

T.C.



GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SUCUL BİTKİLERLE
SU KALİTESİ KONTROLÜ

134340

Cihan YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç. Dr. Nihal BEKTAŞ

GEBZE

2003

134340
TEZ YÖNETİM KURULU
MÜHÜRÜ



Cihan YILMAZ'ın tez çalışması G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06/06/2003 tarih ve 2003/17 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Yard.Doç.Dr. Nihal BEKTAŞ
(Tez Danışmanı)

N. Bektaş

ÜYE : Prof.Dr. Lütfi AKÇA

L. Akça

ÜYE : Yard.Doç.Dr. Salim ÖNCEL

S. Öncel

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07.07.2003..... tarih ve ...2003/20..... sayılı kararı.


Prof. Dr. Adem KILIÇ
GYTE Mühendislik ve Fen Bil.
Enstitüsü Müdürü

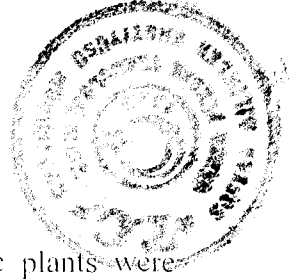
[Signature]



ÖZET

Bu çalışmada, su kaynaklarına gelen organik madde, askıda katı maddeleri ve azot gibi kirleticilerin giderimleri incelenmek için TÜBİTAK MAM kampüsünde sucul bitkilerle pilot ölçekli sistemler kurulmuştur. Bu sistemlerde kullanılan köklü bitkiler *Phragmites sp.*, yüzücü bitkiler *Spirodela polyrhiza* ve *Lemna valdiviana*, batık bitkiler *Elodea canadensis* ve *Egeria densa*'dır. Bu pilot ölçekli sistemler 1x1x0.22 m hacminde ve polyesterden yapılmış reaktörler üzerine kurulmuştur. Bu sistemlere verilen giriş suyu olarak İSKİ Ömerli Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu beslemede kullanılmıştır.

Bu sistemlerde 66, 78, 117 L/m²/gün hidrolik yükleme hızlarında çalışılmış ve bu hızlar arasında kirletici giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Sistemlerin ortalama arıtma performansları, *Phragmites sp.* bitkisinin bulunduğu sistem için ortalama % 70 BOİ₅, %75 AKM ve %81 NH₄-N, *Spirodela polyrhiza* ve *Lemna valdiviana* bitkilerinin bulunduğu sistemde ortalama %67 BOİ₅, %81 AKM ve %67 NH₄-N, *Elodea canadensis* ve *Egeria densa* bitkilerinin bulunduğu sistemde ortalama %69 BOİ₅, %79 AKM ve %72 NH₄-N giderim sağlanmıştır. Bütün sistemlerde genel olarak 90-100 l/m²/gün arasındaki hidrolik yükleme hızlarında iyi verim elde edilebileceği görülmüştür.



SUMMARY

In this thesis, the pilot scale natural treatment systems with aquatic plants were established to examine removal of pollutants such as organic matter, suspended solids and nitrogen in the TUBİTAK-MRC campus. The plants used in these systems were rooted plants (*Phragmites sp*), floating aquatic plants (*Spirodela polyrhia* and *Lemna valdiviana*) and submerged plants (*Elodea canadensis* and *Egeria densa*). The dimension of scale reactors were 1x1x0,22 m and made of polyester. İSKİ, "Paşaköy Advanced Treatment Facility" effluent was used as feeding wastewater since it represents the contaminated creek waters received by Ömerli Dam.

The hydraulic loading rate of 66, 78 and 117 L/m²/day and removal efficiencies of pollutants at this rates were found and compared for each system. The average treatment efficiencies were found to be 70% of BOD₅, 75% of TSS and 81% of NH₄-N in rooted plants system, 67% of BOD₅, 81% of TSS and 67% of NH₄-N in floating aquatic plants system, 69% of BOD₅, 79% of TSS and 72% of NH₄-N in submerged aquatic plants system.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yönlendirme ve desteği ile yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Nihal BEKTAŞ'a,

Yine tez çalışmam boyunca bana her konuda yardımlarını esirgemeyen TÜBİTAK MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü'nden Dr. Selma AYAZ'a ve İstanbul Teknik Üniversitesi Arş. Gör. Bilal TUNÇSİPER'e.

Tez çalışmam için ortam sağlayan TÜBİTAK MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü'ne ve yardımlarını esirgemeyen tüm çalışanlarına,

Bütün öğrenim hayatı boyunca hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan aileme en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

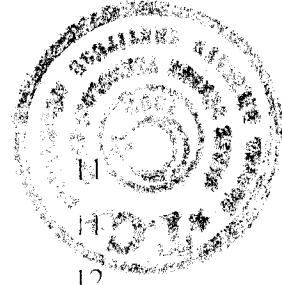




İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
2. DOĞAL ARITIM SİSTEMLERİ	2
2.1. Tarihçe	3
2.2. Doğal Arıtım Sistemlerinin Arıtma Mekanizmaları	3
2.2.1. Askıda Katı Maddeler	3
2.2.2. Organik Maddeler	4
2.2.3. Azot	4
2.2.4. Fosfor	6
2.2.5. İz Elementler	7
2.2.6. İz Organikler	7
2.2.7. Mikroorganizmalar	8
2.3. Arazide Arıtım Sistemleri	8
2.3.1. Sulama Sistemleri	8
2.3.2. Zemine Sızdırma Sistemleri	9
2.3.3. Arazi Üzerinden Akışlı Sistemler	10

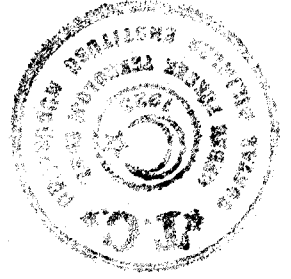


2.4. Sucul Sistemler	
2.4.1. Sulakalanlar	
2.4.1.1. Doğal Sulakalanlar	12
2.4.1.2. Yapay Sulakalanlar	12
2.4.1.2.1. Serbest Yüzey Akışlı Sulakalanlar	12
2.4.1.2.2. Yüzey Altı Akışlı Sulakalanlar	14
2.4.2. Su Kültürü	15
2.4.3. Sucul Bitkilerle Arıtım Sistemleri	15
2.4.3.1. Yüzücü Sucul Bitkiler	16
2.4.3.2. Batık Bitkiler	21
2.4.3.3. Sucul Bitkilerle Arıtma Sistemlerinin Kontrolü	22
2.5. Doğal Arıtma Sistemleriyle Konvansiyonel Sistemlerin Karşılaştırılması	25
2.6. Sulakalanların Türkiye’deki ve Dünyadaki Yeri	27
2.7. Literatürde Yapılan Çalışmalar	29
3. MATERYAL ve METOT	35
3.1. Deneysel Çalışma Düzeniği	35
3.2. Atıksu Karakteristiği	37
3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Bitkiler	37
3.4. Metot	42
4. SONUÇLAR	44
4.1. <i>Phragmites sp</i>	44
4.2. <i>Spirodella polyrhiza</i> ve <i>Lemna valdiviana</i>	51
4.3. <i>Elodea canadensis</i> ve <i>Egeria densa</i>	57
5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER	64
6. ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	75



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
EPA	Çevre Koruma Teşkilatı
USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Teşkilatı
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
TÜBİTAK	Türkiye Bilim ve Teknoloji Araştırma Kurumu
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
ESÇAE	Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
AWE	Su kültürü ve Sulakalan Ekosistemi
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
AKM	Askıda katı madde
NO ₃ -N	Nitrat azotu
NH ₄ -N	Amonyum azotu
TN	Toplam azot
PO ₄ -P	Fosfat fosforu
TP	Toplam fosfor
pH	Çözeltideki hidrojen iyonu konsantrasyonu
q _{max}	Maksimum adsorbsiyon kapasitesi
HYH	Hidrolik yükleme hızı
SM	Standart Methots
JIS	Japan Industrial Standarts



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Sulakalanlardaki azot dönüşümü	5
2.2. Sulakalanlarda Fosfor dönüşümü	7
2.3. Sulama sistemleri	9
2.4. Zemine Sızdırma Sistemleri	10
2.5. Arazi Üzerinden Akıtma Sistemleri	11
2.6. Serbest yüzey akışlı sulakalanlar	12
2.7. Yüzey altı akışlı sulakalan	14
2.8. Sucul Bitkiler	16
2.9. Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle konvansiyonel sistemlerin karşılaştırılması	25
3.1. Atıksuyun sisteme verilşi	36
3.2. Sistemlerin Akış Diyagramı	42
4.1.1. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonu	45
4.1.2. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin giriş ve çıkış AKM konsantrasyonu	46
4.1.3. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin giriş ve çıkış NH ₄ -N konsantrasyonu	46
4.1.4. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin giriş ve çıkış BOİ konsantrasyonu	47
4.1.5. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin BOİ ₅ giderim verimi	48
4.1.6. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin NH ₄ -N giderim verimi	48
4.1.7. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin AKM giderim verimi	49
4.1.8. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin giriş BOİ ₅ yüküne karşılık giderilen BOİ ₅ yükü	49
4.1.9. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin giriş AKM yüküne karşılık giderilen AKM yükü	50
4.1.10. <i>Phragmites sp.</i> sisteminin giriş NH ₄ -N yüküne karşılık giderilen NH ₄ -N yükü	50
4.2.1. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonu	51



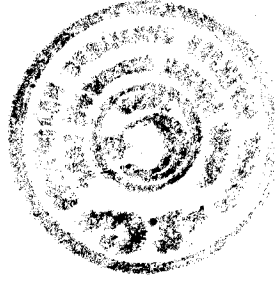
4.2.2. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin giriş ve çıkış BOI_5 konsantrasyonu	52
4.2.3. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin giriş ve çıkış AKM konsantrasyonu	52
4.2.4. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin giriş ve çıkış $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu	53
4.2.5. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin BOI_5 giderim verimleri	54
4.2.6. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin AKM giderim verimleri	54
4.2.7. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin AKM giderim verimleri	55
4.2.8. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. valdiviana</i> sisteminin giriş BOI_5 yüküne karşılık giderilen BOI_5 yükü	55
4.2.9. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin giriş AKM yüküne karşılık giderilen AKM yükü	56
4.2.10. <i>Spirodella pol.</i> ve <i>L. Valdiviana</i> sisteminin giriş $\text{NH}_4\text{-N}$ yüküne karşılık giderilen $\text{NH}_4\text{-N}$ yükü	56
4.3.1. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria den.</i> sisteminin giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonları	57
4.3.2. <i>Elodea canadensis</i> ve <i>Egeria densa</i> sisteminin giriş ve çıkış AKM konsantrasyonları	58
4.3.3. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria den.</i> sisteminin giriş ve çıkış BOI_5 konsantrasyonları	58
4.3.4. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria den.</i> sisteminin giriş ve çıkış $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları	59
4.3.5. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria densa</i> sisteminin BOI_5 giderim verimleri	60
4.3.6. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria densa</i> sisteminin $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimleri	60
4.3.7. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria den.</i> sisteminin AKM giderim verimleri	61
4.3.8. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria den.</i> sisteminin giriş BOI_5 yüküne karşılık giderilen BOI_5 yükü	61
4.3.9. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria den.</i> sisteminin giriş AKM yüküne karşılık giderilen AKM yükü	62
4.3.10. <i>Elodea can</i> ve <i>Egeria den.</i> sisteminin giriş $\text{NH}_4\text{-N}$ yüküne karşılık giderilen $\text{NH}_4\text{-N}$ yükü	62



RESİMLER DİZİNİ

<u>Resim</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Pilot ölçekli sistemin görünüşü	35
3.2. <i>Phragmites sp.</i> (saz) 'nin görünüşü	38
3.3. Su mercimeklerinin (<i>Spirodela polyrhiza</i> ve <i>Lemna valdiviana</i>) görünüşü	39
3.4. <i>Egeria densa</i> 'nın görünüşü	40
3.5. <i>Elodea canadensis</i> 'in görünüşü	41





ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Serbest su yüzeyli sistemlerin dizayn parametreleri	13
2.2. Atıksu ortamında yaygın olarak kullanılan sucul bitkilerin ortam koşulları	18
2.3. Yüzücü sucul bitki arıtım sistemlerinden beklenen çıkış kalitesi ve dizayn kriterleri	20
2.4. Doğal arıtma sistemlerine ait dizayn kriterleri	24
2.5. Konvansiyonel ve doğal arıtma sistemlerin inşaat, işletme ve bakım masrafları açısından karşılaştırılması	26
2.6. Avrupa'daki 268 adet yapay sulakalanın ortalama verimleri	28
2.7. Danimarka'daki 71 adet yatay akışlı sulakalandan elde edilen ortalama verim değerleri	28
2.8. Kuzey Amerika'daki "Frank Lake Alberta" sulakalanlarından elde edilen performans değerleri	29
3.1. Giriş atıksuyun karakteristiği	37
3.2. Ölçülen parametreler ve analiz yöntemleri	43
4.1. Ortalama arıtma verimleri (%)	44
5.1. Arıtma sistemlerinin yıllık ortalama çıkış değerleri (mg/l)	65

1. GİRİŞ

İçme suyu kaynağı olarak kullandığımız göl, dere gibi yüzeysel sular noktasal ve yayılı kirletici yükler tarafından kirletilmektedirler. Kaynaklardaki su kalitesinin bozulması su arıtma maliyetini arttırdığı gibi insan sağlığı için de risk oluşturmaktadır. Bu sebeple su kaynaklarımızın korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Dünyanın pek çok yerinde bu problemler, doğal arıtma sistemleri ile oldukça düşük maliyetlerle çözülebilmektedir.

Doğal arıtım sistemleri, su kaynaklarının geliştirilmesine ve doğal hayatın sürekliliğine olumlu etki yaparken, ikincil arıtım sonrası deşarj için de uygun sistemlerdir. Bu sistemlerin maliyetleri, klasik sistemler ile karşılaştırıldığında %50-%70 daha düşüktür. Son yıllarda pek çok ülkede, özellikle enerji ihtiyacının çok az olması nedeniyle bu sistemler tercih edilmektedir. Çevre problemlerine ayrılabilir mali kaynakların sınırlı olduğu ve enerji sıkıntısının bulunduğu ülkemizde bu yeni yöntemlerin denenmesi ve geliştirilmesi çevre koruma açısından yararlı olacaktır.

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışma ile içme suyu havzalarının korunmasına yönelik olarak köklü, yüzücü ve batık bitkilerle ikincil arıtım sonrası atıksuların arıtılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. İkincil arıtım çıkışı suyun derelerle barajlara gelen suyu temsil niteliğine sahip olduğu düşünülmüştür. Bu araştırma sırasında sistemlere gelen organik madde, askıda katı maddeleri ve amonyum azotu gibi kirletici maddelerin giderimi amaçlanmıştır.

Çalışmanın kapsamında köklü, yüzücü ve batık bitki sistemleri kullanılmıştır. Köklü bitki olarak *Phragmites sp.* (saz), yüzücü bitki olarak *Spirodela polyrhiza* (su mercimeği) ve *Lemna valdiviana* (su mercimeği) birlikte, batık bitki olarak *Elodea canadensis* ve *Egeria densa* birlikte kullanılmıştır. Bu farklı türdeki bitki sistemlerinin atıksuyu arıtım verimlerine bakılmış, ayrıca sistemlere farklı hidrolik yüklemeler yapılarak, farklı bitkilerin kirletici giderim verimleri incelenmiştir.

2. DOĞAL ARITIM SİSTEMLERİ



Klasik biyolojik arıtmadan çıkan atıksuların kalitesini daha fazla iyileştirmek için ileri ve son arıtma teknikleri uygulanır. İleri arıtma teknikleri azot ve fosfor giderme, filtrasyon, adsorpsiyon, dezenfeksiyon, iyon değiştirme, ultrafiltrasyon, ters ozmoz ve kimyasal çöktürme metotlarından oluşmaktadır. Doğal arıtma sistemleri de sedimantasyon, filtrasyon, gas transferi, iyon değişimi, kimyasal indirgenme ve yükseltgenme ve biyolojik değişim ve azaltım gibi bir çok mekanizmayı gerçekleştirebileceğinden ileri arıtmada kullanılabilirler. Doğal arıtım sistemlerinin diğer konvansiyonel sistemlerden farkı doğal ortamlarda ve doğal oranlarda gerçekleşmesidir (Metcalf and Eddy, 1991).

Doğal arıtma sistemleri, doğal çevredeki su, toprak, bitki, mikroorganizma ve atmosferin birbiriyle etkileşimi ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerinden oluşur. Gelişmekte olan ve ılıman iklim kuşağında yer alan ülkeler için uygun olan bu yeni teknolojilerin düşük işletme masraflarının yanında çamur üretimlerinin de yok denecek kadar az olması nedeniyle tercih edilmektedirler (Ayaz ve Saygın, 1996). İklimin yumuşak, arazinin bol ve ucuz olduğu yerlerde sulakalan sistemleri diğer sistemlere göre daha ekonomik yönden üstün gözükmektedir (Ayaz ve Akça, 2001).

Doğal arıtma sistemleri, arazide arıtma sistemleri ve sucul sistemler diye ikiye ayrılır. Arazide arıtma sistemleri; sulama , zemine sızdırma ve arazi üzerinde akıtma sistemlerinden oluşur. Sucul sistemler de kendi aralarında doğal ve yapay sulakalanlar, sucul bitkilerle arıtma sistemleri ve su kültürü olarak ayrılır.

2.1. Tarihçe

Atıksuların tarihte arazide arıtılması eski Atinalılara kadar uzanır. Yakın tarihimizde ise 1800'lerden itibaren yaygın olarak kullanılmışlardır. Avrupa'da ise 19. yüzyılın ikinci yarısından sonra daha fazla uygulama alanı bulmuştur. Nehirler aşırı derecede kirlendiği için atıksular kırsal kesimde araziye verilmiş ancak kırsal kesimin şehirleşmesiyle bu yöntem terkedilmiştir. Amerika'da ise yer altı suyunun beslenmesi gibi bir avantajı olduğundan yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Metcalf and Eddy, 1991).

Doğal Arıtım Sistemlerinin Avrupa'da ilk kullanımı septik sistemler ile başlamıştır. 20. yüzyılda bunların yerini bitkili sistemler, sulama sistemleri, yer altı suyunu beslemek amacı ile kullanılan sistemler almıştır. Amerika'da doğal arıtma sistemlerini kullanan belediye sayısı 304'den (1940), 571'e (1972) yükselmiştir. Bu toplam 15000 olan arıtma tesisi sayısının küçük bir yüzdesidir. Uluslararası düzeyde 1860-1908 yılları arasında uygulanan arazide arıtım sistemleri Tablo 2.2' de verilmiştir. Doğal arıtım sistem teknolojilerinde son zamanlarındaki gelişmeler köklü ve yüzücü bitkilerin kullanıldığı yapay sulakalanlarda olmuştur. Yüzücü sucul bitkiler ilk olarak lagünlerin ve stabilizasyon havuzlarının performansını artırmak için kurulmuş, ancak daha sonraki gelişmelerle ayrı bir sistem olarak düşünülmüştür (Metcalf and Eddy, 1991).

2.2. Doğal Arıtım Sistemlerinin Arıtma Mekanizmaları

2.2.1. Askıda Katı Maddeler

Sucul sistemlerde Askıdaki katı maddelerin giderilme verimi genellikle sulakalan uzunluğu ve partiküllerin çökme hızıyla orantılıdır. Sedimentasyon ve resüspansiyon (çökelen ve ya çökmekte olan maddelerin askıda kalmaları) partiküllerin gideriminde iki önemli prosestir (DeBusk, 2002).

Toprak yüzeyi üzerinden su akışı sistemlerinde çökme atıksudaki askıda katı maddelerin gideriminde önemli rol oynar. Bitki süprüntüleri, sığ derinlik ve çok düşük akış hızı askıda katı madde giderimini artırır. Toprak yüzeyinden aşağı su

akışı sistemlerinde, sudaki AKM filtrasyon ile giderilir. Bu sistemler filtrelendirme kapasitesi kayıplarını azaltıcı bir şekilde dizayn edilmeli ve işletilmelidir (Reed *et al.*, 1998).

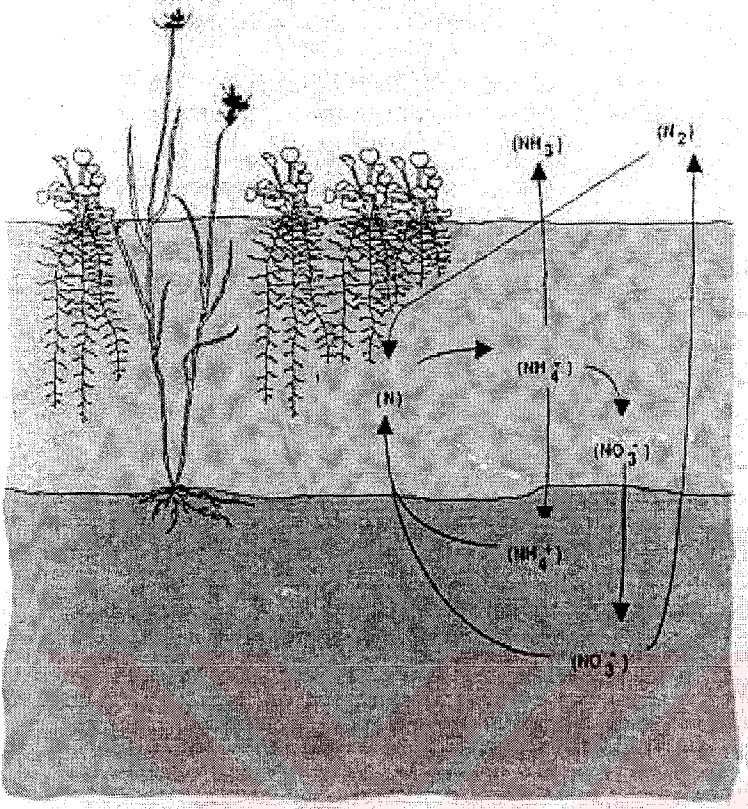


2.2.2. Organik Maddeler

Atıksudaki çözünmüş ve ya askıda organik maddeler mikrobiyel arıtma ile giderilir. Arıtma ile sorumlu mikroplar, toprak profil, bitkiler ve süprüntülerin yüzeyinde gelişen biofilmlerde ve suyun yüzeyindeki alg ve bakteri tabakasında bulunurlar. Genelde doğal sistemler aerobik şartlara göre dizayn edilir. Çünkü, aerobik bozunma anaerobik bozunmaya göre daha hızlı ve tamamlayıcıdır ve anaerobik bozunma koku problemini oluşturur. Doğal arıtma sistemlerinde organik maddelerin aerobik olarak giderim kapasitesi atmosferden sisteme oksijen transferi ile sınırlıdır. Böylece, sistemler uygulanan organik maddenin sisteme transfer edilen tahmini oksijen transfer hızından daha az olmasına göre dizayn edilmelidir (Metcalf and Eddy, 1991).

2.2.3. Azot

Doğal sistemlerde azotun taşınması ve giderimi karmaşık bir yapı içerir. Atıksulardaki azot genellikle nitrat, amonyum ve organik azot formlarında olur. Sulakalanlardaki en etkin azot giderim mekanizması biyolojik nitrifikasyon ve denitrifikasyondur (Reed *et al.*, 1989). Amonyak aerobik bölgelerde nitrifikasyon bakterileriyle nitrata oksitlenir ve nitratlarda anoksik bölgelerde denitrifikasyon bakterileriyle azot gazına çevrilir. Nitrifikasyon için ihtiyaç duyulan oksijen ya atmosferden ya da bitki köklerinden sağlanır (İSKİ Projesi, 2002). Sulakalanlardaki azot dengesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Sulakalanlardaki azot dönüşümü

Organik azot

Atıksudaki organik azot askıda katılarla beraber filtrasyon ve sedimentasyon ile de giderilir. Organik azot çözünebilen amino aside hidrolize olur ve daha sonra amonyak olarak serbest kalır (Metcalf and Eddy, 1991).

Amonyak Azotu

Amonyak azotu doğal sistemlerde bir çok yolu izleyebilir. Çözünmüş amonyak buharlaşma ile atmosfere amonyak gazı olarak giderilir. Bu giderim yolu geniş pH salınımları ve uzun bekleme zamanına sahip stabilizasyon göllerinde nispeten %10'dan daha düşük sağlanır. Genellikle amonyak toprak taneleri ve organik maddeler tarafından geçici olarak adsorplanır. Bu amonyak aerobik şartlarda mikroorganizmalar tarafından biyolojik nitrifikasyon için veya bitkiler kullanılır (Reed and Crites, 1984)

Nitrat Azotu

Nitrat azotu denitrifikasyonla veya bitki bünyesine alınımıyla uzaklaştırılamamışsa süzülme ile yer altı suyuna karışır. Nitrat bitkiler tarafından sadece gelişme dönemindeyken alınır. Bitkinin tarlada bırakılmayıp hasat edilmesi çürüyen bitkideki nitratin organik azot olarak sisteme yeniden girmemesi için çok önemlidir (Metcalf and Eddy, 1991)

2.2.4. Fosfor

Fosfor biyotik ve abiyotik prosesler ile giderilmektedir. Biyotik prosesler kök bölgesindeki mikroskobik canlılarca ve vejetasyon ile alınımı, bitki artıklarının ve topraktaki organik fosforun mineralizasyonu (Gachter *et al.*, 1993), abiyotik prosesler ise sedimentasyon ve birikim, adsorpsiyon ve çökeltme ile toprak ve su kolonu arasındaki prosesleri kapsamaktadır. Fosfor uzaklaştırmada en önemli faktör atıksuyun toprakla olan temas süresidir (Caraco *et al.*, 1991).

Fosfor giderimi genellikle atıksudaki fosforun dolgu maddelerindeki Al, Fe, Ca^{+2} ve kil mineralleriyle adsorpsiyonu ve kompleks oluşumu ile olmaktadır. PO_4-P iyonu aynı zamanda çökeltme prosesiyle Fe, Al ve Ca-Fosfatlar şeklinde çöktürülerek giderilirler (Richardson *et al.*, 1985).

Herskowitz (1986) tarafından bitki hasadı ile yüzeysel akışlı bir sulakalanda toplam fosforun ortalama %2,5 'inin giderildiği belirtilmektedir. Yüzen sucul bitkilerin hasadı daha kolay olup su mercimeği ile TP'un %20'nin üzerinde giderimi söz konusudur (Fisher *et al.* 1987). Sulakalanlardaki fosfor dönüşümü Şekil 2.2'de verilmiştir (Kadlec and Knight, 1996).

geniş giderim yeteneğine sahip olmasına rağmen giderim verimi üzerine veri çok azdır (Reed and Crites, 1984).



2.2.7. Mikroorganizmalar

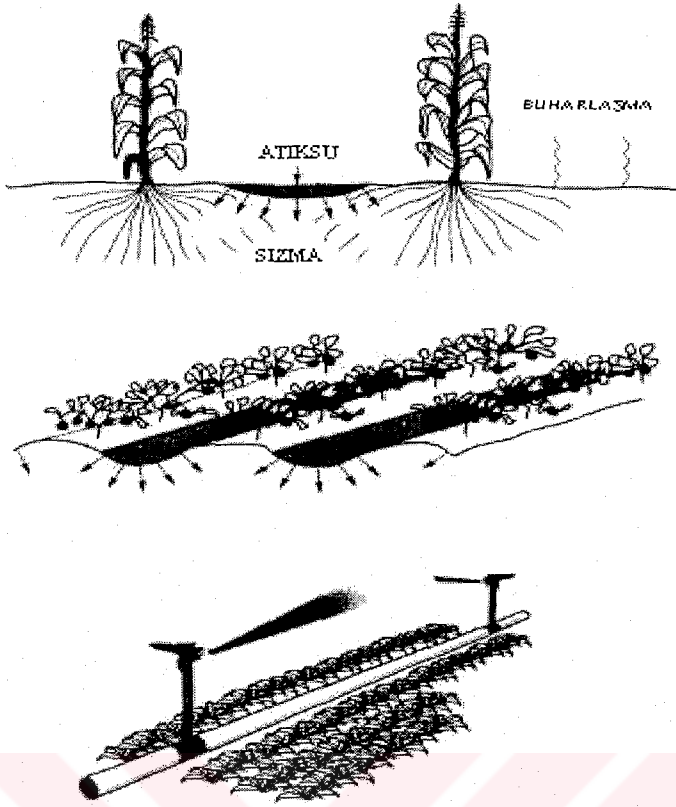
Doğal sistemlerde bakteriler ve parazitler çökelme, süzülme, ölme-yok olma ve uygun olmayan çevre koşullarına maruz kalarak ölürler. Ayrıca bitki köklerinden salınan antibiyotiklerinde bakteriler üzerinde olumsuz etkileri vardır (Seidel, 1987). Doğal arıtma sistemlerin belirli miktarda mikroorganizmaları yok etme kapasitesi varsa da dezenfeksiyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır (Reed and Crites, 1984)..

2.3. Arazide Arıtma Sistemleri

2.3.1. Sulama Sistemleri

Sulama sistemleri, bitki yetiştirmek yada arıtma yapmak üzere toprağa yatay veya düşey yönde atıksuyun uygulandığı sistemlerdir. Sulama sistemleri dizayn hedeflerine bağlı olarak *Tip1* ve *Tip2* olarak sınıflandırılır. *Tip1*, ürün elde etmek ve toprak sulamak için atık suyun kullanılma amacına göre dizayn edilir. *Tip 2* sistemleri, olarak düşünülen sulama sisteminin ana hedefi atıksuyun arıtımıdır (Metcalf and Eddy, 1991).

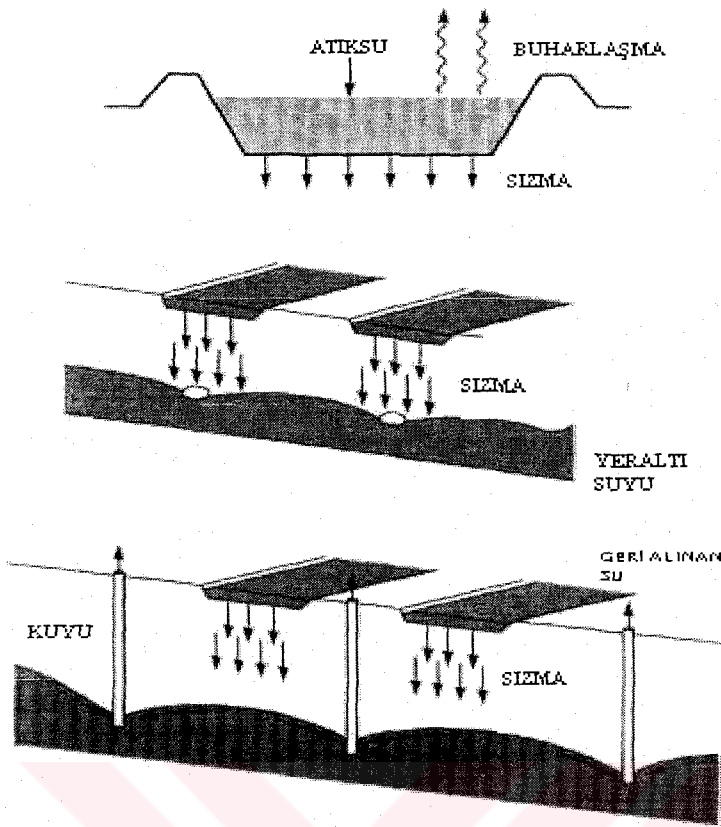
Bitki ihtiyacını karşılamak amacıyla araziye tatbik edilen atıksular bir ön çökeltme işleminden geçirilmiş olmalıdır. Su yağmurlama ya da yüzeysel olarak sisteme verilir. Orta derecede geçirimli, yer altı su seviyesine uzaklığı 0,9-1,2 m ve en fazla %20 eğimli zeminler tercih edilir (Muslu, 1996). Şekil 2.3'de Sulama sistemi ile ilgili şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Sulama sistemleri

2.3.2. Zemine Sızdırma Sistemleri

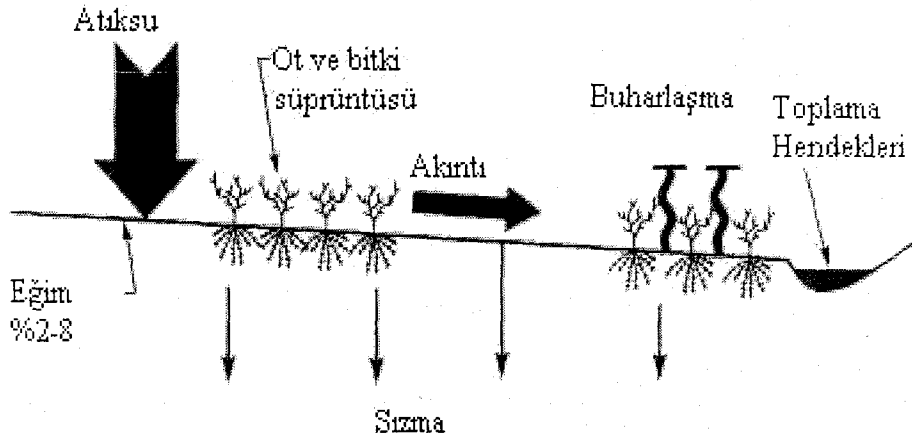
Zemine sızdırma sistemleri, atıksuların arıtımını gerçekleştirilmek amacıyla yüksek hızlarda zemin içine sızdırıldığı sistemlerdir. İlk çökeltme işleminden geçmiş sular zeminin durumuna, topografya ve iklim bağlı olarak yağmurlama ve ya yüzeye dağıtma sistemleri ile zemine tatbik edilir. Yükleme hızı nispeten yüksek olduğu için buharlaşma kayıpları uygulanan su için küçük bir orandır ve uygulanan su arıtım alanında toprak profilden süzülür. Bu sistemler için zemin geçirgenliği 25 mm/sa veya daha fazla olan ve yer altı su seviyesine uzaklığı 3 m civarında olan zemin türleri tercih edilir. İsteğe bağlı olarak mikroorganizmaların barınacağı bir ortam olması, toprak erozyonunu önlemesi ve azot fosforu bünyesine katabilmesi bakımından bitkiler yetiştirilebilir. Şekil 2.4'de Zemine Sızdırma yöntemleri gösterilmiştir (Reed *et al.*, 1998).



Şekil 2.4. Zemine Sızdırma Sistemleri

2.3.3. Arazi Üzerinden Akışlı Sistemler

Arazi üzerinden akışlı sistemler, ızgara ve kum tutucudan geçirilen atıksuların bir yamaçtan aşağıya akıtıldığı ve uygulanan atıksuyun büyük bir kısmının yüzeyel kanallarda biriktirildiği sistemlerdir. Zemin geçirgenliği, topografya ve iklim önemli parametrelerdir. Zemin nispeten geçirimsiz olup (<15 mm/h), zemin eğimi %2-8, yer altı suyuna uzaklık en az 0,3-0,6 m olmalıdır. Sistem soğuktan olumsuz etkilenir ve depolama gerekir. Atıksuyun bir bölümü yılın çeşitli zamanlarında ve iklimlerinde buharlaşma ile kaybedilebilir. Sistem yağmurlama, spreyleme veya yüzeyel dağıtım ile atıksu dağıtımı gerçekleştirilir . Şekil 2.5’de Arazi üzerinden akıtmaya ait bir şekil verilmiştir (Reed *et al.*, 1998).



Şekil 2.5. Arazi Üzerinden Akıtma Sistemleri

2.4. Sucul Sistemler

2.4.1. Sulakalanlar

Sulakalanlar, suya dayanıklı bitki türleri ile suya doymuş toprakların bulunduğu su kaplı arazilerdir. Atıksular doğal ve çeşitli şekillerde düzenlenmiş yapay sulakalanlarda arıtılabilmektedirler. Bu arıtma sistemleri evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksuların arıtımı için kullanılan düşük masraflı arıtma alternatifleridir. Doğal sulakalanların kullanımı daha çok ikincil ve ya ileri arıtım çıkışı sonrası olmasına rağmen yapay ve doğal sulakalanlarının her ikisi de atıksu arıtımında kullanılabilir (Reddy *et al*, 1997). Çeşitli bataklıklar sulakalan olarak kullanılmasına karşın genellikle sulakalan sistemleri yapay olarak oluşturulmaktadır (Kadlec, 1995).

2.4.1.1. Doğal sulakalanlar

Doğal sulakalanlar, arıtım için gerekli dizayn kriterlerinin olmadığı çevresel şartlara bağlı olarak oluşan sulakalanlardır. Doğal sulakalanlarda arıtım ana hedef değildir. Bu yüzden doğal sulakalanlara deşarj, ileri ve ya ikincil arıtım sonrasında olma şartı istenilir. Ana hedef doğal sulakalanlara deşarj ile doğal yaşamının devam ettirilmesidir. Arıtım yeteneğinin geliştirmesi ile sulakalanlardaki yaşamın değişimi doğal ekosistemde bozucu rol oynayabilir (Metcalf and Eddy, 1991).

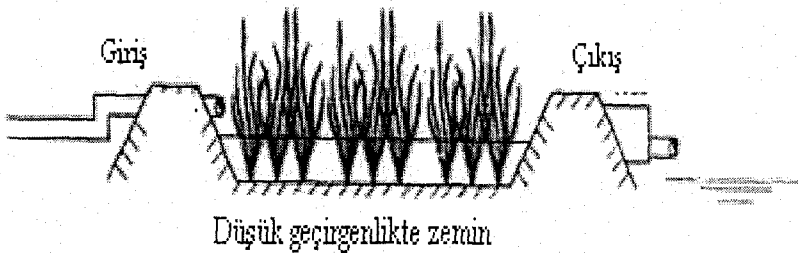
2.4.1.2. Yapay Sulakalanlar

Yapay sulakalanlar, doğal sulakalanların arıtma kabiliyetlerinin tamamını gerçekleştirebilen, ayrıca doğal sulakalanlara dışarıdaki sınırlayıcı engellerin olmadığı ve arıtım hedeflerine göre dizayn edilebilen sistemlerdir. Atıksu arıtımında Serbest su yüzeyli sulakalanlar ve Yüzey altı akışlı sistemler olmak üzere iki çeşit yapay sulakalan bulunmaktadır.

Yapay sulakalanlarda organik maddelerin ayrışması bitki ile bakterinin ortak yaşamı ile olmaktadır. Bu reaksiyonlarda fotosentezle oksijen üretilirken bu oksijen hem bitkilerin solunumuyla tüketilir hem de aerobik ve anaerobik bakteriler tarafından organik maddelerin ayrıştırılmasında kullanılır. Bakteriler sıvı kısımda askıda yaşayanlar ve sedimentlerde, döküntülerde, ara yüzeylerde ve suya batık bitki köklerinde biyofilm halinde yaşayanlar olmak üzere iki çeşittir (İSKİ Projesi, 2002).

2.4.1.2.1. Serbest Yüzey Akışlı Sulakalanlar

Su derinliği 0,1-0,6 m, tabanı az geçirimli bariyer veya zemin olan üzerinde bitkiler yaşayan havuz yada kanal biçimindeki sistemlerdir. Bitkilerin sap, gövde ve kökleri ile akım yavaş ve düzenlidir. Hidrolojik rejimi doğal sulakalanlara benzemektedir. Bu sulakalanlar içerisinde tüm bitki türleri yaşayabilmektedir. Genellikle ikincil ve ya ileri arıtım amaçlı dizayn edilir. Genelde fakültatif lagünlere benzer olsalar da sığ olanları aerobik lagünlere benzerdir. Bitkilerden dolayı net karbon üretimi fakültatif havuzlardan daha yüksektir. Şekil 2.6'da serbest yüzey akışlı sulakalanlar gösterilmiştir (Kadlec *et al.*, 1996). Tablo 2.1.'de bu sistemlere ait dizayn parametreleri verilmiştir.



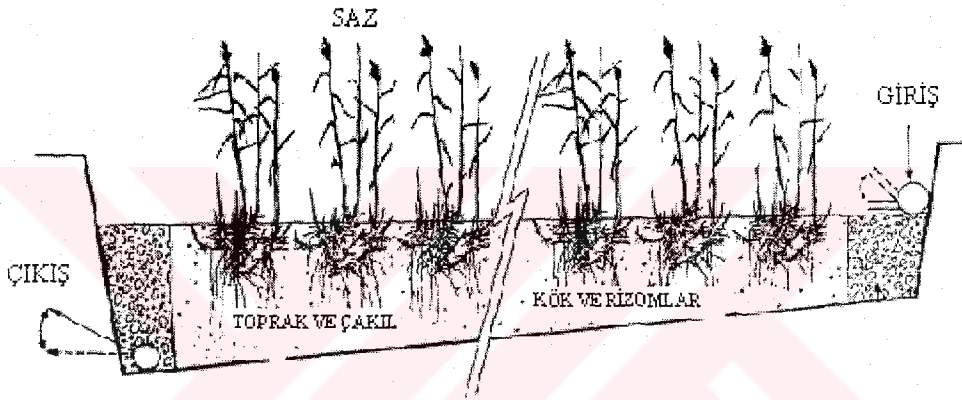
Şekil 2.6. Serbest yüzey akışlı sulakalanlar

Tablo 2.1. Serbest su yüzeyli sistemlerin dizayn parametreleri

Dizayn Parametreleri	
Bekleme Zamanı (gün)	2-5 BOİ; 7-14 Amonyum
BOİ yükleme hızı (lb.ac/day)	<100
Su derinliği (m)	0,1-0,6
Görünüm oranı	2:1 veya 4:1
Bitkisel alan (%)	70-100
Hasatlama sıklığı (yıl)	3-5
Beklenen Çıkış Kalitesi	
BOİ (mg/L)	<15
AKM (mg/L)	<15
TN (mg/L)	<10
TP (mg/L)	<5

2.4.1.2.2. Yüzey Altı Akışlı Sulakalanlar

Yüzey altı akışlı sulakalanlar, az geçirimsizliğe neden olacak şekilde çakıl ve taşların, bitkilerin içinde bulunduğu kanallardan oluşur. Yüzey altı akışlı sulakalanlar aynı zamanda “kök bölgesi” yada “çakıl-su kamışı filtreleri” olarak da tanımlanırlar. Bu sistemler ikincil ve ya ileri arıtım amaçlı dizayn edilir (Metcalf and Eddy, 1991). Yüzey altı akışlı sistemler yüzey akışlı sistemlere nazaran daha düşük bir alan gerektirirler ve koku ve sivrisinek problemlerine neden olmazlar. Yüzey altı akışlı sulakalanlara ait bir sistem Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Yüzey altı akışlı sulakalan (Cooper, 1993)

Yatay yüzey altı akışlı sulakalanlar, en yaygın kullanılan sistemlerdir. Yüzey altından giren atıksu çıkış bölgesine ulaşana kadar gözenekli yatak malzemesi içinde yavaş akarken aerobik ve anaerobik bölgelere temas eder. Aerobik bölge olarak belirtilen yerler substrat ortamına oksijen transferi yapan köklerin yakın çevresidir (Brix, 1987; Cooper, 1996).

Düşey yüzey altı akışlı sulakalanlar, atıksuyun yüzeyden geniş bir alana uygulandığı ve tabana kadar düşey istikamette akması sağlandığı sistemlerdir. Bu sistemler damlatmalı filtrelerle çok benzerdir. Tabandaki drenaj sistemiyle atıksu toplanır. Hızlı drenaj ile atıksu hacmine eşit miktarda hava çekilerek yatak çok iyi oksijenlendirilmiş olur. Bu da BOİ ve amonyak giderimini artırır (Cooper *et al.*, 1996).

2.4.2. Su Kültürü

Su kültürü sistemleri bilinen en eski arıtım sistemlerinden biridir. İklim şartlarına bağlı olarak sistem küçük bitkiler, mikro ve makro organizmalar (bakteriler, zooplanktonlar ve phytoplanktonlar, salyangoz, su sümbülü, sazan balığı gibi diğer bitki ve hayvan türleri) içerir. Genellikle iri katı maddeler çökeltim ve mekanik yollarla ayrılırlar. Su kültürü sistemleri konvansiyonel ve yapay sulakalan sistemleri ile karşılaştırıldığında nütrient geri dönüşümü açısından daha etkili ancak bu sistemlere göre daha pahalı ve bekleme zamanı uzun sistemlerdir (Metcalf and Eddy, 1991).

Su kültürü, balık ve diğer organizmaların büyütülmesi için besin kaynaklarının üretimi işlemidir. Biomas üretimi sistemin ana hedefidir ve atıksu arıtımı için kısmen faydalıdır. Su kültürü sisteminde yapılan arıtmanın büyük bölümü, yüzücü sucul bitkilere bakterilerin bağlanması ile oluşur. Arıtmaya balığın katkıda bulunduğu dair çok az kanıt vardır (Reed *et al.*, 1988).

2.4.3. Sucul Bitkilerle Arıtım Sistemleri

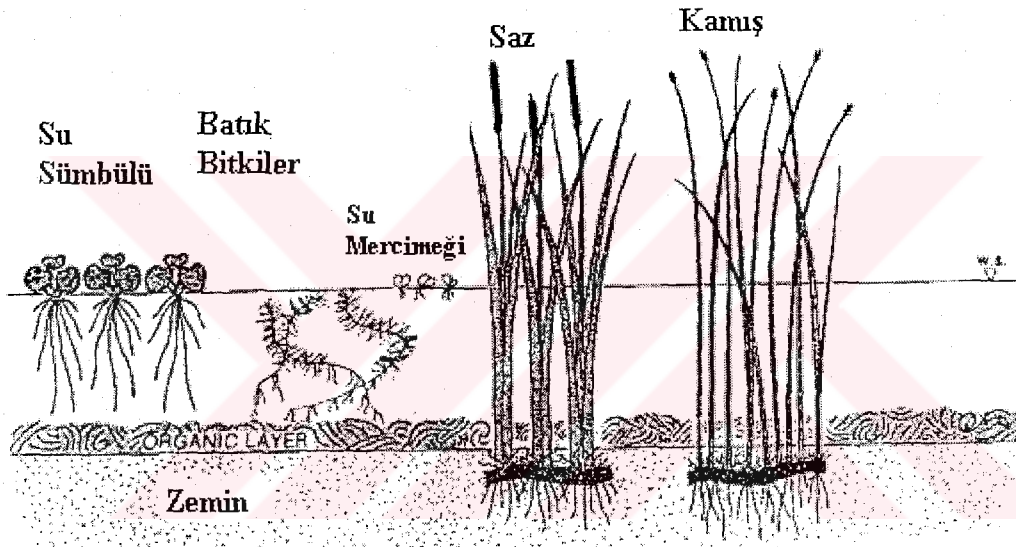
Sucul bitkilerle arıtım sistemlerinin temel biyolojik bileşenleri; yüzücü bitkiler, batık bitkiler, köklü bitkiler, balıklar, diğer hayvanlar ve planktonik organizmalardır. Bu arıtım sistemleri serbest akışlı sulakalan sistemlerine benzerdir. Havuz derinliği sulakalanlardan daha fazladır (0,5-1,8 m). Sivrisinek kontrolü ve arıtma kabiliyetindeki artışı sağlamak için ilave olarak havalandırma yapılır. Yüzücü bitkiler lagün ve stabilizasyon havuzlarının çıkış suyundaki alglerin gideriminde kullanılabilir. Sucul bitki sistemleri için yıllık hidrolik yükleme ve alan gereksinimi sulakalan sistemleri ile aynıdır (Metcalf and Eddy, 1991).

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda sucul bitkilerin atıksudaki patojen mikroorganizmaları ve kirleticileri yok ettiği gözlenmiş, bu özelliğe sahip bir çok bitki incelenmiştir (Kadlec ve Knight, 1996). Bunların arasında özellikle etkili olanlar *Phragmites* ve *Typha latifolia* olarak bilinen kamış ve su kamışı türleridir. Bunlar geniş bir biomasa sahiptirler. Yaprak, gövde ve kök sistemleri vardır. Kök organları toprak bağlayabilen, topraktaki besin ve iyonları bünyesine bağlayabilen geniş bir yüzey alanına sahiptir. Ayrıca kök organları düşey ve yatay yönde gelişir. Bitkideki

damarlar havayı yapraklardan kök ve toprağa iletir. Aerobik mikroorganizmalar kök etrafında ince bir tabaka oluştururken, anaerobik mikroorganizmalar toprak altında ürerler (Shutes, 2001).

Su bitkisi içeren bir sistemin besin maddesi giderim etkinliği, kullanılan su bitkisinin tipine, bitkinin büyüme hızına, suyun besin maddesi içeriğine ve sudaki fizikokimyasal artıma bağlıdır (Reddy, 1987)

Sucul bitkilerle arıtım sistemleri, yüzücü bitkiler kullanılan sistemler ve batık bitkiler kullanılan sistemler diye iki bölüme ayrılır. Sucul bitkiler ile ilgili genel görünüm Şekil 2.8.'de verilmiştir (Stowell *et al.*, 1981).



Şekil 2.8. Sucul Bitkiler

2.4.3.1. Yüzücü Sucul Bitkiler

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması için son yıllarda geliştirilen pek çok yöntemin yanında özellikle iklimi sıcak ve güneşleme süresinin uzun olduğu yörelerde yüzen su bitkilerinin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Atıksu arıtımında en yaygın kullanılan bitki türleri su sümbülü (*water hyacinth*), su mercimeği (*duckweed*), pennywort, su eğreltisi, su marulu ve su nilüferidir. Bu bitkilerden en iyi verimi almak için ortam şartlarının devamlı korunması gerekmektedir (Ayaz ve diğ., 2002). Bu bitkilerin atıksulardan besin maddesi giderim

etkinliği bitki türüne, çalışma koşullarına, besleme suyuna ve istenen çıkış suyu kalitesine bağlıdır (Zeren ve Uysal, 1998).

Yüzücü bitkilerin fotosentez yapılan kısımları hemen suyun üst kısmı ve suyun hemen altındaki köklerin üst kısmında olur. Kökler filtrasyon ve bakteri filmi için çok uygundur. Köklerin gelişimi su içindeki besin maddeleri ve derinlik ile ilgilidir. Bu da arıtma verimini etkiler. Yüzücü bitkiler su yüzeyini tamamen kaplayarak ışık geçirgenliğini düşürür, böylece alg üremesi de önlenmiş olur. Sulak arıtım sistemlerinin yapısında az eğimli ve düzenli topografyaya sahip olması istenilir. Sucul sistemin hedefi göllerdeki ve kanallardaki atıksuyu arıtmak olduğu için. <0.5 mm/h 'den düşük geçirgenlikteki yerin ara yüz katmanları ve yüzey toprağı yüzücü sucul bitkilerle arıtım sistemi için en istenilenidir. Su sümbülleri 10 °C su sıcaklığına kadar toleranslıdır. Su mercimekleri ve pennywort soğuğa karşı daha az hassastır ve 7 °C ye kadar olan sıcaklıkta yetişebilir. Atıksu ortamında yaygın olarak kullanılan Sucul Bitkilerin ortam koşulları Tablo 2.4'te verilmiştir (Stephenson *et al.*, 1980).

Su sümbülü

Su Sümbülü (*Eichornia crassipes*) dik, yuvarlak ve parlak yapraklara sahip uzun ömürlü tatlı su bitkileridir. Atıksuda yetişen bir bitkinin büyüklüğü 0,5-1,2 m arasındadır. Bitkinin büyümesi; belirli bir zamanda göl yüzeyini kapladığı alan ve yüzey alanın her bölümündeki ıslak bitki yoğunluğu olmak üzere iki şekilde tanımlanır. Kök sistemlerinin çok geniş olması sayesinde mikroorganizmalar için çok büyük bir temas düzeyi oluşturmakta ve organiklerin ayrışma potansiyelini de arttırmaktadır. Sıcaklık değişimlerinden oldukça etkilenmekte ve 10°C nin altındaki sıcaklıklarda büyüme hızı büyük oranda düşmektedir. Genellikle tropikal ve subtropikal bölgelerde yayılım gösteren su sümbülü; dünyanın en üretken bitkilerinden birisidir. Hem ikincil hem de üçüncül arıtım için kullanılmaktadır. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Etkili olduğu bekletme süresi atıksuyun özelliklerine ve çıkış suyu kalitesindeki beklentilere bağlı olarak genellikle 5-15 gün içerisinde değişmektedir (John, 1989).

Sucul bitkiler, çevrelerinden metal iyonlarının toplarlar ve ekosistemdeki metal iyonu akışını etkilerler. Su sümbülü kirli sulardaki fazla nütrientleri, ağır metalleri, toksik maddeleri, mineralleri, organik maddeleri ve herbisidleri gideriminde önemli

derecede etkilidir. Özellikle 10 mg/L'den daha az konsantrasyonlardaki ağır metallerin gideriminde oldukça etkili olduğu gözlenmiştir (Soltan and Rashed, 2001).

Tablo 2.2. Atıksu ortamında yaygın olarak kullanılan Sucul Bitkilerin ortam koşulları

BİTKİ	Yayılım	Sıcaklık (°C)		Max. Tuzluluk Toleransı (mg/L)	Optimum pH
		Kabul edilir	minimum		
Su Sümbülü <i>Eichornia crass.</i>	G.Amerika	20-30	10	800	5-7
Su Mercimeği <i>Lemna minor</i> <i>Lemna gibba</i> <i>Wolffia spp.</i>	Amerika	20-30	5	3500	5-7
Su Eğreltisi <i>Azolia caroliniana</i> <i>Azolina filiculoides</i>	Amerika	>10	5	2500	3,5-7

Su sümbülü sistemleri ve su mercimeği sistemleri en yaygın kullanılan yüzücü sucul bitki sistemleridir.

Su sümbülü sistemleri sucul bitkilerle arıtma sistemlerinin en çok kullanılanlarıdır. Bu sistemler, göllerin çözünmüş oksijen seviyesine ve havalandırma metotlarına göre havalandırmasız aerobik, havalandırmalı aerobik, fakültatif anaerobik olmak üzere üç gruba ayrılır. Havalandırmasız aerobik sistemler en çok kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler organik yükleme hızına bağlı olarak ikincil arıtım ya da azot gideriminde kullanılır. Ayrıca koku ve sivrisinekler açısından oldukça avantajlı sistemlerdir. Havalandırmalı aerobik sistemlerde sivrisinek ve koku yoktur ve bu sistemlerin avantajı yüksek organik yükleme hızı kapasitesi ve daha az yer gereksinimidir. Fakültatif anaerobik sistemler oldukça

yüksek organik yükleme hızlarda işletilebilmesine karşılık koku ve sivrisinek oluşumundan dolayı dezavantajlıdır (Metcalf and Eddy, 1991).



Su mercimekleri

Su mercimekleri, küçük, yeşil, genişliği bir ve ya bir kaç milimetre ve kökleri 1 cm civarında olan tatlı su bitkileridir. Bu bitkiler nütrient içeriği yüksek tatlı sularda, su yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayarak gelişirler. Atıksu arıtımında kullanılan en yaygın türleri *Lemna sp.*, *Spirodela sp.*, ve *Wolffia sp.*'dir.. Bu bitkiler 5-7⁰ C kadar düşük su sıcaklıklarında ve 1-3⁰ C'den daha düşük hava sıcaklıklarında gelişebilirler (Zeren ve Uysal, 1998).

Atıksuda yetiştirilen bir su mercimeği diğer damarlı bitkilerden en az iki misli daha hızlı büyümektedir (Bayhan, 1985). Optimum büyüme hızı yaklaşık 0.49 kg/m² –gün'dür (İSKİ Projesi, 2002). Spesifik büyüme hızı,atmosfer ve su sıcaklıkları atıksudaki nütrient içeriği ve hasat etme sıklığı arttığında ve yüzey yoğunluğu azaldığında artmaktadır (Bonomo and Pastoreli, 1997). Soğuk iklim şartları su mercimeklerinin büyüme hızına olumsuz etki yapar. Su mercimeği için pH 'ın 10'dan yüksek olması da olumsuz etki oluşturur.

Yüzücü sucul bitki arıtım sistemlerinden beklenen çıkış kalitesi ve dizayn kriterleri Tablo 2.3'te verilmiştir (DeBusk and Reedy, 1987).

Tablo 2.3. Yüzücü sucul bitki arıtım sistemlerinden beklenen çıkış kalitesi ve dizayn kriterleri

	Yüzücü Bitkiler Arıtım Sistemi Tipi			
Sistem	İkincil Aerobik (Havalandırmaz)	İkincil Aerobik (havalandırılmalı)	Nütrient Giderimi Aerobik (Havalandırmaz)	Su Mercimeği Arıtım Sistemleri
Tipik Dizayn Kriterleri				
Giriş atıksuyu	Elenmiş veya çöktürülmüş	Elenmiş veya çöktürülmüş	İkincil	Fakültatif göl çıkışı
Su derinliği (cm)	45-90	90-120	60-90	120-180
Bekleme Zamanı (gün)	10-36	4-8	6-18	20-25
BOİ ₅ yükü (kg*gün/ha)	45-90	170-340	11-44	22-33
Hidrolik Yükleme Hızı (Mgal/ac.d)	0,02-0,06	0,40-0,30	0,04-0,16	0,06-0,09
Su Sıcaklığı, °C	>10	>10	>10	>7
Hasat Programı	Yılda bir kez	Ayda iki kez	Ayda iki kez	İkincil arıtım için aylık, nütrient arıtımı için haftalık
Beklenen Çıkış Kalitesi				
BOİ ₅ ,mg/L	<20	<15	<10	<30(<10)
AKM, mg/L	<20	<15	<10	<30(<10)
TN, mg/L	<15	<15	<5	<15(<5)
TP,mg/L	<6	<1-2	<2-4	<6(<1-2)

Bu bitkiler su yüzeyinden daha kolay hasat edilebilirler. Bir atıksu havuzundaki tipik yoğunluğu 1,2-3,6 kg/m² (Islak ağırlık) olarak değişmektedir. Su yüzeyindeki yoğunluğu sıcaklıkla, nütrient içeriğine ve hasat sıklığına bağlıdır. Kuru ağırlık olarak % 4,59-7,15 (ort.:5,91) Kjeldhal azotu içerir. Su sümbüleri ile karşılaştırıldığında hasatlanan biyokütlenin besi maddesi (Azot ve fosfor) içeriği daha yüksektir (Cully *et al.*, 1973). Su mercimeği hücreleri, yüksek yağ ve protein içeriği nedeniyle yarı kurutulmuş halde, hayvanlar için cazip bir besin kaynağıdır.. Yapılan araştırmalar atıksularda yetiştirilen su mercimeklerinin protein, azot ve fosfor içeriği doğal sulardaki su mercimeklerinden daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Bunun sebebi, atıksudaki nütrient içeriğinin daha fazla olması ve yapılan hasatlama işlemi sonucu bitki ortamının sürekli genç kalmasıdır (Reed and Zirschky, 1988).

Pennywort ve su mercimekleri öncelikle alg konsantrasyonlarını azaltmak için stabilizasyon havuzları ve fakültatif lagünlerin çıkışı suyu kalitesini geliştirmek amacı kullanılır. Su mercimekleriyle arıtma sistemlerinde görülen en önemli problemlerden birisi rüzgar etkisiyle su mercimeklerinin belli bir bölgeye yığılmasıdır. Belli bir bölgeye biriken bitkiler zamanla ölürler. Bu bitkilerin çürümesi ile koku oluşur. Büyük sistemlerde bunun için yüzücü bariyerler kullanılmaktadır (Ngo, 1987).

2.4.3.2. Batık Bitkiler

Bu bitkiler için uygun su sıcaklığı 10-25 C' dir. Suda asılı olarak ve ya sedimentte köklü olarak bulunabilirler. Bu tür bitkilerin ekolojileri ve morfolojileri çok fazla değişiklik göstermemektedir. *Rosette* tipi, düşük üretkenliğe sahip olup yalnızca oligotrofik sularda (örneğin; *Isoetes lacustris* ve *Lobelia dortmanna*) büyüebilmekte, "*Eloedia*" tipi ise daha yüksek üretkenliğe sahip olup ötrofik sularda (örneğin; *elodea canadensis*) yaşamaktadır. Bu tür bitkiler kirletilmiş sulardaki nütrientleri asimile edebilmektedirler ve yalnızca oksijen kazandırılmış sularda çok iyi üreyebilmektedirler.

Organik maddelerin biyolojik ayrışımı anoksik şartları oluşturduğundan yüksek oranda kolay ayrışabilen organik maddeleri içeren atıksularda kullanılmamaktadırlar. Bu nedenle bu tür sistemlere ikincil arıtılmış su verilerek ileri arıtma yapılmaktadır.

Bu tür bitkiler sudaki çözünmüş inorganik karbonu tüketir ve yüksek oranda fotosentez faaliyetiyle çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artırır. Böylece pH artarken amonyağın uçurularak giderilmesi ve fosforun da kimyasal olarak çöktürülmesi sağlanabilir. Ayrıca yüksek oksijen içeriği sudaki organik maddelerin ayrışması için en uygun şartları sağlar. Bitkilerle asimile edilen nütrientler özellikle bitkilerin kök dokuları ile ve köklerle temas halindeki mikroflora tarafından tutulmaktadır (İSKİ Projesi, 2002).

2.4.3.3. Sucul Bitkilerle Arıtma Sistemlerinin Kontrolü

Sucul bitkilerle arıtım sistemlerinin kontrolünde dikkat edilmesi gereken önemli etkenler bitkilerin hasatlanma sıklığı, sivri sinek problemi ve alg oluşumudur. Bitki hasatlamamanın gerekliliği su kalite özelliklerine, bitkilerin büyüme hızına ve buğday biti gibi zararlıların üreme hızına bağlıdır. Nütrientlerin gideriminin yüksek olması için sucul bitkilerin sürekli hasat edilmeleri gereklidir. Örneğin; sümbüllerin hasat sıklığı her üç veya dört haftada bir uygulanır. Sadece sık hasatlama ile önemli derecede fosfor giderimi sağlanır. Weevil (buğday biti) sümbül popülasyonunun sağlığı için önemli bir sorun oluşturur. Su sümbülü kolayca kompost edilebilir. Su mercimeği için hasatlama sıcak zamanlarda haftada bir kez istenilebilir. Su mercimekleri hayvan yemi olarak kullanılabilir (Metcalf and Eddy, 1991).

Sucul arıtma sistemlerinde sivrisineklerinin üremesi, böyle sistemlerin kullanılmasına izin verilip verilemeyeceği konusunda kritik bir faktördür. Sivrisinek popülasyonunun kontrolü şu stratejileri içerir (Tchobanoglous *et al.*, 1989)

- Sivrisinek balıkları (*Gambusia* spp.) yetiştirilen göller.
- Toplam organik yükü azaltıcı daha etkili ön arıtma aerobik şartlara yardım amacı ile yapılabilir.
- Geri besleme yapılabilir.
- Bitkiler daha sıklıkla hasatlanabilir.
- Akşam saatlerinde bitkiler üzerine su spreylemesi yapılabilir.
- Kimyasal kontrol ajanları uygulanabilir.

- Havalandırma ekipmanları ile oksijen difüzyonu yapılabilir.
- Biyolojik kontrol ajanları uygulanabilir.

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 arttırmırlar. rekreasyonu ve turizmi olumsuz etkilerler, toksik maddeler üretirler, su kalitesini olumsuz etkilerler.

Algleri baskın hale getiren yavaş su hareketi, yüksek nütrient içeriği, yüksek pH, sıcaklık, bulanıklılık, tuzluluk ve güneş gibi faktörler kısıtlanarak 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. Ayrıca bunlar yüksek nütrient içerikli suların nütrient içeriğini azaltırlar. Bunun dışında çeşitli kimyasallar (bakırsülfat gibi) kullanılarak da algler belirgin ölçüde giderilebilirler. Fakat kimyasal maddeler suda toksik etki oluşturabileceğinden doğal yollarla alg giderimi daha fazla tercih edilir (İSKİ Projesi, 2002).

Doğal arıtma sistemlerine ait dizayn kriterleri Tablo 2.4.'de verilmiştir (Metcalf and Eddy, 1991).



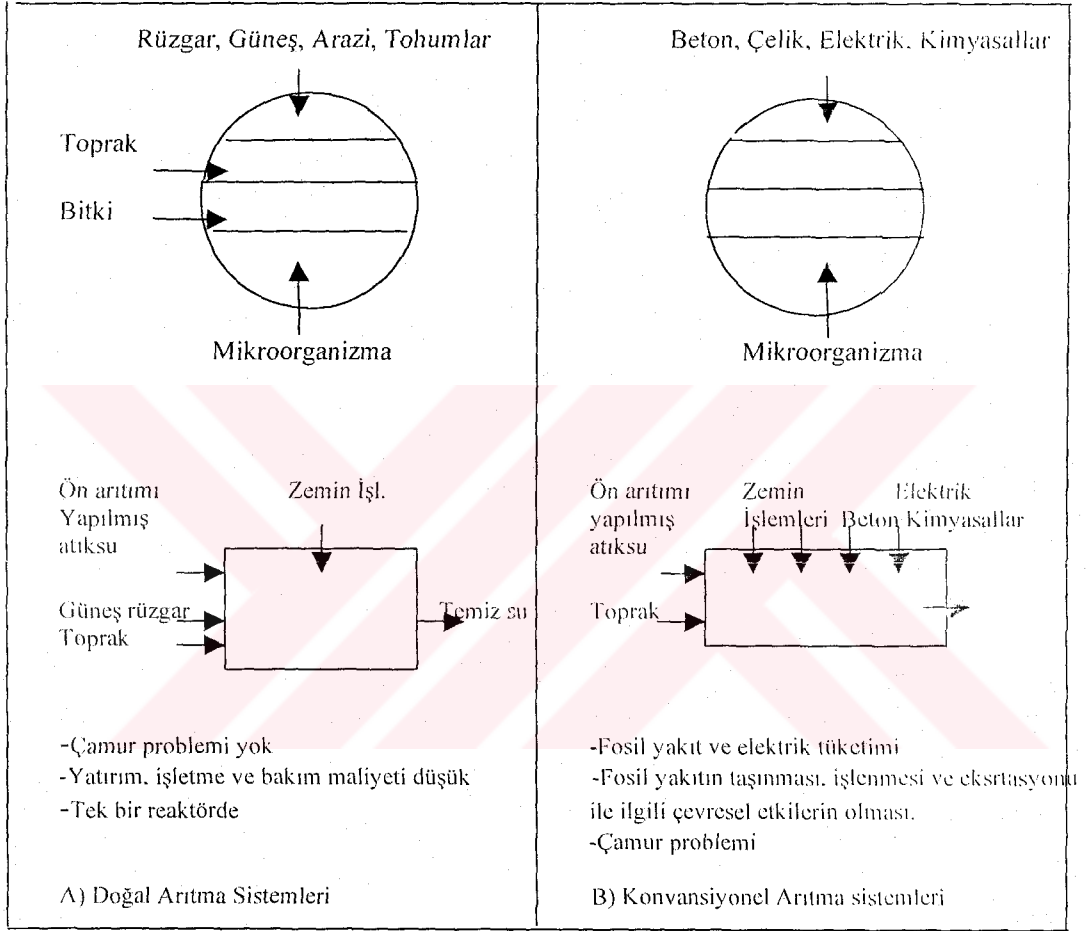
Tablo 2.4. Doğal Arıtma Sistemlerine ait tasarım kriterleri

Özellikler	Sulama (Tip-1)	Sulama (Tip-2)	Zemine Sızdırma	Arazi üzerinden akıtma	Sulakalan uygulamaları	Yüzücü bitkiler	Yüzücü sucul bitkiler
Uygulama teknikleri	Yağmurlama ve ya yüzeysel	Yağmurlama ve ya yüzeysel	Genellikle yüzeysel	Yağmurlama ve ya yüzeysel	Yağmurlama ve ya yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel
Yıllık hidrolik yüklenme hızı (m/y)	0,6-6	6-20	6-90	7,2-55	5,5-18	5,5-18	5,5-18
Gerekli alan (ha/10 ³ m ³ /gün)	5,6-20	17-55	0,4-5,6	0,6-4,5	1,8-6,2	1,8-6,2	1,8-6,2
Gerekli asgari ön taşıma	İlk çökeltim	İlk çökeltim	İlk çökeltim	Izgara ve kum tutucu	İlk çökeltim	İlk çökeltim	İlk çökeltim
Uygulanan atıksuyun uzaklaştırılması	Buharlaştırma, terleme ve sızma	Buharlaştırma, terleme ve sızma	Özellikle sızma	Yüzeysel akış, buharlaşma, terleme ve kısmen sızma	Buharlaştırma, terleme, sızma ve akış	Kısmen terleme	Kısmen terleme
Bitki örtüsüne ihtiyaç	Gerekli	Gerekli	İsteğe bağlı	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli

2.5. Doğal Arıtma Sistemleriyle Konvansiyonel Sistemlerin

Karşılaştırılması

Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle konvansiyonel sistemlerin karşılaştırılması Şekil 2.9 ve Tablo 2.5.'de gösterilmiştir (Kadlec and Knight, 1996).



Şekil 2.9. Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle konvansiyonel sistemlerin karşılaştırılması

Tablo 2.5. Konvansiyonel ve doğal arıtma sistemlerin inşaat, işletme ve bakım masrafları açısından karşılaştırılması (USEPA, 1994)

İnşaat Masrafları (\$) (Q:3786 m³/gün debi için)		
	Konvansiyonel İleri Atıksu Arıtımı	Doğal Arıtma Sistemleri
Yönetim	95 000	91 000
Zemin işlemleri	381 000	1 336 000
Sulakalan bitki ekimi	0	309 000
Diğer montaj işlemleri (Elektrik, boru tesis,...)	728 000	1 720 000
Konvansiyonel Primer Arıtım	639 900	0
Konvansiyonel Aktif çamur	698 000	0
Çamur işleme	687 000	0
Biyolojik nitrifikasyon	476 000	0
Klorlama	208 000	208 000
Toplam	4 112 000	3 664 000
İşletme va bakım masrafları (\$/yıl)		
Personel	63 000	24 000
Aletler	23 000	5 000
Kimyasallar (Dezenfeksiyon için)	23 000	11 000
Teçhizat/malzemeler	47 000	5 000
Toplam	156 000	45 000

2.6. Sulakalanların Türkiye'deki ve Dünyadaki Yeri

Sulakalanlara atıksu deşarjı 90 yıldır yapılmaktadır. Atıksu arıtımı için yapay sulakalanların kullanımı üzerine yapılan çalışmalar 1950'de Almanya'da Max Planck Enstitüsü'nde başlamıştır (Seidel, 1976). Amerika'da 1970 ve 1980'lerde bu yönde yapılan çalışmalarda artış gözlenmiştir. 1990'lı yıllarda ise evsel atıksuların yanında endüstriyel ve maden atıksuları ve tarımsal alanlardan gelen atıksuların arıtımında da oldukça büyük artışlar görülmüştür.

Yapay sulakalanlar artık bugün dünyanın bir çok kısmında atıksu yönetimi ve su kirliliği kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde dünyanın bir çok yerinde binlerce sulakalan temelli atıksu arıtım sistemleri mevcuttur, fakat işletilmekte olanların tam sayısı hakkında bilgi yoktur (Reddy and D'Angelo, 1997).

Bir Kuzey Avrupa ülkesi olan Danimarka yapay sulakalanların geliştirilmesinde öncü bir rol oynamıştır. Yüzey altı akışlı sulakalanlarının öncüsü olan bu ülkede büyük çoğunluğu evsel atıksuların arıtımı için kullanılan yaklaşık 130 adet sulakalan mevcuttur. İsveç ve Norveç bu gibi sistemlere daha çok ilgi duymuşlardır. İsveç'in Oxelösund şehrinde Baltık denizini ötrofikasyondan korumak amacıyla sulakalanların büyük kısmı azot giderimi maksadıyla yapılmıştır. İsveç'e kıyasla Norveç'te sulakalan daha fazla olup bunların çoğunluğu yüzey altı akışlı sulakalanlardır.

Doğu Avrupa'da yapay sulakalanlar en çok Çek Cumhuriyeti'nde (50'den fazla) inşa edilmiştir. Macaristan ve Letonya'da da sulakalanlar bulunup sayıları tam olarak bilinmemektedir. Avusturya'daki yapay sulakalanların sayısı 160'ın üzerindedir (Haberl *et al*, 1998).

Türkiye'de henüz büyük ölçekli sulakalan yoktur. Yapılan araştırmalar pilot ölçekli olup henüz deneme aşamasındadır. Bu sistemlerin Türkiye şartlarında tasarım kriterlerinin geliştirilmesi amacıyla TÜBİTAK MAM ve İTÜ işbirliğiyle TÜBİTAK MAM Kampüsü'nde 1995 yılında pilot ölçekli bir sistem kurulmuştur ve çalışmalar halen devam etmektedir (Ayaz ve Akça, 2001). Ayrıca Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde doktora tez konusu kapsamında bir çalışma yapılmaktadır (Korkusuz ve diğ., 2001).

Börner (1992)'in Avrupa'daki 268 adet yapay sulakalandan elde ettiği verimler aşağıdaki Tablo 2.6'de gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Avrupa'daki 268 adet yapay sulakalanın ortalama verimleri

Parametre	Ortalama verim (%)
BOI ₅	79,1
KOI	69,5
TN	39,6
NH ₄ -N	30,0
TP	47,1

Tablo.2.7.'de Danimarka'daki 71 adet yatay akışlı sulakalandan elde edilen ortalama verim değerleri görülmektedir (Schierup, 1990).

Tablo 2.7. Danimarka'daki 71 adet yatay akışlı sulakalandan elde edilen ortalama verim değerleri

Parametre	Ortalama verim (%)
AKM	73,5
BOI ₅	80,3
KOI	65,6
TN	39,8
NH ₄ -N	34,0
TP	31,7

Kuzey Amerika'daki "Frank Lake Alberta" sulakalanlarından elde edilen performans değerleri Tablo 2.8.'da görülmektedir (Knight, 1992).

Tablo 2.8. Kuzey Amerika'daki "Frank Lake Alberta" sulakalanlarından elde edilen performans değerleri

Parametre	Çıkış (mg/L)	Verim (%)
BOİ ₅	10,5	73
AKM	15,3	69
NH ₃ -N	4,2	44
TN	5,0	64
TP	1,9	55

2.7. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Ön arıtımı yapılan atıksuların sürekli ve kesikli sistemlerle arıtımı için pilot ölçekli yapay sulakalanlar kurulmuştur. Sürekli sistemde artıma bitkisi olarak *Cyperus* kullanılmıştır. Sürekli sistemde bir yıl süresince yapılan farklı yükleme şartları altında KOİ'de %90, AKM'de %95, TN'de %61 ve PO₄-P'de %39 giderim sağlanmıştır. Kesikli sistemler herbirinin yüzeyi 1*1 m olmak üzere 12 çeşit tanktan oluşmuş ve bir gün atıksuya maruz bırakılmışlardır. Tankların yedi tanesinde köklü bitkiler (*Phragmites*, *Cyperus*, *Rush*, *Iris*, *Lolium*, *Canna* ve *Paspalum*) yetiştirilmiştir. En iyi performanslar KOİ için *Iris*'de (%94), NH₄-N için *Canna*'da (%98) ve TN ve PO₄-P için *Iris*'de (%90) gözlenmiştir (Ayaz and Akça. 2001).

Üç köklü bitki (*Canna*, *Cyperus* ve *Paspalum*) ikincil arıtma tesisi çıkış suyu ile doldurulmuş hendeklerde yetiştirilmiş ve atıksudaki nütrientlerin günlük konsantrasyon değişimleri hem de buharlaşma üzerine çalışılmıştır. Bitkilerin

günlük Top- N giderimi $1,2-2,6 \text{ g/m}^2$, $\text{PO}_4\text{-P}$ giderimi $0,24-0,33 \text{ g/m}^2$ ve Sülfat-Sülfür giderimi $0,3-0,9 \text{ g/m}^2$ 'dir. Sudaki NH_4 ve PO_4 konsantrasyonları azaltılarak buharlaşmadan dolayı sülfatta artma gözlenmiştir. Güneşli günlerde buharlaşma kayıpları $20 \text{ L/m}^2/\text{gün}$ 'dür (Ayaz and Saygın, 1996).

Atıksu arıtım sistemlerinde su mercimeklerinin (*Lemna Minor*) nütrient giderimindeki etkinliğinin araştırılması amacıyla, sucul bitkiler $40 \times 20 \times 15 \text{ cm}$ boyutlarında iki adet havuz ile, bu iki havuzun içine yerleştirildiği $30 \times 51 \times 16 \text{ cm}$ boyutlarındaki bir büyük havuzdan oluşan çalışma düzeninde yetiştirilmiştir. Atıksu kaynağı olarak günlük hazırlanan sentetik atıksu kullanılmış ve 3-6 gün alıkonulmuştur. Arıtma verimliliğinin belirlenmesi amacıyla giriş ve çıkış sularında amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$), çözünmüş fosfor $\text{PO}_4\text{-P}$, KOH ve BOI_5 değerleri analiz edilmiş ve giderim değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. $\text{PO}_4\text{-P}$ giderimi, bitkinin ihtiyaçları ile sınırlı olduğundan diğer parametrelere göre daha düşük çıkmıştır (Zeren ve Uysal, 1998)

Batık bir sucul bitkinin (*Myriophyllum spicatum*) ağır metalleri adsorplayabilme karakteristikleri üzerine Çukurova Üniversitesi'nde bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada kurşun, çinko ve bakır için *Myriophyllum spicatum*'un adsorpsiyon özellikleri araştırılmış ve sonuçlar diğer sucul bitkilerle karşılaştırılmıştır. İlk grup adsorpsiyon çalışmalarından elde edilen veriler gösterilmiştir. Metal biosorpsiyonunda hızlı olduğu görülmüş ve 20 dakika içinde dengeye ulaşılmıştır. Diğer grup çalışmalarından elde edilen veriler Langmuir modelinde uygulanmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasiteleri (q_{max}), Cu^{2+} için $10,37 \text{ mg/g}$, Zn^{2+} için $15,59 \text{ mg/g}$ ve Pb^{2+} için $46,49 \text{ mg/g}$ 'dir. Kurşun, çinko ve bakır için adsorpsiyon kinetikleri analiz edilmiş ve her metal için hız sabitleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, *Myriophyllum spicatum*'un ağır metal gideriminde etkili olduğu gözlenmiştir (Keskinkan ve diğ, 2003).

1958-1988 yılları boyunca Los Angeles'in atıksuyu $946 \text{ km}^3/\text{gün}$ 'den $1892 \text{ km}^3/\text{gün}$ 'e çıkması sonucu ileri arıtma tesislerine yapılan yatırım artmıştır. Okyanusa atıksuların deşarjı, atılan gübresel besinlerin miktarı artarak sahil kesiminde tahribe yol açmıştır. Bunun için su kültürü-sulakalan ekosistemi (AWE) ile hem yenilebilir/ticari değeri olan hem de inorganik azotun atıksudan giderilebilmesinin fizibilitesinin araştırılması amaçlanmış ve bu nedenle California'da ileri arıtılmış şehir atıksuyunun

entegre su kültürü-sulakalan ekosisteminde(AWE) ön incelemesi yapılmıştır. Bunun için Panama Arıtma Tesisi çıkış suyu ile çalışılmıştır. Bu çalışma bir ön araştırma olduğundan bir çok konuda yetersiz kalmış fakat AWE ile 1000 kg balık üretilmiş, 2.20 \$/kg satılmış aynı zamanda %97 oranında azot giderimi sağlanmıştır (Barry A. Costa-Pierce, 1998).

Su sümbülü desitile su ,Nil Nehri suyu, atık su ve farklı ağır metal konsantrasyonlardaki sularda yetiştirilerek bu şartlar altında yaşam ve davranışları incelenmiştir. Deneyin başında ,sonunda ve deney süresince farklı ağır metallerin (Cd ,Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonları, pH ve iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Su sümbülünün en çok köklerinde ağır metal biriktirmiştir. Bitkilerin 1 mg/L ve 3 mg/L ağır metal çözeltilerinde, 100 mg/L Pb çözeltisinde, desitile su ve Nil suyunda oldukça sağlıklı olduğu görülmüştür. 5, 7, 10, 50, 100 mg/L ağır metal çözeltilerinde konsantrasyon artışına paralel olarak zamanla artan solmalar olmuştur.100 mg/L Cd çözeltisinde de bitkinin fazla yaşayamadığı gözlenmiştir. Atık suda ise bitkinin fazla yaşayamadığı, bunun sudaki yüksek amonyak ve pH ile çözünmüş oksijen azlığından gerçekleştiği tahmin edilmiştir. İletkenlik, ağır metal konsantrasyonu ve maruz kalma süresindeki artışa paralel olarak artmıştır. pH ise maruz kalma süresindeki artış ile azalma göstermiştir (Soltan and Rashed. 2001).

Avustralya'nın Queensland Eyaleti'nde yerel ve eyalet hükümetlerinin ortak projeleri ile şehir atıksularını arıtmak için sekiz tanesi serbest yüzey akışlı ve bir tanesi yüzey altı akışlı sulakalan olmak üzere dokuz pilot sulakalan yapılmıştır. Sulakalanlar tropikal, subtropical ve kurak iklime sahip yerlere kurulmuştur. Bu sulakalanlar için nütrient birikimi ve arıtma performansı üzerine inceleme yapılmıştır. Sulakalanların giderim verimleri BOİ için %17-89, AKM %14-77, Top-N için %8-95, fosfor için %13-65 'tir. 60 tür bitkide nütrient birikimi araştırılmış, batık bitkiler(*Ceratophyllum*) ve yüzücü bitkiler (*su mercimeği*) en fazla nütrient birikimine sahip olduğu görülmüştür. Bunları, waterlily (*Nymphoides indica*), aquatic vines (*Ipomoea spp.*, *Ludwigia peploides*), waterferns (*Ceratopteris*, *Marsilea*) izlemiştir. Ancak köklü bitkilerde nütrient birikimi daha az olmuştur. Fosfor konsantrasyonu kök ve rizom bölgelerinde daha çok iken azot konsantrasyonu yaprak ve gövde kısımlarında daha fazladır (Greenway and Wooley, 1998).

Microspora (alg) ve *Lemna Minor* (sucul bitki) ile laboratuvar şartlarında çözünmüş Ni ve Pb giderim yeteneği incelemiştir. Yapılan bu çalışma ile düşük hacimde ve düşük konsantrasyonlarda ağır metal kirliliği bulunduğu zaman bu kirliliğin suda yaşayan biyokütle ile giderilebildiği gösterilmiştir. *Lemna minor* bitkisi ile Pb ve Ni için 3^2 faktoriyel deneysel dizayn yapılmıştır. *Microspora* için kesikli ve yarı kesikli proseste Pb giderimi sağlanmıştır. *Microspora* 10 günden fazla 39,4 mg/L Pb'ye maruz bırakılmış ve kesikli sistemde Pb'nin % 97'si, yarı kesikli sistemde de %95'i giderilmiştir. İki bitkinin de Pb ve Ni metallerinin gideriminde etkili olduğu gözlenmiştir. *Microspora* için Pb 50 mg/L, *Lemna minor* için Pb 15 mg/L ve Ni 8 mg/L öldürücü doz olarak belirlenmiştir. Sonuçta *Lemna minor* ile Pb'nin % 76'sını ve Ni'nin %82'ni giderilmiştir (Nicholas *et al.*, 2003)

Hindistan'daki evsel atıksuların arıtımı için maliyeti düşük, işletilmesi kolay ve uygun olduğundan yapay sulakalanlar inşa edilmiştir. Arıtım için 2 tane set hazırlanmış. Setlere 80cm derinliğinde %30 toprak, %70 kum ve 40 cm çapında beton borular yerleştirilmiştir. Setlerden birine *Typha Latifolia* ve *Phragmites carca* yetiştirilmiş, diğerine hiçbir bitki konulmamıştır. Bitki dikiminden 4 hafta sonra ön arıtmadan geçmiş sular dikey yüzey altı akışlı sulakalanlar üzerine verilmiştir. Çimento borulardan drene edilen arıtılmış atıksular dikey borularla toplanmıştır. Hidrolik yükleme hızı 5 cm/gün'dür. Su tarlasındaki BOİ giderimi %78-91 olarak gözlenmiştir. Azot 30,8 mg/L'den 9,5 mg/L'ye giderilirken; fosfat 14,9 mg/L'den 9 mg/L'ye giderilmiştir (Juwarkar *et al.*, 1995)

Endüstriyel atıksularda phytoremediation yöntemi kullanılan su sümbülü (*Eichhornia crassipes*) ve kanal bitkisi (*Vallisneria spiralis*) ile biogaz elde edilmiştir. Bu bitkiler seyreltilmiş (%40) çıkış suyunda, hücrelerde büyütülmüş ve tüm metallerden arındırılmıştır. Phytoremediation yöntemi kullanılan bu iki bitkinin sulu çamuru ile deiyonize su ile büyütülen bitkiler ile elde edilenden önemli miktarda daha fazla biyogaz elde edilmiştir. Kanal bitkisinden biogaz üretimi su sümbülünden daha fazla ve daha hızlı olduğu görülmüştür (Singhal and Rai, 2002).

Kirli sulardan sazlar (*Typha latifolia*) kullanılarak metalaxyl ve simazine (herbisid türü) kalıntılarının giderimi için yapılan araştırmada *metalaxyl* ve *simazine* dağılım ve giderimi karakterize edilmiş ve eşik toksisite noktaları saptanmıştır. Yedi gün boyunca 6 konsantrasyon değerinde (0-3,0 mg/L arasında) maruz kalan bitkilerin

simazine tolerans değerleri belirlenmiştir. Bitkiler kesilip ayrılarak dokuları yakılmış ve spektroskopi ile analiz edilmiştir. Yedi gün boyunca zltideki metalaxyl aktivitesi %34'e ve simazine aktivitesi %65'e indirilmiştir. Bu sonuçlar saızların *metalaxyl* ve *simazine* için phytoremediation tasarısına birleştirmek için iyi bir aday olabileceğini göstermektedir (Wilson *et al.*, 2000).

in'in Taihu Gölü'nde Fiziko-biyolojik mühendisliği deneyinde su kalitesine su smbllerinin (*Eichhornia crassipes*) etkilerini değerlendirmek için bir model oluşturulmuştur. Bu model $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, fitoplanktonlardaki azot ve fosfor konsantrasyonu, su smbllerindeki azot ve fosfor konsantrasyonu, sudaki fosfor konsantrasyonu, sedimentlerdeki azot ve fosfor değişimleri sudaki fosfor ve azot konsantrasyonu olmak üzere 14 değişkenden oluşmaktadır. Giriş suyuna etki eden dış etkenler güneş işığı, su sıcaklığı, nütrientlerin konsantrasyonları ve suyun bekleme zamanıdır. Azot ve fosforun döngüsü ile su sümbülleri ve fitoplanktonların büyüme model simülasyonu sonuçları gözlenmiştir. Bu modelin Fiziko-biyolojik mühendisliği dizayn ve yönetiminde rehber bir araç olarak kullanılması açısından uygun olduğu dşnlmştur (Weiping Hu *et al.*, 1998).

Batık sucul bitkilerin epiphyte (Asalak olmadığı halde bitkilerin üzerinde yaşayan bitki türü) giderim hızını ölçmek için yapılan çalışmada dört batık bitki (*Hydrilla verticillata*, *Najas guadalupensis*, *Potamogeton illineosis* ve *Vallisneria americana*) seçilmiştir. Mekanik karıştırma yöntemiyle giderim hızını ölçmek için üç bağımsız metot kullanılmıştır. Bitkilerin epiphyte klorofil, kuru ağırlık, alg ve diatom hücreleri 10, 30, 60, 90 ve 120 saatlerde toplanmıştır. Bütün bitki türlerinin giderim hızları istatiksel olarak aynı bulunmuş ve giderim hızı %88'in üzerinde olduğunda ortalama giderim zamanı ortalama 40 saat olarak tespit edilmiştir (Paul and Margaret, 1997).

Yüzey altı akışlı sulakalanların kullanımı ABD'de ve Almanya'da oldukça başarılı olduğu grlmştur. Yatay yüzey altı akışlı sulakalanlarla (kk yatay akışlı sulakalan, eğimli yatay akışlı sulakalan, geniş yatay akışlı sulakalan) dikey yüzeyaltı akışlı sulakalanların (tabakalı ve tabakasız) arıtma performanslarını karşılaştırmak üzere bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmada, etkili bir ön arıtma ve büyük miktarda ($>50 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{gün}$) zel arıtma alanı olduğunda, TN ve TP ve organik yükün dikey ve yatay yüzey altı akışlı sistemlerle % 90'dan daha fazlası giderilebildiği

görülmüştür. Yatay yüzey altı akışlı sulakalanların P giderimi için uzun dönemde oldukça avantajlıdır (Luederitz *et al.*, 2001).

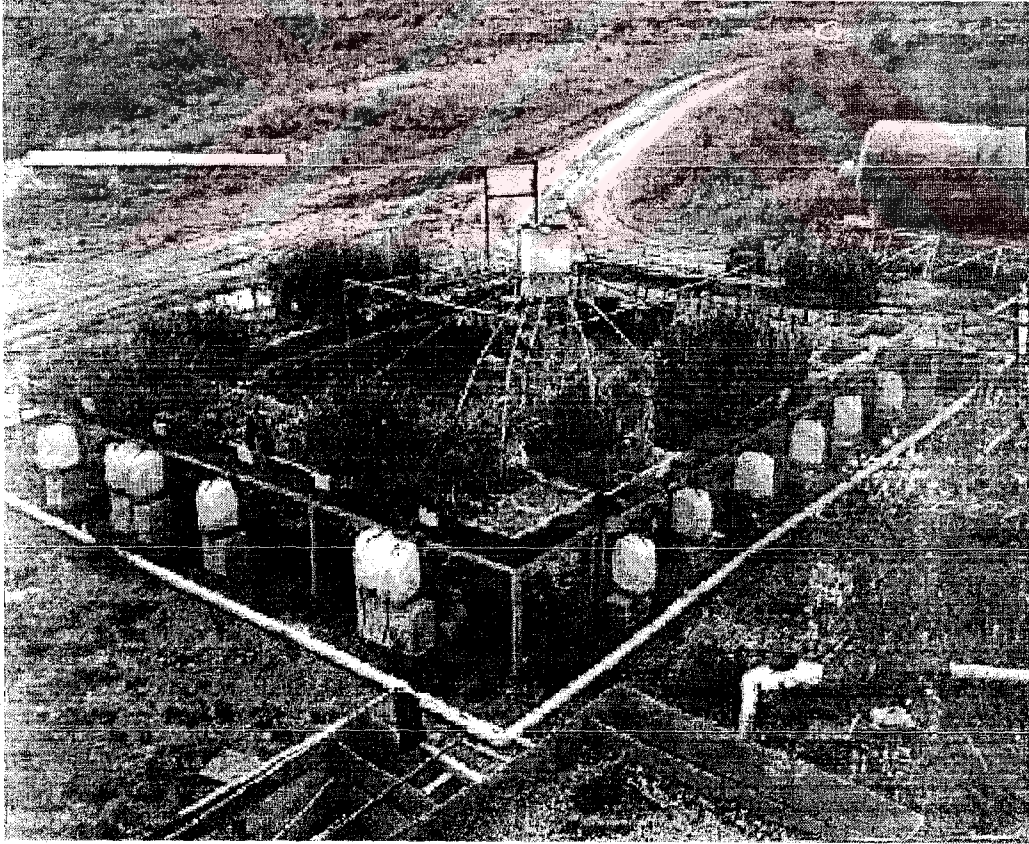
Su zambağı (Nymphaeaceae) ile ağır metal gideriminin araştırılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bunun için su zambağının bazı bölgelerindeki salgı bezleri incelenmiştir. Salgı bezleri, ışın mikroskobu ile rizom salgısında ve yaprağın ince tabakalarının kenarında teşhis edilmiştir, köklerde ise gözlenmemiştir. Bu bezlerde ağır metal birikimi tarayıcı elektron mikroskobu kullanılarak izlenmiştir. Deneyler, gündüzleri olgunlaşmış yapraklardaki ince tabakalarda kalsiyum ve kadmiyum birikimi olduğunu göstermiştir. Bu birikim herbisid tutunması ile olmuştur. Ağır metallerin birikimi su ve çamur ile temas eden bitki organlarındaki salgı bezlerinde olmuştur. Böylece su zambaklarının kullanılması ile kirlenmiş çevreden ağır metal giderimi mümkünlüğünü arttırmıştır (Lavid *et al.*, 2001).

Rusya'nın Kemerovo Bölgesi'nde metal maden endüstrisi atıksularının toplandığı havuzlarda sucul bitkiler (*Fluvial horsetail*, *Platyphyllous cattail*, etc...) ile As, Sb ve ağır metallerin giderimi üzerine çalışılmıştır. Bu bitkiler için Cu, Pb, Cd, Zn, As ve Sb ana kirletici maddelerdir ve bu elementler elektrotermal atomic adsorbsiyon spectrometresi ile ölçülmüştür. Sedimentler X-ray cihazı ile analiz edilmiştir. Elde edilen analitik veriler sedimentlerde, suda ve özellikle bitkilerin köklerinde yüksek konsantrasyonlarda kirlilik olduğunu göstermiştir. *Platyphyllous cattail* bitkisinde insan ve hayvan sağlığını etkileyebilecek oranda As ve Sb birikebileceği gözlenmiştir (Hozhina, *et al*, 2001)

3. MATERYAL ve METOT

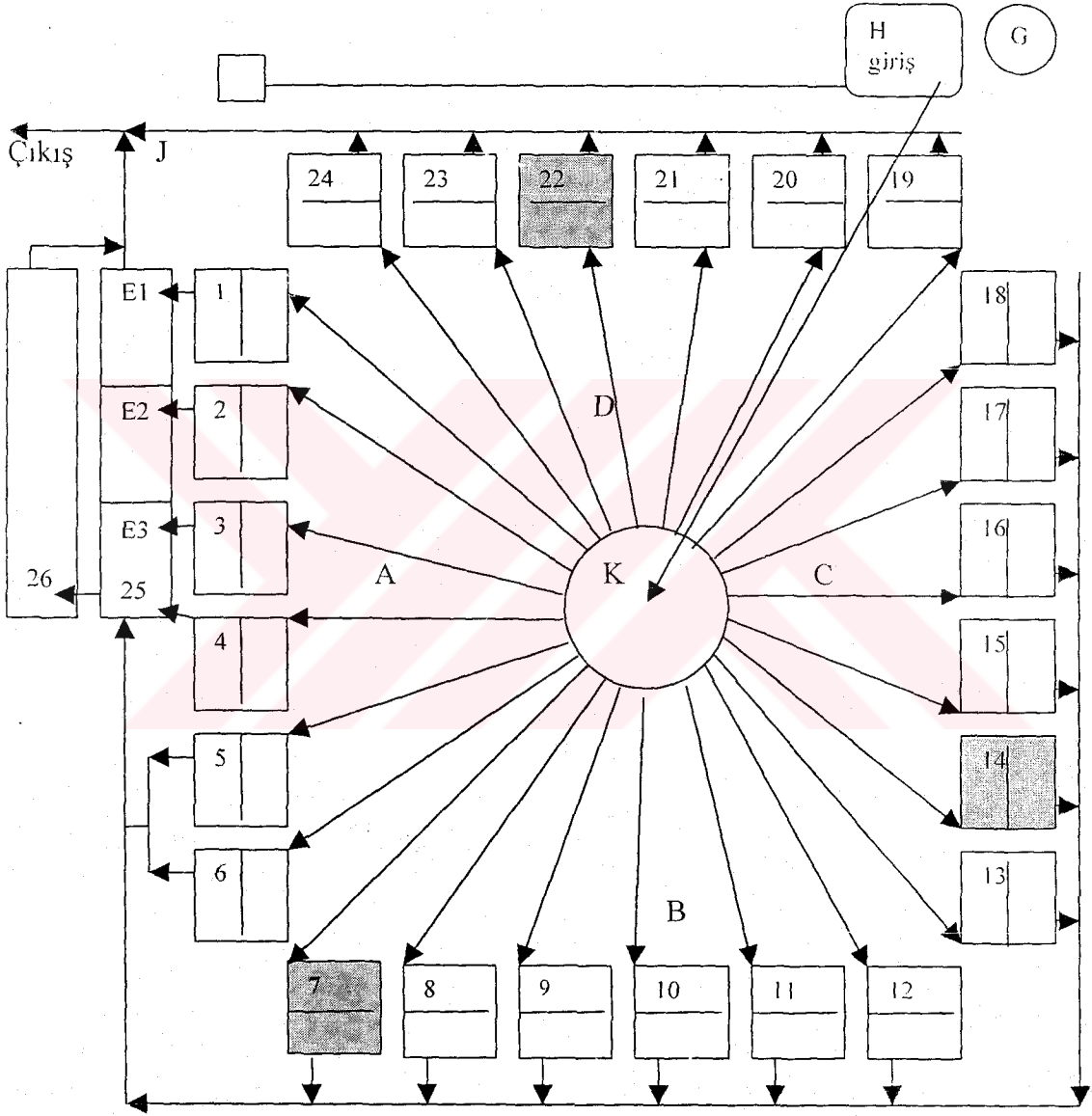
3.1. Deneysel Çalışma Düzenneği

Deneysel çalışmalar TÜBİTAK-MAM kampüsünde kurulmuş olan pilot ölçekli sistemlerde yapılmıştır. Resim 3.1.'de pilot ölçekli sistemlerin görünüşü verilmiştir. Bu çalışmada köklü, batık ve yüzücü bitkilerin bulunduğu sistemlerden birer adet olmak üzere toplam üç adet sistem oluşturulmuştur. Pilot ölçekli sistemlerin şematik görünümü Şekil 3.1.'de verilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan tankların tamamı polyesterden üretilmiştir. Tankların en, boy, derinlik uzunlukları 1x1x0,22 m olup, köklü bitki sistemi için dolgu malzemesi olarak orta dereceli (2-10 mm) çakıl kullanılmıştır. Batık bitkilerin tabana iyi tutunabilmeleri için tabana 1-2 cm çakıl serilmiş, yüzücü bitkilerin bulunduğu sistemlerde zemin boş bırakılmıştır. Köklü bitkilerin bulunduğu sistemlerde tankın yüksekliği kadar çakıl ile doldurulmuştur.



Resim 3.1. Pilot ölçekli sistemin görünüşü

Şekil 3.1.'de G besleme tankı (3 ve 7,5 tonluk), H dalgıç pompa, I elektrik ünitesi, J su toplama kanalı, K ana dağıtıcı olarak gösterilmiştir. B7 numaralı tankta *Phragmites sp.* (saz), D22 numaralı tankta *Spirodela polyrhiza* ile *Lemna valdiviana* ve C14 numaralı tankta *Elodea canadensis* ile *Egeria densa* bitkileri bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Atıksuyun sisteme verililiği

3.2. Atıksu Karakteristiği

Sistemlere verilen atıksu, derelere ve barajlara gelen suyu temsil niteliğine sahip Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisi'nin çıkışından elde edilmektedir. Giriş suyu sistemlere uygulandıktan 24 saat sonra her sistemden çıkış suyu alınmıştır. 12.02.2002 ile 19.06.2002 tarihleri arasında sistemlere verilen giriş suyunun ortalama değerleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1.Giriş atıksuyunun karakteristiği

Parametreler	Ortalama giriş değerleri
PH	7,4
Sıcaklık (°C)	15,5
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	9,1
BOİ ₅ (mg/L)	18
AKM (mg/L)	22
NH ₄ -N (mg/L)	1,23
İletkenlik	882

Ana dağıtıcıya gelen su çakıl yüzeyindeki dağıtıcıya (delikli boru) verilerek su çakılların arasında homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Besleme tankı 10,5 ton olup haftada 2-3 kez Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu ile doldurulmuştur. İncelenmekte olan üç tanka verilecek hidrolik yükleme hızı (L/m²/gün) olarak hesaplanmış ve hidrolik yük dalgıç pompanın zaman rölesine bağlı olarak zamanla arttırılmıştır. Birim yüzey alana verilecek hidrolik yükleme hızı sırayla 66, 78, 117 L/m²/gün olarak belirlenmiştir.

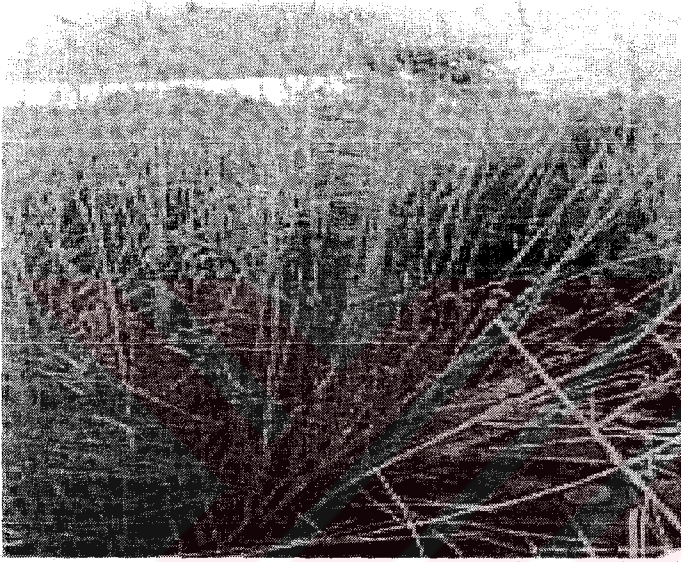
3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Bitkiler

Köklü Bitkiler

Köklü bitkiler genelde yatay ve dikey yüzey altı akışlı sistemlerde kullanılırlar. Dolgu malzemeleri arasından geçen atıksuda mikroorganizmalar üremektedir. Bu mikroorganizmaların bir kısmı dolgu malzemesi yüzeyinde ve bitkilerin kök ve yüzeylerinde tutunarak biyofilm oluştururlar. Organik maddeler biyofilm

tabakasındaki bakteriler yardımıyla ara ve son ürünlere dönüştürülürler (Karbonlu bileşikler, CO_2 , NH_3 ,...). Gözenekli yatay malzeme içinde aerobik ve anaerobik bölgeler oluşur. Bitki kökleri, biyofilm tabakası için ortam oluştururken bir yandan da oksijen taşınımını gerçekleştirir. Aerobik bölgeler oksijen taşınımının etkili olduğu bölgelerdir

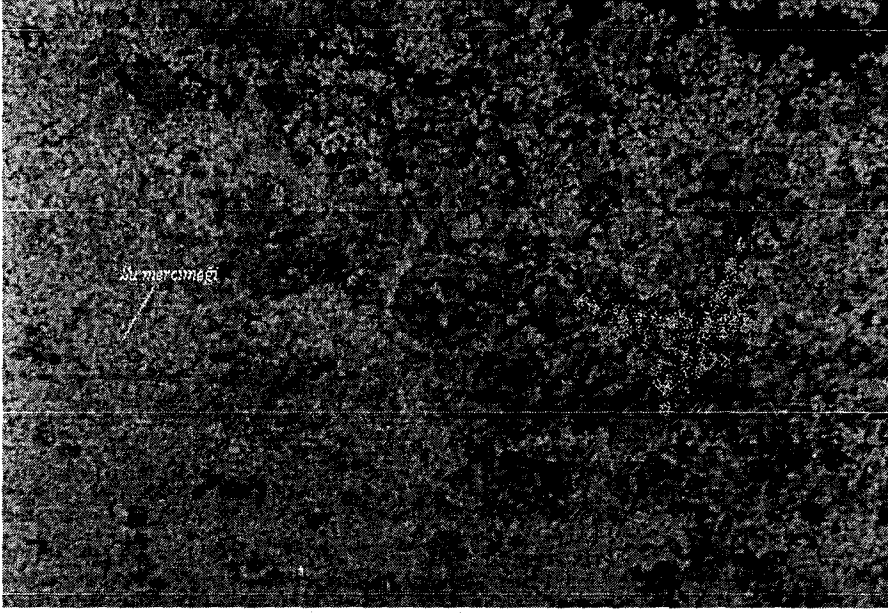
Phragmites sp. (saz) 'nin görünüşü Foto 3.2'de verilmiştir.



Resim 3.2. *Phragmites sp.* (saz) 'nin görünüşü

Yüzücü Bitkiler

Yüzücü bitkiler su yüzeyini tamamen kaplayarak suyun derinliklerine ışık geçirgenliğini ve alg oluşumunu önlerler. Su mercimekleri suya yüzen bir halı görünümünü verir. Yüzücü bitkiler su hareketlerini dengelerler ve saçaksı kökleri ve dallanan gövdeleriyle kirletici danelerin askıda kalmalarını sağlayarak biyofilmlerle temas yüzeylerini artırırlar. Resim 3.3'de su mercimeklerinin (*Spirodela polyrhiza* ve *Lemna valdiviana*) görünüşü verilmiştir.



Resim 3.3. Su mercimeklerinin (*Spirodela polyrhiza* ve *Lemna valdiviana*) görünüşü

Lemna valdiviana (su mercimeği) genellikle durgun, ağır sularda oluşur ve geniş yüzen halı görünümü verirler. Bu bitkiler küçücük (1/16-1/8 inch) ve at nalı şeklinde yaprakları olan bitkilerdir. Her bir köke sahip bitkinin iki ve ay daha fazla yaprağı bulunmaktadır.

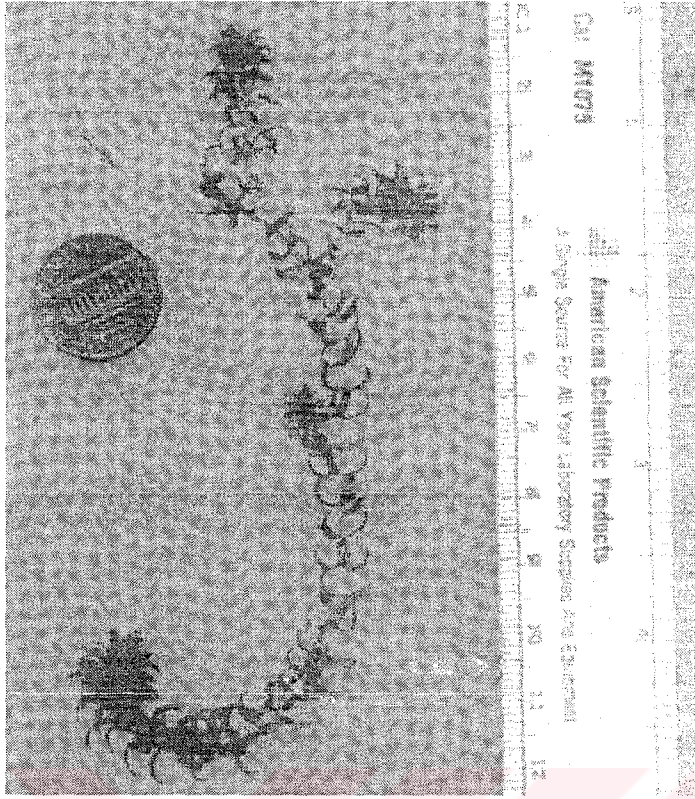
Batık Bitkiler

Bu bitkiler için uygun su sıcaklığı 10-25⁰Cdir. Suda asılı olarak ve ya sedimentte köklü olarak bulunabilirler. Batık bitkiler yalnızca oksijen kazandırılmış sularda iyi üreyebildiklerinden ileri arıtmada kullanılabilmektedirler. Bu tür bitkiler sudaki çözünmüş inorganik karbonu tüketir ve yüksek oranda fotosentez faaliyetiyle çözünmüş oksijen konsantrasyonunu arttıırırlar.

Elodea canadensis ve *Egeria densa* bitkileri birbirine benzerdir. *Egeria densa* Brezilya *Elodea*'sı olarak bilinir. Bu bitkilerin ince gövdesi bir ve ya birkaç ayak uzunluğunda olabilir. Bitkilerin şerit şeklindeki küçük yaprakların boyu 2,5 cm, genişliği 0,5 cm uzunluğundadır. Bitkilerin gövde ve yaprakları parlak yeşil renktedir. Bitkilerin çiçekleri suyun üzerinde kalan saptta 2,5 cm uzunluğundadır. Çiçekler üç taç yapraktan oluşur ve çapı 2 cm 'dir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ve su sıcaklığı en az 10⁰C'de gelişim sağlar. Bu bitkiler bir akvaryum bitkisi olarak da bilinirler. Resim 3.4.'de *Egeria densa*'nın görünüşü verilmiştir. *Elodea canadensis*'in görünümü Resim 3.5.'da verilmiştir



Resim3.4. *Egeria densa*'nın görünüşü



Resim 3.5. *Elodea canadensis*'in görünüşü

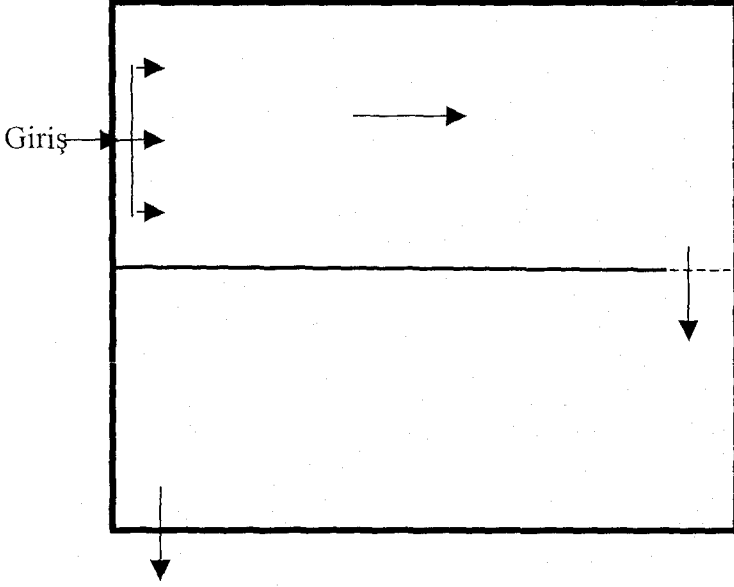
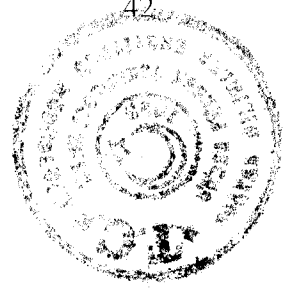
Aşağıda kullanılan malzemelere ait teknik bilgiler kısaca özetlenmiştir.

Pompa = Tanklara su verebilmek amacıyla zaman ayarlı Lawara CE tipi bir santrifüj pompa kullanılmıştır. Pompanın debisi 50-225 L/dak. olup, gücü 0,70 kW' tır.

Reaktör = Reaktör olarak en, boy ve derinlik uzunlukları 1x1x0,22 m olan polyester tanklar kullanılmıştır. Reaktörler piston akıma göre dizayn edilmiştir. Bu sistemlerin atıksu dağılım diyagramları Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Reaktörler serbest yüzey akışlı ve yüzey altı akışlı olarak inşa edilmiştir.

Dolgu malzemesi = Yüzey altı akışlı sistem için köklü bitkilerden oluşan tanklarda kullanılan dolgu maddesi 2-10 mm arası orta dereceli çakıldan oluşmaktadır. Serbest yüzey akışlı sistemlerde ise batık bitkilerin iyi tutunabilmeleri için aynı çakıldan tabana 2-3 cm serilmiştir.

Besleme Tankları = Besleme tankları, 3 tonluk saç ve 6,5 tonluk polyester olmak üzer iki çeşit olup reaktörleri beslemek amacıyla kullanılmıştır. Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisinden gelen çıkış suyu sistemin giriş suyu olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Sistemlerin Akış Diyagramı

3.4. Metot

Giriş ve çıkış suyu numuneleri Tablo 3.2'deki analiz metotlarına göre analizleri yapılmıştır. Bu çalışmadaki tüm analizler TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü laboratuvarlarında standart yöntemlere (Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1998, 20th Ed. APHA, AWWA, WEF) göre yapılmıştır.

Tablo 3.2. Ölçülen parametreler ve analiz yöntemleri

Analiz Adı	Analiz Yöntemi	Kullanılan Alet
İletkenlik	SM-2510 B Lab. Yöntemi	
PH	SM-4500-HB Elektrometrik	Metroohm 632
Sıcaklık	SM 4500-OG Membran Elektrod	Metroohm 632
Çözünmüş Oksijen	SM 4500-OG Membran Elektrod	OXI-196 632
AKM	SM-2540 D Gravimetrik	Etüv, Terazî
BOİ ₅	SM-5210 B 5 günlük	
NH ₄ -N	SM-4500 HH3 B.C. Destilasyon + Titrimetrik ve Nessler ASTM Standarts, D 1426-93, 1993.	
SM; <i>Standart Methots for the Examination of Water and Wastewater. 1998, 20th Ed. APHA, AWWA, WEF</i> JIS; <i>Japanese Industrial Standart</i>		

4. SONUÇLAR

13 Şubat 2002 ile 20 Haziran 2002 tarihleri arasında TÜBİTAK-MAM Kampüsü'nde üç sistemde yapılmış olan deneyler sonucunda, sistemlerin çıkış suyundan alınan örneklerden elde edilen AKM, BOI_5 ve $\text{NH}_4\text{-N}$ 'in ortalama verim değerleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Besleme suyunun temin edilememesinden dolayı 11 Nisan 2002 ile 6 Haziran 2002 tarihleri arasındaki süreçte sistem devre dışı kalmış ve bu nedenle deneyler yapılamamıştır.

Bitki Türü Kirlenici Parametreler	Phragmites sp. Ort. Arıtma verimi	Spirodela pol. + L. valdiviana Ort. Arıtma verimi	Elodea can.+Egeria densa Ort. Arıtma verimi
$\text{NH}_4\text{-N}$	%81	%67	%72
BOI_5	%70	%67	%69
AKM	%75	%81	%79

Tablo 4.1. Ortalama arıtma verimleri

Sisteme verilen giriş suyunun sıcaklığı $9,3\text{-}24^0\text{C}$, pH değerleri 7,17-7,64, iletkenlik değerleri 683-972 $\mu\text{s/cm}$ arasında değişmektedir.

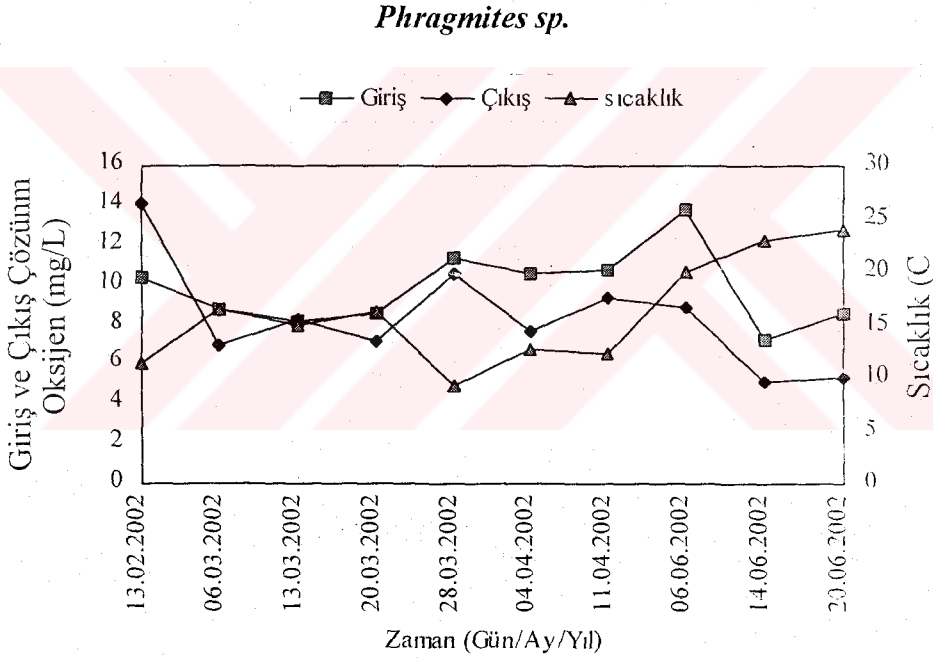
4.1. *Phragmites sp.*

Sisteme boru dağıtıcı ile verilen atıksu dolgu malzemesi arasından süzülerek sistemin diğer kısmından deşarj edilir.

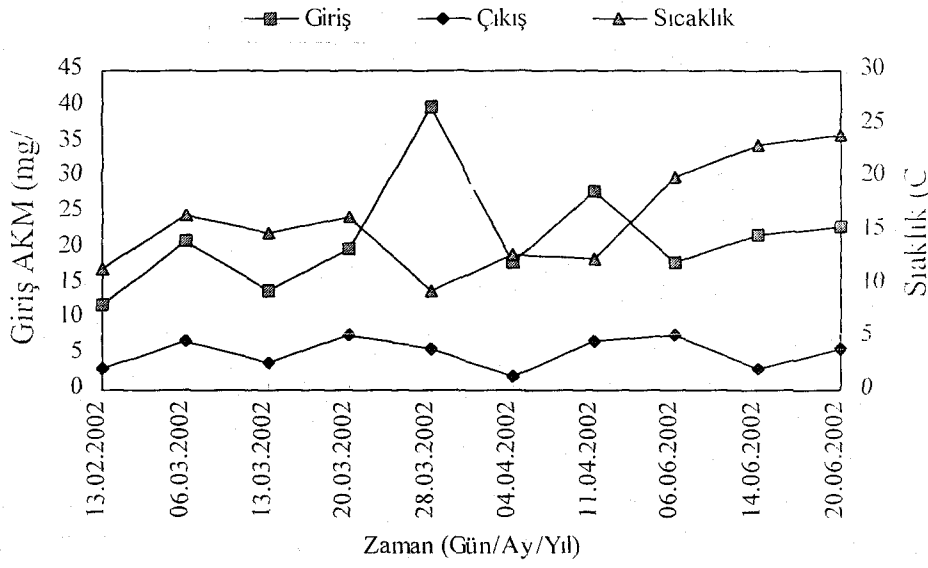
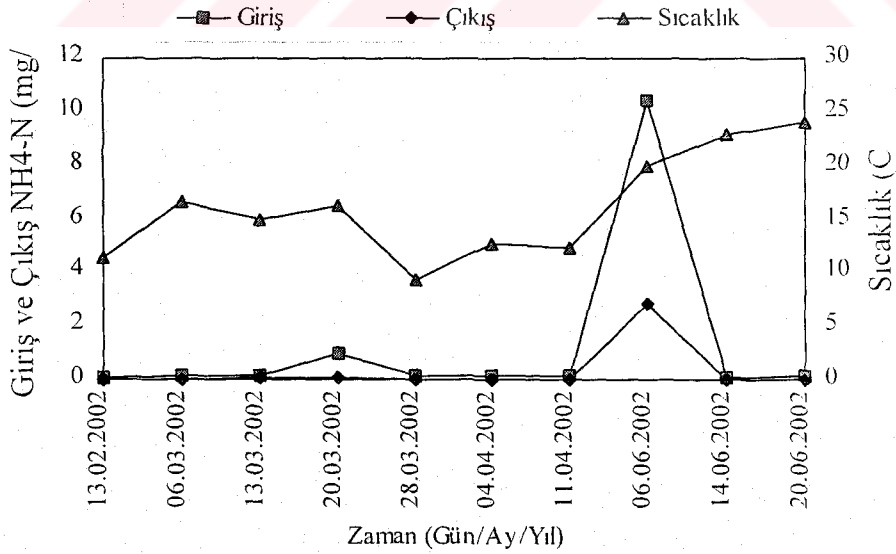
Aşağıda verilmiş olan Şekil 4.1.1.'de *Phragmites sp.* bitkisinin bulunduğu sistemin gün, ay ve yıl bakımından zamanı verilerek sıcaklıkla karşılaştırmalı olarak çözünmüş oksijen giriş ve çıkış konsantrasyonları gösterilmiştir. Giriş çözünmüş

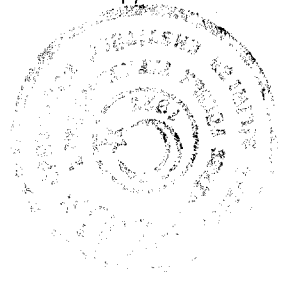
oksijen konsantrasyonu 7,2-13,8 mg/L arasında değişirken, çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonu 5,1-14,1 arasında değişmektedir. Şekil 4.1.2.'de giriş ve çıkış AKM konsantrasyonları verilmiştir. Giriş AKM konsantrasyonları 12-40 mg/L ve çıkış AKM konsantrasyonları 2-8 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4.1.3.'de *Phragmites sp.* bitkisinin bulunduğu sistemin sıcaklıkla karşılaştırmalı olarak $\text{NH}_4\text{-N}$ giriş ve çıkış konsantrasyonları gösterilmiştir. Giriş $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları 0,0464-0,98 mg/L, çıkış konsantrasyonları 0,07-0,044 mg/L arasında değişmektedir. 6.6.2002 tarihinde pik değerde (10,4 mg/L) giriş olmuş ve çıkış değeri 2,8 mg/L bulunmuştur. Şekil 4.1.4.'de BOI_5 giriş ve çıkış konsantrasyonları gösterilmiş ve giriş konsantrasyonları 8,3-24,3 mg/L, çıkış konsantrasyonları 1,5-6,9 mg/L arasında değiştiği gözlenmiştir.

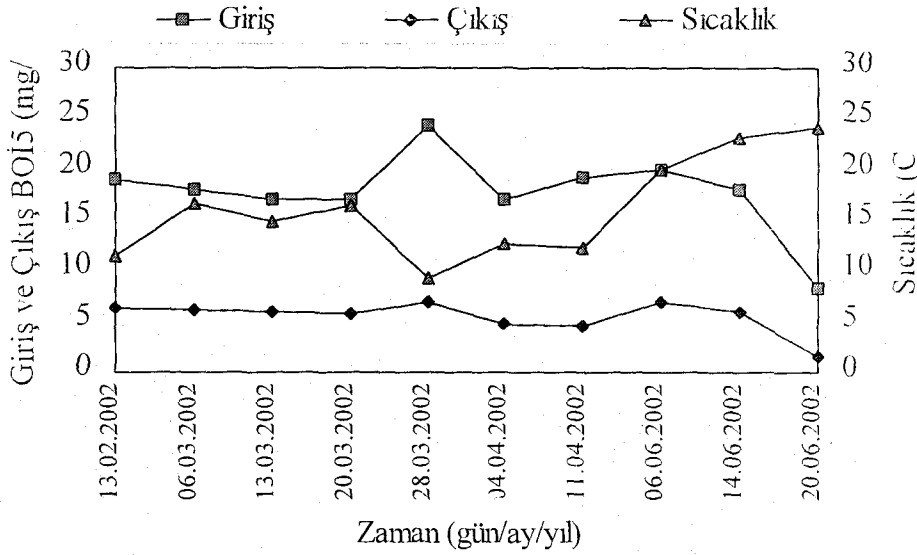


Şekil 4.1.1 *Phragmites sp.* sisteminin giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonu

Phragmites sp.Şekil 4.1.2. *Phragmites sp.* sisteminin giriş ve çıkış AKM konsantrasyonu*Phragmites sp.*Şekil 4.1.3 *Phragmites sp.* sisteminin giriş ve çıkış $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu



Phragmites sp.



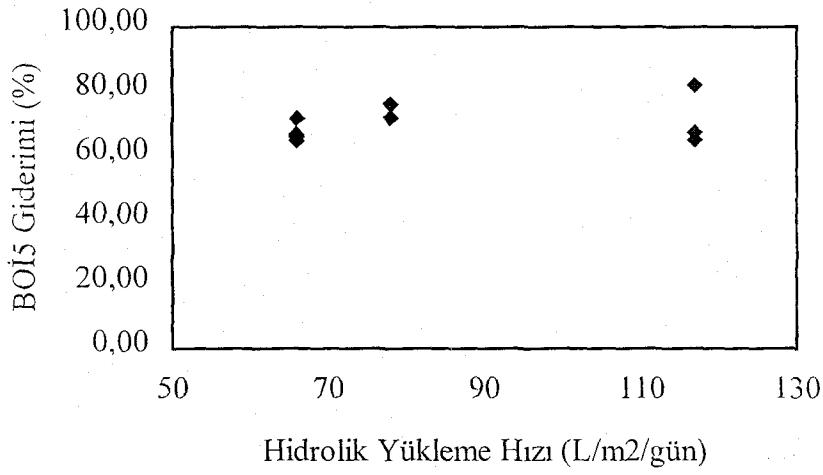
Şekil 4.1.4. *Phragmites sp.* sisteminin giriş ve çıkış BOI₅ konsantrasyonu

Phragmites sp. bitkisinin bulunduğu sistemlere verilen atıksuyun hidrolik yükleme hızları 66, 78 ve 117 L/m²/gün'dür. Bu değerlere karşılık BOI₅, AKM, NH₄-N giderim verimleri elde edilmiştir. Şekil 4.1.5'de *Phragmites sp.*'nin BOI₅ giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 L/m²/gün için ortalama BOI₅ giderim verimi %67, 78 L/m²/gün için %74, 117 L/m²/gün için %71 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %70'dir.

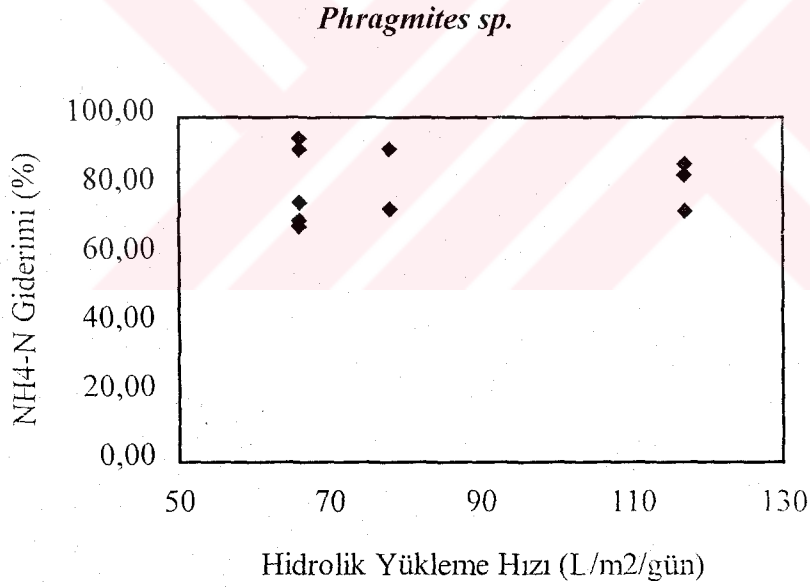
Şekil 4.1.6.'da NH₄-N giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 L/m²/gün için ortalama %80, 78 L/m²/gün için %83, 117 L/m²/gün için %81 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %81'dir. Şekil 4.1.7'de AKM giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 L/m²/gün için ortalama %72, 78 L/m²/gün için %82, 117 L/m²/gün için %72 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %75'dir.



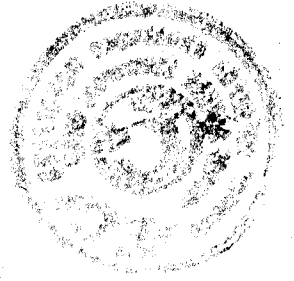
Phragmites sp.



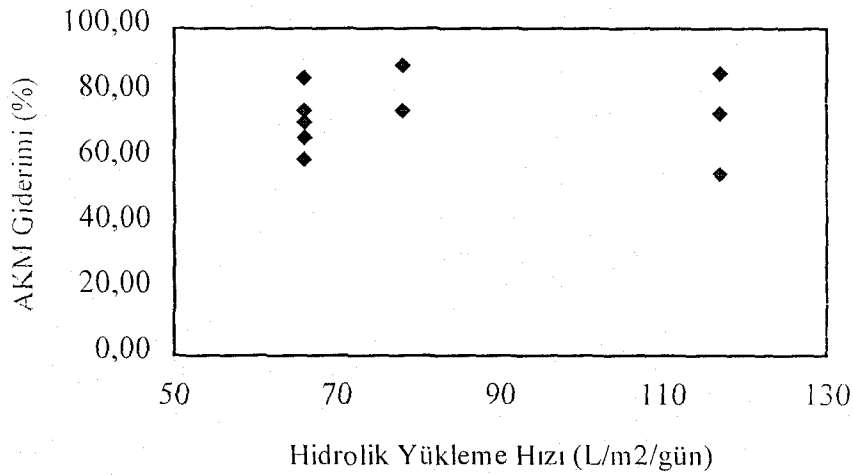
Şekil 4.1.5. *Phragmites sp.* sisteminin BOI₅ giderim verimi



Şekil 4.1.6. *Phragmites sp.* sisteminin NH₄-N giderim verimi

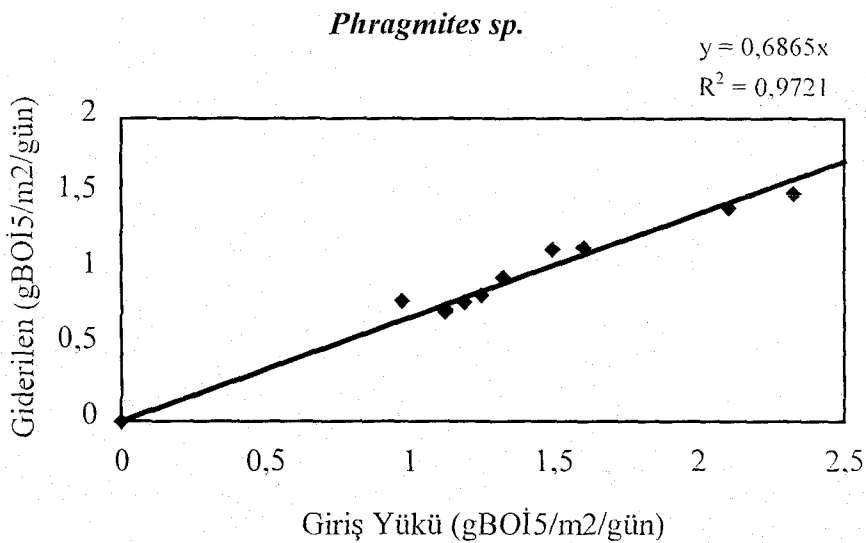


Phragmites sp.

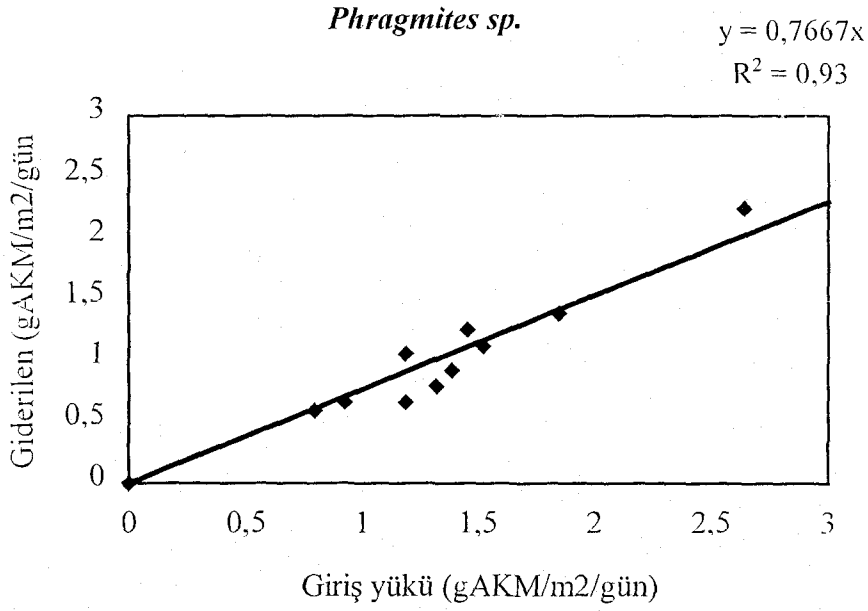
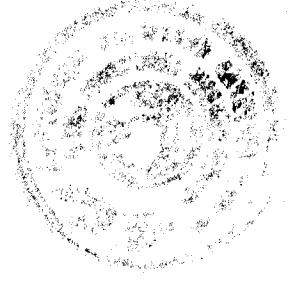


Şekil 4.1.7. *Phragmites sp.* sisteminin AKM giderim verimi

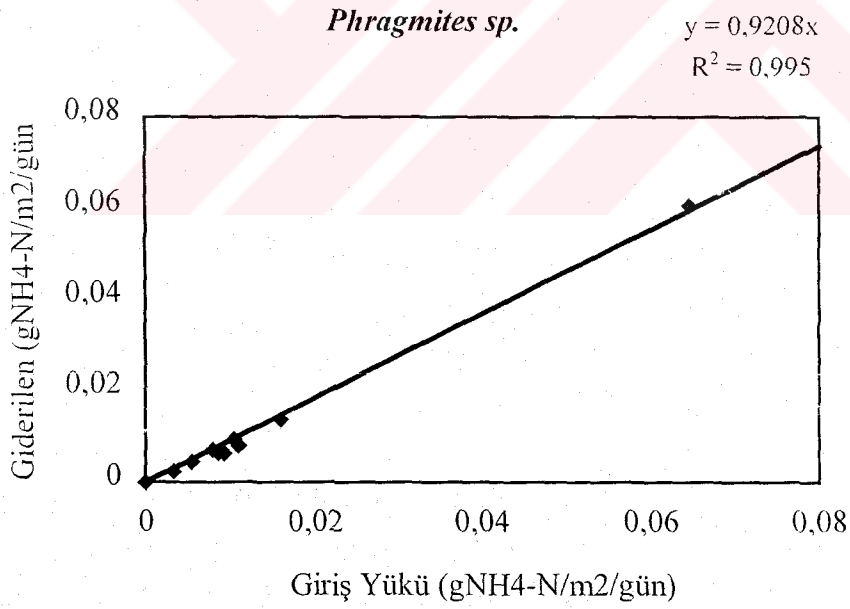
Şekil 4.1.8.'de giriş BOI₅ yükü ve giderilen BOI₅ yükü verilmiştir. 0,97-2,33 g/m²/gün giriş yüklerine karşılık giderilen yükler 0,73-1,51 g/m²/gün arasında değişmektedir. Şekil 4.1.9.'da giriş AKM yükü ve giderilen AKM yükü verilmiştir. 0,79-2,69 g/m²/gün giriş yüklerine karşılık 0,60-2,25 g/m²/gün arasında giderim sağlanmıştır. Şekil 4.1.10.'da giriş NH₄-N yüküne karşılık çıkış NH₄-N yükü verilmiştir. Giriş yükleri 0,0033-0,0647 g/m²/gün, giderilen yük miktarı 0,0023-0,0607 g/m²/gün arasında değişmiştir.



Şekil 4.1.8. *Phragmites sp.* sisteminin giriş BOI₅ yüküne karşılık giderilen BOI₅ yükü



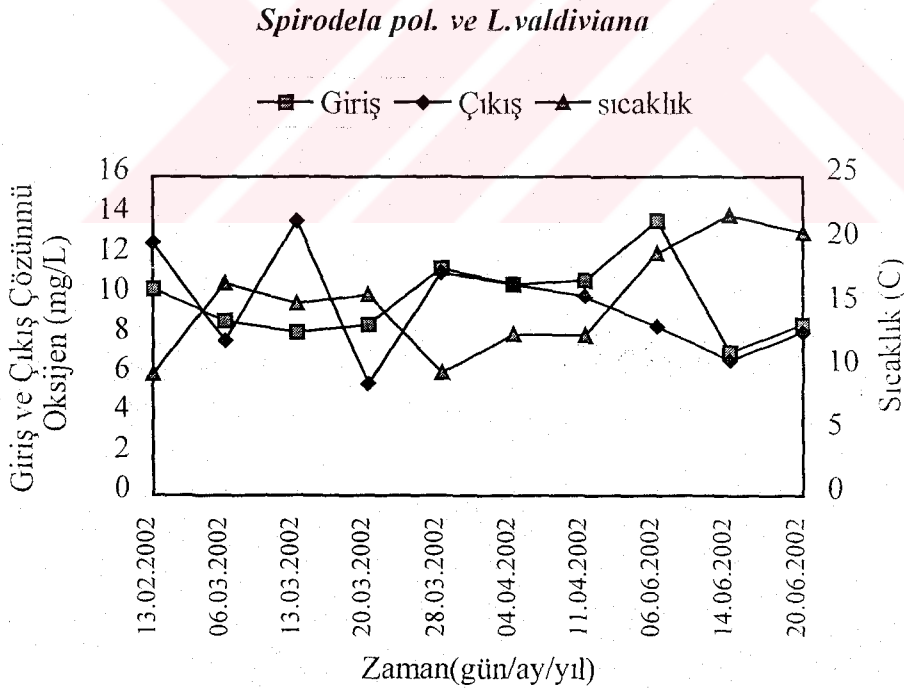
Şekil 4.1.9. *Phragmites sp.* sisteminin giriş AKM yüküne karşılık giderilen AKM yükü



Şekil 4.1.10. *Phragmites sp.* sisteminin giriş NH₄-N yüküne karşılık giderilen NH₄-N yükü

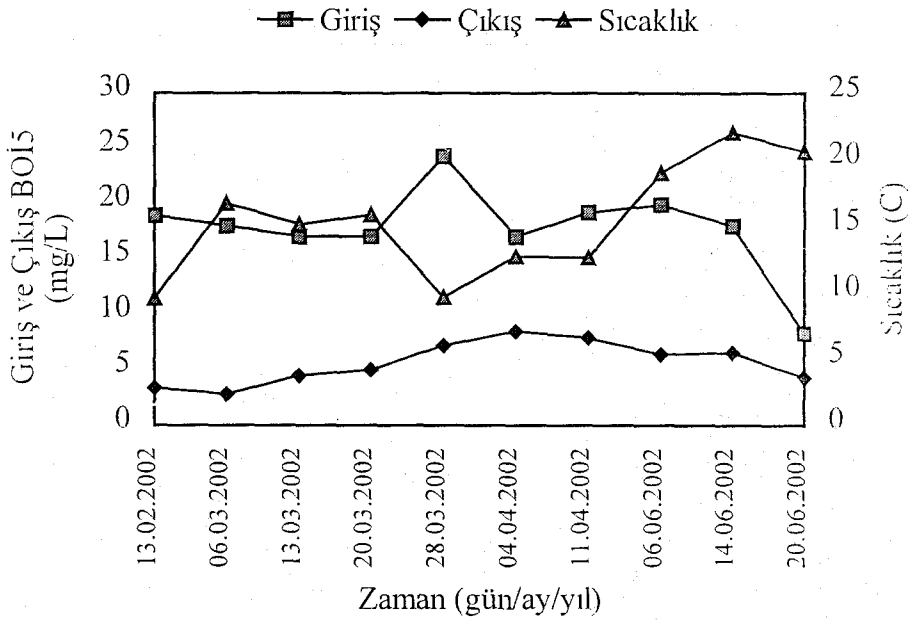
4.2. *Spirodela polyrhiza* ve *Lemna valdiviana*

Spirodela polyrhiza ve *Lemna valdiviana* bitkilerinin bulunduğu sisteme farklı zamanlarda giriş suyu verilmiş, çöz. oksijen, BOI_5 , AKM ve $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları elde edilmiştir. Şekil 4.2.1.'de giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonları verilmiştir. Giriş çözünmüş oksijen konsantrasyonu 7,2-13,8 mg/L arasında değişirken, çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonu 5,6-13,8 arasında değişmektedir. Şekil 4.2.2.'de giriş ve çıkış BOI_5 konsantrasyonları verilmiştir. Giriş BOI_5 konsantrasyonları 8,3-24,3 mg/L, çıkış konsantrasyonları 2,8-8,5 mg/L olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.2.3.'de giriş ve çıkış AKM konsantrasyonları verilmiştir. Giriş AKM konsantrasyonları 12-40 mg/L ve çıkış AKM konsantrasyonları 2-6 mg/L olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.2.4.'de $\text{NH}_4\text{-N}$ giriş ve çıkış konsantrasyonları gösterilmiştir. Giriş $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları 0,0464-0,98 mg/L, çıkış konsantrasyonları 0,022-0,111 mg/L arasında değişmektedir. 6.6.2002 tarihinde pik değerde (10,4 mg/L) giriş olmuş ve çıkış değeri 2,8 mg/L bulunmuştur.



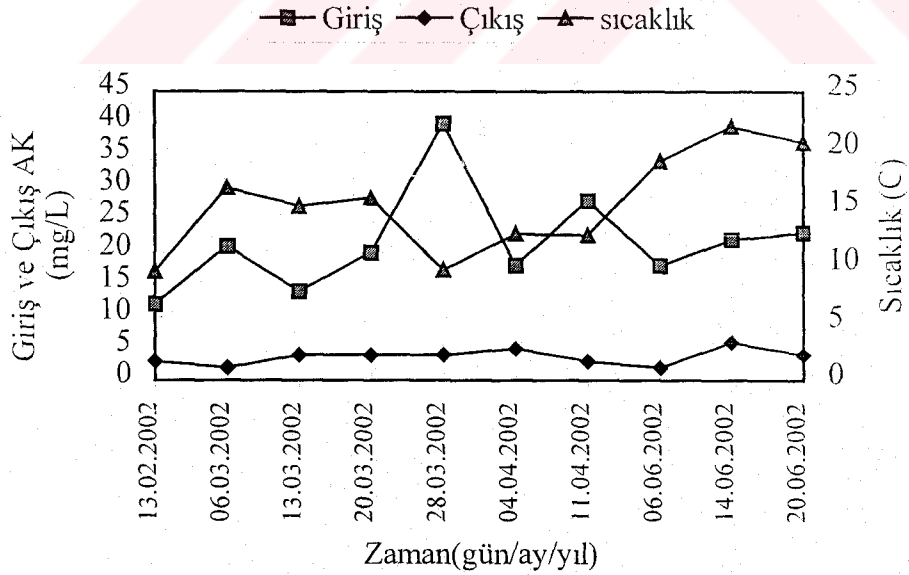
Şekil 4.2.1 *Spirodela pol.* ve *L. valdiviana* sisteminin giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonu

Spirodela pol. ve L. valdiviana

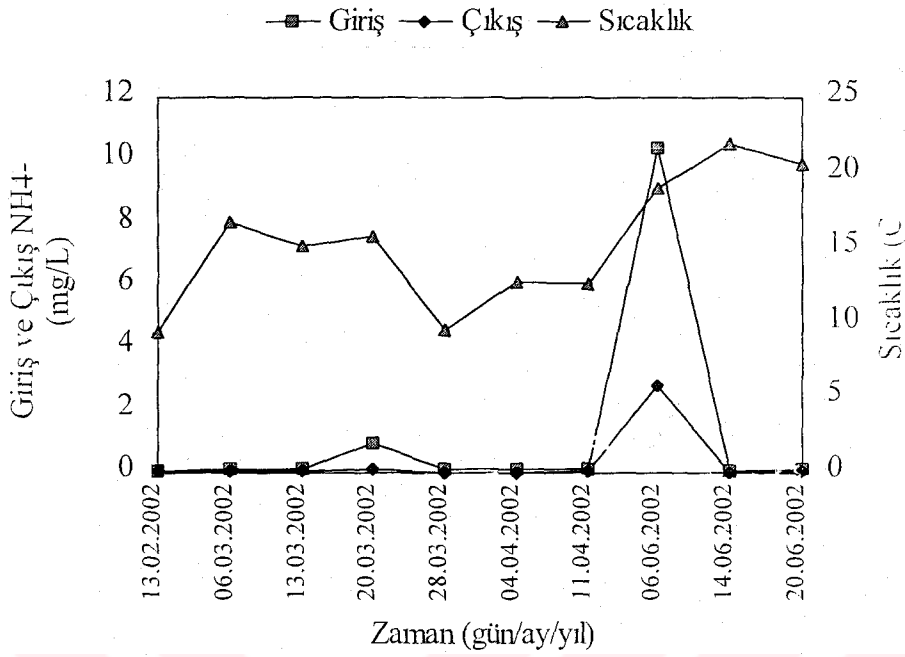


Şekil 4.2.2. *Spirodela pol. ve L. valdiviana* sisteminin giriş ve çıkış BOD₅ konsantrasyonu

Spirodela pol ve L. valdiviana



Şekil 4.2.3. *Spirodela pol. ve L. valdiviana* sisteminin giriş ve çıkış AKM konsantrasyonu

Spirodela pol ve L. valdiviana

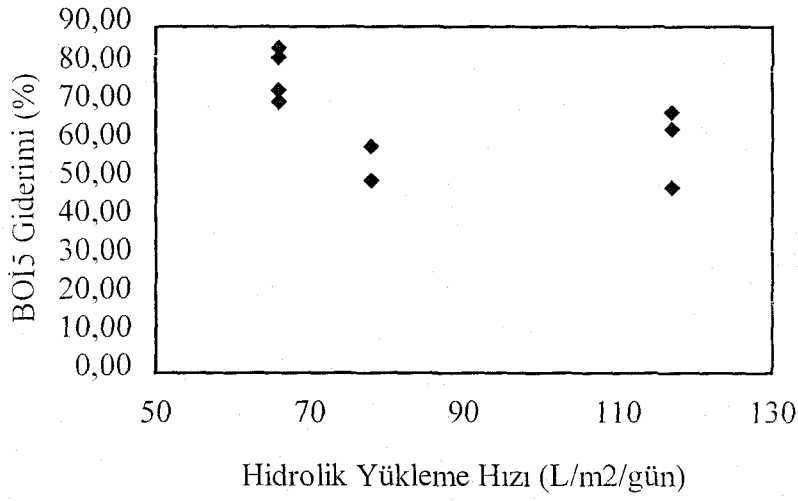
Şekil 4.2.4. *Spirodela pol.* ve *L. valdiviana* sisteminin giriş ve çıkış $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu

Spirodela polyrhiza ve *Lemna valdiviana* bitkilerinin bulunduğu sistemlere 66, 78 ve 117 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ hızlarında hidrolik yükleme yapılmış ve bu değerlere karşılık BOI_5 , AKM, $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimleri elde edilmiştir. Şekil 4.2.5’de *Spirodela polyrhiza* ve *Lemna valdiviana*’nın BOI_5 giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için ortalama giderim verimi %76, 78 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %55, 117 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %60 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %67’dir.

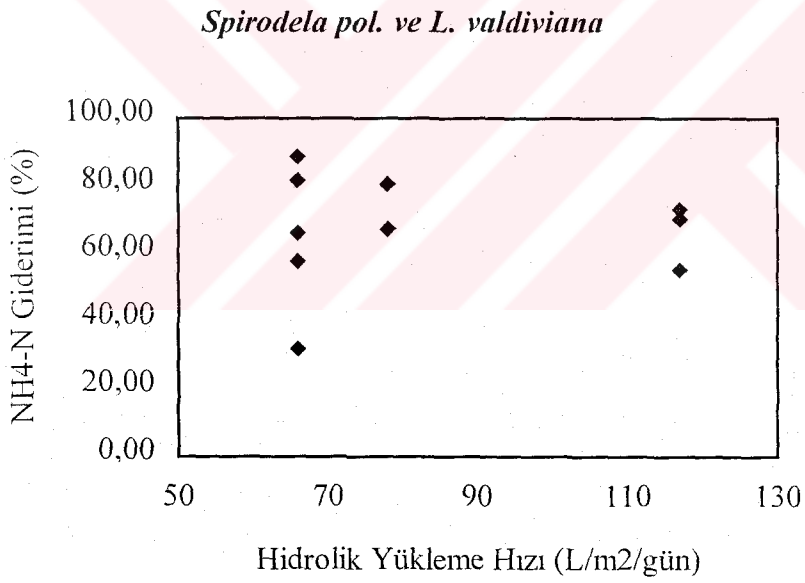
Şekil 4.2.6.’da $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için ortalama %65, 78 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %74, 117 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %66 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %67’dir. Şekil 4.2.7’de AKM giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için ortalama %81, 78 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %81, 117 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %82 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %81’dir..



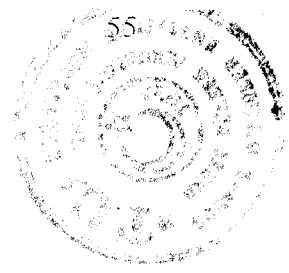
Spirodela pol. ve L. valdiviana



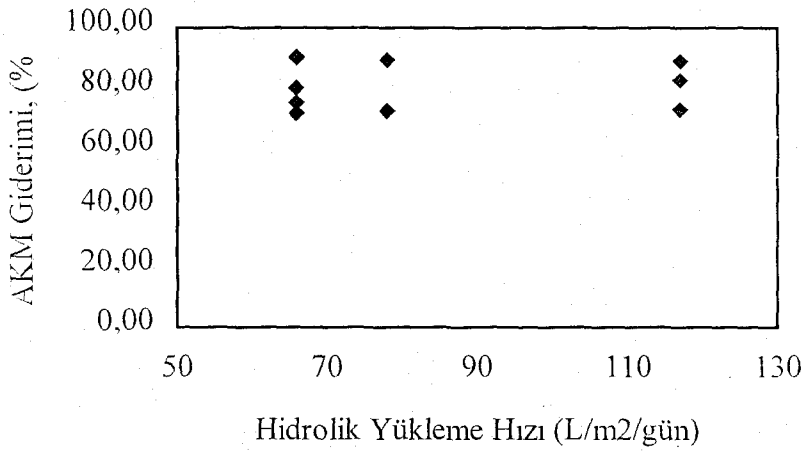
Şekil 4.2.5. *Spirodela pol. ve L. Valdiviana* sisteminin BOI₅ giderim verimleri



Şekil 4.2.6. *Spirodela pol. ve L. Valdiviana* sisteminin NH₄-N giderim verimleri

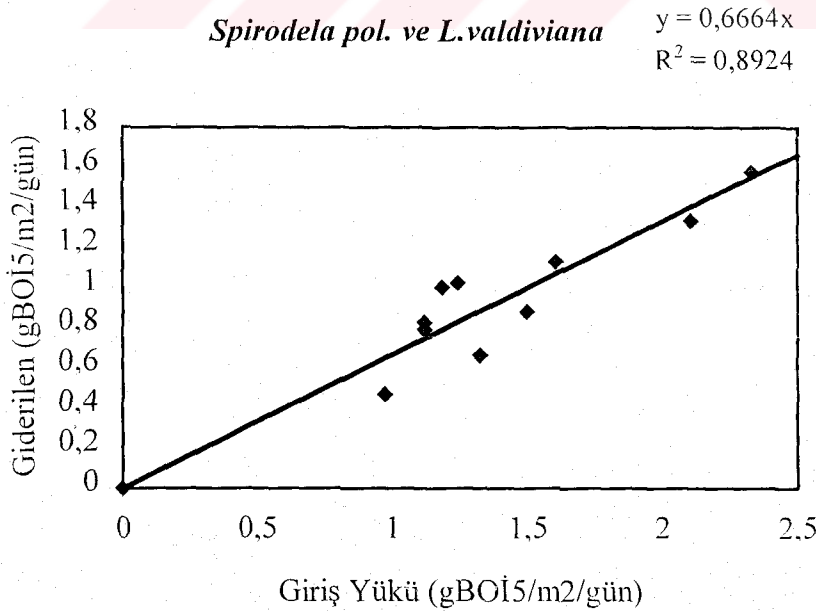


Spirodela pol ve *L. valdiviana*

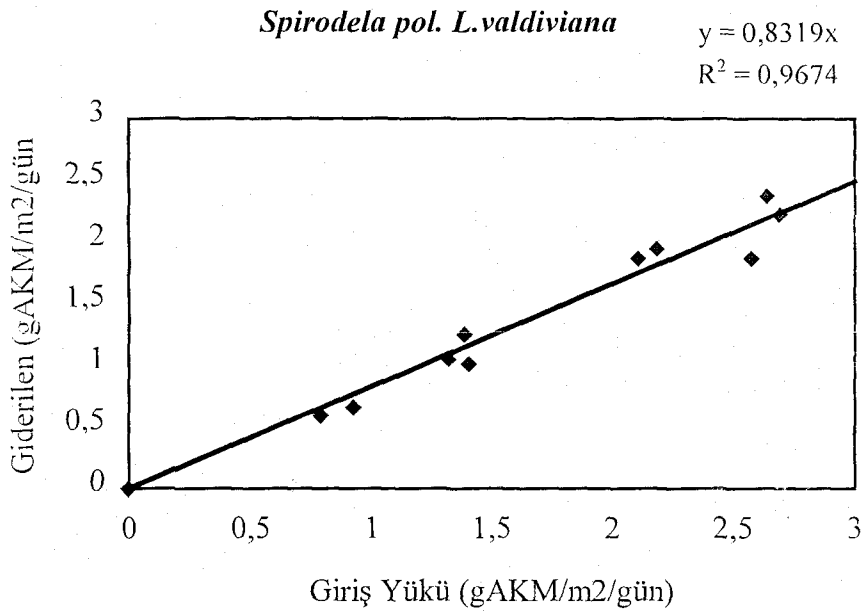


Şekil 4.2.7. *Spirodela pol* ve *L. Valdiviana* sisteminin AKM giderim verimleri

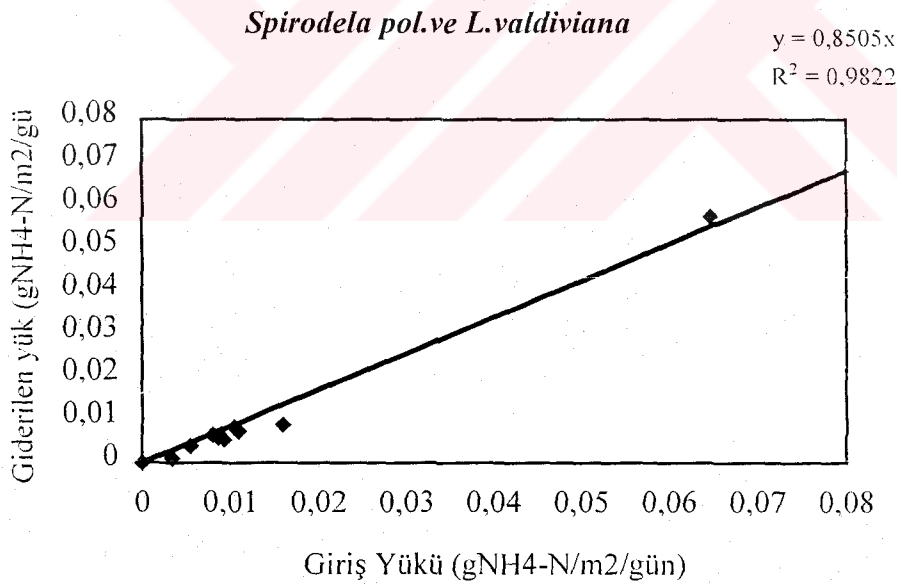
Şekil 4.2.8.'de giriş BOİ₅ yükü ve giderilen BOİ₅ yükü verilmiştir. 0,97-2,33 g/m²/gün giriş yüklerine karşılık giderilen yükler 0,47-1,58 g/m²/gün arasında değişmektedir. Şekil 4.2.9.'da giriş AKM yükü ve giderilen AKM yükü verilmiştir. 0,79-2,69 g/m²/gün giriş yüklerine karşılık 0,60-2,38 g/m²/gün arasında giderim sağlanmıştır. Şekil 4.2.10.'da giriş NH₄-N yüküne karşılık çıkış NH₄-N yükü verilmiştir. 0,0033-0,0647 g/m²/gün giriş yüklerine karşılık 0,0011-0,0574 g/m²/gün arasında giderim sağlanmıştır.



Şekil 4.2.8. *Spirodela pol* ve *L. valdiviana* sisteminde giriş BOİ₅ yüküne karşılık giderilen BOİ₅ yükü



Şekil 4.2.9. *Spirodela pol.* ve *L. valdiviana* sisteminde giriş AKM yüküne karşılık giderilen AKM yükü

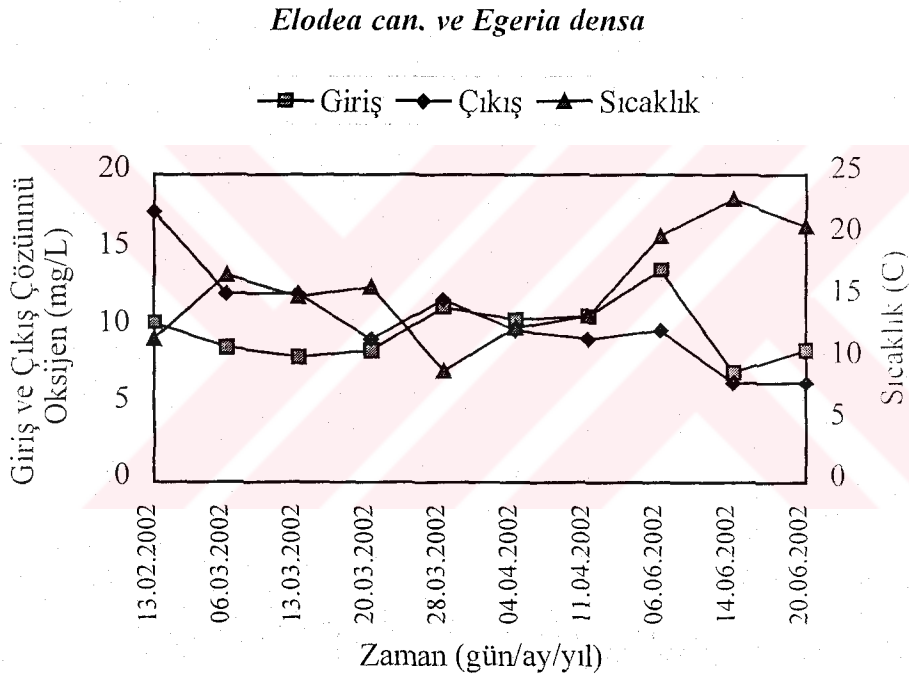


Şekil 4.2.10. *Spirodela pol* ve *L. Valdiviana* sisteminde giriş NH₄-N yüküne karşılık giderilen NH₄-N yükü



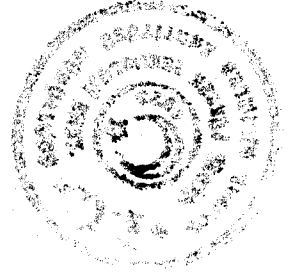
4.3. *Elodea canadensis* ve *Egeria densa*

Elodea canadensis ve *Egeria densa* bitkilerinin bulunduğu sisteme atıksu verilmiş, giriş ve çıkış suyuna ait parametrelerin konsantrasyonları farklı zamanlarda ölçülmüştür. Şekil 4.3.1.'de çözünmüş oksijen giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonları verilmiştir. Giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonları 7,2-13,8 mg/L, çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonları 6,5-17,6 mg/L arasında değişmektedir. Şekil 4.3.2.'de giriş ve çıkış AKM konsantrasyonları verilmiştir. Giriş AKM konsantrasyonları 12-40 mg/L ve çıkış AKM konsantrasyonları 1-9 mg/L arasında elde edilmiştir.

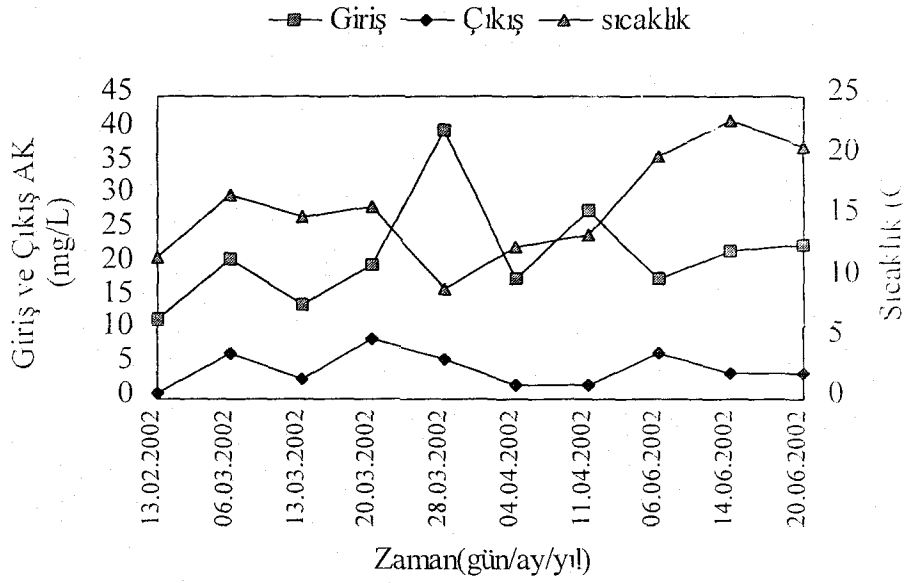


Şekil 4.3.1. *Elodea can* ve *Egeria den.* sisteminin giriş ve çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonları

Şekil 4.3.3.'de *Elodea canadensis* ve *Egeria densa* bitkilerinin bulunduğu sistemin BOI_5 giriş ve çıkış konsantrasyonları gösterilmiş ve giriş konsantrasyonları 8,3-24,3 mg/L, çıkış konsantrasyonları 2,9-8,0 mg/L arasında değiştiği gözlenmiştir. Şekil 4.3.4.'de NH_4-N giriş ve çıkış konsantrasyonları gösterilmiştir. Giriş NH_4-N konsantrasyonları 0,0464-0,98 mg/L, çıkış konsantrasyonları 0,0172-0,07 mg/L arasında değişmektedir. 6.6.2002 tarihinde pik değerde (10,4 mg/L) giriş olmuş ve çıkış değeri 2,5 mg/L bulunmuştur.

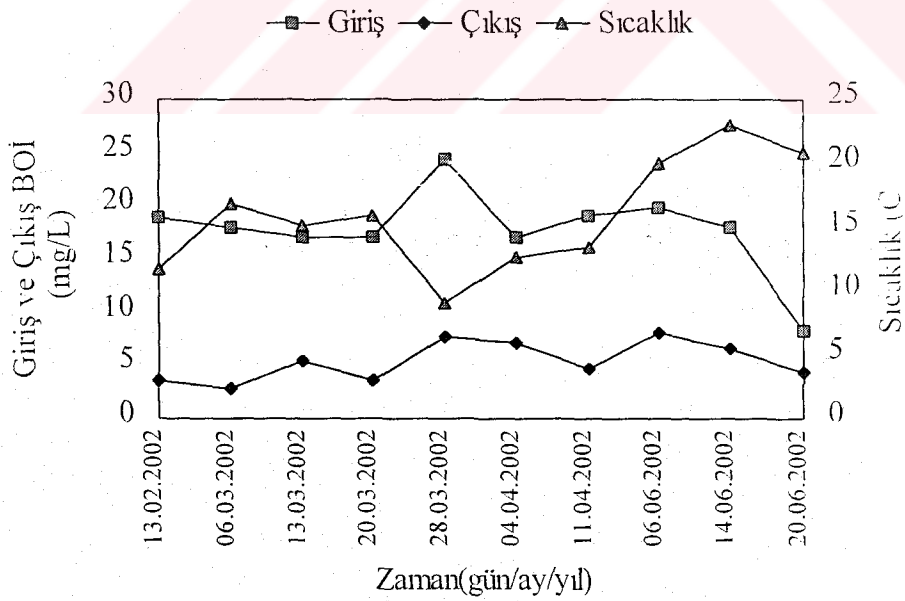


Elodea can. ve Egeria densa



Şekil 4.3.2. *Elodea canadensis* ve *Egeria densa* sisteminin giriş ve çıkış AKM konsantrasyonları

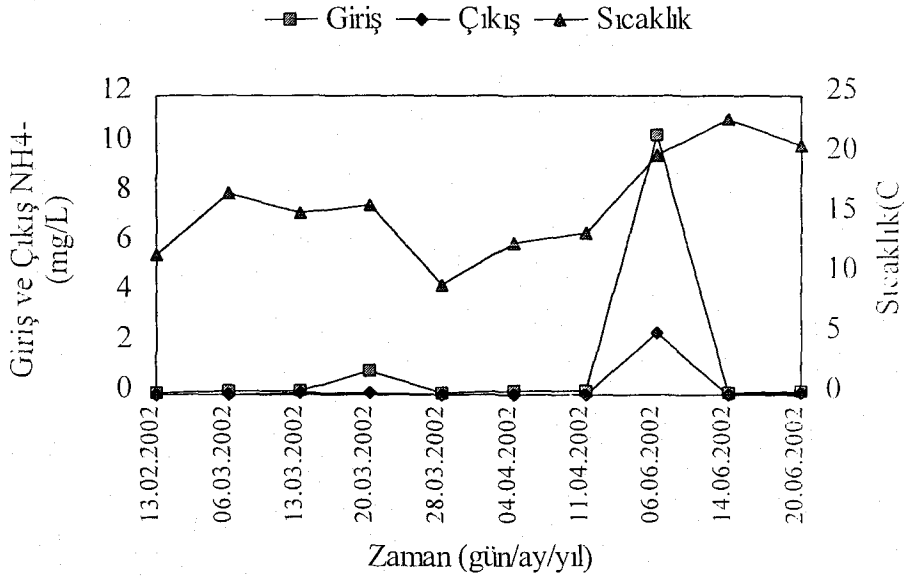
Elodea can. ve Egeria densa



Şekil 4.3.3. *Elodea can* ve *Egeria den.* sisteminin göre giriş ve çıkış BOI konsantrasyonları



Elodea can. ve Egeria densa

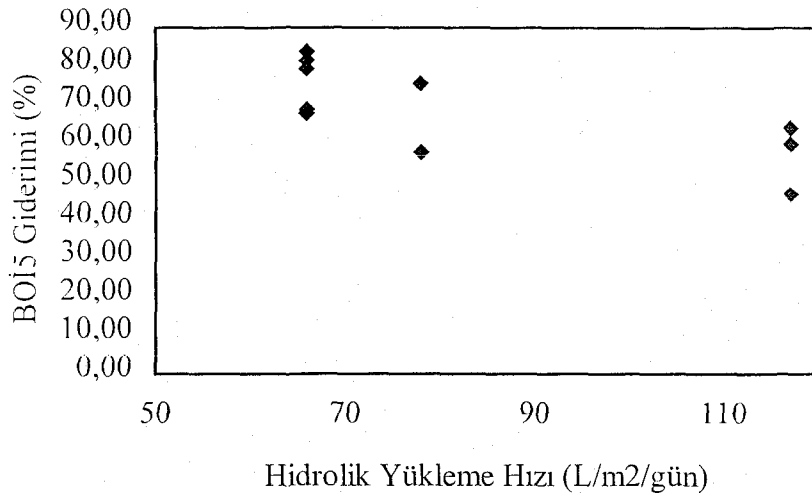


Şekil 4.3.4. *Elodea can* ve *Egeria den.* sisteminin giriş ve çıkış $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları

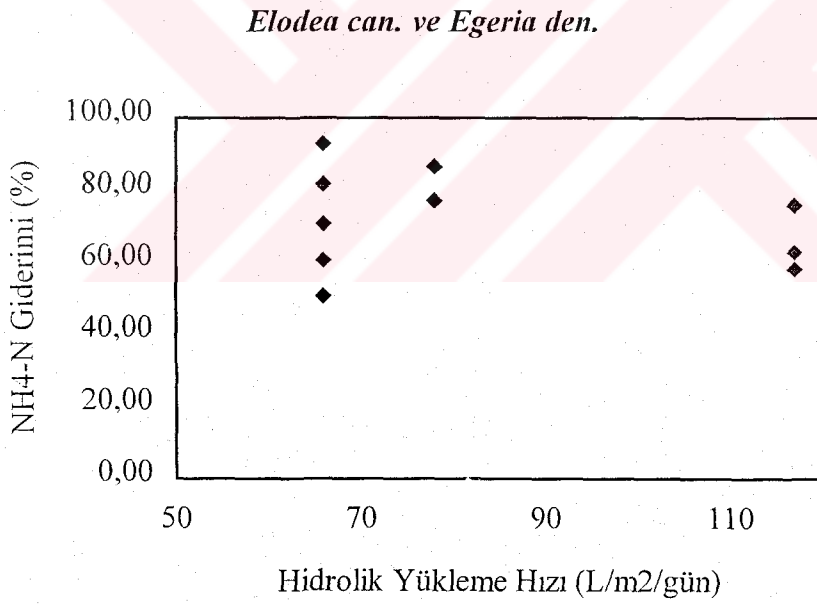
Elodea can. ve *Egeria densa* bitkilerinin bulunduğu sistemlere 66, 78 ve 117 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ hızlarında hidrolik yükleme yapılmış ve bu değerlere karşılık BOI_5 , AKM, $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimleri elde edilmiştir. Şekil 4.3.5'de *Elodea can.* ve *Egeria densa*'nın BOI_5 giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için ortalama giderim verimi %74, 78 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %67, 117 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %57 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %69'dir. Şekil 4.3.6'da $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için ortalama %72, 78 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %82, 117 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %66 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %72'dir. Şekil 4.3.7'de AKM giderim verimleri verilmiştir. Hidrolik yükleme hızı 66 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için ortalama %76, 78 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %91, 117 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ için %75 olarak bulunmuştur. Sistemin genel ortalama giderim verimi %79'dir.



Elodea can. ve Egeria den.

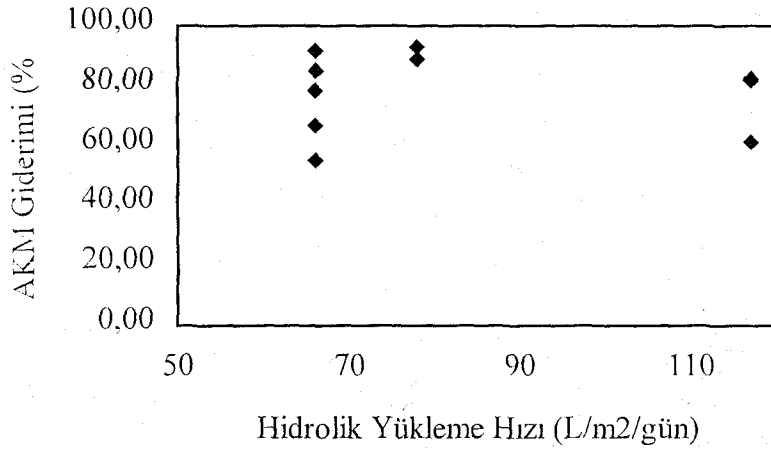


Şekil 4.3.5. *Elodea can* ve *Egeria densa* sisteminin BOI₅ giderim verimleri



Şekil 4.3.6. *Elodea can* ve *Egeria densa* sisteminin NH₄-N giderim verimleri

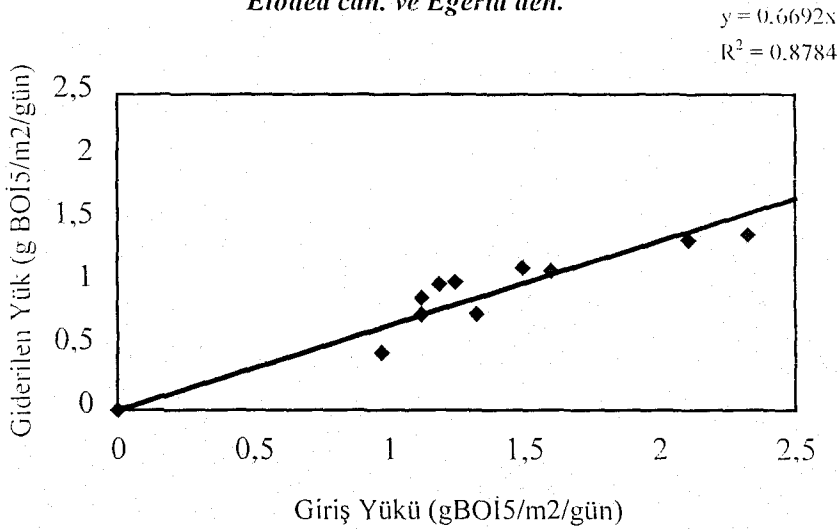
Elodea can. ve Egeria den.



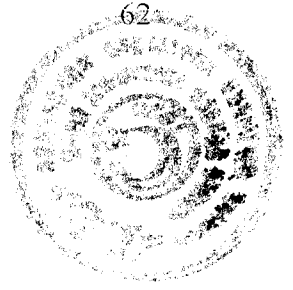
Şekil 4.3.7. *Elodea can* ve *Egeria den.* sisteminin AKM giderim verimleri

Şekil 4.3.8.'da giriş BOİ₅ yüküne karşılık giderilen BOİ₅ yükü verilmiştir. Giriş yükleri 0,97-2,33 g/m²/gün, giderilen yükler 0,46-1,4 g/m²/gün arasında değişmektedir. Şekil 4.3.9.'da giriş AKM yükü ve giderilen AKM yükü verilmiştir. 0,79-2,69 g/m²/gün giriş yüklerine karşılık 0,73-2,25 g/m²/gün arasında giderim sağlanmıştır. Şekil 4.3.10.'da giriş NH₄-N yükü ile giderilen AKM yükü verilmiştir. 0,0033-0,0647 g/m²/gün giriş yüklerine karşılık 0,0017-0,0093 g/m²/gün arasında giderim sağlanmıştır.

Elodea can. ve Egeria den.



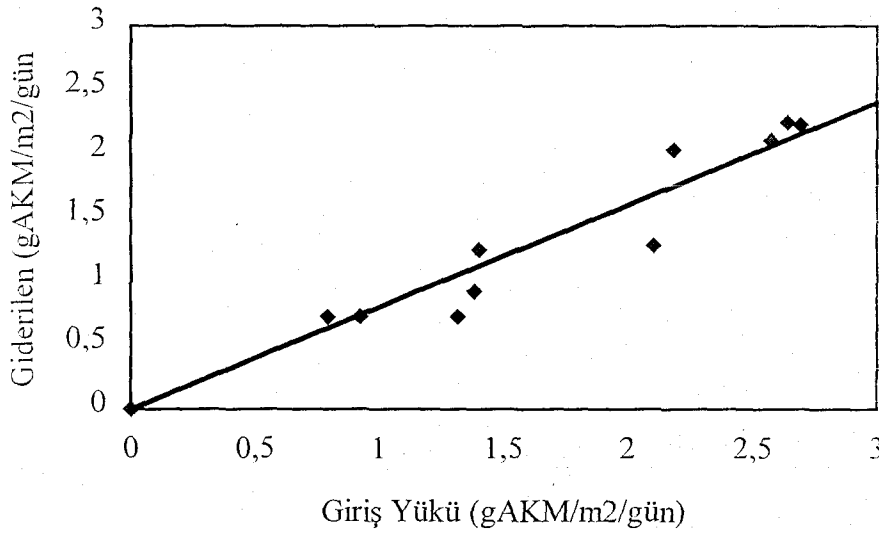
Şekil 4.3.8. *Elodea can* ve *Egeria den.* sisteminin giriş BOİ₅ yüküne karşılık giderilen BOİ₅ yükü



Elodea can. ve Egeria den.

$$y = 0,7994x$$

$$R^2 = 0,9253$$

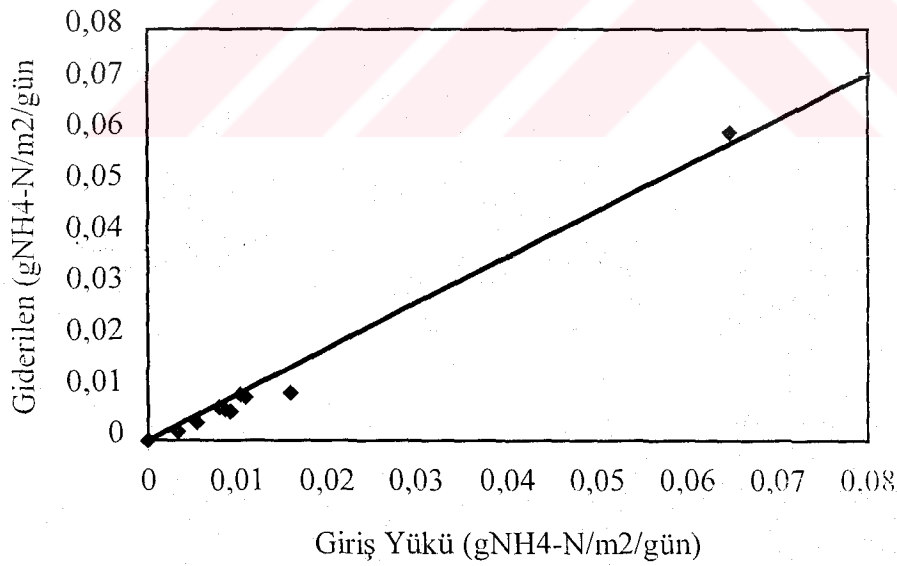


Şekil 4.3.9. *Elodea can* ve *Egeria den.* sisteminin giriş AKM yüküne karşılık giderilen AKM yükü

Elodea can. ve Egeria den.

$$y = 0,8925x$$

$$R^2 = 0,9836$$



Şekil 4.3.10. *Elodea can* ve *Egeria den.* sisteminin giriş NH₄-N yüküne karşılık giderilen NH₄-N yükü

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER



İçme suyu kaynağı olarak kullanılan yüzeysel suların doğal arıtma sistemleri ile kontrol edilebilirliğini araştırmak üzere TÜBİTAK-MAM Gebze Kampüsü'nde kurulan sistemler, dere ve baraj gibi yüzeysel sulara gelen suyu temsil niteliğine sahip olduğu düşünülen Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suları ile beslenmeye Eylül 2001 tarihinde başlanmıştır. Bu çalışma, 13 Şubat 2002 ve daha sonrasında yapılan deneyleri içermektedir.

Phragmites sp, *Spirodela polyrhiza* - *Lemna valdiviana* ve *Elodea canadensis*-*Egeria densa* bitkilerinin bulunduğu sistemlerde zaman zaman çıkış çözünmüş oksijen konsantrasyonu giriş konsantrasyonuna göre farklı eğriler çizdiği gözlenmiş, hatta çıkış değerleri giriş değerlerinden fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sistemlerde nitrifikasyon ve biyolojik parçalanma için mikroorganizmalar çözünmüş oksijeni tüketirler. Ancak mikroorganizma faaliyetlerinin yanı sıra, sistemler doğal şartlarda ve atmosfere açık ortamda olduğu için çevresel şartlar da (atmosferik şartlar, sistemde oluşabilecek arızalar,... gibi) çözünmüş oksijen konsantrasyonu değişiminde rol oynamaktadır. 06.06.2002 tarihli deneylerde giriş çözünmüş oksijen konsantrasyonu artarken çıkış oksijen konsantrasyonunun azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi sistemlerin 1 ay süresince işletilememesi ve sistemdeki çözünmüş oksijenin mikroorganizmalar tarafından tüketilmesidir.

Phragmites sp bitkisinin bulunduğu sistemde BOI_5 giderimi için genel ortalama giderim verimi %70'dir. Sistemin genel ortalama NH_4-N giderim verimi %81, AKM giderim verimi %75'dir.

Bu bitki sistemine gelen $0,97-2,33 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ giriş BOI_5 yüklerine karşılık giderilen yükler $0,73-1,51 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında değişmektedir. $0,79-2,69 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ giriş AKM yüklerine karşılık $0,60-2,25 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında giderim sağlanmıştır. Giriş NH_4-N yükleri $0,0033-0,0647 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında değişirken, giderilen yük miktarı $0,0023-0,0607 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında değişmiştir.

Spirodela polyrhiza ve *Lemna valdiviana* bitkilerinin bulunduğu sistemde BOI_5 giderimi için genel ortalama giderim verimi %67, $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimi %67, AKM giderim verimi %81 bulunmuştur.

Bu bitki sistemine gelen $0,97\text{-}2,33 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ giriş BOI_5 yüklerine karşılık giderilen yükler $0,47\text{-}1,58 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında değişmektedir. $0,79\text{-}2,69 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ giriş AKM yüklerine karşılık $0,60\text{-}2,38 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında giderim sağlanmıştır. $0,0033\text{-}0,0647 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ giriş $\text{NH}_4\text{-N}$ yüklerine karşılık $0,0011\text{-}0,0574 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında giderim sağlanmıştır.

Elodea canadensis ve *Egeria densa* bitkilerinin bulunduğu sistemin genel ortalama BOI_5 giderim verimi %69'dir. Sistemin genel ortalama $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimi %72, AKM giderim verimi %79'dir.

Bu bitki sistemine gelen giriş BOI_5 yükleri $0,97\text{-}2,33 \text{ g/m}^2/\text{gün}$, giderilen yükler $0,46\text{-}1,4 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında değişmektedir. $0,79\text{-}2,69 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ giriş AKM yüklerine karşılık $0,73\text{-}2,25 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında giderim sağlanmıştır. $0,0033\text{-}0,0647 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ giriş $\text{NH}_4\text{-N}$ yüklerine karşılık $0,0017\text{-}0,0093 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ arasında giderim sağlanmıştır.

Tablo 5.1.'de arıtma sistemlerinin yıllık ortalama çıkış değerleri (mg/L) ve bu değerlerin İSKİ ve SKKY limitlerine göre karşılaştırmaları verilmiştir.

Tablo5.1. Arıtma sistemlerinin yıllık ortalama çıkış değerleri (mg/L)

Bitki Türü	pH	Sıcaklık °C	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	AKM (mg/L)
<i>Phragmites sp</i>	7,8	16,04	8,33	5	0,304* 0,026	5
<i>Spirodela pol.</i> + <i>Lemna val</i>	6,9	15,36	9,52	6	0,322* 0,046	4
<i>Elodea can</i> + <i>Egeria den</i>	8,3	15,86	10,55	5	0,284* 0,037	4
İSKİ Limitleri**	6,5-9,5			20		20
SKKY***	1. Sınıf	6,5-8,5	25	8	4	0,2
	2. Sınıf	6,5-8,5	25	6	8	1
	3. Sınıf	6,0-9,0	30	3	20	2
	4. Sınıf	6,0-9,0	>30	<3	>20	>2

*: NH₄-N için pik değerler

**: İSKİ Havza Koruma Limitleri

***: Su Kirliliği Koruma Yönetmeliği 4 Eylül 1988 Sayı: 19919, Resmi Gazete

Köklü, batık ve yüzücü bitkilerin bulunduğu sistemlerinin $\text{NH}_4\text{-N}$, BOI_5 ve AKM giderim verimi açısından karşılaştırılması ve en iyi verim elde edilen sistem aşağıda verilmiştir. $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi ortalama olarak %74 bulunmuştur. $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimi açısından *Phragmites sp* bitkisinin bulunduğu sistemde en iyi verim (%81) elde edilmiştir.

BOI_5 giderim verimi ortalama olarak %69'dur. BOI_5 giderim verimi açısından bitki sistemleri arasında fazla bir fark görülmemiştir. *Phragmites sp* bitkisinin bulunduğu sistemde %70 BOI_5 giderim verimi elde edilmiştir.

AKM giderim verimi ortalama olarak %79'dur. Üç bitki sisteminin AKM giderimi birbirine yakın olmakla birlikte en iyi giderimin *Spirodela polyrhiza* ve *Lemna valdiviana* bitkilerinin bulunduğu sistem ile (%81) sağlandığı gözlenmiştir.

Bütün sistemlerden elde edilen sonuçlara göre sistemlerin çıkış konsantrasyonları İSKİ Havza Koruma Limitlerini sağlamıştır ve SKKY göre de 2. Sınıf kategoriye girmektedir.

6. ÖNERİLER

Verilerden elde edilen sonuçlara göre *Phragmites sp.* köklü bitkisi bitkisi sistemi, *Spirodela polyrhiza* ve *Lemna valdiviana* bitkileri sistemi ile *Elodea canadensis* ve *Egeria densa* bitkilerinin bulunduğu sistem ile AKM, BOI_5 ve $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimlerinin hangi hidrolik yükleme hızlarına kadar yüksek verimde elde edilebileceğini tespit edebilmek için daha fazla veriye ihtiyaç vardır.

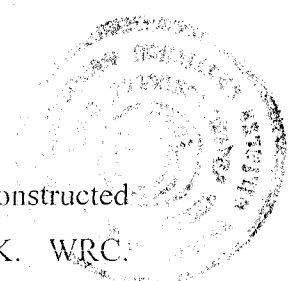
Bu çalışmada günlük buharlaşma miktarları elde edilemediğinden buharlaşmanın konsantrasyona ne gibi bir etkisi olduğu tespit edilememiştir. Bundan sonra yapılabilecek çalışmalarda buharlaşma kayıpları da eklenebilir.

Bu sistemler aerobik şartlara göre dizayn edildiğinden nitrifikasyon ile $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi sağlanmış ve giderim değerleri ölçülmüştür. Ayrıca denitrifikasyon için gerekli anaerobik şartlar da oluşturularak $\text{NO}_3\text{-N}$ ve Toplam N giderimi de yapılabilir.

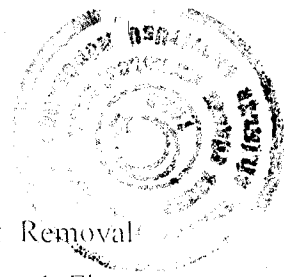


KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Ayaz Ç.S., Saygın Ö., Hydroponic Wastewater Treatment Garden: An Intermittant Recirculating Constructed Wetland., International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Viyana, 1996
2. Ayaz, ÇS, Akça, L. Sahil Bölgelerinde Atıksuların Yapay Sulakalanlar ile Arıtılması, TÜBİTAK_MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, 1998
3. Ayaz, Ç.S., Akça, L., Treatment of Wastewater by Natural Systems, Elsevier Sci., *Environment Int.*, 26, pp. 189-195, 2001
4. Bonomo L., Pastorelli, G., Advantages and Limitations of Duckweed Based Wastewater Treatment Systems, *Water Sci. And Tech.*, Vol. 35, No. 5 pp. 239-246, 1997
5. Börner, Einflussfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenklaranlagen, Schriftenreihe Wasservergöung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung, Band 58, TH Damstad, 1992
6. Brix H., Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants -the root-zone method. *Wat Sci Tech* 19:107-118, 1987
7. Caraco, N., Cole, J.J., Liken, G.E., A Cross-System study of Phosphorus Release from Lake Sediments. In, *Comperative Analysis of Ecosystems*, Springer Vrelag, pp. 241-258, 1991
8. Cooper, P.F., The Use of Reed Bed Systems to Treat Domestic Sewage: The European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems. In *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. G.A. Moshiri (Ed)., CRC Press, Boca Raton, 1993.

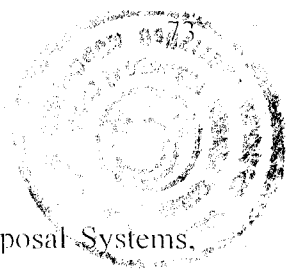
- 
9. Cooper P.F., Job G.D., Green M.B., Shutes R.B.E., Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Medmenham, Martow, UK. WRC Publications, 1996
 10. Cully, D.D., and E.A. Epps. Use of Duckweed for Waste Treatment and Animal Feed, *J. Water Pollut. Control Feed.* 44:327
 11. DeBusk, W. F. And K. R. Reedy, "Wastewater Treatment Using Floating Aquatic Macrophytes: Contaminant Removal Processes and Management Strategies" in K. R. Reedy and W. H. Smith, "Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery, Magnolia Publishing, pp.27-48, 1987
 12. DeBusk, W.F., Contaminant Removal Processes, Florida University, Gainesville, Wastewater Treatment Wetlands, 2002
 13. Fisher, M.M., Reddy, R.K., Water Hyacinth for Improving Eutrophic Lake Water, Water Quality and Mass Balance, pp.969-976, 1987
 14. Gachter, R., Mayer, J.S., The Role of Microorganisms in Mobilization and Fixations of Phosphorus in Sediments, *Hydrobiologia* 253, 103-121, 1993
 15. Greenway M., Woolley A., Constructed Wetlands in Queensland: Performance Efficiency and Nutrient Bioaccumulation, Elsevier Science, Ecological Engineering, pp. 39-55, Australia, 1999
 16. Haberl R., Perfler R., Laber J., Grabber D., Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europa , Ed. Vymozal J., Brix H., Cooper P.F., Backhuys Publishers, Netherlands, 1998.
 17. Hozhina E.I., Khramov A.A., Gerasimov P.A., Kumarkov A.A.. Uptake of Heavy Metals, Arsenic, Antimony by Aquatic Plants in The Vicinity of ore mining and processing industries, Elsevier Sci, *Journal of Geochemical Exploration*, 74, pp. 153-162, 2001

18. İSKİ Projesi, Su Havzalarına Gelen Noktasal ve Yayılı Kirlenici Yüklerin Kontrolü İçin Doğal Arıtma Teknolojilerinin Kullanılması, TÜBİTAK-MAM ESÇAE, 2002
19. Jewell W. J., and, B. L. Seabrook, A History of Land Application as a Treatment Alternative, EPA 430/9-79-012, USEPA, Washington, DC, 1979
20. John C. Tucker, K.R. Reddy, M. Agami, Influence of Nitrogen Supply Rates on Growth and Nutrient Storage by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Plants, 36 AQUATIC BOTANY 33 (1989)
21. Juwarkar A.S., Oke B., Juwarkar A., Patnaik S.M., Domestic Wastewater Treatment Through Constructed Wetland in India, Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No. 3, pp. 291-294, 1995
22. Kadlec, H.R., Overview Surface Flow Constructed Wetlands Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No 3., pp. 1-2, 1995
23. Kadlec, H.R., Knight, R.L., Treatment Wetlands, Lewis Publisher, FL, USA, 1996
24. Keskinan O., Göksu M. Z. L., Yüceer A., Başbüyük M., Forster C. F., Heavy Metal Adsorption Characteristics of a Submerged Aquatic Plant (*Myriophyllum spicatum*), 2003
25. Knight R.L., Wetlands for Wastewater Data Base Presented at Int. Wetlands in Water Pollution Control, Sydney, Australia, Nov 29- Dec 3, 1992
26. Korkusuz A., Beklioğlu M., Demirel G. Atıksuların Arıtımında Ekilmiş Sulakalanlar, IV. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 7-10 Kasım. İçel. Türkiye 2001
27. Lavid N., Barkay Z., Elisha Tel-Or, Accumulation of Heavy Metals in Epidermal Glands of The Waterlily (*Nymphaeaceae*), Planta, 212, pp. 313-322. 2001



28. Luederitz V., Eckert E., Lange M. W., Gersberg R. M., Nutrient Removal Efficiency and Resource Economics of Vertical Flow and Horizontal Flow Constructed Wetlands, Elsevier Sci., Ecological Eng., 18, pp. 157-171, 2001
29. Muslu, Y., Atıksuların Arıtılması Cilt-2, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1996
30. Metcalf and Eddy, Inc. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill, New York, NY, 1991
31. Ngo, V., Boosting Pond Performance with Aquaculture, Operations Forum. 4:20, 1987
32. Paul V. Z., Margaret S. H., Quantification of Epiphyte Removal Efficiency from Submersed Aquatic Plants, Elsevier Sci., Aquatic Botany, 58, pp. 173-179, 1997
33. Reed, S.C., E.J. Middlebrooks, and R.W. Crites, Natural Systems for Waste Management and Treatment, McGraw-Hill, New York, 1988
34. Reed S.C., Crites R.W., Handbook of Land Treatment Systems for Industrial and Municipal Wastes, Noyes Publications, Park Ridge, NJ, USA, 1984
35. Reed S.C., Zirschky, J., The Use of Duckweed for Wastewater Treatment. J. Water Pollution Control Fed., Vol. 60, pp. 1253-1258, 1988
36. Reddy, K.R., DeBusk, T.A., State of The Art Utilization of Aquatic Plants in Water Pollution Control, Water Sci. And Tech., Vol. 19, No. 10, pp. 61-79, 1987
37. Reddy K.R., D'Angelo, E.M., Biogeochemical Indicators to Evaluate Pollutant Removal Efficiency in Constructed Wetland, Water Sci. And Tech. 35 (5), pp. 1-10, 1997
38. Richardson, C.J. and D.S. Nichols., Ecological Analysis of wastewater Management Criteria in Wetland Ecosystems, in Ecological in Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, New York, p.340, 1985

39. Schierup H., Brix H., Losenzen B., Wastewater Treatment in Constructed Reed Beds in Denmark-State of the art., pp. 495-504, 1990
40. Seidel, K., Macrophytes and Water Purification. Biological Control of Water Pollution. J. Tourbier and R.W. Peterson Jr., eds. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, PA., 1976
41. Seidel, K., The Cleansing of Bodies of Water by Higher Plants. Garten und Landschaft, 1987
42. Shutes, R.B.E., Urban Pollution Research Centre, Middlesex University. Bounds Green Road, London, U.K., 2001
43. Singhal V., Rai J.P.N., Biogas Production from Water Hyacinth and Channel Grass used for Phytoremediation of Industrial Effluents, Elsevier Science, Bioresource Tech., 221-225, 2002
44. Soltan M.E., Rashed, M.N., Laboratory Study on the Survival of Water Hyacinth under Several Conditions of Heavy Metal Consantrations. Chemistry Department, Faculty of Science, Aswan, Egypt, 2001
45. Standart Metheds for the Examination of Water and Wastewater. 20th Ed. APHA. AWWA.WEF, 1998
46. Stephenson M., Turner G., Pope P., Colt J., Knight A., Tchoabanoglous G.. The Use and Potantial of Aquatic Species for Wastewater Treatment. in Appendix A: The Environmental Requirements of Aquatic Plants, Publication No.65, 1980
47. Stowell, R., R. Ludwing, J. Colt and G. Tchobanoglous, "Consepts in Aquatic Treatment System Design" Journal of Environmental engineering Division Proceedings ASCE, vol. 57, no. EE5, 1981
48. Tchobanoglous, G. F. Maitski, K. Thomson, and T. H. Chadwick :Evolution and Performance of City of San Diego Pilot Scale Aquatic Wastewater Treatment System Using Water Hycianths, Journal WPCF, vol. 61, no. 11/12, 1989



49. US-EPA Design Manuel; Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems, EPA 625/1-80-012, 1994
50. Watson, J.T., S.C. Reed, R.H. Kadlcc, R.L. Knight and A.E. Whitehouse, Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands, in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Endustrial and Agricultural, 309, 1989
51. Weiping Hu, Salomonsen J., Fu-Liu Xu, Peiming Pu, a Model for Effects of Water Hyacinths on Water Quality in an Experiment of Physico-biological in Lke Taihu, China, Elsevier Sci., Ecological Modelling, 107, pp. 171-188, 1998
52. Wilson P. C., Whitwell T., Klaine S. J., Metalaxyl and Simazine Toxicity to and Uptake by *Typha latifolia*, Environmental Contamination Toxicology, 39, pp.282-288, USA, 2000
53. Zeren, O., Uysal, Y., Yüzen Su Bitkisinin (*Lemna minor*) Atıksu Arıtım Sistemlerinde Kullanılması, 1. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, 22-28 Haziran, 1998



ÖZGEÇMİŞ

6 Şubat 1979 tarihinde İstanbul'da doğan Cihan YILMAZ, ilk ve ortaokul ile liseyi İstanbul'da tamamladı. Daha sonra Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırdı ve buradan 2000 yılında mezun oldu. 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü yüksek lisans eğitimine başladı

