Test ve Kontroll1 reaktörlerinde %91, bitkisiz (Kontrol 2) reaktöründe ise %67 Pb giderimi söz konusudur. Diğer ağır metal konsantrasyonları çok düşük olduğundan ve giderim verimleri de çok düşük olmuştur.

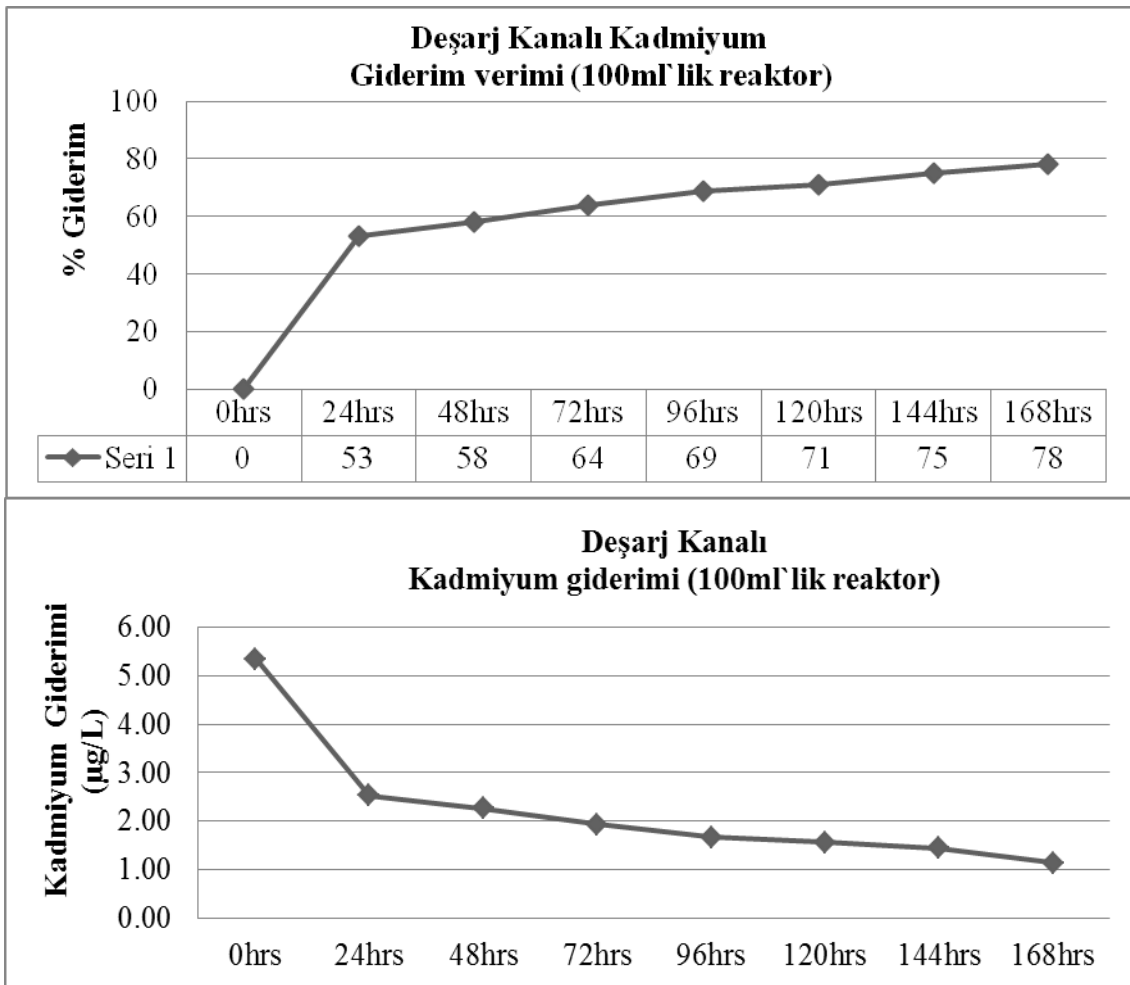
Yapılan bu çalışmaların sonucu olarak 500ml'lik reaktörlerde iki sistemde de bütün parametrelerde daha yüksek bir giderim söz konusudur. Bunun durumun 500 ml'lik reaktörlerdeki su mercimeği (*Lemna minor*) miktarının, 100ml'lik reaktörlere göre daha çok ve su yüzey alanının daha geniş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir

4.1.1.Kadmiyum Giderimi

100ml'lik kesikli reaktörlerde Gala Gölündeki ve deşarj kanalındaki (IP-1) suların başlangıçtaki Kadmiyum konsantrasyonu ölçülmüş ve su mercimeği (*Lemna minor*) ile değişimi ölçülmüştür. Kadmiyum Gala Gölünden alınan sudaki düzenekte 2.95 µg/L olarak (SKKY Kıtaiçi su kaynaklarına göre I. Kalite sınıf su) olarak ölçüldüğünden su mercimeği ile giderim verimi çok az olmuştur

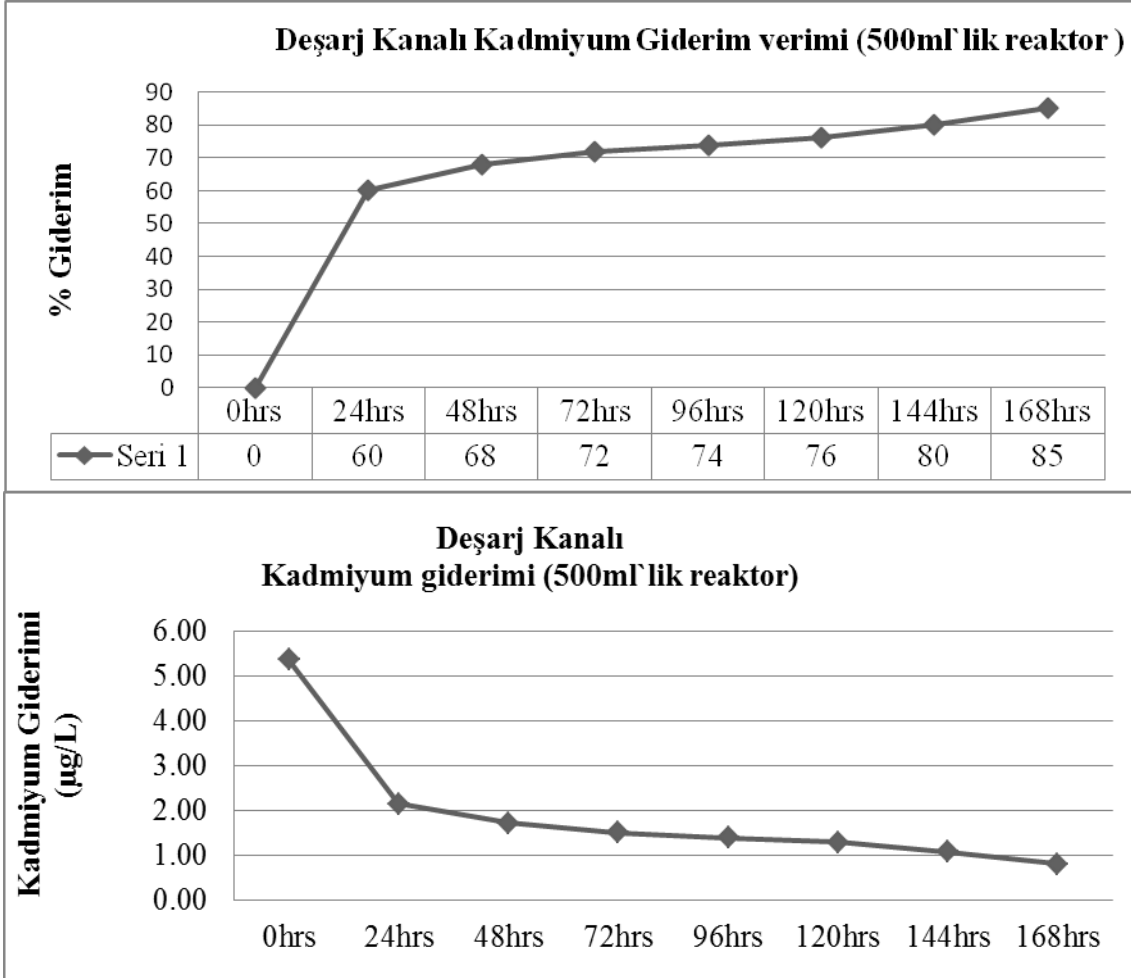
Deşarj kanalında (IP-1) ise yoğun bir Kadmiyum kirliliği olduğundan (5.35µg/L), deşarj kanalında (IP-1) Kadmiyum % giderim verimleri ve azalan konsantrasyon olarak Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' de grafik olarak sunulmuştur.

Gala Gölü'nde Kadmiyum kirliliği bulunmadığından sadece Deşarj Kanalındaki (IP-1) Kadmiyum % giderim verimleri ve azalan konsantrasyon olarak Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'deki grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 4.3.Deşarj Kanalında (IP-1) Kadmiyumun su mercimeği (*Lemna minor*) ile 100ml'lik reaktörlerde giderimi

100ml'lik reaktörde deşarj kanalındaki Kadmiyum giderim verimi ilk gün yaklaşık %53 gerçekleşmiş ve deney sonuna kadar %78 verim elde edilmiştir.

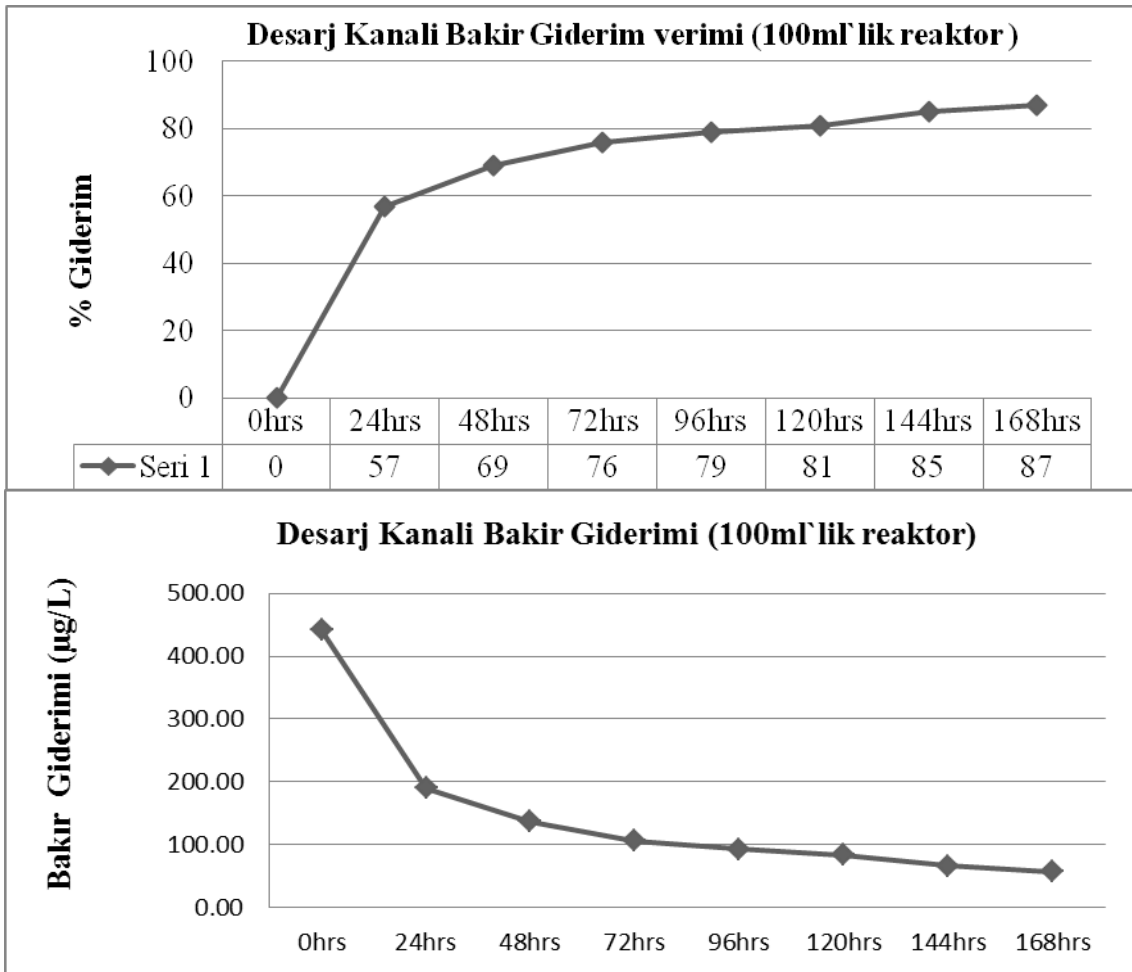


Şekil 4.4. Deşarj Kanalı (IP-1) Kadmiyumun su mercimeği (*Lemna minor*) ile 500 ml'lik reaktörlerde giderimi

500ml'lik reaktörde deşarj kanalında (IP-1) Kadmiyum giderim verimi ilk gün yaklaşık %60 gerçekleşmiş ve deney sonuna kadar %85 verim elde edilmiştir.

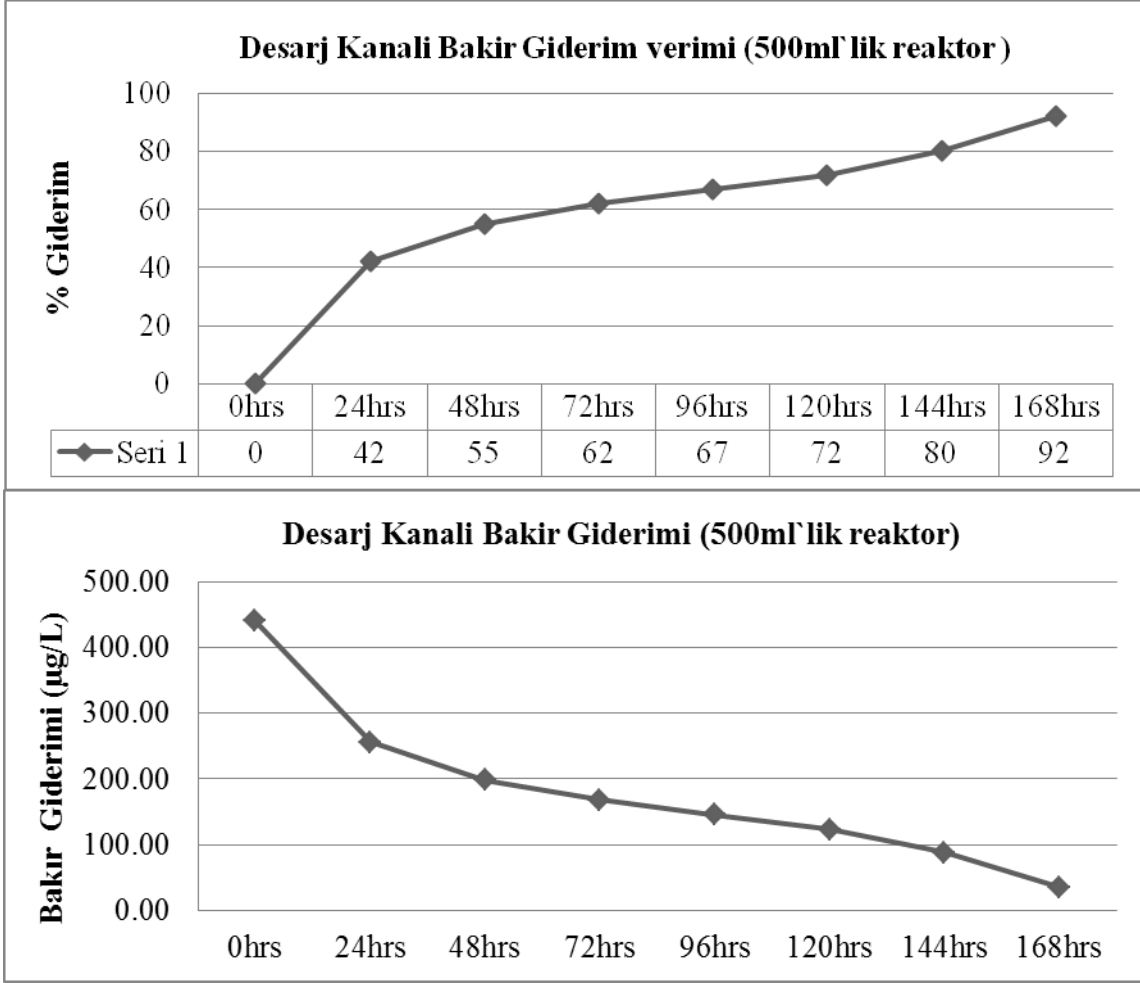
4.1.2.Bakır Giderimi

100ml' lik kesikli reaktörlerde Gala Gölündeki ve deşarj kanalındaki (IP-1) suların başlangıçtaki Bakır konsantrasyonu ölçülmüş ve su mercimeği (*Lemna minor*) ile değişimi ölçülmüştür. Gala Gölü'nde ölçülen bakır 19.22 µg/L olup SKKY'ne göre I.sınıf su kabul edilmektedir. Deşarj kanalında (IP-1) ise yoğun bir şekilde bakır kirliliği ölçülmüştür (441.27µg/L). Deşarj kanalındaki (IP-1) Bakır % giderim verimleri ve azalan konsantrasyon olarak şekil 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur.



Şekil 4.5. Deşarj Kanalında (IP-1) Bakırın su mercimeği (*Lemna minor*) ile 100 ml'lik reaktörlerde giderimi

100ml'lik reaktörde deşarj kanalındaki (IP-1) bakır giderim verimi ilk gün yaklaşık %57 gerçekleşmiş ve deney sonuna kadar %87 verim elde edilmiştir.

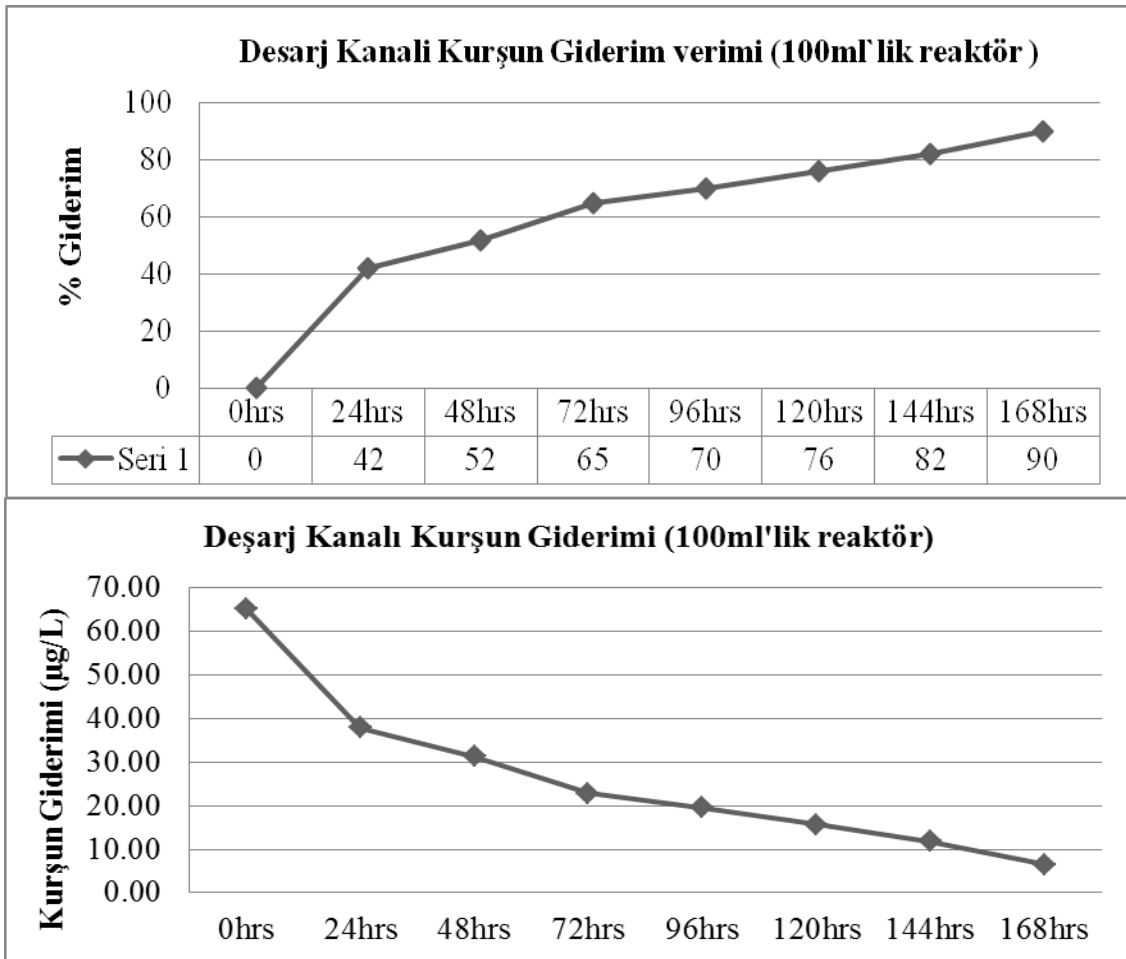


Şekil 4.6. Deşarj Kanalında (IP-1) Bakırın su mercimeği (*Lemna minor*) ile 500 ml'lik reaktörlerde giderimi

Deşarj kanalında (IP-1) Bakır giderimi deney boyunca hergün artmış ve deney sonuna kadar %92 verim elde edilmiştir.

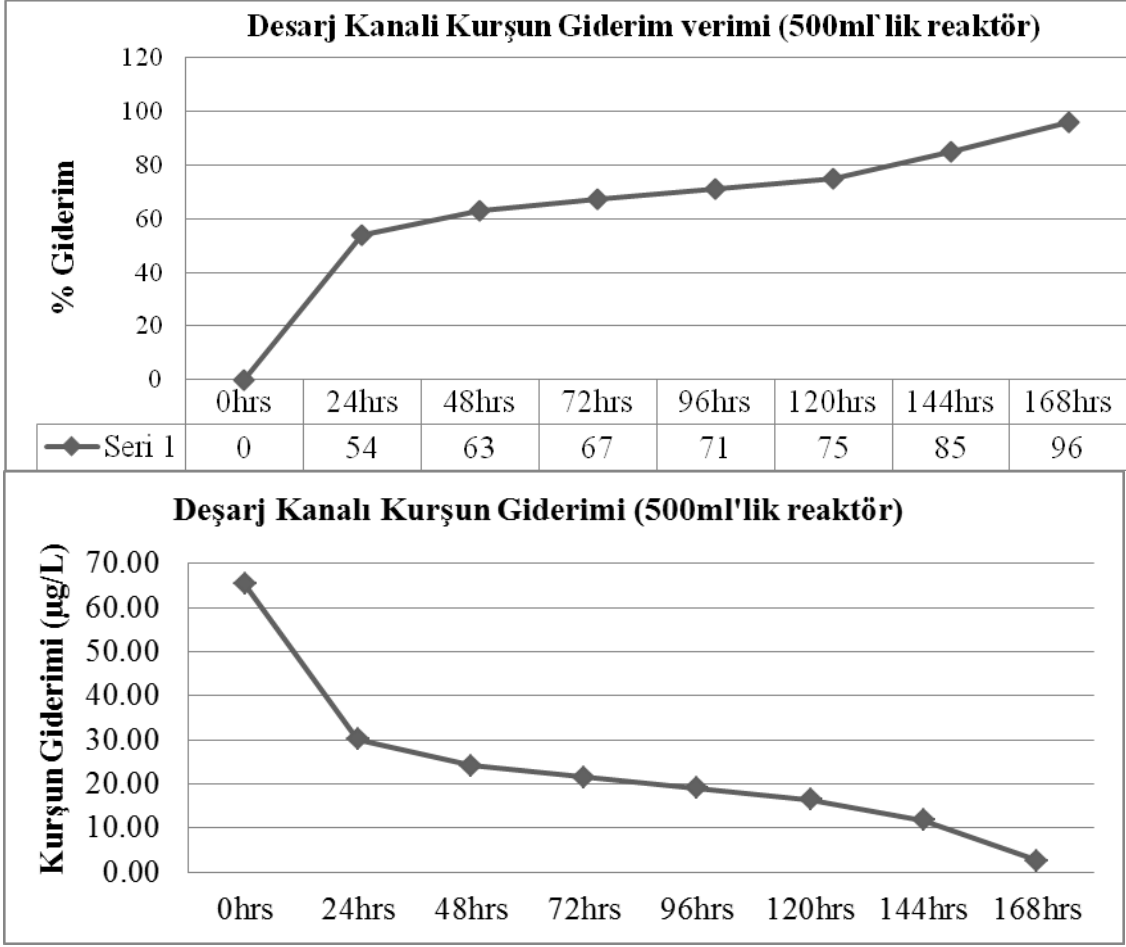
4.1.3. Kurşun Giderimi

100ml' lik kesikli reaktörlerde Gala Gölündeki ve deşarj kanalındaki (IP-1) suların başlangıçtaki Kurşun konsantrasyonu ölçülmüş ve daha sonra *Lemna minor* ile değişimi ölçülmüştür. Kurşun kirliliği deşarj kanalında (IP-1) ve Gala Gölü'nde yoğun bir şekilde bulunmuştur. Deşarj kanalında (IP-1) ve Gala Gölü'nde kurşun % giderim verimleri ve azalan konsantrasyon olarak şekil 4.7, şekil 4.8, şekil 4.9 ve şekil 4.1'deki grafiklerde sunulmuştur.



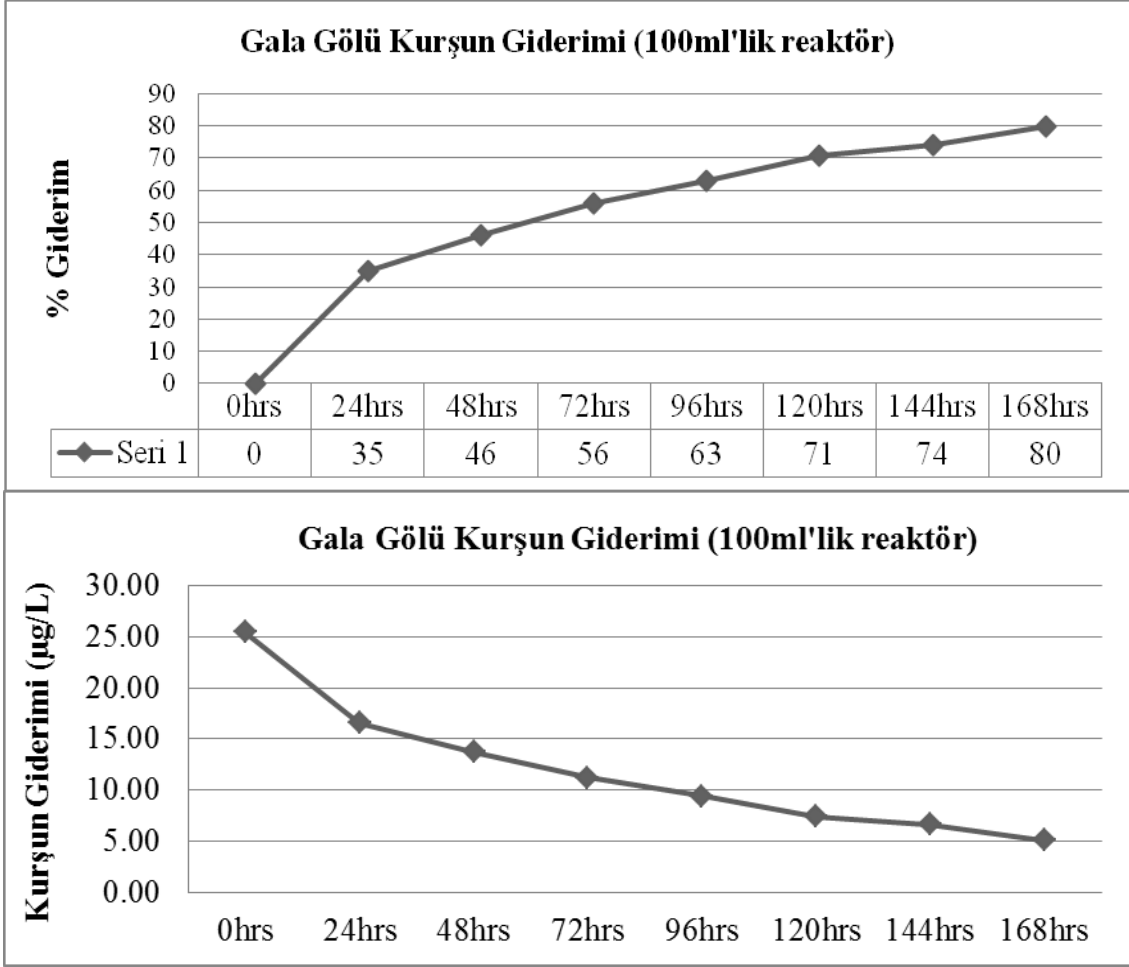
Şekil 4.7. Deşarj Kanalında (IP-1) Kurşunun su mercimeği (*Lemna minor*) ile 100 ml'lik reaktörlerde giderimi

100ml'lik reaktörde deşarj kanalında (IP-1) Kurşun giderimi ilk gün yaklaşık %42 gerçekleşmiş ve deney sonuna kadar %90 verim elde edilmiştir.



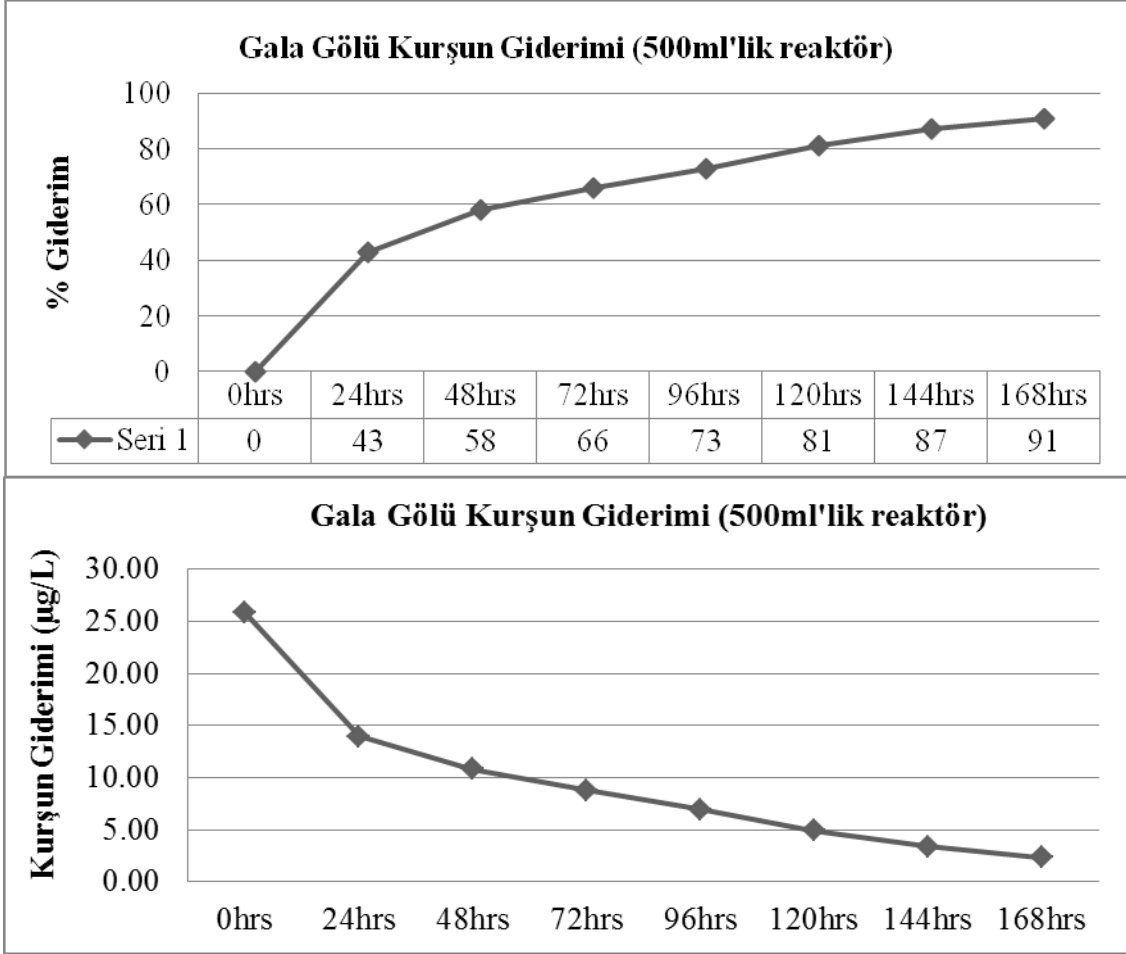
Şekil 4.8. Deşarj Kanalında (IP-1) Kurşunun su mercimeği (*Lemna minor*) ile 500 ml'lik reaktörlerde giderimi

Deşarj kanalında Kurşun giderim verimi deney boyunca hergün artarak ve deney sonuna kadar %96 verim elde edilmiştir.



Şekil 4.9. Gala Gölü'nde Kurşunun su mercimeği (*Lemna minor*) ile 100 ml'lik reaktörlerde giderimi

100ml'lik reaktörde Gala Gölü'nde Kurşun giderim verimi ilk gün yaklaşık %35 gerçekleşmiş ve deney sonuna kadar %80 verim elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Gala Gölü'nde Kurşunun su mercimeği (*Lemna minor*) ile 500 ml'lik reaktörlerde giderimi

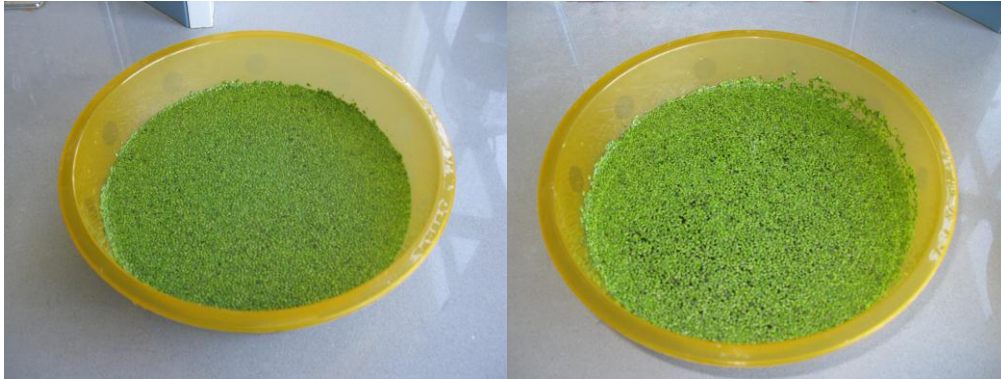
Gala Gölü'nde 500ml'lik reaktörde kurşun giderimi deney boyunca hergün artmış deney sonuna kadar %91 verim elde edilmiştir.

4.1.4.Nikel Giderimi

100ml' lik kesikli reaktörlerde Gala Gölündeki ve deşarj kanalındaki (IP-1) suların başlangıçtaki Nikel konsantrasyonu ölçülmüş ve su mercimeği (*Lemna minor*) ile değişimi ölçülmüştür. Nikel konsantrasyonu Gala Gölünde (0.12µg/L) ve deşarj kanalında (IP-1) 8.12µg/L olarak ölçülmüş ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Kıtaiçi su kaynakları sınıflarına göre I. Sınıf su olarak bulunmuştur. Bu yüzden Nikel giderimi çok az olmuştur.

4.2. Su Mercimeğinde (*Lemna minor*) Ağır Metal Tutunması

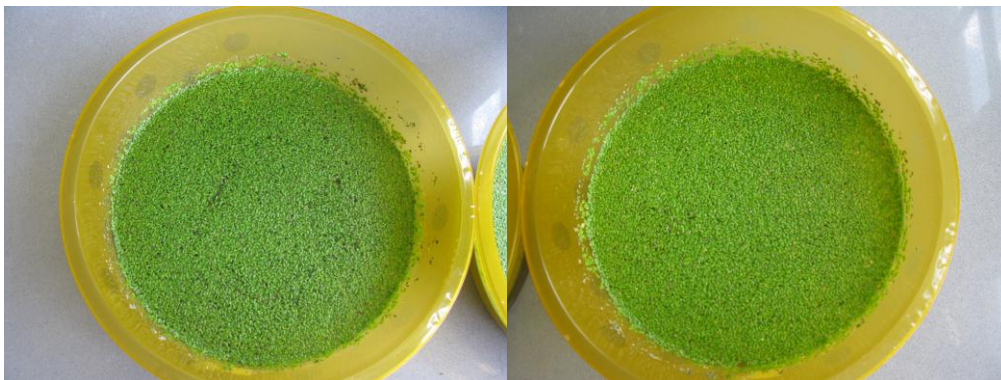
Çalışmanın son aşamasında su mercimeğindeki (*Lemna minor*) ağır metal miktarını ölçmek için doğal ortamdan toplanan su mercimeklerinin laboratuara iki gün boyunca 5 L'lik kap içerisinde uyumu sağlandıktan sonra bitkilerden 40 gr alınıp, 2L'lik kaplarda, deşarj kanalı (IP-1) ve Gala Gölünden alınan su numuneleri içinde yedi gün boyunca bekletilmiştir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).



Deşarj Kanalı (IP-1)

Gala Gölü Suyu

Şekil 4.11.Deney öncesi 2L'lik kaplarda su mercimeği (*Lemna minor*) örnekleri

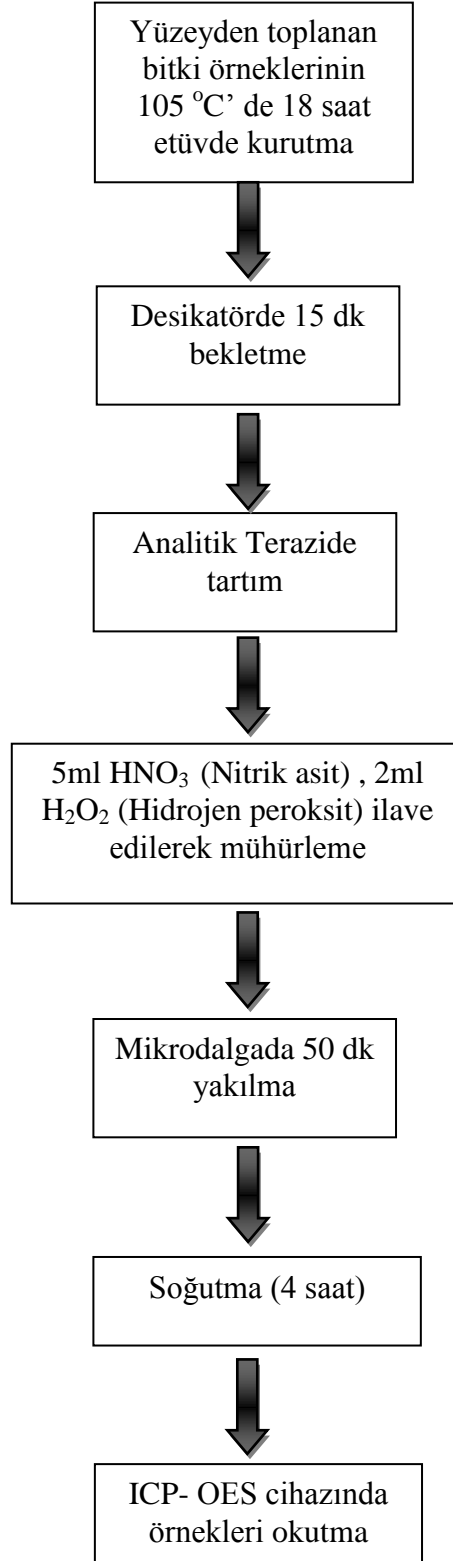


Deşarj Kanalı (IP-1)

Gala Gölü Suyu

Şekil 4.12.Deney sonrası 2L'lik kaplarda su mercimeği (*Lemna minor*) örnekleri

Su mercimeklerindeki (*Lemna minor*) ağır metal ölçümü için gerekli ön işlemler Gıda analizlerindeki Kuzey ülkeler komitesine (NMKL) No 161 ,1998 göre yapılmıştır. (Şekil 4.13)



Şekil 4.13 Su Mercimeğinde (*Lemna minor*) Ağır Metal Tutumu ölçmek için NMKL No 161 (1998) e göre yapılan ön işlemlerin akım şeması

Deney sonunda iki reaktördeki bitki örnekleri yüzeyden toplanarak Binder Marka Etüvde 105 °C 'de 18 saat kurutulmuştur. (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Etüve girmeden önce yüzeyden toplanan bitki örnekleri



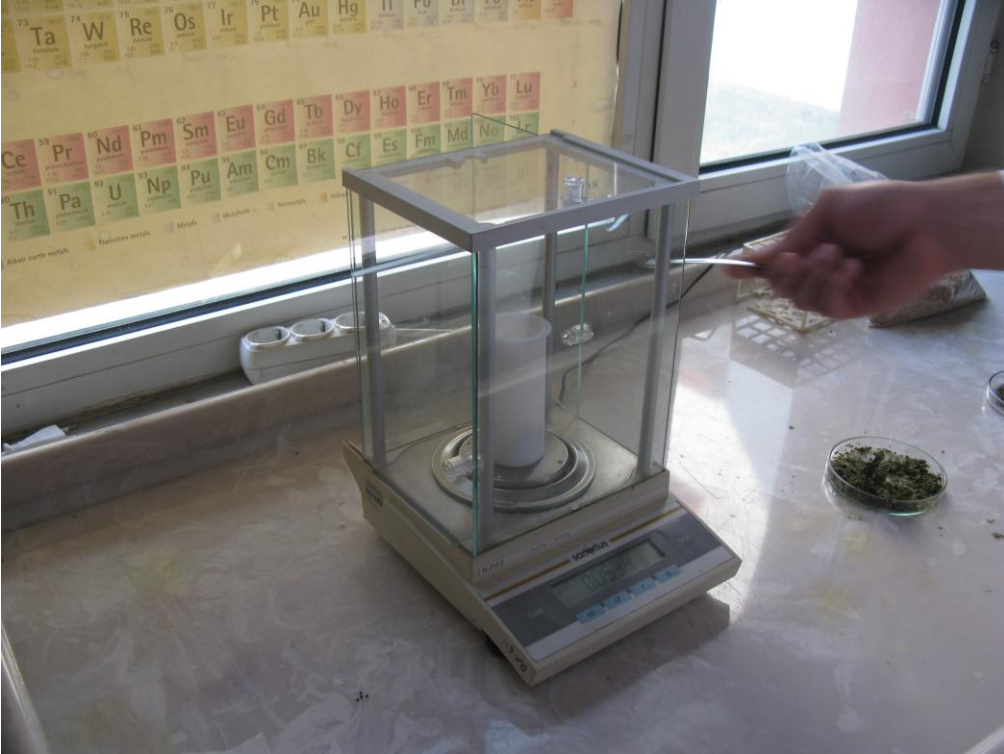
Şekil 4.15. Etüvden sonra kurutulmuş bitki örnekleri

Kurutulmuş bitki örnekleri 15 dk soğuması için desikatörde bekletilmiştir. (Şekil 4.16)



Şekil 4.16. Desikatörde soğutulan kurumuş bitki örnekleri

Sartorius marka analitik terazide tartım işlemine geçildi. (Şekil 4.17)



Şekil 4.17 Analitik terazide tartım işlemi

Sıcağa dayanıklı teflon mikrodalga fırın kapların içerisine 0.25 gr bitki tartıldıktan sonra üzerine 5ml HNO₃ (Nitrik asit) , 2ml H₂O₂ (Hidrojen peroksit) ilave edilerek mühürleme işlemi yapılmıştır. (Şekil 4.18)

No1 Gala Gölü içinden alınan suda bekletilen bitki örneklerinden 0.2537gr,

No2 Deşarj kanalından (IP-1) alınan suda bekletilen bitki örneklerinden 0.25 gr analitik terazide tartılmıştır.

No3 Kör numune (sadece 5mlt HNO₃ (Nitrik asit) ve 2 mlt H₂O₂ (Hidrojen peroksit))



Şekil 4.18 Mühürleme işlemi

Mühürleme işlemi yapıldıktan sonra Milestone marka mikrodalgada 50 dk yakılmıştır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Bitkilerin mikrodalgada yakılma işlemi

Yakılma işlemi bittikten sonra dört saat soğuması beklenmiş, ardından numuneler 25ml'lik balonjollere alınarak ölçü çizgisine kadar saf su ile tamamlanmıştır.

Formül

Cihazın okuduğu konsantrasyon (c) (ppb)*25 * 1/1000

Tartım

Beer Kanunu (Skoog and Leary 1992):

$A=a*b*c$

A= Absorbans

a= absorptivite ($L.g^{-1}.cm^{-1}$)

b=Işının absorplayıcı ortamda katettiği yol (cm)

c=Absorplayıcı türün konsantrasyonu (g/L)

Daha sonra bitkilerdeki ağır metal miktarı ICP-OES cihazında ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu deney öncesi ve sonrası Gala Gölü'nde ve deşarj kanalından (IP-1) alınan su içerisindeki su mercimeği (*Lemna minor*) bitkisinde bulunan ağır metal miktarları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Su mercimeği (*Lemna minor*) bitkisinde kuru ağırlık bazında ölçülen ağır metal miktarları

	Bakır ($\mu\text{g/g}$)	Kurşun ($\mu\text{g/g}$)	Kadmiyum ($\mu\text{g/g}$)	Nikel ($\mu\text{g/g}$)
Nehir suyundaki bitkide bulunan ağır metal konsantrasyonu	2.450	8.210	0.456	0.213
Gala Gölü'ndeki bitkide bulunan ağır metal konsantrasyonu	2.515	15.868	0.468	0.219
Deşarj Kanalındaki (IP-1) bitkide bulunan ağır metal konsantrasyonu	4.763	15.511	0.865	0.222

Çizelge 4.6'dan da görüldüğü gibi su mercimeği bitkisi (*Lemna minor*) bünyesine ağır metal almıştır.

Bu çalışmada doğal ortama çeşitli yollarla karışan ağır metallerin doğal su bitkileri ile gideriminin incelenebilmesi amacıyla su mercimeği (*Lemna minor*) bitkisinin laboratuvar ortamında ağır metal giderim verimlilikleri araştırılmıştır.

Gala Gölü'nde alınan su numunesinde Kadmiyum kirliliği gözlenmediği için bir verim de söz konusu olmamıştır. Gala Gölü'ndeki Kadmiyum miktarı $2.95 \mu\text{g/L}$ bulunmuştur. SKKY Kıtaçi su kaynaklarının sınıflarına göre I. Sınıf kabul edilmektedir.

Deşarj kanalında (IP-1) kadmiyum giderim verimi 100ml'lik bitkili Test reaktörü ve Kontrol 1 reaktöründe ilk gün %53 gerçekleşmiş ve yedi gün sonunda %78'e ulaşılmıştır. Bitkisiz (Kontrol 2) reaktöründe ise %53 kadmiyum giderim verimi elde edilmiştir. 500ml'lik reaktörde ise bitkili olan Test ve kontrol 1 reaktöründe %85, bitkisiz (kontrol 2) reaktöründe ise %59 Cd giderim verimi elde edilmiştir. Sonuç olarak *Lemna minor* bitkisi Kadmiyum arıtımı için uygun bir bitkidir ve literatürle uyum içerisindedir

Deşarj kanalında bakır giderim verimi 100ml'lik bitkili Test ve Kontrol1 reaktörlerinde Deşarj kanalında (IP-1) % 87, bitkisiz (Kontrol2) reaktöründe ise %52 çıkmıştır. 500ml'lik reaktörde ise bitkili olan Test ve Kontrol 1 reaktörlerinde % 92, bitkisiz Kontrol 2 reaktöründe ise %54'e kadar çıkmıştır. Yedinci gün sonunda 500ml'lik reaktör

içerisindeki su mercimeklerinin (*Lemna minor*) renginin sarardığı ve köklerde kopmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Sonuç olarak *Lemna minor* bitkisi bakır arıtımı için uygun bir bitkidir ve literatürle uyum içerisindedir.

Gala Gölü'nde kurşun giderim verimi 100ml' lik bitkili olan Test ve Kontrol 1 reaktörlerinde deney sonunda %80'e, bitkisiz (Kontrol2) reaktöründe %58' e kadar ulaşmıştır. 500ml'lik reaktörlerde ise bitkili olan Test ve Kontrol 1 reaktörlerinde %91, bitkisiz Kontrol 2 reaktöründe ise % 67 çıkmıştır. Sonuç olarak *Lemna minor* kurşun giderimi için uygun bir bitki olup daha önce literatürle uyum içerisindedir.

Gala Gölünden alınan su numunesinde Nikel kirliliği gözlenmediği için bir verim de söz konusu olmamıştır. Gala Gölündeki Nikel miktarı 0.12 µg/L bulunmuştur. SKKY Kıtaiçi su kaynaklarının sınıflarına göre I.Sınıf Su kabul edilmektedir.

Deşarj kanalından alınan su numunesinde Nikel konsantrasyonu eser miktarda olduğu için elde edilen verimler de çok azdır. Deşarj kanalında (IP-1) Nikel miktarı 8.12 µg/L bulunmuştur. SKKY Kıtaiçi su kaynaklarının sınıflarına göre I.Sınıf su kabul edilmektedir.

Su mercimeğindeki (*Lemna minor*) ağır metal konsantrasyonları deney öncesi ve deney sonrası ölçülmüştür. Yapılan analiz sonuçlarına göre deney öncesi Su mercimeğindeki (*Lemna minor*) ağır metal konsantrasyonları Kadmiyum, Bakır, Kurşun ve Nikel miktarı sırasıyla 0.456µg Cd/g, 2.450µg Cu/g, 8.210µg Pb/g 0.213µg Ni/g ölçülmüştür. Gala Gölü'nden alınan su numunesi içinde yedi gün boyunca bekletilen su mercimeklerinde (*Lemna minor*) Kadmiyum, Bakır, Kurşun ve Nikel miktarı sırasıyla 0.468µg Cd/g, 2.515µg Cu/g, 15.868µg Pb/g ve 0.219µg Ni/g, deşarj kanalından (IP-1) alınan suda bekletilen su mercimeklerinde (*Lemna minor*) Kadmiyum, Bakır, Kurşun ve Nikel miktarı 0.865µg Cd/g, 4.763µg Cu/g, 15.51µg Pb/g ve 0.222µg Ni/g çıkmıştır. Bu ölçümlere göre bitkinin bünyesine ağır metali tuttuğu ve literatürle uyum gözlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda Gala Gölü'nde ve deşarj kanalında (IP-1) SKKY'ne göre Bakır, Kurşun ve Kadiyum bazında IV. ve III kalite sınıf ölçülen sular su mercimeği ile yedi gün arıtılması sonucunda I. kalite sınıf suya dönüşmüştür.

Yüzen su bitkileri sadece atık sudaki istenmeyen kirletici parametreleri gidermemekte, aynı zamanda da su yüzeyini kaplamak suretiyle güneş ışığının geçişini engelleyerek alg gelişiminin önününe geçmektedir. Bu anlamda atıksu arıtımı sonrasında hasat edilen su mercimekleri balık yemi veya tavuk yemi olarak kullanıldığı gibi, biyogaz üretimi için de kullanılabilir. Fakat atık su arıtımı sırasında ağır metal giderimi yapılmışsa ağır metal arıtımı yapılmışsa hasattan sonra yem olarak kullanımı tercih edilmemelidir. Yakma işlemi ve külden metal geri kazanımı yapılabilir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmadan şu sonuçlar çıkarılabilmektedir:

- Deşarj kanalında ölçülen ağır metal konsantrasyonları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Kıtaıçi su kaynaklarının sınıflarına göre kirli bir atıksu niteliğinde olup, tarımsal faaliyetlere göre mevsimsel salınımları söz konusudur. Gala Gölü'ndeki ağır metal konsantrasyonları da mevsimsel değişiklik gösterip, az kirlenmiş su niteliğindedir.
- Deşarj kanalında (IP-1)ve Gala Gölünde Test ve Kontrol 1(bitkili) reaktörlerinde tüm hacimlerde ve parametrelerde kontrol 2 (bitkisiz) reaktörlerine göre daha yüksek giderim verimi elde edilmiştir.
- 500ml'lik reaktörlerde Gala Gölü ve deşarj kanalında (IP-1) bütün parametrelerde, 100ml 'lik reaktörlere göre daha yüksek bir giderim söz konusudur. Bunun nedeninin 500 ml'lik reaktörlerdeki su mercimeği miktarı 100ml'lik reaktörlere göre daha çok olduğundan ve su yüzey alanının daha geniş olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Gala Gölü'nde ve deşarj kanalında SKKY Kıtaıçi su kaynaklarının sınıflarına göre ağır metal bazında değerlendirildiğinde IV. ve III. kalite ölçülen sular su mercimeği (*Lemna minor*) ile I. kalite suya dönüşmüştür. Su mercimekleri (*Lemna minor*) sudan ağır metal gideriminde etkilidir. Bundan sonraki araştırmalarda farklı ağır metallerdeki giderim verimleri araştırılabileceği gibi doğal ortamda kurulacak pilot sistemlerle ağır metal giderim verimleri değerlendirilebilir.
- Su mercimeği (*Lemna minor*) bitkisi bünyesine ağır metal tutabilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda su mercimeğinin (*Lemna minor*) ağır metali bünyesine hangi organellerde tuttuğu konu edinebilir.

- Gala Gölü, deşarj kanalı (IP-1) ve Meriç Nehri ağır metal kirliliği içerdiğinden, bu bölge çevresinde otlayan hayvanların et ve sütünden yararlanıldığı göz önüne alındığında, hayvansal ürünlerde ağır metal etkisinin olup olmadığı da diğer bir araştırma konusu olabilir.
- evre ve şehircilik bakanlığından elde edilen verilere göre Meriç Nehri ülkemiz topraklarına Nitrit azotu (IV. sınıf), Nitrat azotu (IV. sınıf) ve Bakır (II. sınıf) parametreleri bazında kirli olarak girmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir bir su kalitesi sağlayabilmek için Bulgaristan ve Yunanistan ile birlikte bilimsel bir platformda yürütülebilecek bir izleme çalışması ile uluslararası anlaşmalar gereği sınıraşan suların alıcı ortam kalitesine yönelik getirilen kriterleri sağlamak mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- 2000 Kişilik Evsel Atık su Yapay Sulak Alanı Arıtma Tesisi (Doğal Arıtma) Tip uygulama Projesi Proses Raporu, (2010). Ankara
- Altınayar G (2003). Gala Gölü Sorunları, Nedenleri ve Çözüm Yolları Konusunda Değerlendirmeler. DSİ Genel Müdürlüğü XI. Bölge Müdürlüğü, 46 s., Edirne (Basılmamıştır).
- Altınayar G, Başkan M, Ertem B (1986). Gala Gölü Limnolojik Araştırma raporu. DSİ Genel Müd. Raporlarından, 120s., Ankara
- Arceivala SJ (2002). Su Bitkileri, Yapay Sulak Alanlar ve Vermikültür
- Artan RO (2007). Ağır Metal içeren atık suların ileri arıtımında su mercimeği (*Lemna Sp.*) bitkisinin kullanılması, Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana,
- Axtell NR, Steven P, Strenberg K, Claussen K (2003). Lead ve Nickel Removal Using *Microspora* and *Limna minor*, Bioresource Technology, 89, :41-48
- Aydın O, Aydın Ö, Özyurt K ve Polat B (2005). Tokat-Kazova Yöresinde Doğal Arıtma Sisteminde Kullanılabilecek Farklı Bitki Türlerinin Arıtma Verimi Üzerine Etkilerinin Ve Kullanılacak En Uygun Bitki Türünün Belirlenmesi, Köy Hizmetleri Projesi, Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tokat,
- Baldan İ (2009). Edirne ili önemli sulak Alanları, kullanım durumları, sorunlar, çözüm önerileri raporu, Çevre ve Orman Bakanlığı Milli Parklar Müdürlüğü, Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, Bursa
- Bayhan H, Akça L, Altay A ve Şakar S (1996). Yüzen Su Bitkileri ile Atıksulardan Nutrient Giderimi, Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, S: 589- 598, Mersin, 13-15 Mayıs 1996.
- Baykurt F (1979). Modern Genel Anorganik Kimya, İ. Ü. Yay., 724-729, İstanbul,
- Bergmann BA, Cheng J, Classen J And Stomp AM (2000). Nutrient removal from swine lagoon effluent by duckweed, Transactions of ASAE, 43, 2, 263-269.
- Beşer N, Karahan A, Şenyurt M ve Sürek H (2002). Ergene Nehrinden veya Diğer Su Kaynaklarından Sulanan Çeltiklerde Ağır Metal İçerikleri Üzerine Bir Araştırma. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müd. Trakya Tarımsal Araştırma Enst.Müd. Raporlarından, 11s., Edirne.
- Boniardi N, Rota R and Nano G (1999). Effect of dissolved metals on the organic load removal efficiency of *Lemna gibba*, Water Res., 33, 2, 530-538.
- Chaoui A ve Ferjani E (2005). Effect of Cadmiyum and Copper on Antioxidant Capacities, Lignification and Auxin Degradation in Leaves of Pea (*Pisum sativum L.*) Seedlings. C. R. Biologies 328:23-31
- Cooper PF, Job GD, Green MB, Shutes RBE, Reed (1996). Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Medmenham, Martow, UK. WRC. Publications.
- Çepel N (1997). Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar. TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul, 111s
- Çevre ve Orman bakanlığı 31.12.2004 tarihli 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Üçüncü Bölüm, Kıtaiçi Su Kaynaklarının Sınıflarına göre Kalite Kriterleri
- Çevre ve Orman Bakanlığı sözlü görüşme (2010).
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED İzin ve denetim genel müdürlüğü ölçüm ve izleme dairesi başkanlığı Çevre Referans Lab. Kimya Lab.
- Dalu JM and Ndamba J (2003). Duckweed based waste water stabilization ponds for waste water treatment(a low cost technology for small urban areas in Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth 28, pp.1147-1160.

- DSİ (2001). Gala Gölü ve Çevresindeki Sulak Alanların Islahı ve Yönetim Planlaması Raporu,Edirne
- Edirne İl Tarım, Gıda ve Hayvancılık Müdürlüğü, 2011
- EPA 832-F-00-023 (2000),Wastewater Technology Fact Sheet Wetland: Subsurface Flow
- Eremektar G,Tanık A, Arslan-Alaton İ,Övez S, Orhon D (2005). Türkiye’de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri, ODTÜ, Ankara
- Erol B (1997). Yüzen aquatik bitki sistemlerinde azot giderim prensipleri. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Merkez kütüphane Tezler Bölümü, Yer No: İNŞUZ1205ERO.
- Evers U, Schlipköter HW (1995). Encyclopedia of Analytical Science,Volume8, P: 4990-4996,
- Forster CF, Wase D, A (1997) Biosorbents for Metal Ions, London, UK:CRC Press:1-9.
- Gravilescu M (2004). Removal of heavy metals from the environment by biosorption, Engineering Life Science, 3: 219-232.
- Güher H, Kırgız T (2007). Gala Gölü Milli Parkında Makrofitler ile Mikrocrustacea (*Cladocera, Copepoda*) İlişkisi Üzerine Bir Araştırma. *Trakya Univ J Sci* 8: 109–114.
- Haktanır K (1983). Çevre Kirliliği ders notu. A.Ü.Ziraat Fakültesi.Tekser No:107, Ankara.
- Harrison MR, Johnson RW (1985). Deposition Fluxes of lead: Cadmium,Copper and Polynuclear Aromatic Hydrocarbon (PAH) on The Verges of a Major Highway", The Sci. of The Total Environ., P :121-135, England
- Ho YS, Porter J F, Mckay (2002).Equilibrium İsotherm Studies for The Sorption of Divalent Metal Ions onto Peat: Copper, Nickel and Lead Single Component Systems, Water,Air,and Soil Pollution,P:1
- <http://tr.wikipedia.org> (erişim tarihi: 19.10.2011)
- http://khgm.gov.tr/aritma_prj.htm (erişim tarihi: 19.10.2011)
- <http://samsunozelidare.gov.tr/haberyazdir.asp?newsId=454> (erişim tarihi:27.9.2011)
- <http://sutek.blogcu.com/atik-suyu-temizleyen-bitkiler/5112799> (erişim tarihi: 22.9.2011)
- http://www.cevrealiz.com/NEWS_FILE/SKKY%20Numune%20Alma%20ve%20Analiz%20Metodlari%20Teblihi.pdf (erişim tarihi, 23.10.2011)
- <http://www.lenntech.com> (erişim tarihi: 12.10.2011)
- <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~emrecan/tez/atiksu.htm> (erişim tarihi, 20.10.2011)
- (<http://www.kultur.gov.tr>) (erişim tarihi, 12.10.2011)
- <http://www.bugday.org> (erişim tarihi, 12.4.2010)
- <http://www.zmo.org.tr/etkinlikler/5tk02/44.pdf> (erişim tarihi, 11.04.2007)
- İpsala Tarım İlçe Müdürlüğü,2004, arşiv kayıtları,
- Kara İ ve Kara Y (2005) Removal of Cadmium from water using Duckweed (*Lemna trisulca* L), Department of Biology, Faculty of Art and Sciences, University of Pamukkale, Denizli, Turkey,
- Karagöz S (1998). Çöp Sızıntı Sularının Su Bitkileriyle Oluşturulan Sistemlerle Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 84s.
- Keskinhan O, Göksu MZL, Yüceer A, Başbüyük M(2003).Forster CF. Heavy metal adsorption characteristics of a submerged aquatic plant (*Myriophyllum Spicatum*).Process Biochemistry 39:179-183.
- Khellaf N, Zerdaoui M (2009).Growth response of The Duckweed *Lemna minor* to heavy metal pollution, Laboratory of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Vadi Mokhtar University, Annaba, Algeria,
- Knight RL (1992). Wetlands for Wastewater Data Base Presented at Int. Wetlands in Water Pollution Control, Sydney, Australia, Nov 29- Dec 3
- Kontaş A (1990). Meriç Nehri Kirliliği ve Bu Kirliliğin Ege Denizine Etkileri, Dokuz Eylül Üniv. Deniz Bil. ve Teknolojisi Enst. Yüksek Lisans Tezi,s.70, İzmir
- Kratochvil D, Volesky B, (1998). Advances in the biosorption of heavy metals,

- Kumar P (2009). Comparative assesment of *Azolla Pinnata* and *Valllisneria Spiralis* in Hg removal from G.B Pant Sagar of Sinrauli Industrial region, India,
- Lombardi L ve Sebastiani L (2005).Cooper Toxicity in *Prunus cerasifera*:growth and Antioxidant Enzymes Responses of in Vitro Grown Plants. *Plant Sci.*,168: 797-802
- Luo C, ShenZ ve Li X (2005). Enhanced Phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. *Chemosphere*,59,1-11
- Matagi SV, Swaid ve Mugabe R (1998). A Review of Heavy Metal Removal Mechanism In Wetlands,
- Metcalf and Eddy (2004).Wastewater Treatment,Disposal and Resuse, Mc Graw HillPublishing, Newyork,
- NMKL Nordic Comittee on Food Analysis, No 161, 1998
- Öbek E (2009). Bioaccumulation of heavy metals from the secondary treated municipal wastewater by *Lemna gibba L*, Department of environmental engineering, Firat University, Elazığ, Turkey,
- Özer A, Ekiz İ, Özer D, Kutsal T, Çağlar A (1996). The adsorbtion of lead (II) ions to *R. Arrhizus* in a batch reactor, *Ekoloji ve Çevre Dergisi*, 21: 27-31.
- Patterson JW, Allen HE and Scala JJ (1977).Carbonate Precipitation of Heavy Metals Pollutions, *J. Water Po ll. Control. Foo.*, 49, P: 2397-2410,
- Rahmani GNH and Sternberg SPK (1999). Bioremoval of lead from water using *Lemna minor*, *Bioresource Technol.*, 70, 225-230.
- Reddy KR, Debusk TA (1987).State of The Art Utilization of Aquatic Plants in Water Pollution Control, *Water Sci. And Tech.*, Vol. 19, No. 10, : 61-79
- Ridley J and Channing J (2003).Safety at work.Butterworth Heinemann An imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, 1090p P:490, England,
- Samsunlu A (1999). Çevre Mühendisliği Kimyası. Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını, İstanbul, 394s
- Sarı AM (1993). Gala Gölü Acil Su İhtiyacı ve Taşkın Koruması, Enez Çevre Sempozyumu, Edirne Valiliği Çevre Vakfı Yayınları No:1
- Sarıalioğlu B (2003). Köklü ve Yüzen Bitkiler İçeren Doğal Arıtma Sistemleri ile Evsel Atıksulardan KOİ ve AKM Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Sharma SS, Gaur JP (1994). Potential of *Lemna polyrrhiza* for removal of heavy metals, Department of Botany, School of Life Sciences, North Eastern Hill University, Shillong 793 014, India,
- Shen J (2003). “Biosorption of cupric and cadmium ions by corncob particles” Master Thesis, Ottawa University, Canada,
- Skoog DA and Leary JJ(1992). Principles of Instrumental Analysis, 4th edition ed., p. 68. Philadelphia: Saunders College Publishing,
- Smith MD and Moelyowati I (2001). Duckweed based wastewater treatment (DWWT): Design guidelines for hot climates, *Water Sci. Technol.*, 43, 11, 291-299.
- Srivastav RK, Gupta SK, Nigam KDP, Vasudevan P (1993). Treatment of Chromium and Nickel in Wastewater by Using Aquatic Plants. Pergamon.,0043-1354(93)E0015-K
- Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th edition (1998), American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation,
- Strenberg PKS, Dorn RW (2002). Cadmium Removal Using *Cladophora* in Batch, Semi-batch and Flow Reactors. *Bioresource Technology.*, 81: 249-255
- Taylor GJ ve Crowder AA (1983). Uptake and Accumulation of Heavy Metals by *Typha latifolia* in Wetlands of The Sudbury, Ontario Region.
- Tok HH (2007). Toprak Kirliliği ders notları, 21S,S:8.

- Uysal Y ve Taner F (2007). The Effect of Cadmium Ions on The Growth Rate of The Freshwater Macropyteduckweed *Lemna minor*. Ekoloji , 6: 62, 9-15
- Uysal Y ve Zeren O (1998). Yüzen su bitkisi (*Lemna minor L.*)'nin atık su arıtım sistemlerinde kullanımı. Kayseri I. Atık su Semp., 22-24 Haziran 1998, s:242-248,
- Wolverton BC (1986). Aquatic plants and wastewater treatment, Proceedings of A Conference on Research and Applications of: Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery, July 20-24, Orlando, Florida.
- www.atsdr.cdc.gov (erişim tarihi: 17.10.2011)
- www.epa.gov (erişim tarihi: 17.10.2011)
- www.hgk.mil.tr (erişim tarihi: 10.10.2010)
- Yang J (1999). "Bisorption of uranium and cadmium on Sargassum Seaweed biomass" Doctora Thesis, McGill Üniversitesi, Montreal, Canada,
- Yıldırım E (2001). Meriç-Arda-Tunca Nehirleri'nin Kirlilik Durumlarının İncelenmesi. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Çevre Müh. Böl. Yüksek Lisans Tezi, Gebze.
- Yıldız K, Sipahioğlu Ş, Yılmaz M (2000). Çevre Bilimi, Ankara, Türkiye, 11-34-75.
- Yılmaz C (2003). Sucul Bitkilerle Su Kalitesi Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze,
- Yılmaz Z, Gür K, Tarlan E (2005). S.Ü. Kampüs Atık sularının Karakterizasyonu ve su mercimeği (*Lemna minor L.*) ile arıtılabilirliği, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20: 1-10
- Yılmaz Z (2004). S.Ü Kampüs Atıksularından su mercimeği (*Lemna minor L.*) ile Nutrient Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,
- Yoon J, Cao X, Zhou Q, Ma LQ (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plant Growing on a Contaminated Florida site. Science of The Total Environment 368: 456-464
- Zaimoğlu Z, Salıcı ÇA, Kekeç S, Sucu YM ve Erdoğan R(2004). Yer altı Suyu Kirliliğinin Giderilmesinde Yeni ve Yeşil Bir Yöntem: Phytoremediation, I. Yeraltı suları ulusal sempozyumu, S:185-194, Konya, 23-24 Aralık, 2004.
- Zajic JE (1971). Water Pollution Cont., Marcel Dekar Inc. USA, P: 389-401,
- Zal N, Eczacıbaşı GB, Karauz Er ES (2006). Aşağı Meriç Ovasının biyosfer rezervi olarak planlanması. İç Anadolu Ormancılık araştırma Enstitüsü yayınları No.69, 252s, Ankara.
- Zeren O, Uysal Y, Arslan H, Avcı ED, Yalvaç M (2001). Bitkilerle Atıksu Arıtımının Ekolojik Tarımdaki Önemi, Türkiye 2. Ekolojik Tarım Sempozyumu, S: 201-208, Antalya, 14-16 Kasım 2001.

TEŞEKKÜR

Her türlü bilgi ve deneyimlerini biz Çevre Mühendislerine aktarma çabasında olan ve bu çalışmanın her aşamasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Günay Yıldız Töre ' ye,

Her zaman yardımlarını benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan biricik annem Nilgün Kürklü'ye, projemin he aşamasında desteklerini benden esiklemeyen biricik dayım emekli Fransızca öğretmeni Sayın Coşkun Kürklü'ye, maddi ve manevi yardımlarıyla yanımda olan ve her zaman beni destekleyen eşim Lewis Groves'a ve şuan bir yaşında olan biricik oğlum Logan Eralp Groves'a,

Bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan Edirne DSİ XI. Bölge müdürlüğünde görev yapmakta olan Planlama Şube Müdürü Bahattin Yılmaz'a, Yüksek Çevre Mühendisi Sayın İlker Alp'e ve Edirne Tarımsal Araştırma Enstitüsünde görev yapmakta olan Yüksek Ziraat Mühendisi Cengiz Kurt'a, Tarımsal araştırma kontrol Laboratuvarı şefi Kimya mühendisi Üzeyir Aktuğ, Ticaret ve sanayi odası toprak laboratuvarı şefi ziraat mühendisi Cüneyt Zümbül, Trakya Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim görevlisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Şaban Aktaş, Trakya Üniversitesi Kimya bölümü öğretim görevlisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Gühergöl Uluçam'a ve Çevre ve Orman Bakanlığı Milli Parklar Müdürlüğünde görev yapmakta olan Orman Mühendisi İlker Baldan'a teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Özge Bahar Özkoç

ÖZGEÇMİŞ

1982 Yılında Konya'da doğan Özge Bahar Özkoç, İlköğrenimini Ankara'da tamamladı. Ortaokulu Edirne'de tamamladıktan sonra ve Lise öğrenimini 1998-1999 Öğretim yılında Edirne I. Murat Lisesi'nde birincilikle tamamladı. 1999 yılında Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nde yüksek öğrenime başladı. 2003 yılında bu fakülteden mezun oldu. 2003-2007 yılları arasında Migiboy Tekstil kumaş boyama ve baskı A.Ş.'de çalışmaya başladı, 2007-2009 yılları arasında Aker Tekstil'de çalıştı. 2008 yılından bu yana Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nde yüksek lisans öğrenimini sürdürmekte. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

EKLER