

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAMPÜS ATIKSULARININ  
YAPAY SULAKALANLARLA ARITIMI**

**Muhsin NAZ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2008**

Doç. Dr. M. İrfan Yeşilnacar danışmanlığında, Muhsin NAZ'ın hazırladığı “Kampüs Atıksularının Yapay Sulakalanlarla Arıtımı” konulu bu çalışma ....../.../2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman :

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

**Bu Tezin Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**

**Prof. Dr. İbrahim BOLAT**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma DPT ve HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**  
**DPT Proje No: DPT 2007K120960**  
**HÜBAK Proje No: 795**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	v
SİMGELER DİZİNİ .....	vi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Yapay Sulakalanların Tarihçesi.....	3
1.2. Yapay Sulakalanların Tipleri.....	5
1.2.1. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalanlar .....	5
1.2.2. Yüzealtı akışlı yapay sulakalanlar .....	8
1.2.3. Hibrid sistemler .....	10
1.3. Yapay Sulakalanların Bileşenleri .....	11
1.3.1. Hidroloji .....	11
1.3.2. Sulakalan zemini, sediment ve katı atıklar .....	12
1.3.3. Vejetasyon .....	13
1.3.4. Mikroorganizmalar .....	16
1.3.5. Hayvanlar .....	16
1.3.6. Estetik ve görünüm.....	17
1.4. Yapay Sulakalanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları .....	17
1.5. Yapay Sulakalanlarının Tasarım Kriterleri.....	21
1.5.1. Yer seçimi ve zemin özellikleri .....	21
1.5.2. İklim .....	22
1.5.3. Hidroloji .....	22
1.5.4. Vektör kontrolü .....	23
1.5.5. Ön tasfiye .....	24
1.5.6. Vejetasyon .....	24
1.6. Yapay Sulakalanların Dizayn Parametreleri.....	24
1.7. Yapay Sulakalan Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları .....	25
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	27
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	33
3.1. Kampüsler ve Kampüs Atıksuları .....	33
3.2. Çalışma Alanı .....	36
3.3. Bölgede Yürütülen Arazi Çalışmaları ve Kullanılan Bitkiler.....	37
3.3.1. Phragmites australis (kamuş).....	39
3.3.2. Kana çiçeği (canna indica) .....	40
3.4. Kullanılan Dolgu Malzemesi.....	40
3.5. Kullanılan Atıksu Özellikleri .....	41
3.6. Serbest ve Yüzealtı Akışlı Yapay Sulakalanların Tasarımı .....	42
3.6.1. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalan tasarımı .....	43
3.6.2. Yüzealtı akışlı yapay sulakalan tasarımı.....	45
3.7. Reaktörlerin Giriş-Çıkış Yapıları, Montajı ve İşletime Alınması.....	48
3.8. Atıksu Analiz Yöntemleri .....	52
3.8.1. pH.....	52
3.8.2. KOİ.....	53
3.8.3. BOİ5 .....	53
3.8.4. AKM.....	53
3.8.5. TP ve TN .....	53

3.9. Sistem İşletim Koşulları .....	53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	55
4.1. YAYS ve SYYS Sistemlerinin pH Değişimi .....	55
4.2. KOİ Giderimi .....	56
4.2.1. YAYS KOİ giderimi .....	57
4.2.2. SYYS KOİ giderimi .....	59
4.3. BOİ Giderimi .....	61
4.3.1. YAYS BOİ giderimi .....	61
4.3.2. SYYS BOİ giderimi .....	63
4.4. TP Giderimi .....	66
4.4.1. YAYS TP giderimi .....	66
4.4.2. SYYS TP giderimi .....	68
4.5. TN Giderimi .....	70
4.5.1. YAYS TN giderimi .....	71
4.5.2. SYYS TN giderimi .....	72
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	75
KAYNAKLAR .....	79
ÖZGEÇMİŞ .....	83
ÖZET .....	84
SUMMARY .....	86

## ÖZ

### Yüksek Lisans Tezi

## KAMPÜS ATIKSULARININ YAPAY SULAKALANLARLA ARITIMI

**Muhsin NAZ**

**Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. M. İrfan Yeşilnacar  
Yıl: 2008, Sayfa: 87**

Bu çalışma; kampüs atıksularının yapay sulakalanlarla arıtılabilirliğini araştırmak ve ideal yapay sulakalan tipini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsüne, serbest yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı iki adet, laboratuvar ölçekli yapay sulakalan sistemi inşa edilmiştir. Sistemler, Ekim 2007 ile Temmuz 2008 arasında kalan 10 aylık süre zarfında işletilmiştir. Her iki sisteme de, Güneydoğu Anadolu Bölgesine adapte olmuş *Phragmites australis* bitkisi ekilmiştir. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminde, dolgu malzemesi olarak, piyasadan kolaylıkla temin edilebilecek nehir çakılı kullanılmıştır. Reaktörler sürekli olarak sentetik atıksu ile beslenmiştir. İşletim süresi boyunca sistemlere, farklı hidrolik ve organik yüklemeler yapılmış olup, sistemlerin BOİ, KOİ, TP ve TN giderim verimleri saptanmıştır. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminde; % 40.8 & % 98 BOİ, % 47.1 & % 96.1 KOİ, % 0 & % 44.7 TP ve % 19.3 & % 42.6 TN giderimi sağlanmıştır. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalan sisteminde ise; % 62.5 & % 98.4 BOİ, % 0 & % 92.7 KOİ, % 0 & % 31 TP ve % 35.1 & % 46 TN giderim verimleri elde edilmiştir. Her iki sistemin de, şok yüklemelere karşı toleranslı olduğu saptanmıştır. Yüzeyaltı akışlı sistemin çıkış suları kirletici konsantrasyonları, deşarj standartlarının altında kalmıştır. Serbest yüzey akışlı sistemde ise, yüksek derişimlere ulaşan alg nedeniyle, KOİ konsantrasyonları, bahar aylarında deşarj standardının oldukça üzerine çıkmıştır. İşletim süresince, yüksek salınımlar göstermeyen ve ideal arıtım verimi sağlanan yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminin, kampüs atıksularının arıtımı için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER :** Kampüs atıksuları, Atıksu arıtımı, Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan, Serbest yüzey akışlı yapay sulakalan.

## ABSTRACT

MSc Thesis

### TREATMENT of CAMPUS WASTEWATER by CONSTRUCTED WETLANDS

Muhsin NAZ

Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. İrfan Yeşilnacar  
Year: 2008, Page: 87

This study is conducted in order to determine the treatability of campus wastewaters by wetlands and specify the type of ideal wetlands. For this aim, one surface flow and one subsurface flow, total two lab scale wetlands were constructed in Harran University, Osmanbey Campus. These systems were observed for a 10 month period (between October 2007 - July 2008). In both systems, *Phragmites australis* plant which is adapted to South East Region of Turkey was cultivated. In subsurface flow constructed wetland system, river gravel which is easy to find, was used for filling material. Reactors always feed by synthetic wastewater. During the observation period of the two systems, different hydraulic and organic loadings were applied and BOD, COD, TP, and TN removing efficiencies of systems were determined. In subsurface flow constructed wetland systems % 40,8 & %98 BOD, % 47.1 & % 96.1 COD, % 0 & % 44.7 TP and % 19.3 & % 42.6 TN removing efficiency was recorded. On the other hand, in surface flow constructed wetland system, % 62.5 & % 98.4 BOD, % 0 & % 92.7 COD, % 0 & % 31 TP and % 35.1 & % 46 TN removing efficiency was recorded. The data states that both systems have tolerance against shock loading rates. It was also determined that pollutant concentrations in effluents of subsurface flow constructed wetland system are under discharge limit values. But in surface flow systems, in spring months, COD concentrations extremely exceeded the discharge limit values due to high concentrations of algae. It was determined that during the observed period, subsurface flow constructed wetland system is more suitable because of the facts that it didn't show high fluctuations and provided ideal removing efficiency.

**KEY WORDS** : Campus wastewater, Wastewater treatment, Subsurface flow constructed wetland, Surface flow constructed wetland.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi sürecinde, benim için yardım ve desteklerini esirgemeyen danışmanım, sayın Doç. Dr. M. İrfan Yeşilnacar'a teşekkürlerimi arz ederim.

Tezin hazırlanmasında çok büyük emeği olan, mükemmel çalışma şartlarına sahip bir laboratuvar ortamı hazırlayan, karşılaştığım güçlükleri aşmamı sağlayan ve benim için kıymetli zamanımı harcayan, sayın Doç. Dr. Sinan Uyanık'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması süresince, bilgi birikimi ve tecrübelerinden istifade etme imkânı bulduğum, sayın Yrd. Doç. Dr. Erkan Şahinkaya'ya büyük katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans öğrenimim süresince, yardımlarını benden esirgemeyen; sayın Çevre Yüksek Mühendisi İbrahim Naz'a, sayın Çevre Mühendisi Süleyman Töngüç'e, sayın Soner Ünal'a, sayın Çevre Mühendisi Alper Bayrakdar'a, sayın Araş. Gör. Deniz Uçar'a, sayın Çevre Mühendisi Murat Güngör'e, sayın Ozan Bekmezci'ye, sayın Beyza Çelikkanat'a, sayın Zeki Doğru'ya ve sayın Abdulvahap Ertan'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar ve arazi çalışmalarımın her kademesine, kıymetli zamanından feragat ederek katkıda bulunan sayın Çevre Mühendisi Ercan Alın'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca sevgilerini, anlayışlarını ve desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme en içten minnet ve şükranlarımı sunarım.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Yüzey akışlı yapay sulakalanaların genel görünümü.....	6
Şekil 1.2. Yüzey akışlı yapay sulakalanaların boyuna kesiti .....	7
Şekil 1.3. Yüzeyaltı akışlı sulakalanlar .....	8
Şekil 1.4. Yüzeyaltı akışlı sulakalanların boyuna kesiti.....	9
Şekil 3.1. Çalışma alanı blokaj teşkili .....	36
Şekil 3.2. Phragmites Australis .....	38
Şekil 3.3 Cattails (typha).....	38
Şekil 3.4. Juncus Effusus .....	39
Şekil3.5. Canna İndica .....	40
Şekil 3.6. Sistem dolgu malzemesi olarak yıkanmış nehir çakılı.....	41
Şekil 3.7. Serbest yüzey akışlı sistem giriş ve çıkış yapıları.....	48
Şekil 3.8. Yüzeyaltı akışlı sistem giriş yapısı.....	49
Şekil 3.9. Yüzeyaltı akışlı sistem çıkış yapısı .....	49
Şekil 3.10. Yüzeyaltı akışlı sistem giriş ve çıkış dolgu malzemesi.....	50
Şekil 3.11. Bitki ekimi sonrası genel görünüm .....	51
Şekil 3.12. YAYS ve SYYS, genel görünüm (Ekim ayı).....	51
Şekil 3.13. Atıksu besleme düzeneği .....	52
Şekil 4.1. YAYS ve SYYS pH değişimi .....	55
Şekil 4.2. YAYS, % KOİ giderimi.....	57
Şekil 4.3. YAYS, KOİ ve AKM değişimi .....	58
Şekil 4.4. SYYS, % KOİ giderimi .....	59
Şekil 4.5. SYYS, KOİ ve AKM değişimi .....	60
Şekil 4.6. YAYS, % BOİ giderimi.....	61
Şekil 4.7. YAYS, BOİ değişimi .....	62
Şekil 4.8. SYYS, % BOİ giderimi .....	64
Şekil 4.9. SYYS, BOİ değişimi.....	65
Şekil 4.10. YAYS, % TP giderimi .....	67
Şekil 4.11. YAYS, TP değişimi .....	68
Şekil 4.12. SYYS, % TP giderimi.....	69
Şekil 4.13. SYYS, TP değişimi.....	70
Şekil 4.14. YAYS, % TN giderimi .....	71
Şekil 4.15. YAYS, TN değişimi .....	72
Şekil 4.16. SYYS, % TN giderimi .....	73
Şekil 4.17. SYYS, % TN değişimi.....	74



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Yapay sulakalanlarda kullanılan köklü ve yüzücü bitkiler .....	15
Çizelge 1.2. Sulakalandaki giderim mekanizmaları.....	18
Çizelge 1.3. Yapay sulakalanlar için tipik boyutlandırma değerleri .....	25
Çizelge 3.1. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü nüfus tahminleri.....	33
Çizelge 3.2. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü 2010 güz dönemi atıksu debi tahmini.....	33
Çizelge 3.3. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü 2010 yaz dönemi atıksu debi tahmini .....	34
Çizelge 3.4. Arıtma tesisine gelecek atıksuyun kirlilik parametreleri .....	34
Çizelge 3.5. Evsel atıksuyun tipik özellikleri .....	34
Çizelge 3.6. Osmanbey Kampüsü atıksularının özellikleri .....	35
Çizelge 3.7. Cumhuriyet Üniversitesi kampüs atıksularının özellikleri .....	35
Çizelge 3.8. Ekim 2007-Haziran 2008 arasındaki ayların ortalama yağış, sıcaklık, buharlaşma ve nem verileri .....	37
Çizelge 3.9. Çalışmada kullanılan sentetik atıksu reçetesi .....	41
Çizelge 3.10. Sistem işletim koşulları.....	54
Çizelge 5.1. Evsel nitelikli atıksular için deşarj standartları .....	75

## SİMGELER DİZİNİ

AKM	Askıda Katı Madde
BOİ <sub>5</sub>	Beş Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
°C	Santigrad Derece
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
cm	Santimetre
ÇO	Çözünmüş Oksijen
DIN	Alman Endüstri Normu
EC	Elektriksel İletkenlik
EPA	Çevre Koruma Ajansı
FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	Demir(III) klorit heksahidrat
g	Gram
H	Hidrojen
ha	Hektar
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
K	Potasyum
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Anhidrus potasyum monohidrojenfosfat
kg	Kilogram
km	Kilometre
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
l	litre
m	metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
m <sup>3</sup>	Hetreküp
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
mm	milimetre
N	Azot
N <sub>2</sub>	Azot Gazı
N <sub>2</sub> O	Nitröz Oksit
Na	Sodyum
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Disodyum hidrojen fosfat dihidrat
NaCl	Sodyum klorit
NaHCO <sub>3</sub>	Sodyum hidrojen bikarbonat
NH <sub>3</sub>	Amonyak
NH <sub>4</sub> Cl	Amonyum klorit
NH <sub>4</sub> -N	Amonyum Azotu
NO <sub>3</sub> -N	Nitrat Azotu
O	Oksijen
Pb	Kurşun
PO <sub>4</sub> -P	Fosfat Fosforu
Q	Debi
S	Kükürt
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.
SYS	Serbest Yüzey Akışlı Sistem
SYYS	Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TN	Toplam Azot
TP	Toplam Fosfor
UV	Ultraviyole
YAS	Yüzeyaltı Akışlı Sistem
YAYS	Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan

## 1. GİRİŞ

Türkiye'de kabul edilen sulakalan tanımı Ramsar Sözleşmesi tanımıdır. Ramsar tanımı şu şekilde geçmektedir: "Derinliği 6 metreyi geçmeyen, doğal veya insan yapımı, sürekli veya geçici, durağan veya akan, tatlı, alkali veya tuzlu sazlık, bataklık, turbalık, sucul, göl ve denizel alanlardır. Sulakalanlar komşu ırmak ve kıyı zonlarını, sulakalan ile çevrili 6 metreden daha derin sucul ve denizel ortamları da içerir" (Uyanık ve ark., 2006).

Doğal sulakalanlar genelde dünyanın akciğeri olarak tanımlanır. Çünkü atıksular okyanuslara, nehirlere ve alıcı ortam olan göllere ulaşmadan, bu alanlar tarafından süzülürler, temizlenirler. Sulakalanlar, ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendi kendini yenileyebilme özelliğine sahiptir. Organik ve inorganik kirleticileri, askıda katı maddeyi, toksik maddeleri, ağır metalleri ve hastalık yapıcı mikroorganizmaları yüksek miktarda arıtım kapasitesine sahiptirler. Doğal sulakalanlar hem insanlığa hem de doğal hayata faydası olan fonksiyonları icra ederler. Bunlardan en önemlisi su filtrasyonudur. Su, sulakalan boyunca ilerlerken hızı azalır ve su içerisindeki askıda katı maddeler ya bitkiler tarafından tutulur ya da çökelirler. Akış sırasında aynı anda, çözünmüş organikler bitkiler tarafından özümsenebilecek forma dönüşür. Sulakalan bitkileri mikroorganizmalar için ideal ortamlardır. Bir dizi kompleks proses boyunca, bu mikroorganizmalar sudaki kirliliği zararsız formlara dönüştürür veya ortamdan tamamen giderebilirler. Azot, fosfor gibi ötrafikasyona neden olabilecek kirlilikler içeren atıksulardaki nütrientler, sulakalan toprağı tarafından absorblanır, bitkiler tarafından tüketilebilir veya ortamdaki bakteriler tarafından nitrifikasyon ve denitrifikasyonla giderilebilir (Uyanık ve ark., 2006).

Bu sistemlerin suyu temizleme kapasitesini gören mühendisler ve bilim adamları, doğal sulakalanları taklit edici sistemler olan yapay sulakalanları geliştirmeye başlamışlardır. Yapay sulakalanlar, doğal sulakalan bitkilerini, toprağını

ve bunlarla ilişkili mikroorganizmaları kullanarak arıtımı gerçekleştiren sistemlerdir (Uyanık ve ark., 2006).

Çevredeki doğal malzeme kullanılarak ihtiyaç büyüklüğünde hazırlanan havuzlarda, atıksuyun filtre edilmesi ve yetiştirilen sulakalan bitkileri ile suyun arıtılması esasına dayanan bu sistem, doğal yapının küçük taklitleridir. Yapay sulakalanlar, doğal sulakalanların sahip olduğu arıtma kapasitesinin tamamına sahiptir.

Yapay sulakalanların birkaç çeşidi vardır (Korkusuz, 2004). Bunlar:

- Yüzeysel akışlı sulakalanlar,
- Yüzeyaltı akışlı sulakalanlar,
  - Yatay akışlı yüzeyaltı sistemler,
  - Düşey akışlı yüzeyaltı sistemler,
- İki sistemin birleşiminden oluşan hibrid sistemler.

Bunlardan ilk ikisi en yaygın kullanılanlardır. İki tipte de arıtım için, suda gelişen bitki topluluğundan yararlanılır. Ancak atıksuyun, arıtım esnasında tesis de ilerlediği yollar farklıdır. İsimlerinden anlaşıldığı üzere, yüzeyaltı akışlı sistemlerde atıksu görünmezken, yüzeysel akışlı sistemlerde, atıksu toprak yüzeyinde bitki kökleri arasında akışını gerçekleştirir.

Son yıllarda yeni kurulan üniversiteler, kampüsler olarak yerleşkelerini oluşturmaktadır. Oluşturulan bu kampüslerin yerleşim alanlarının dışında olması nedeniyle, altyapı sorunlarını kendilerinin çözme zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Şehir merkezlerine yakın üniversite yerleşkeleri, atıksularını şehir kanalizasyonuna verebilirken, kampüsler atıksularını arıtmadan, doğal alıcı ortamlara vermek zorunda kalmaktadır. Çevre korumada en hassas olması gereken en yüksek eğitim kurumları olan üniversiteler, arıtma tesisleri eksiklikleri nedeniyle çevreye zarar vermektedir.

Üniversite kampüsleri estetik ve teknolojik açıdan, buldukları yöreye ışık tutan kurumlar olmalıdır. Bu nedenle, üniversiteler çevre korumada hassas olduğunu

göstermeli ve yapacakları arıtma tesislerinde geleneksel yöntemler dışında, bölgenin ihtiyaçları, ekonomisi, iklimi göz önünde bulundurularak, yöre halkına örnek arıtma tesisleri yapmalıdır. Atıksu arıtma sistemlerinden olan yapay sulakalan sistemleri, tüm arıtma sistemleri arasında her açıdan ekonomik oluşu, işletiminin kolay olması, koku probleminin nispeten az olması, sıcak iklimlerde verimlerinin yüksek olması ve çıkış suyu kalitesinin sulama amaçlı kullanılabilir olması gibi özelliklerinden dolayı, kullanım alanı gelişmekte olan bir metottur.

Bu çalışmanın amacı, geniş araziler üzerine kurulmuş olan kampüslerin atıksularının, diğer alternatiflerine göre çok daha ekonomik ve eşdeğer arıtım performansına sahip olan yapay sulakalanlarla arıtılabilirliğinin araştırılması, maksimum verimle arıtımı gerçekleştirecek en uygun sulakalan tipinin belirlenmesi ve sistemlerin işletiminde ortaya çıkabilecek sorunlara çözüm önerilerinin getirilmesidir. Buna ek olarak, yapay sulakalan sistemlerinin Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki verimliliğinin belirlenmesi ve yine bu bölgeye adapte olmuş sulakalan bitki türlerinin saptanması bu çalışmanın amaçlarındandır.

Yapılacak olan çalışma dâhilinde, yörede saptanmış ve deneme sürecinden geçmiş olan sulakalan bitki türleri uluslararası bilime yeni katkı sağlayacaktır. Ülkemizde artan bir ivmeyle çoğalan üniversitelerimizin kampus nüfusu ve dolayısıyla kampus atıksularının, alıcı ortama direk deşarj edilerek doğal dengeyi bozması yerine, diğer yöntemlere göre daha doğal ve ekonomik bir metot olan sulakalanlarla, ekolojik dengeye katkıda bulunarak arıtılabileceği ortaya konacaktır. Ayrıca bu çalışma Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü için yapılması düşünülen pilot bir arıtma tesisi için de, yetkililere karar aşamasında ışık tutacaktır.

### **1.1. Yapay Sulakalanların Tarihçesi**

Yapay sulakalanlarla atıksuların arıtımı ile ilgili ilk çalışma 1950'li yılların başlarında Almanya'da gerçekleşmiştir. Bu çalışma; küçük çaplı bir model olarak yapay sulakalan arıtım sisteminin yapımı ve bu konudaki araştırmaları içermektedir. Bunu izleyen yıllarda yapılan daha detaylı bir çalışmada ise bir çok sucul bitkinin,

kimyasal kirleticilerin olumsuz etkilerini azaltma ve onları absorbe etme yönündeki yetenekleri saptanmıştır. 1953 yılında sonuçlanan bu çalışmada üç köşe (*Scirpus lacustris*) gibi bazı bitkilerin fenolleri, patojenik bakterileri ve diğer kirleticileri bertaraf etme yeteneğine sahip oldukları, bunun yanında da suda yetişen bazı bitkilerin kendi performanslarına yardımcı olan, çeşitli fizyolojik ve morfolojik değişiklikler sergiledikleri gözlemlenmiştir.

Bu konudaki bir başka önemli çalışma ise 1973 yılında Kadlec tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, 42 hektarlık bir alanı kaplayan ve bir havuz ile bir sazlık sistemden oluşan gerçek boyutlarda ve araştırma amaçlı bir yapay sulakalan inşa ettirilmiştir. Sistemde, suyun bir havuzdan çıkıp diğerine girerken içinden geçmesi amacıyla yönelik olarak yapılmış her biri 0.25 hektar yüzölçümünde üç adet sazlık oluşturulmuştur (Bahr ve ark., 1974). Bu çalışma gerçek boyutlarda bir sulakalanın arıtım performansını değerlendirmek için yapılmış en önemli çalışmalardandır.

1975 yılında, Pennsylvania Üniversitesinde bitkilerle biyolojik atıksu arıtımı konusunda ilk uluslararası konferans gerçekleştirilmiştir. Bu konferansın sonrasında konuya ilişkin araştırmalar büyük bir hızla gelişmiş ve küçük çaplı modeller oluşturulmuştur. Burada yapılan çalışmaların sonucunda septik tankların yerine, yapay sulakalan sisteminin kullanılmasının üstünlüğü ortaya konulmuştur (Sloey ve ark., 1978).

Yapay sulakalanların daha soğuk iklimlerdeki fonksiyonel yetenekleri konusunda en iyi bilgiler, 1979 yılında kurulan araştırma amaçlı bir sistemde, 1980-1984 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Büyüklükleri, konfigürasyonları, derinlikleri, yükleme oranları, kalış süreleri farklılıklar gösteren beş ayrı sazlık alan, bir yıllık süreyle soğuk bir iklimde test edilmiştir. Sazlıkların üstlerinde kış mevsiminde yaklaşık 10 cm kalınlığında buz katmanları oluşmuştur. Buz katmanının altından ise kış mevsimi süresince atıksu akışı gerçekleşmiştir. Sistemde kullanılan yegane bitki olan hasırotunun (*Typha angustifolia*) kış aylarında tamamen uykuda olan bir bitki olmadığının farkına

varılmıştır. Sistemin, kışın en soğuk aylarında azalan bir oranda olmasına rağmen, kabul edilebilir bir bertaraf etme mekanizması sunduğu ortaya çıkmıştır. Sonuçlara göre, 200 m<sup>3</sup>/ha.gün hidrolik yükleme oranının ve 7 günlük bekletme süresinin, maksimum arıtım etkinliği sağladığını ortaya koymuştur. Çalışmada; dar kanal konfigürasyonunun en etkili dizayn olduğu kanıtlanmış olup, kullanılacak boy/en oranının en az 10/1 olması önerilmektedir (Reed ve ark., 1984). Ancak, bazı yerlerde, yüzeyaltı akış sistemlerde yapılan araştırmaların sonuçları ise, büyük uzunluk/genişlik oranının, dar girişlerde tıkanmalara neden olabileceği yönünde öneriler içermektedir.

Sonuçta; 1986 yılında gerçek boyutlarda işlevsel bir yapay sulakalan arıtım sistemi inşa edilerek kullanıma sunulmuştur. Stabilizasyon havuzlarının yerini alan bu sistemin amacı, gerçek boyutlarda bir yapay sulakalanın arıtım performansının ve işlevsel sistemlerinin test edilmesi ve seçilen ön arıtım metodunun değerlendirilmesidir. Sistem 4 000 kişilik bir yerleşim biriminin atıksularının arıtılması için dizayn edilmiş olup, birbirinden bağımsız olarak çalışan iki ayrı hücre olarak oluşturulmuştur (Herskowitz ve ark., 1986).

1980 yılında, atıksu arıtımında önemli iki uzman olan Tchobanoglous ve Culp, atıksu arıtımında yapay sulakalanların kullanımı konusunda derinlemesine yapılan ilk mühendislik çalışmalarını gerçekleştirmişler ve ek araştırmaların yapılmasının gerekliliğini belirtmişlerdir.

## **1.2. Yapay Sulakalanların Tipleri**

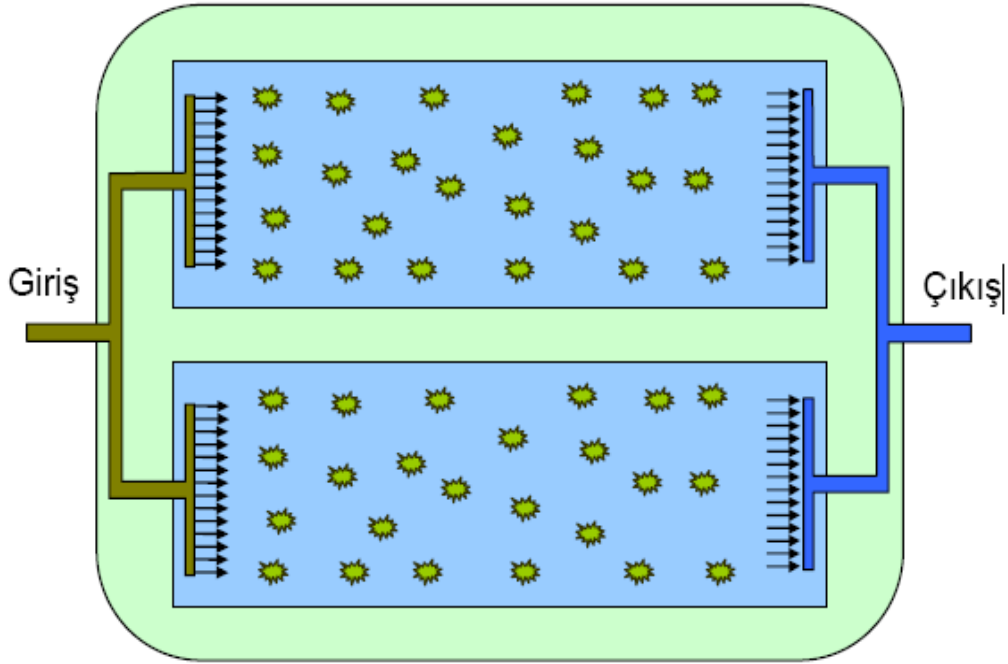
Yapay sulakalanlar, serbest yüzey akışlı sulakalanlar ve yüzeyaltı akışlı sulakalanlar olarak iki tipte inşa edilebilirler. Bununla beraber, bu iki sistemin entegre ve modifiye edilmiş olduğu hibrid sistemler de başka bir sulakalan çeşididir.

### **1.2.1. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalanlar**

Serbest yüzey akışlı sistemler, su yüzeyinin atmosfere maruz kaldığı sistemlerdir. Birçok doğal sulak alan serbest yüzey akışlı sistemler olup, bataklıklar

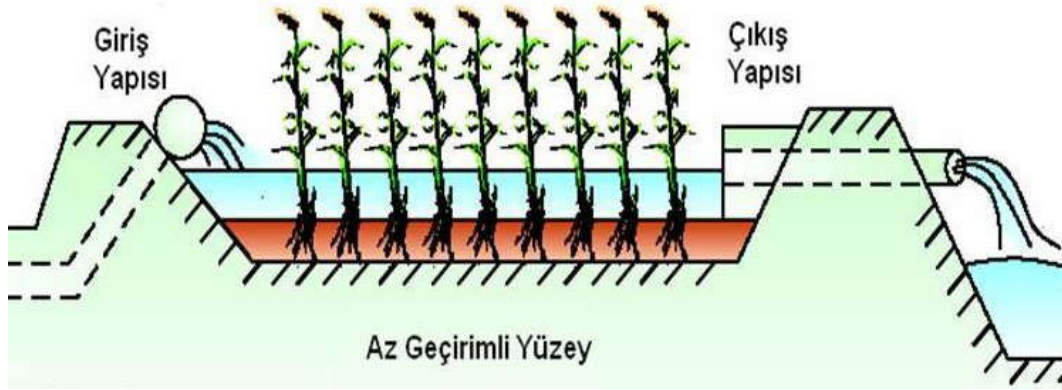
örnek olarak verilebilir. Yapılan incelemeler, doğal sulakalan sistemlerinde su kalitesinin arttığını göstermiş ve atıksu arıtımı için yapay sulakalanların yapımına ışık tutmuştur. Serbest yüzey akışlı sistemlerde, su bitki ekili toprak yüzeyi üzerinden giriş ve çıkış noktası arasında akmaktadır (Yalçuk, 2007).

Serbest yüzey akışlı yapay sulakalanlar, sığ bir taban, toprak yada farklı bir ortamda desteklenmiş bitki kökleri ve suyun belli bir sıklıkta kalmasını sağlayan sistemden meydana gelir. Su yüzeyi dolgu malzemesinin üzerindedir. Serbest yüzey akışlı sistemler doğal bataklıklara benzerler ve doğal yaşama ortam sağladıkları gibi arıtma yapabilme özelliğine sahiptir. Bu tip sulak alanlarda yüzeye yakın bölgeler aerobik, sığ su ve dolgu malzemesi bölgesi anaerobiktir (Ayaz,1998). Serbest yüzey akışlı yapay sulakalanların genel görünümü (Şekil 1.1) ve boyuna kesiti (Şekil 1.2) verilmiştir.



Şekil 1.1. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalanların genel görünümü (OEMC, 2001).





Şekil 1.2. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalanların boyuna kesiti (OEMC, 2001).

Bu sistemlerde en fazla kullanılan sulak alan bitkileri *Typha spp.*, *Scirpus spp.*, *Phragmites spp.* 'dir. Bu sistemlerde bitkiler, bir yada iki tür polikültür olarak sistemde bulunabilmektedir (Yalçuk, 2007).

Serbest yüzey akışlı sulakalanların en büyük avantajları işletmelerinin çok kolay, masraflarının da çok düşük oluşudur. Serbest yüzey akış sulakalanları aynı zamanda yeni yaban hayatı habitatları yaratmak veya yakındaki mevcut sulakalanları geliştirmek amacıyla da tasarlanabilirler

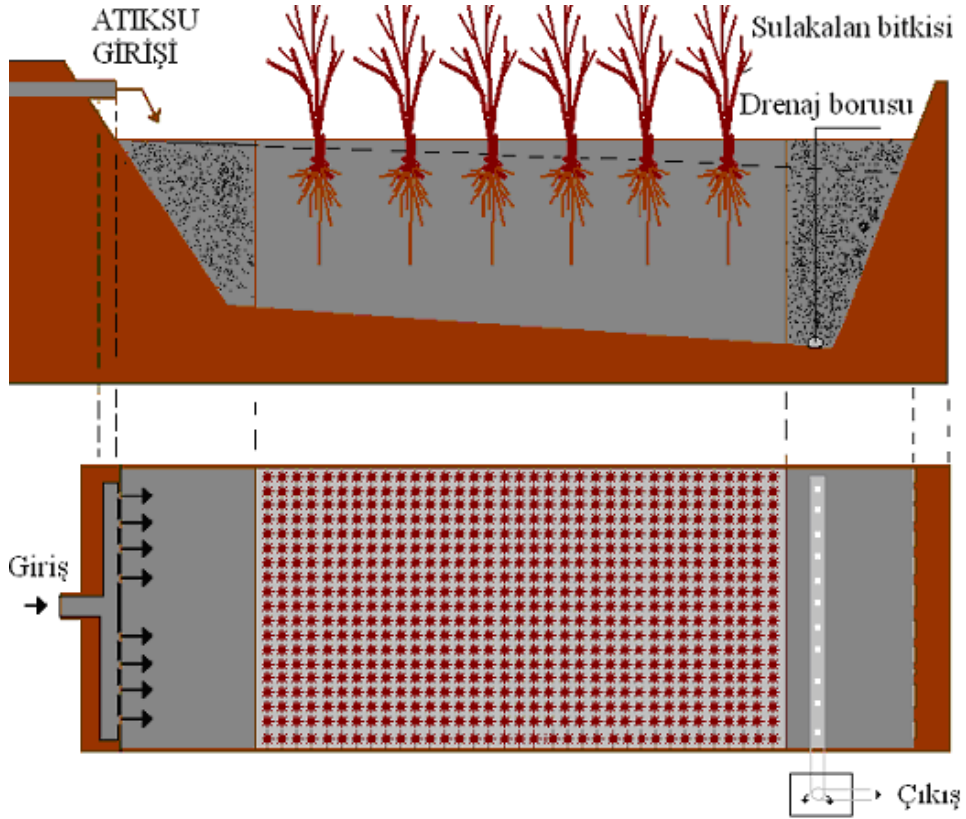
Bu sistemin en büyük dezavantajları koku problemi, sivrisinek ve diğer vektörlerin üremesidir. Bitkiler oldukça sık olduğundan sivrisineklerle mücadelede kesin bir başarı elde edilememektedir. (OEMC, 2001) .

Yapay sulakalanlara verilen atıksuların giderim mekanizmaları, öncelikle atıksuların içerdiği azotun bir kısmı denitrifikasyonla giderilirken, bir kısmı da bitkiler tarafından kullanılır. Yapay arıtım sulakalanlarında esas fosfor giderim mekanizması ise kimyasal çökeltme ve adsorplamadır. Bitkiler de bir miktar fosforu bünyelerine alarak kullanmakta ve giderime yardımcı olmaktadır. Bakteriler, süzme, ölme-yok olma, çökeltme, tutma ve adsorplama mekanizmalarının hepsi bir arada kullanılarak giderilir. Yağmurlama sistemlerinde bazı bakteriler bitki örtüsü tarafından tutulur ve kurutma, ölüm ve avlanma yoluyla imha edilir. Atıksuda bulunan organik maddeler bitkiler ve zemin tarafından filtre edilmek suretiyle ve biyolojik oksidasyonla giderilir.

### 1.2.2. Yüzealtı akışlı yapay sulaklanlar

Yüzealtı akışlı sistemlerde su, çakıl veya kırma taşlarla doldurulmuş bir çanak veya su yatağına akıtılır. Verilen suyun yüzeye çıkmaması esas alınmak suretiyle dizayn edilir. 0.3-0.4 m veya daha derin bir geçirgen ortama sahiptirler (EPA,2000).

Bu tür sistemler, kaba bünyeli materyalden oluşan topraklarında, çok çeşitli çiçekli ve çiçeksiz bitki türünün yetişmesine ortam hazırlamış oldukları için göze hoş gelen bir görünüm sergilerler. Tipik bir yüzealtı akışlı sulakalanın plan ve boyuna kesiti Şekil 1.3 ve Şekil 1.4’de verilmektedir.

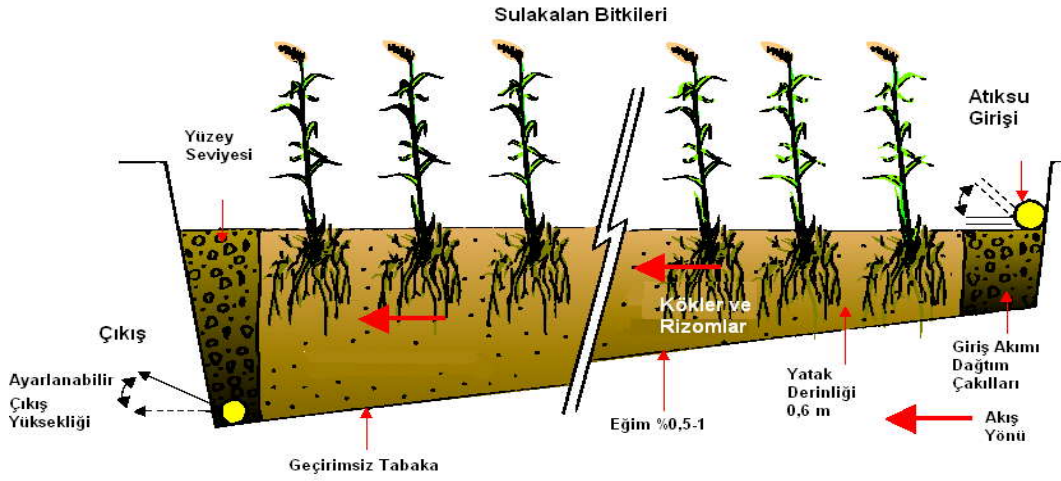


Şekil 1.3. Yüzealtı akışlı sulakalanlar (İspirli, 2006)

Yüzealtı akışlı sistemlerde aerobik koşulları sağlamak için mevcut tek oksijen taşıma mekanizması, oksijenin yapraklardan köklere taşınmasıdır. Bu durumda biyokimyasal reaksiyonlar tıpkı bir damlatmalı filtrede olduğu gibi, ortamın çeperlerinde ve bitkilerin su altında kalan kısımlarında yer alır. Bitkilerin kök

bölmelerine taşınan oksijen, artırım için gerekli aerobik koşulları sağlar (Ekmekçi, 2007).

Anaerobik ortam koşullarından kaçınabilmek için köklerin yüzeyaltı akış sistemi yatağının bütün derinliği boyunca uzanması gerekir. Bu sistemlerin hasada ve yeniden tanzime gerek olmadan 50 yıl hizmet edebilecekleri düşünülmektedir. Fakat bu kadar uzun süreden beri çalışan bir tesis olmadığından doğruluğu tam olarak bilinmemektedir.



Şekil 1.4. Yüzeyaltı akışlı sulakalanların boyuna kesiti (www.fujitaresearch.com)

Yüzeyaltı akışlı sulakalanların en önemli avantajları, daha az koku yaratmaları, yüzey akış sistemlerde sorun yaratacak sivrisinek ve diğer vektörlerin üremelerine izin vermemeleri ve kaya veya çakıl ortamın havuz çıktılarındaki alg miktarını azaltmadaki verimliliğidir (EPA, 1999).

Yüzeyaltı akış sulakalanları kaya veya çakıldan oluşan bir zemine sahiptirler. Planlamaları ise su düzeyinin, sulakalanın tabanından daha aşağılarda olacağı şeklinde yapılmıştır. Yüzeyaltı akışlı dizayn edilen yapay sulakalanların akış güzergahı yatay veya dikeydir. Yüzeyaltı akışlı sulakalanlar; bitkilendirilmiş su ile doymun yataklar, kök bölgesi metodu, mikrobiyal kamyş filtre, bitki-kaya filtre sistemi gibi farklı isimlerle adlandırılırlar (Demirörs, 2006).

Yüzeyaltı akış sulakalan zemini tarafından ortaya konan hidrolik zorlamalar nedeniyle, nispeten düşük düzeydeki partikül konsantrasyonları elde edilir. Düzenli akıştan dolayı, bu sistemler atıksu koşullarına en iyi uyum sağlayan sulakalan sistemleridir (Demirörs, 2006).

Yüzeyaltı akış sulakalanlarının, serbest yüzey akışlı sulakalanlara kıyasla avantajları;

- Düşük sıcaklıklara dayanma düzeyi,
- Zararlı (pest) ve koku problemlerinin azlığı,
- Birim alandaki asimilasyon potansiyelinin yüksek oluşudur.

Gözenekli materyalin daha geniş bir arıtım yüzeyi sağlamasından dolayı, daha hızlı bir arıtım işlemi oluşturduğu kabul edilmektedir. Bu nedenledir ki; aynı miktardaki atıksuyu ıslah etmek için, daha küçük boyutlarda bir sistemin inşa edilmesi yeterli olabilmektedir. Ayrıca, su yüzeyi açıkta olmadığından dolayı toplumsal problemler minimize edilmekte olup, parklarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Demirörs, 2006).

Yüzeyaltı akış sulakalanların dezavantajları ise;

- Yapım ve bakım masraflarının fazla, kullanımlarının da o oranda daha zor oluşudur. Zaten bu nedenledir ki genellikle daha küçük çaplı akışlarda tercih edilmektedirler.
- Tıkanma ve taşkın debisine maruz kalma problemleri ile de sıklıkla karşılaşılmasıdır.

### 1.2.3. Hibrid sistemler

Tek adımlı sistemler, tüm giderim proseslerinin aynı alanda giderimini gerektirir. Hibrid veya çok adımlı sistemlerde, farklı türdeki reaksiyonlar için farklı hücreler tasarlanır. Maden ocağı atıksuyunun, etkin olarak sulakalanda arıtılması,

aerobik ve anaerobik reaksiyonları ilerletmek için farklı sulakalan hücre bölümlerini gerektirebilir. Zirai atıksulardan amonyak giderimi için hem serbest yüzey akışlı hem de yüzeyaltı akışlı sistemlerin birlikte kullanılması avantajlı olabilir (Saraçoğlu, 2006).

### 1.3. Yapay Sulakalanların Bileşenleri

#### 1.3.1. Hidroloji

Sulakalanlar doğal olarak suyun derin olmayan bir biçimde birikebileceği çukurluklarda ve suyun aşağı tabakalara sızarak kaybolmasına olanak vermeyen toprak katmanlarına sahip olan alanlarda oluşurlar. Bu koşullar bir sulakalan inşa etmek amacıyla yapay olarak da yaratılabilir. Araziyi suyu tutacak bir biçime getirip, yüzeyini de toprağı derinlere sızdırmayacak şekilde yalıtım işin esasını oluşturmaktadır.

Hidroloji, tüm fonksiyonlarla bağlantısı nedeniyle yapay sulakalanların başarılı veya başarısız olmasını sağlayan en önemli dizayn faktörüdür. Sulakalan hidrolojisi diğer su çalışmalarına ilişkin hidrolojilerden farklı değilse de, yine de bazı önemli farklılıklar içermektedir. Bunlar;

- Hidrolojideki küçük farklılıklar bir sulakalanın özelliklerinde ve onun iyileştirme etkinliğinde hayli önemli olabilmektedir.
- Suyun geniş bir alanı kaplamasına karşın, az bir derinliğe sahip olması dolayısıyla bir sulakalan sistemi, yağış ve buharlaşma ilişkileri açısından son derece büyük bir öneme sahiptir.
- Bir sulakalandaki bitki yoğunluğu, öncelikle bitkilerin köklerinin, yapraklarının, rizomlarının sel yollarını engellemesi, ikinci derecede ise rüzgara ve güneşe karşı engel oluşturması nedeni ile sulakalan hidrolojisini büyük boyutlarda etkiler.
- Sulakalanların tüm yapısını ve fonksiyonlarını belirleyen en önemli etken hidrolojidir. Uygun hidrolojik koşulların elde edilmesiyle fiziksel, kimyasal ve

biyolojik süreçlerin de etkili bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Düzensiz hidrolojik koşullar sistemdeki bitkilerin ve diğer canlıların yaşamını olanaksızlaştırmaktadır.

Sulakalanın hidrolojik rejimini belirleyen parametreler;

- Bitki sıklığı,
- Zaman,
- Derinlik,
- Akışın sürekliliği,
- Günlük ve/veya mevsimlik su düzeyindeki değişiklikler,
- Çıkış yapısı.

Bütün bunların yanında hidrolojik çevrimde yer alan yağış, yüzey akış, sızma ve buharlaşmanın da göz önünde bulundurulması gerekir (Mitsch ve ark., 1993; Vymazal ve ark., 1995).

### 1.3.2. Sulakalan zemini, sediment ve katı atıklar

Sulakalanların, üzerinde inşa edildikleri yerler genelde toprak, kum, çakıl, kaya, veya kompost gibi organik materyallerdir. Düşük su hızı ve etkin besleme gibi nedenlerden dolayı, sulakalanlarda sediment ve katı atıklar yığılım gösterirler. Sulakalanlarda zemin, sediment ve katı atıklar aşağıda sıralanan nedenlerle bir hayli önemlidirler.

- Sulakalanlardaki canlı organizmaya yaşam ortamı oluştururlar.
- Zeminin geçirgenliği, suyun alt tabakalarına doğru hareketini etkiler.
- Sulakalan zemininde pek çok kimyasal ve biyolojik değişim yer alır.
- Sulakalan zemini pek çok kirletici materyale depo olanağı sağlar.
- Katı atıkların birikimi, sulakalanlardaki organik madde miktarının artmasını sağlar.

Organik maddeler ise materyalin değişimi olgusunu ve mikrobiyal faaliyetleri sağlamakta olup, iyi bir karbon kaynağı durumundadırlar.

Toprakların ve diğer zeminlerin fiziksel ve kimyasal karakteristikleri su altında kaldıklarında değişim gösterirler. Doygun olmuş bir sulakalan zeminde, gözeneklerdeki atmosferik gazların yerini su almakta ve mikrobiyal metabolizma da oksijeni kullanmaktadır.

Sulakalan toprağı yada sedimenti hem kimyasal dönüşümlerin gerçekleşmesinde rol alır, hem de sulakalan bitkileri için gerekli kimyasal besinlerin temel kaynağını oluşturur. Genellikle sulakalan toprağı hidrojenli toprak olarak tanımlanır. Hidrojenli toprak iki sınıftan oluşur. Organik toprak (biyokütle bozunması ile oluşur) ve mineral (alüvyon) topraktır (Vymazal ve ark., 1998).

Yapay sulakalan projeleri genellikle büyüklük, şekil ve uygulama noktası açısından büyük farklılıklar gösterir. En kısıtlayıcı faktör ise ihtiyaç duyulan arazi miktarıdır.

### 1.3.3. Vejetasyon

Sucul bitkiler, yapay sulakalanların en önemli bileşenlerindedir. Sucul bitkilerin yapay sulakalanlardaki işlevleri;

- Besinleri kendi büyümeleri için tutmanın yanında, besin dönüşümündeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerde besinleri azaltıcı etkide bulunurlar.
- Sulakalan içinde ki su akışına direnç gösterirler.
- Bekletme süresini arttırlar.
- Askıda katı maddelerin çökmesini kolaylaştırırlar.
- Kökleriyle suyun akışını düzenler.
- Ölümlelerinden sonra suda besin oluştururlar.
- Mikrobiyal büyüme için geniş yüzey alanı sağlamasının yanında suya organik madde verirler.

- Pek çok sucul bitki, topraktaki anaerobik tabakaya oksijen transferini gerçekleştirmektedir.
- Böylece kök bölgesinde ağır metallerin yükseltgenmeleri ile çöktürmelerini sağlamaktadırlar (Gopal, 1999).

Sulakalan içerisinde yetişen sucul bitkilerin seçiminde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Atıksuyu arıttığı kanıtlanmış olmalıdır.
- 150-200 mm boyunda bir kök sistemi oluşturmalıdır.
- Zorlu, kayalık çevresel koşullarda yaşamına devam edebilmelidir.
- Sınırlı miktarda biyokütle üretmek durumunda olmalıdır.
- Estetik olarak ta hoşta gider durumda olmalıdır.
- Doğal ortamdan, ve kolaylıkla elde edilebilmelidir.

Evsel atıksuların arıtımı için tasarlanmış yapay sulakalanlar, ana fonksiyonları esas arıtımı sağlayacak güçlü bir kök yapısını geliştirmek olan bitkiler ile, önde gelen görevi süs ve görünüm güzelliği sağlamak olan ve sulakalanların kıyı ve kenarlarına dikilen bitkilerin kombinasyonuna olanak sağlarlar.

Yapay sulakalanlarda genellikle çabuk büyüyen bitkiler yetiştirilir. Odunsu olmayan bu bitkilerin kökleri sulakalan zemininde de büyür, gövde ve yaprakları ise su üstüne çıkar. Yapay sulakalanlarda yaygın olarak yetişen bitkiler; üçköşe (*Spiraea Lacustris*), kamış (*Phragmites australis*), hasır otu (*Typha latifolia*), ve bazı geniş yapraklı çeşitlerdir. Yapay sulakalanlarda kullanılabilecek bazı bitki cinsleri ve bunların doğal yaşam ortamları Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Yapay sulakalanlarda baskın makrofit türlerinin absorblama verimi, sistemdeki diğer türlerle birlikte ortam şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Su altı makrofitler su kütlesine doğrudan oksijen sağlarken, su yüzeyindeki ve serbest yüzen makrofitler de, su yüzeyini örtmekte ve alg büyümesini önlemektedirler. Her ne kadar algler oksidasyon havuzlarında su arıtma süreçlerine katkıda bulunsalar da, aşırı alg



büyümesi, sulakalanların ötrofikasyon tehlikesi ile karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır (Demirörs, 2006).

Çizelge 1.1. Yapay sulakalanlarda kullanılan köklü ve yüzücü bitkiler (Knight, 1997).

Bitki Cinsi	Büyüme Şekli	Yetiştirme Yeri	Gölge Toleransı
<i>Acer negundo</i>	Ağaç	Ormanlık sulakalanlarda	Tamamen güneşli yerler
<i>Acorus calamus</i>	Ot şeklinde	Tatlı sulardan, az tuzlu sulakalanlara kadar her yerde	Kısmi gölgeli yerler
<i>Alnus serrulata</i>	Çalı, funda	Sulakalanlar	Tam güneşli
<i>Carex spp.</i>	Ot şeklinde	Sulakalanlar, göl kıyıları	Tam gölgeli ve tam güneşli yerler
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Su altında	Göller ve yavaş akan dereler	-----
<i>Cyperus esculentus</i>	Ot şeklinde	Yeni bataklıklar, ıslak çayırlar	Tam güneşli yerler
<i>Eichhornia crassipes</i>	Köksüz yüzen bitkiler	Tatlı su gölleri ve ağır akan dereler	Tam güneşli yerler
<i>Hdrocotyle umbellata</i>	Yüzen bitkiler	Kıyılarda, sığ sulakalanlar	Kısmi gölgeli yerler
<i>Nyssa sylvatica</i>	Ağaç şeklinde	Ormanlık sulakalanlar	Kısmi gölgeli
<i>Phragmites australis</i>	Yer bitkileri, ot cinsleri	Tatlı veya tuzlu sulu sulakalanlar	Tam güneşli yerler
<i>Pontederia cordata</i>	Ot şeklindeki bitkiler	Tatlı ve tuzlu sulakalanlar, gölet kıyıları	Kısmi gölgeli
<i>Populus deltoides</i>	Ağaç şeklinde	Ormanlık sulakalanlar	Tam güneşli yerler
<i>Nuphar luteum</i>	Köklü bitkiler	Sulakalanlar, göletler	Kısmi gölgeli
<i>Scirpus americanus</i>	Ot şeklindeki bitkiler	Tuzlu sulu ve alkali sulakalanlar	Tam güneşli yerler
<i>Sparganium eurycarpum</i>	Ot şeklindeki bitkiler	Sulakalanlar, gölet kıyıları	Kısmi gölgeli yerler
<i>Taxodium distichum</i>	Ağaç şeklinde	Tatlı sulu sulakalanlar	Kısmi gölgeli yerler
<i>Typha latifolia</i>	Ot şeklindeki bitkiler	Tatlı su sulakalanları, gölet bölgeleri	Tam güneşli yerler
<i>Scirpus valides</i>	Ot şeklindeki bitkiler	Tatlı tuzlu sulakalanlar	Tam güneşli yerler

#### 1.3.4. Mikroorganizmalar

Yapay sulakalanların temel fonksiyonlarından birisi, büyük ölçüde mikroorganizmalar ve onların metabolizmaları ile gerçekleştirilir (Wetzel, 1993). Mikroorganizma dendiğinde akla gelenler, bakteriler, mayalar, mantarlar, protozoa ve algler'dir. Mikrobiyal kütle ise organik karbon ve pek çok besin maddesinin birikimidir. Mikroorganizmaların sulakalanlardaki aktiviteleri;

- Büyük miktardaki organik ve inorganik maddenin aktif olmayan veya çözülemeyen maddelerle değişimini sağlar.
- Sulakalan zemininin redüksiyon/oksidasyon (redoks) koşullarını değiştirir. Bu durum sulakalanın işleme kapasitesine etki eder.
- Besin maddelerinin yeniden kullanımı olayında etkili olur.

Mikroorganizmaların bazıları serbest oksijene gereksinim duyan aerobik, bazıları ise serbest oksijenin olmaması durumunda faaliyet gösterebilen anaerobik yapıdadırlar. Bazı mikroorganizmalar ise hem aerobik hem de anaerobik ortamlarda fonksiyonlarını yerine getirebilme yeteneğine sahip bulunmaktadır.

Mikroorganizmalar, ortama verilen suyun durumundaki değişikliklere göre kendilerini ayarlayabilmekte ve uygun biçimde enerji içeren materyalleri buldukları ortamlarda süratle çoğalabilmektedirler. Çevre koşullarının kendileri için uygun olmaması durumlarında da, fonksiyonsuz bir biçimde yıllarca kalabilmektedirler. Pestisit ve ağır metaller gibi toksik etkili materyalden olumsuz yönde etkilendikleri için yapay sulakalanlardaki mikroorganizmalar böyle durumlarla karşılaşmalarına izin verilmemelidir ([www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf](http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf)).

#### 1.3.5. Hayvanlar

Yapay sulakalanlar çok değişik türdeki hem omurgalı hem de sürüngen hayvanlar için bir yaşam ortamı oluştururlar. Böcekler ve kurtçuklar gibi bazı sürüngen hayvanlar, materyali parçalamak ve organik maddeleri tüketmek suretiyle

arıtma işlemine katılırlar. Suda yaşayabilme özelliğine sahip pek çok böceğin larvaları ise bu dönemlerinde önemli ölçüde materyal tüketmektedirler. Omurgalı hayvanlar ise sayısız ekolojik roller üstlenmektedirler. Örneğin, *Dragonfly nymphs* sivri sinek larvalarını yiyerek yaşamını sürdürmektedir.

### 1.3.6. Estetik ve görünüm

Sulakalanlar esas olarak birer arıtım yapıları iseler de, buldukları yerlerin estetiğini ve görünümünü de iyileştirmek suretiyle somut olmayan bir çok yararlıya da sahip bulunmaktadır. Görüntü olarak sulakalanlar son derece zengin çevrelerdir. Su faktörünün görüntü olgusuna eklenmesi durumunda yapay sulakalanlar en az doğal sulakalanlar kadar çevreye çok yönlü farklılıklar sağlarlar. Bitkilerin biçimlerinin, büyüklüklerinin, renklerinin, ve oluşturdukları kombinasyonlarının çeşitliliği, ayrıca alanın şeklinin de farklılığı gibi unsurlar sulakalanların estetik güzelliğine etki etmektedirler. Bazı yapay sulakalanlar, keskin çizgilerden kaçınılarak ve doğal eş yükselti eğrilerine uyularak inşa edilebildiklerinde, ilk bakışta doğal sulakalanlardan ayırt edilemezler.

## 1.4. Yapay Sulakalanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları

**a) Fiziksel prosesler:** Özellikle tanecikli maddelerin gideriminde önemlidir. Sulakalanlarda su hareketi köklü ve yüzücü bitkilerin sağladığı dirençten dolayı yavaş ve laminardır (türbülanssız). Köklü bitkilerin su hareketini dengelemesiyle yavaş hareket eden tanecikli kirleticiler, yüzücü bitkilerin saçaksız kökleri ve dallanan gövdeleri ile askıda kalmaları sağlanarak, biyofilmlerle temas yüzeyi artırılmış olur. Sedimentasyon ve resüspansiyon (çökme veya çökmekte olan maddelerin askıda kalmaları) partiküllerin gideriminde iki önemli proseslerdir (İspirli, 2006).

**b) Kimyasal prosesler:** Kirleticiler kısa süreli ya da uzun süreli olarak belli bir yüzeyde tutularak (sorpisyon; '+' ve '-' yüklü moleküllerin çözelti (su) fazından katı faza transferi) giderilirler. Sorpsiyon gerçek anlamda hem absorpsiyon hem de çökme reaksiyonların bir bütünüdür. Absorpsiyon ile iyonlar katı partiküllere bağlanarak giderilir. Katyon değişimi ile + yüklü iyonlar, yüzeye fiziksel olarak

bağlanarak giderilir. Zemin dolgu malzemesinde kil ve organik madde içeriği fazla ise bu katyonların tutulma kapasitesi daha yüksek olur (İspirli, 2006).

**c) Biyolojik prosesler:** Bitkiler,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  ve Pb ve Cd gibi bazı toksik metalleri hem kullanabilme, hem de dokularında biriktirebilme özelliklerine sahiptir. Fakat bu giderim mikroorganizmalarla giderimin (biyodegradasyon) yanında önemsizdir. Bu kirleticilerin giderimi, bitkilerin büyüme özelliklerine ve dokularındaki konsantrasyon değerine bağlıdır. Bitkiler nütrientlerin, metallerin ya da diğer elementlerin bir kısmını kullanarak giderebilirler (İspirli, 2006). Kirletici giderim mekanizmaları Çizelge 1.2' da verilmiştir.

Çizelge 1.2. Sulakalandaki giderim mekanizmaları (Kilim ve Özdemir, 2004).

Atıksu Bileşenleri	Giderim Mekanizmaları
AKM	Çökeltme/filtrasyon
BOI	Mikrobiyal ayrışma (Aerobik ve Anaerobik)
	Çökeltme (Organik maddenin sediment yüzeyinde birikmesi)
AZOT	Nitrifikasyon ve denitrifikasyon
	Amonyakın açığa çıkması
	Bitki kullanımı
FOSFOR	Toprak tarafından tutunma (toprakta kil mineralleri, demir, kalsiyum, alüminyum ile adsorpsiyon ve çökeltme reaksiyonları)
	Bitki kullanımı
PATOJENLER	Çökeltme/filtrasyon
	Ölüm
	UV radyasyonu
	Makrofitlerin köklerindeki antibiyotiklerin varlığı

Serbest yüzey akışlı sistemlerde AKM giderimi çökeltme, filtrasyon, kimyasal çökeltme gibi proseslerle gerçekleşmektedir. Serbest yüzey akışlı sistemlerde esas AKM giderim mekanizması çökeltmedir. Atıksu içerisindeki partiküller; suyun hızı, sulak alanın derinliği, partiküllerin boyutu, su sıcaklığı gibi faktörlere bağlı olarak çökeltirler. Atıksuların içindeki organik maddelerin özelliklerine bağlı olarak, yapay sulak alanlarda katı maddelerin çökeltmesi, münferit taneli çökeltme ve yumaklı çökeltme arasında olur. Serbest yüzey akışlı sistemlerde çökeltlen partiküllerin tekrar süspansiyon haline geçmesi problemi, sistemde su hızının çok küçük olmasından dolayı çok önemli bir sorun değildir. Ancak rüzgardan kaynaklanan türbülans, her tipte ve büyüklükteki organizmaların su içerisindeki hareketleri, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan gaz çıkışları, çökeltlen partiküllerin tekrar

süspansiyon haline geçmesine neden olabilir. Diğer AKM giderim mekanizmaları; sık vejetasyona sahip sistemlerde partiküllerin, bitkilerin aralarından geçerken filtre edilmesi ve çeşitli kimyasal reaksiyonlarla çözünmüş katı maddelerin çözünemeyen bileşikler haline dönüşerek çökmesidir. Yüzeyaltı akışlı sistemlerde AKM giderim mekanizmaları, serbest yüzey akışlı sistemlere göre farklılıklar gösterir. Bu sistemlerin esas AKM giderim mekanizması köklerde adsorbsiyondur. Bu sistemlerin en büyük problemi tıkanma problemidir. Bunun önlenmesi amacıyla ön arıtım için septik tanklar kullanılabilir (Demirörs, 2006).

Temel olarak atıksulardaki organik maddeler, filtrasyon ve biyolojik oksidasyon prosesleri ile giderilir . Su içerisinde süspansiyon halde dağıntık ya da katı bir yüzeye yapışık olarak bulunan mikroorganizmalar çoğalarak, organik maddeleri gaz halindeki son ürünlere ve hücre yapıtaşına haline dönüştürürler. Bu olay aerobik, anaerobik ve fakültatif olabilir. Aerobik ayrışmada hücre sentezi için lüzumlu enerji, organik maddenin bir kısmı yakılarak elde edilir. Sistemde disimilasyon, asimilasyon ve oksidasyon olayları aynı anda meydana gelir. Atıksuyun içerisindeki organik maddenin kimyasal formülü  $C - O - H - N - S$  olarak kabul edilir. Atıksu içinde partikül halindeki organik maddeler çökme ile giderilirken, organik maddelerin bir kısmı demir, sülfür, nitrat indirgenmesi gibi çeşitli kimyasal reaksiyonlarla gaz ya da çözünen bileşikler haline dönüşerek giderilirler. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlarda bu reaksiyonların gerçekleşmesi için gerekli olan oksijen kaynağı yüzey havalandırmasıdır. Başlıca biyokimyasal bozunma reaksiyonları, bitkilerin su altında kalan bölümleri ve dip birikintilerinin yüzeylerinde gerçekleşir. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sistemlerinde aerobik koşulları sağlamak için mevcut tek oksijen taşıma mekanizması, oksijenin yapraklardan köklere taşınmasıdır. Bu durumda biyokimyasal reaksiyonlar tıpkı bir damlatmalı filtrede olduğu gibi ortamın çeperlerinde ve bitkilerin su altında kalan kısımlarında oluşan biyofilm tabakasında gerçekleşir. Bitkilerin kök bölümlerine taşınan oksijen, arıtım için gerekli aerobik koşulları sağlar. Yapay sulak alanların projelendirilmesinde BOİ giderimi, hidrolik şartlar ile birlikte göz önüne alınan en önemli parametredir. BOİ gideriminde birinci derece piston akım kinetiği yaklaşımı yapılmaktadır (Demirörs, 2006).

Bir sulakalan içerisindeki organik azotun en temel giderim yolu amonyaklaşma, nitrifikasyon ve denitrifikasyon ve bitki hasadı ile olur. Sulakalanın aerobik bölgelerinde, nitrifikasyon bakterileriyle amonyak nitrata yükseltgenmektedir. Organik azot hidroliz olayı ve bakteriyel ayrışmayla amonyağa (mineralleşme) dönüştürülmektedir. Nitratlar, anoksik ve anaerobik zonlarda denitrifikasyon bakterileriyle,  $N_2$  ve  $N_2O$  (nitroz oksit)'e dönüştürülmektedir. Nitrifikasyon için gerekli oksijen atmosferden difüzyonla ve makroskopik damarlı bitkilerin köklerinden sağlanmaktadır. Ayrıca azot; bitkiler tarafından da kullanılmakta olup, biyolojik kütleyle alınmakta ve ayrıştırma (dekompozisyon) işleminden sonra da, tekrar organik azot olarak ortaya çıkarılmaktadır. Bunların dışında diğer giderim mekanizmaları ise adsorpsiyon ve uçuculaştırma olup, nitrifikasyon/denitrifikasyon mekanizmalarından daha az öneme sahiptir fakat mevsimsel olarak ta büyük öneme sahip olabilirler (İspirli, 2006). Toplam azot gideriminde sıcaklık önemli bir faktördür ve soğuğa karşı duyarlılık söz konusudur. Kışın su sıcaklığının  $5^{\circ}C$ 'nin altına düşmesi halinde azot giderimi sorunlu olur. Azot giderimi hidrolik yükleme oranı, azot/karbon oranı, kısa bekletme süresi gibi faktörlerden büyük bir şekilde etkilendiğinden dolayı, giderim miktarları farklılık gösterebilir (Demirörs, 2006).

Fosfor, biyotik ve abiyotik prosesler sayesinde sulakalanlarda giderilmektedir. Biyotik prosesler; kök bölgesindeki mikroskopik canlılarca ve vejetasyon ile alınımı, bitki artıklarının ve topraktaki organik fosforun mineralizasyonu ile, abiyotik prosesler ise; sedimentasyon ve birikim, adsorpsiyon - çökelme ile toprak ve su kolonu arasındaki prosesleri kapsamaktadır (Yalçuk, 2007). Fosfor gideriminde aşağıdaki reaksiyonlar etkilidir (Yalçuk, 2007).

- Mineralizasyon ve biyolojik alım: Organik maddenin mineralizasyon süreci sonucunda ortofosfat iyonu serbest kalmaktadır. Bu iyon biyolojik büyüme için bir dizi hızlı reaksiyon geçirmektedir. Bu reaksiyonlar özellikle biyofilm oluşumu için önemli olmaktadır. Zaman geçtikçe bu iyon bozunur ve sediment içinde geri döngüsü olabilmektedir. Ayrıca bitki biyokütlesi üzerinde uzun süre birikebilir. Sulakalanlarda uzun süreli fosfor giderimi anaerobik koşullarda

bitki üzerinde birikimle gerçekleşir. Ancak bu durumunun gerçekleşmesi için geniş sulak alan yüzeyi ve anaerobik koşulların oluşması için düzenli su alınımı olmalıdır. Organik maddenin anaerobik koşullar altında parçalanması düzenli oksijen iletimi olduğu duruma göre daha yavaş olmaktadır.

- Adsorpsiyon: Bu proses biyolojik alınımla yarışmaktadır. Yüzeyde aktif iyon değişimi iyonun kil minerali, demir hidroksit, hümik ve fülvik materyal ile kompleks etkileşime girmesiyle gerçekleşir.
- Çökme: İyon değişimi prosesi ile fosfor biriktiği zaman, sediment içinde çökme reaksiyonları meydana gelir. Bu proses diğer giderim proseslerine göre daha uzun süreli etkin olmaktadır.
- Desorpsiyon: Redoks koşullarından önemli derecede etkilenen adsorpsiyonun tersi prosesidir. Düşük redoks değerlerinde fosfor sediment içinde serbest kalır. Adsorplanan fosfor, ferric iyonunun daha çözünür form olan ferrous forma indirgenmesi ile sediment içinde serbest kalır. Redoks koşulları ve fosforun desorpsiyonu organik karbon ve oksijen arasındaki denge ile kontrol edilir. Yüksek konsantrasyonda organik karbon ve düşük konsantrasyonda çözünmüş oksijen, redoks değerlerinin düşmesine ve fosfor adsorpsiyonunun düşük olmasına neden olmaktadır.

## 1.5. Yapay Sulakalanlarının Tasarım Kriterleri

### 1.5.1. Yer seçimi ve zemin özellikleri

Bir alanda yapay sulakalan oluşturabilmesi için o alanın uygunluğu aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Alt toprak katmanları,
- Hidroloji, jeomorfoloji,
- Vegetasyon,

- Tehlikeli veya nesli tükenmekte ola habitatın varlığı,
- Yaban hayatı,
- Hukuksal engeller,
- Arazi kullanımı/sınırlamaları.

Bu etkenlerin yanı sıra kültürel ve ekonomik faktörler ile sağlık ve güvenliğe ilişkin parametreler de dikkate alınmalıdır. Sulakalanlar için düzgün bir topografya tercih edilir. Çünkü; yüzey akışlı sistemler genellikle %1 veya biraz daha fazla bir eğimle tasarlanır ve inşa edilir. Bu nedenle sulakalanlar için eğimler %5'ten daha azdır. Yüzey toprakları veya yüzey altı tabakaları hafif geçirgen olan sahalarda sulakalan sistemleri için en uygun sahalardır. Amacın yalnızca suyun toprak profili üzerinde arıtılması olduğu durumlarda, infiltrasyon oranının düşük olması istenir. Daha küçük sistemler için sızmayı (perkolasyonu) engellemek amacıyla, kil veya yapay olarak hazırlanmış kaplar kullanılabilir. Sel tehlikesine karşı ekilmiş sulakalanlar, taşkın ovalarının dışına kurulmalı veya sele karşı korunma sağlanmalıdır. Açık alanlar veya tarım arazileri, eğer özellikle doğal sulakalanlara yakın iseler, ekilmiş sulakalanlar, ek yaban hayatı sağlayarak veya bazen de daha kararlı bir su kaynağı sağlamak koşulu ile mevcut sulakalanları değiştirebilirler.

### 1.5.2. İklim

Yapay sulakalanları kurak, yarı kurak tropikal bölgelerde uygulanabilmektedir. Hatta soğuk iklimlerdeki fonksiyonel yetenekleri incelenmiş ve kışın en soğuk aylarında bile, azalan bir oranda olmasına karşın, kabul edilebilir bir bertaraf etme mekanizması sunduğu ortaya çıkmıştır.

### 1.5.3. Hidroloji

Hidroloji bir sulakalanın oluşturulmasında kullanılan tüm fonksiyonların temel bileşeni ve en önemli tasarım faktörüdür.



Değişik sulakalanlar hidrolojik olarak bazı küçük, ama önemli farklılıklar içerirler.

- Yapay sulakalanlar, suyun geniş bir alanı kapsamasına karşın az bir derinliğe sahip olması nedeniyle ki yağış ve buharlaşma ilişkileri açısından çok hassas bir dengeye sahiptirler.
- Bir sulakalandaki bitki yoğunluğu su akışını engeller, rüzgara ve güneşe karşı engel oluşturarak hidrolojik dengeyi etkiler.

#### 1.5.4. Vektör kontrolü

Vektörler, hastalık yapan mikro organizmaları insana taşıyan, bunları insan vücuduna sokan ve insanların yaşadıkları yerleri yaşanmaz hale getiren eklem bacaklılardır. En önemlileri ve en çok zarar verenleri hamam böceği, sivrisinek, karasinek, tahtakurusu, pire, bit, kene ve kurtlardır. Kemiriciler arasında ise sıçan ve fareler sayılabilir. Vektörlerle bulaşan hastalıkların sayısı ve vektörlerin çeşitleri pek çoktur.

Yapay sulakalan sistemleri dizayn edilirken, uygun dizayn kriterlerinin kullanılması, oluşabilecek vektörlerin miktarını azaltıcı en önemli etkidir. Vektörlerin oluşmaması için dikkat edilecek dizayn noktaları; su yüksekliğinin ayarlanması, akış hızı, organik yükleme miktarı, hücrelerin boyutlandırılması ve uygun vejetasyonun seçimidir. İnşaattan önce bu kriterlerin dikkate alınmasıyla vektörlerin oluşumu da en aza indirilebilir. Bunun yanında yapay sulakalan sistemlerinde vektör oluşumunu minimize etmek için çeşitli biyolojik kontrol ajanları (sivrisinek balığı, mor kırlangıç, yarası gibi balıklar ve kuşlar) veya kimyasal kontrol ajanları (insektisit) kullanılabilir. Temel anlamda sivrisinek problemini minimize edebilmek için uygun dizaynın sağlanması gerekmektedir (EPA, 2000).

İşletme aşamasında yapay sulakalanlarda en çok karşılaşılan problem sinek oluşumudur. Sinek üretiminin hızını düşük tutmak için sinek kontrol ajanlarının

periyodik olarak kullanımı gerekmektedir. Mevcut olabilecek sineklerin kontrolü direkt olarak sineklerin hayat döngüleri ile ilgilidir.

#### 1.5.5. Ön tasfiye

Sulakalanlarda sediment birikiminin sorun yaratmaması amacıyla, su mekanik arıtmadan geçirildikten sonra sulakalana verilir. Böylelikle sulakalanda sediment birikimi engellenir.

#### 1.5.6. Vejetasyon

Yapay arıtım sulakalanlarında, bitki çeşidi seçimi yapılırken aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır.

- Bitkinin atıksuyu arıttığı kanıtlanmış olmalıdır.
- Bitki zorlu kayalık çevresel koşulları tolere edebilmelidir.
- Bitki sınırlı miktarda biyokütle üretmek durumunda olmalıdır.
- Bitki estetik açıdan hoşta gider durumda olmalıdır.
- Bitkiler mahallinden ve kolay elde edilebilir olmalıdır.

#### 1.6. Yapay Sulakalanların Dizayn Parametreleri

Yapay sulakalanlar, patojenik bakteriler ve virüsler kadar organik bileşenler (BOİ), AKM, azot, fosfor, metaller ve hidrokarbonların da bertaraf edilmesi için dizayn edilirler.

Yapay sulakalanların dizaynında göz önünde bulundurulması gereken kriterler;

- Hidrolik geçirgenlik,
- Bekletme süresi,
- Alansal yükleme oranları,
- Su ısısı, ve
- Bitki yoğunluğuna dayanmaktadır.

Bu kriterler, dizayn edilmesi beklenen sulakalanın boyutuna bağlı olarak, bir günde tonlarca suyu ve gübreyi, organik materyali işleyebilecek kapasitede olmasını sağlayabilir. Yapay sulakalan tasarımında kullanılan tipik boyutlandırma değerleri Çizelge 1.3’da verilmiştir.

Çizelge 1.3. Yapay sulakalanlar için tipik boyutlandırma değerleri (Metcalf&Eddy, 1991).

Boyutlandırma Parametresi	Birimi	Sistemin Tipi	
		Serbest Yüzey Akışlı Sistem (SYS)	Yüzeyaltı Akışlı Sistem (YAS)
Hidrolik bekletme süresi	gün	4-15	4-15
Su derinliği	m	0,1-0,6	0,3-0,75
BOİ <sub>5</sub> yükleme hızı	kg/m <sup>2</sup> -gün	<0,0067	<0,0067
Hidrolik yükleme hızı	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -gün	0,014-0,047	0,014-0,047
Spesifik alan	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> -gün	71,6-21,4	71,6-21,4

### 1.7. Yapay Sulakalan Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Yapay sulakalanların avantajları;

- Sulakalanlar ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendi kendini yenileyebilme özelliğine sahiptir. Organik ve inorganik kirleticileri, askıda katı maddeyi, toksik maddeleri, ağır metalleri ve hastalık yapıcı mikroorganizmaları giderebilmesinden dolayı yüksek miktarda arıtım kapasitesine sahiptirler.
- Çevredeki doğal malzeme kullanılarak ihtiyaç büyüklüğünde hazırlanan havuzlarda atıksuyun filtre edilmesi ve yetiştirilen sulakalan bitkileri ile suyun arıtılması esasına dayanan bu sistem, doğal yapının küçük taklitleridir.
- Dikdörtgen şekilde boyutlandırılan ve oldukça sığ olarak inşa edilen bir havuz kazısından ibarettir. Havuzun geçirimsizliği kil ile sağlandıktan sonra köklü bitkilerin tutunabileceği toprak, kum ve çakıldan oluşan yatak hazırlanır. Seçilen tipe göre dağıtım ve drenaj boruları döşendikten sonra bitkilerin ekimi ile tesisin inşası tamamlanmış olur.

- Hiçbir mekanik ekipmana ihtiyaç duymayan sistem, kendi kendini yenileyebilme özelliğine de sahiptir.
- Sistemin ilk yatırım maliyeti ve işletme giderleri oldukça düşüktür. Alternatifleri ile kıyaslanırsa oldukça ekonomiktir. Ayrıca işletme sırasında yetişmiş eleman ihtiyacı yoktur.
- Sistemde arıtma verimi evsel atıksular için % 85 civarındadır. Sistemde elde edilecek çıkış suyu Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin talep ettiği sınır değerlerin altındadır.
- Sistem arıtma tesisinden çok bir çiçek bahçesine benzemektedir.
- Biyolojik arıtım sistemlerinde oluşabilecek çamurların tasfiyesi amacıyla, arıtma tesislerinde yapılması gereken çamur tasfiye ünitelerine bu sistemlerde gerek duyulmamasıdır.

Yapay sulakalanların dezavantajları;

- Klasik su arıtma tesislerine kıyasla, daha geniş bir alanın kullanılmasını gerektirirler. Yapay sulakalanlar yalnızca arazinin bol ve pahalı olmadığı yerlerde ekonomik olabilmektedirler.
- Klasik arıtmaya kıyasla daha az tutarlı bir performans sergilemektedirler. Sulakalan arıtmasının etkinliği yağış ve kuraklık gibi çevresel koşulların mevsimsel değişimine bağlı olarak farklılıklar sergileyebilmektedir.
- Sulakalan bitkileri amonyak ve pestisit gibi toksik kimyasallara karşı duyarlıdır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapay sulakalan sistemlerinin, farklı atıksu, bitki, dolgu malzemesi, iklim, mevsim, yükleme koşulu ve parametrelerle test edildikleri (laboratuar veya pilot ölçekli) çalışmalar aşağıda kronolojik sırayla verilmiştir.

Cueto (1993) tarafından, Texas'ta yapılan çalışmada, karışık karakterli atıksu ile farklı akış şekline sahip yapay sulakalan sistemlerinin, BOİ ve AKM giderim performansları incelenmiştir. BOİ için, serbest yüzey akışlı sistem ile % 53 – 89, yüzeyaltı akışlı sistem ile % 80 – 82 ve kombine edilmiş sistemler ile % 58 – 96 giderim performansı elde edilmiştir. TKM için, serbest yüzey akışlı sistem ile % 76 – 88, yüzeyaltı akışlı sistem ile % 90 – 92 ve kombine edilmiş sistemler ile % 77 – 94 giderim performansı elde edilmiştir.

Reimold ve Margaret (1997), evsel nitelikli atıksu arıtımı amaçlı yapay sulakalan sistemlerinde kullanılan bitkiler üzerine yaptıkları çalışmada, 38 m<sup>3</sup>/gün ve 54 m<sup>3</sup>/gün atıksu yükleme debisine sahip iki ayrı hazne yapısında, katı madde giderme ve ağır metal tutabilme kriterine göre, *Phragmites sp. (kargı)*, *Typha sp.(saz)* ve *Scirpus sp.(sandalye sazı)* türlerinin oldukça uygun vejetasyon oluşturduklarını tespit etmişlerdir.

Kiracofe ve Novak (2000), Ocak 1998 – Mayıs 2000 tarihinde, Monterey Belediyesinin evsel nitelikli atıksuları için yaptıkları izleme çalışması ile, *Phragmites* bitkisi ekimi gerçekleştirilen, % 35–40 poroziteye sahip yatak malzemesi uygulanmış yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sistemi ile, atıksu arıtma veriminin BOİ<sub>5</sub> cinsinden % 71 ve AKM cinsinden % 88 seviyesinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Ji ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, Liaohe Delta (Çin)'de çok miktarda organik bileşik ve yağ içeren suların arıtımı için, yüzeyaltı akışlı sulak alanların bir pilot tesisini kurmuşlardır. Kirlilik konsantrasyonu ve sulak alan tesislerinin değişimi periyodik olarak incelenmiştir. Arıtma etkinliği değerlendirilmiş ve % 81 kimyasal

oksijen ihtiyacı, % 89 mineral yağ, % 81 toplam azot (TKN) giderimi sağlanmış ve sulakalan çıkış suyu ortalama konsantrasyonu 77 mg/L KOİ, 3,5 mg/L BOİ, 2,2 mg/L TKN ve 2,9 mg/L mineral yağ ölçülmüştür. Bitki büyüme periyodu boyunca, yağlı atıksuların, kamışların yaprak sayısına hiç etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

Ayaz ve ark. (2003), evsel atıksuların arıtımı için iki kademeli bir yapay sulakalan sistemini incelemişlerdir. Sistemin performansını değerlendirmek için, arazi ölçekli, iki adet seri bağlı tanktan meydana gelen deney tesisinde arıtma verimi 1 yıllık çalışma süresi boyunca farklı yükleme koşullarında izlenmiştir. Deney tesisinde bitki olarak *Cyperus*, dolgu malzemesi olarak çakıl (0-5mm) kullanılmıştır. Atıksu iki tank arasında periyodik olarak geri devir ettirilmiştir. Ortalama yükleme hızı 122 g KOİ. m<sup>-2</sup>.gün<sup>-1</sup> iken % 93' lük bir KOİ giderim verimi sağlanmıştır. Aynı şartlarda diğer kirleticiler için ortalama giderim verimleri NH<sub>4</sub>-N için %95, TN için %90 ve PO<sub>4</sub>-P için %60 olarak bulunmuştur. Sistemin arazi ihtiyacı tam ölçekli bir sistem olarak kullanıldığı zaman kişi başına 0.67 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Küçük ve ark. (2003), yapmış oldukları çalışmada biyolojik arıtma uygulanmış deri endüstrisi atıksularından azot giderimi amacıyla, yapay sulakalanların (saz yataklarının) kullanım olasılığı araştırmışlardır. Pilot ölçekli bir yapay sulakalan sisteminde, biyolojik arıtma işleminden geçirilmiş deri endüstrisi atıksularından KOİ, NH<sub>4</sub>-N'u, PO<sub>4</sub>-P'u ve toplam krom gibi bazı önemli kirleticilerin giderimi incelenmiştir. *Phragmites australis* ve *Typha domingensis* saz türleri ile, sistem kesikli ve sürekli olarak işletilmiştir. Değişik hidrolik alıkonma sürelerinin, başlangıç NH<sub>4</sub>-N (10 mg/L ile 30 mg/L) ve değişik yatak tasarımlarının KOİ, NH<sub>4</sub>-N'u, PO<sub>4</sub>-P'u, toplam askıda katı madde ve toplam krom giderimi üzerine etkileri değerlendirilmiş ve iki bitki türünün arıtma performansları karşılaştırılmıştır. *Typha domingensis* bitkisinin dikili bulunduğu yatay yüzeyaltı akışlı saz yatağının, değişik hidrolik alıkonma süreleriyle sürekli çalıştırılması sonucunda, KOİ giderme verimi %31, NH<sub>4</sub>-N'u giderme verimi %50, PO<sub>4</sub>-P'u giderme verimi %23, toplam krom giderme verimi %55, sülfür giderme verimi %32 olarak gerçekleşmiştir. Sistem kesikli olarak işletildiğinde, alıkonma süresi arttıkça, NH<sub>4</sub>-N'u ve PO<sub>4</sub>-P'u giderme verimleri artarken, KOİ giderme verimi düşmüştür. %82 oranında NH<sub>4</sub>-N'u giderme

verimi ve %83 oranında PO<sub>4</sub>-P'u giderme verimi gibi en yüksek giderme verimleri 14 günlük hidrolik alıkonma süresi ile çalışılan kesikli sistemde elde edilmiştir. *Phragmites australis* ile yapılan deneysel çalışmalar sonunda ise, %95'in üzerinde NH<sub>4</sub>-N'u giderme verimi ve ortalama %30 KOİ giderme veriminin elde edildiği, 8 gün optimum hidrolik alıkonma süresi olarak belirlenmiştir. Sistemde yüksek giriş NH<sub>4</sub>-N'u konsantrasyonlarında, yüksek giderme verimleri sağlanmıştır. 20 mg/L giriş NH<sub>4</sub>-N'u konsantrasyonunda ve 7 günlük hidrolik alıkonma süresinde, %99 NH<sub>4</sub>-N'u ve %40'ın üzerinde KOİ giderme verimi elde edilmiştir.

Korkusuz ve ark. (2005), 2001 yılında ODTÜ kampüs alanı içerisinde, iki farklı dolgu malzemesine sahip (cüruf yatak, çakıl yatak) düşey yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan modeli üzerinde çalışmışlardır. Evsel atıksu ile yapılan çalışmada; dolgu malzemelerinin arıtım performansı üzerine olan etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda cüruf yatağın çakıl yatağa göre daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır. Bir yıllık izleme çalışmaları sonuçlarına göre, ortalama giderim verimlilikleri düşey akışlı cüruf ve çakıl yatak için sırasıyla: AKM (63% & 59%), KOİ (47% & 44%), NH<sub>4</sub>-N (88% & 53%), TN (44% & 39%), PO<sub>4</sub>-P (44% & 1%) ve TP (45% & 4%) olmuştur.

Tayade ve ark. (2005), Hindistan'da yaptıkları çalışmada, iki ayrı yapay sulakalan haznesi tasarlayarak, birine *Typha Latifolia* diğerine ise *Canna Indica* bitkisi ekimi yaparak, çıkış suları analiz sonuçlarını incelemişlerdir. Yapılan inceleme sonunda; *Typha Latifolia* ekimi yapılan birinci hazne çıkış suyunda TKM değerinin 144 mg/L den 25 mg/L ye düştüğü, BOİ değerinin 152 mg/L den 23 mg/L ye düştüğü, fekal koliform miktarının % 96 oranında giderildiği sonucuna ulaşmışlardır. *Cana Indica* ekimi yapılan ikinci hazne çıkış suyunda TKM değerinin 152 mg/L den 38 mg/L ye düştüğü, BOİ değerinin 198 mg/L den 45 mg/L ye düştüğü, fekal koliform miktarının % 82 oranında giderildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Rousseau (2005), Belçika'da yapılan çalışmada, atıksu karakterine bağlı olmaksızın, bitki türlerinin yapay sulakalan sistemlerine adaptasyonunu dikkate almıştır. Buna göre serbest yüzey akışlı sistemler için *Phragmites australias*, *Typha sp.*, *Scirpus sp.*, *Nymphaea sp.*, *Nelumbo sp.*, *Eichhornia crassipes*, *Lemna sp.*,

*Elodea sp.*, *Myriophyllum sp.* ve *Glyceria maxima* türlerinin uygun olduğu sonucuna ulaşmıştır. Yüzeyaltı akışlı sistemler için ise *Phragmites australias*, *Typha sp.*, *Scirpus sp.* türlerinin uygun olduğu sonucuna varmıştır.

Song ve ark. (2006), Çin'in Shandong iline bağlı Rongcheng'de, 1998 yılının Ekim ayında faaliyete geçen 80 ha'lık sulak alanın giderim verimini ve mevsimsel değişikliklerin giderim verimi üzerine olan etkilerini inceledikleri bir çalışma yapmışlardır. Altı yıl sürdürdükleri çalışma, sistemin AKM, KOİ, BOİ, toplam koliform ve fekal koliformda oldukça iyi giderme verimine sahip olduğunu göstermiştir. Ancak sistemin amonyak azotu ve toplam fosfor giderim verimi oldukça düşük çıkmıştır. BOİ, KOİ, amonyak azotu ve toplam fosfor giderimleri mevsimsel değişiklikler göstermiştir. BOİ ve KOİ giderimi kış ve sonbahara göre, yaz ve ilkbaharda daha yüksek olmuştur. Amonyak azotu ve toplam fosfor giderimleri ise kış ve ilkbahara göre, sonbahar ve yaz mevsiminde daha fazla olmuştur.

Saraçoğlu (2006), yaptıkları çalışmada, uygulama alanı olarak Eskikaraağaç köyünü seçmişlerdir. Köye ait evsel atıksuların arıtılması için, yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan arıtma sistemi seçilerek, sistemin mühendislik tasarımı Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğü'nce yapılmıştır. Uluabat gölü kıyısında yer alan sisteme, inşaatı tamamlandıktan sonra bitki ekimi yapılmıştır. Sisteme ekimi yapılan bitkiler, yöreye ait bitkiler olup, sistemin yanındaki Uluabat gölü'nden alınan, saz (*Typha*) cinsi bitkilerdir. Sistemde bitki ekim işleminin tamamlanmasından sonra, bir senelik izleme periyodu ile sistem girişinden ve arıtma sonrası sistem çıkışından numuneler alınmış ve atıksuların analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde; su sıcaklığı, pH, elektriksel iletkenlik ve çözülmüş oksijen değerleri ile askıda katı madde, toplam katı madde, biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, azot, fosfor fraksiyonları ile koliform parametrelerine bakılmıştır. Kirletici parametrelerine ait giderim verimleri, azot için %30-60, fosfor için %10-40, BOI için %35-85, katı madde için %20-80 ve toplam koliform % 60-70 arası bulunmuştur. Yapılan analizler ve araştırmalar sonrasında evsel atıksulardan kirletici parametrelerin



giderimi için, yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan arıtma sistemlerinin güvenilir ve verimli sistemler oldukları gözlenmiştir.

Demirörs (2006), Çukurova Bölgesinde kırsal alanda yapay sulakalanların evsel atıksuları arıtmadaki performansını incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada, bekletme süresi yaklaşık iki gün olan sulakalardan haftalık olarak numuneler alınmış ve giriş ve çıkış suyu için BOİ, KOİ, AKM, pH ve EC analizleri yapılmıştır. Bu süre boyunca mevsimsel olarak sıcaklık, nem ve yağış parametreleri izlenmiştir. Çalışma süresi içerisinde sulak alanın, BOİ, KOİ ve AKM giderimlerinin %90 civarında olduğu gözlenmiştir. Ancak, zaman zaman KOİ giderim performansının %70'in altına düşmesinden dolayı, KOİ giderimi deşarj standartlarının üzerinde kalmıştır. Sulakalana atıksu foseptikten geldiği için, oldukça düşük AKM değerine sahiptir. Bu nedenle AKM giderim performansı olarak sulakalan çalışma süresi boyunca standartları sağlamıştır. Sistemde zaman zaman tıkanmalar meydana gelse de, bu tıkanıklıklar giderildikten sonra sistem normal çalışma kapasitesine dönmüştür. Dünyadaki diğer benzerleri gibi tasarlanan Yenyayla Köyündeki sulak alan, gösterdiği performansla bu sistemlerin Çukurova Bölgesi için uygulanmasında herhangi bir sakınca olmadığını kanıtlamıştır.

Yalçuk (2007), tarafından yapılan pilot ölçekli çalışmada, hidrolik bekleme süresi, vejetasyon ve yatak malzemesi tipinin organik madde (azot, fosfor) üzerindeki etkisi, yatay ve dikey akışlı sistemlerde incelenmiştir. Filtre malzemesi olarak kum ve çakıl taşının yanında, amonyak gideriminde etkili olan zeolit (klinoptilolit) kullanılmıştır. Bu çalışmada, atıksu besleme prensibi olarak yatay ve dikey akış koşullarının sistem performansı üzerine etkisinin incelenmesinin yanında, farklı organik yüklemeye değeri, reaktör konfigürasyonu ve bitki türlerinin de etkisi incelenmiştir. Çalışmalarda kontrol reaktörü kullanılarak arıtım veriminde bitkilerin etkisi de araştırılmıştır. Bitki olarak sulakalanlarda en çok kullanılan *Typha latifolia* ve *Cannaceae* bitkileri seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar yapay sulak alanlarda bulunan vejetasyonun özellikle amonyak gideriminde etkili olduğunu göstermiştir. Bunun yanında fosfor gideriminde bu etkinin önemli olmadığı gözlenmiştir. Sentetik atıksu kullanılarak kontrollü ortamda yapılan çalışmalarda, aynı işletme koşullarında

ancak dış ortamda çalıştırılan sızıntı suyunun arıtıldığı sistem arasında,  $\text{NH}_4\text{-N}$  giderimi açısından %13 kadar fark olduğu görülmüştür. Sentetik atıksuyun içeriğinde amonyak giderimini inhibe edici metallere (Na, K, Ca, Mg vb.) bulunmaktadır. Yatay ve dikey akış koşulları ile yapılan çalışmalarda, dikey akış reaktörlerinin arıtımda daha etkili olduğu görülmüştür. Zeolitin dolgu malzemesi olarak kullanılması arıtımın etkili olmasını sağlamıştır. Düşük  $\text{KOİ}$  yüklemesi,  $\text{KOİ}$  gideriminde düşük olmasına neden olmuştur. *Typha latifolia* ve *Cannaceae* ile yapılan çalışmalarda ise, bitki türünün önemli bir fark yaratmadığı görülmüştür.

Dağlı ve Akça (2007), yaptıkları çalışmada, fosforun yapay sulakalan sistemlerinde giderimini incelemiş, ortam malzemesinin giderim verimine olan etkisi adsorpsiyon izotermi ile açıklamaya çalışmışlardır. Bu etkinin anlaşılabilmesi için ortam malzemesi olarak toprak, demir-çelik endüstrisi yüksek fırın cürufu, perlit, çakıl ve kum kullanılmıştır. Fosfor tutulması açısından en umut verici malzemeler cüruf, çakıl, toprak ve kum olarak bulunmuştur. Sulakalanlarda kullanılma potansiyeli olan yüksek fırın cürufu, kum, çakıl, toprak ve perlitin 21 °C ve 4 °C’de yaz ve kış şartlarında adsorpsiyon denge zamanı, Jar Test düzeneğinde gerçekleştirilen deneyler ile tespit edilmiştir. Aynı düzenek kullanılarak yukarıda verilen ortam malzemelerinin 21 °C ve 4 °C’de, 12 mg/L toplam fosfor (TP) konsantrasyonu için Freundlich, Langmuir ve BET izotermine uygunluğu araştırılmıştır. Kullanılan malzemelerin tümünün Langmuir izotermine uygun adsorpsiyon davranışı gösterdiği saptanmıştır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Kampüsler ve Kampüs Atıksuları

Bu çalışmanın yürütüldüğü, 2002 yılında açılan, öğrenci ve personel nüfusuyla birlikte sosyal aktivite merkezlerinin sayısının hızlı bir şekilde arttığı Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü'nün günümüzdeki ve 2010 yılındaki nüfus tahminleri verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü nüfus tahminleri (Uyanık, 2008)

	YAZ <sub>2008</sub>	GÜZ <sub>2008</sub>	YAZ <sub>2010</sub>	GÜZ <sub>2010</sub>
<b>Öğrenci</b>	100	3000	500	5.000
<b>Personel</b>	200	300	750	1.000
<b>Lojmanlar</b>	50	75	100	150
<b>Öğrenci Yurdu</b>	0	0	200	1.000
<b>TOPLAM</b>	<b>350</b>	<b>3375</b>	<b>1550</b>	<b>7150</b>

2010 yılı için tahmin edilen nüfusun, atıksu eşdeğeri güz ve yaz dönemleri için Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü 2010 güz dönemi atıksu debi tahmini (Uyanık, 2008)

	Kişi başına oluşan atıksu miktarı (L/kişi/gün)	Debi (m <sup>3</sup> /gün)
Öğrenci (5000 kişi)	10	50
Personel (1000 kişi)	10	10
Personel Lojman (150 kişi)	100	15
Öğrenci Yurdu (1000 kişi)	75	75
Yüzme Havuzu (günde 50 kişi)	50	2,5
Yemekhane (Öğr.+Pers. = 6.000 kişi)	2,5	15
Sosyal Tesisler (Günde 100 kişi)	20	2
Sanayi Debisi	Laboratuarlar	5
Sızma Debisi	Sızma Yok	0
<b>PROJE DEBİSİ TOPLAM</b>	<b>Q<sub>EV</sub>+Q<sub>SAN</sub>-Q<sub>SIZMA</sub></b>	<b>174,5</b>

Çizelge 3.3. Harran Ün. Osmanbey Kampüsü 2010 yaz dönemi atıksu debi tahmini (Uyanık, 2008)

	Kişi başına oluşan atıksu miktarı (L/kişi/gün)	Debi (m <sup>3</sup> /gün)
Öğrenci (500 kişi)	10	5
Personel (750 kişi)	10	7,5
Personel Lojman (100 kişi)	100	10
Öğrenci Yurdu (200 kişi)	75	15
Yüzme Havuzu (günde 50 kişi)	50	2,5
Yemekhane (Öğr.+Pers. =1250 kişi)	2,5	3,5
Sosyal Tesisler (Günde 50 kişi)	20	1
Sanayi Debisi	Laboratuarlar	5
Sızma Debisi	Sızma Yok	0
<b>PROJE DEBİSİ TOPLAM</b>	<b>Q<sub>EV</sub>+Q<sub>SAN</sub>-Q<sub>SIZMA</sub></b>	<b>49,5</b>

2010 yılı için tahmin edilen atıksu miktarlarının önümüzdeki yıllarda katlanarak artacağı tahmin edilmektedir. Güz dönemi ve yaz dönemi için öngörülen atıksu miktarları dahi bir bertaraf tesisini zorunlu kılmaktadır. Hidrolik ve biyolojik yük artışlarına ve değişen iklim koşullarına karşı dayanımı yüksek olan yapay sulakalan sistemlerinin, bu artışı tolere edebilecek kapasitede olması bir diğer tercih sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Teorik olarak kampüs atıksuları için alınabilecek kirlilik parametre ve seviyeleri Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Arıtma tesisine gelecek atıksuyun kirlilik parametreleri (Uyanık, 2008)

Kirlilik parametresi	Değer
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) (mg/L)	200
Askıda Katı Madde (AKM) (mg/L)	250
Toplam Azot (TN) (mg/L)	40
Toplam Fosfor (P) (mg/L)	8
pH	6-9

Çizelge 3.5.' te verilen ham evsel atıksu verileri temel alınır, Uyanık (2008)' a göre kampüs atıksuları orta dereceli evsel atıksu kompozisyonundadır.

Çizelge 3.5. Evsel atıksuyun tipik özellikleri (Metcalf and Eddy, 2000).

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
BOİ <sub>5</sub> (20 °C)	mg/L	110	220	400
Askıda Katı	mg/L	100	220	350
Toplam Azot (TN)	mg/L	20	40	85
Toplam Fosfor (P)	mg/L	4	8	15

Kampüs alanlarından gelen atıksuların karakterinin, yaklaşık olarak belirlenmesi amacıyla, Osmanbey Kampüsü kanalizasyon boruları çıkışından alınan numunelerde yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.6’da verilmiştir. Öğrenci yoğunluğunun fazla olmadığı bir dönemde yapılan analiz sonuçlarına göre, Osmanbey Kampüsü atıksularının zayıf dereceli olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 3.6. Osmanbey Kampüsü atıksularının özellikleri

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon
BOI <sub>5</sub> (20 °C)	mg/L	80
KOI	mg/L	160
AKM	mg/L	50
Toplam Azot (TN)	mg/L	40
Toplam Fosfor (P)	mg/L	4,1
pH		7,45

Çiner ve Sarioğlu (2004) kampüs atıksularının inert KOİ bileşenlerini belirlemek amacıyla yapmış oldukları çalışmada, Cumhuriyet Üniversitesi için Çizelge 3.7.’de verilen değerleri kullanmışlardır.

Çizelge 3.7. Cumhuriyet Üniversitesi kampüs atıksularının özellikleri (Çiner ve Sarioğlu, 2004)

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon
BOI <sub>5</sub> (20 °C)	mg/L	178
KOI (Toplam)	mg/L	372
AKM	mg/L	177
NH <sub>3</sub>	mg/L	31.2
PO <sub>4</sub> -P	mg/L	11.3
pH		7.4

Bu bağlamda kampüs atıksularının, debi ve konsantrasyonlarının bölge ve iklim şartları, öğrenci ve personel kapasitesi, sosyal aktivite merkezlerinin sayısı vb. faktörlerle değişim gösterebileceği göz ardı edilmemelidir. Genel itibarıyla kampüs atıksuları zayıf ve orta dereceli evsel atıksu sınıfında değerlendirilebilir.

### 3.2. Çalışma Alanı

Kampüs atıksularının yapay sulakalanlarla arıtılabilirliğinin araştırılması amacıyla Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü alanı içerisine, laboratuvar ölçekli serbest yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı, iki yapay sulakalan sistemi kurulmuştur.

Osmanbey Kampüsü Şanlıurfa'ya 20 km mesafededir ve Harran Üniversitesi'nin üç kampüsü içerisinde en büyük alana sahip (27.000 dönüm) yerleşkedir. İki sistem Çevre Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı binasının önüne, tam güneşli bir alana inşa edilmiştir. Yapay sulakalan reaktörlerinin konumlandırılacağı alana, olası çökmeleri önlemek amacıyla, betonarme bir blokaj döşemesi yapılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanı blokaj teşkili

Çalışmanın yürütüldüğü Şanlıurfa bölgesinde karasal iklim hüküm sürmektedir. Osmanbey Kampüsünün rakımı 492 m'dir (Uyanık, 2008). 30 yıllık iklim verilerine göre, yıllık ortalama sıcaklık 18 °C olup, en yüksek yıllık ortalama sıcaklık 31.4 °C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklık ise yıllık ortalama 5.8 °C ile Ocak ayında yaşanmaktadır. 30 yıllık ortalamalara göre, 1980 yılında en yüksek sıcaklık 46.7 °C ve 1979 yılında en düşük sıcaklık -15.1 °C olarak belirlenmiştir. Ortalama yıllık bağıl nem % 57, ortalama toplam yağış miktarı 284.2 mm, ortalama

kar yağışlı günler sayısı 1.8, en yüksek kar örtüsü kalınlığı 7 cm'dir. Ortalama rüzgar hızı (bofor) 1.1 ve en hızlı esen rüzgarın yönü Doğu istikametli olarak bildirilmiştir (Yeşilnacar ve ark., 2007).

Çalışmaların yürütüldüğü Ekim 2007 - Temmuz 2008 arasındaki ayların ortalama yağış, sıcaklık, buharlaşma ve nem verileri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Ekim 2007 - Haziran 2008 arasındaki ayların ortalama yağış, sıcaklık, buharlaşma ve nem verileri (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Yağış (mm)	25.9	15.4	45.6	57.1	28.3	12.4	1.8	26.7	8.6
Sıcaklık (°C)	21.6	12.5	6.8	3.7	6.6	14.7	20.5	22.2	29.8
Buharlaşma (mm)	4.1	-	-	-	-	-	5.1	5.8	9.4
Nem (%)	47.7	58.2	65.6	52.3	60	55.8	48	47.2	29.8

### 3.3. Bölgede Yürütülen Arazi Çalışmaları ve Kullanılan Bitkiler

Serbest yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı iki yapay sulakalanın inşası öncesinde, bölgeye adapte olmuş bitki türlerini belirlemek amacıyla, Şanlıurfa ili ve ilçelerinde bir takım arazi çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar Şanlıurfa-Mardin karayolu (20 km'lik kısımda), Bozova, Akçakale ve Harran Ovası'nın muhtelif yerlerinde yapılmıştır.

Çalışmalar neticesinde bu bölgeye adapte olmuş ve geniş alana yayılmış 3 adet yapay sulakalanlarda kullanılabilecek bitki türü saptanmıştır. Bu bitkiler; *Phragmites Australis*, *Cattails (typha)* ve *Juncus Effusus* bitkileridir (Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4). Buna ek olarak Anız Köyü'nde Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilen pilot ölçekli yapay sulakalanda bulunan *Canna İndica* bitkisinin de bölgeye adapte olduğu görülmüştür. Bitkiler araziden alınıp çalışma alanına getirilmiş ve bir süre saksılarda muhafaza edilmiştir.





Şekil 3.2. Phragmites Australis (Osmanbey kampüs alanı)



Şekil 3.3 Cattails (typha) (Şanlıurfa-Mardin yolu 10. km)





Şekil 3.4. Juncus Effusus (Şanlıurfa-Mardin yolu 8. km)

Birbirine alternatif olan bu bitki türleri arasından bu bölgede en geniş yayılımı gösteren, kısa sürede yüzey alanı kaplama yeteneğine ve güçlü kök sistemine sahip olan *Phragmites Australis* bitkisi, tasarlanan her iki sistemde eş zamanlı olarak kullanılmıştır. Bununla beraber sistemde muhtelif yerlere, estetik açıdan katkı sağlaması amacıyla, Kana Çiçeği ekilmiştir.

### 3.3.1. Phragmites australis (kamuş)

Eş adları; *Arundo australis* ve *Phragmites communis* olup, gövdeleri yalın, 3m.'ye kadar uzayan, çok yıllık, su üstü yabancı otudur. Dilcik 0,5-1mm boyundadır, tüylerden oluşmuş yoğun bir saçak şeklindedir, genç dönemlerinde dış yüzeylerinde aynı zamanda 1cm'ye kadar uzayan 1 sıra dik tüy bulunur. Yaprak ayaları taban bölümlerinde daralmıştır, 60x3 cm. boyutlarına kadar büyüyebilir, uzun ve belirgin bir uca doğru giderek daralır, kenarları pürüzlüdür. Bileşik salkım 40 cm'ye kadar uzayabilir, demetçiklerin taban bölümleri tüylüdür. Başakçıklar 3-6 çiçeklidir. Başakçık kavuzları eşit boyda değildir, pürüzlüdür, alt kavuz yumurtamsı-mızraksı, kısa sivri uçlu ve 5-6 mm boyundadır. Dış kavuz dar mızraksı, uzun sivri uçlu ve 9-10 mm'dir. En alttaki dış kavuz, üst kavuzun 2 katı boydadır. Başakçık eksenini

üzerindeki tüyler 7–9 mm'dir. Erkek organ başçıkları 1–1,7 mm'dir. Göller, ırmaklar, kanallar, bataklıklar, kanal ve deniz kıyılarında gelişir (Altınayar, 1988).

### 3.3.2. Kana çiçeği (*canna indica*)

*Canna indica* adını eski Yunancada kamış anlamına gelen *Canna*'dan almıştır. Vatanı tropikal Orta Amerika'dır. 1570 yılında çiçek dünyasında tanınmıştır. Yılboyu yeşil kalan yumru bir süs bitkisidir. Boyu 1,5 m'ye kadar çıkar, çok geniş yaprakları vardır. Çiçekleri sarı, kırmızı ve portakal rengindedir (Şekil 3.5). Güneşi çok sever ve çiçeklerini yaz ile sonbahar günlerine kadar sürdürür. Bol su ister, gölgeli yerlerde de yetişebilir (Demirörs, 2006).



Şekil 3.5. *Canna İndica* ([www.botany.hawaii.edu/faculty/carr](http://www.botany.hawaii.edu/faculty/carr))

### 3.4. Kullanılan Dolgu Malzemesi

Dolgu malzemesi olarak, ekonomik ve doğal olması nedeniyle yıkanmış nehir çakılı ve yörede tarım arazilerinde bulunan kırmızı-kahverengi Harran Toprağı kullanılmıştır. Üniform nehir çakıllarının dane çapı 8-12 mm'dir (Şekil 3.6). Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminin giriş ve çıkış yapılarında tıkanmaları engellemek amacıyla kullanılan nehir çakıllarının dane çapı 50-100 mm arasındadır

(Şekil 3.6). Kullanılan nehir çakılları Şanlıurfa'nın Birecik ilçesinden (Fırat Nehri) temin edilmiştir.



Şekil 3.6. Sistem dolgu malzemesi olarak yıkanmış nehir çakılı

### 3.5. Kullanılan Atıksu Özellikleri

Serbest yüzey ve yüzeyaltı akışlı sistemlere kontrollü ve sürekli olarak besleme yapılabilmesi için, çalışma süresi boyunca (Ekim 2007-Temmuz 2008), 15.01.2001 tarihinde ISO DIN sekreteryası tarafından, ISO/CD 11733 numaralı standarda revizyon olarak ISO/TC 147/SC5 N324 kodu ile yayınlanan, 3 adet sentetik evsel atıksu reçetesi içinden seçilen 2 numaralı sentetik atıksu kullanılmıştır.

Kullanılan sentetik atıksu reçetesinin içeriği Çizelge 3.9'de verilmiştir. Sentetik atıksu reçetesi, değiştirilen işletim koşulları çerçevesinde, çalışma süresince pepton ve et ekstraktı miktarları artırılarak modifiye edilmiştir.

Çizelge 3.9. Çalışmada kullanılan sentetik atıksu reçetesi (ISO, 2001)

İçerik	Konsantrasyon (mg/L)
Pepton	192
Et ekstraktı	138



Çizelge 3.9. Devam

Glikoz monohidrat	19
Amonyum klorit ( $NH_4Cl$ )	23
Anhydrous potasyum monohidrojenfosfat ( $K_2HPO_4$ )	16
Disodyum hidrojen fosfat dihidrat ( $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$ )	32
Sodyum hidrojen bi karbonat ( $NaHCO_3$ )	294
Sodyum klorit ( $NaCl$ )	60
Demir(III) klorit heksahidrat ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ )	40
Musluk suyu	1 litre

### 3.6. Serbest ve Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulakalanların Tasarımı

Yapay sulakalan tasarımında kullanılan, birbirine alternatif 4 tasarım metodu aşağıda verilmiştir.

- Crites & Tchobanoglous Metodu (Crites & Tchobanoglous, 1998),
- EPA Metodu (EPA, 2000),
- R. Kadlec & R. Knight Metodu (Kadlec & Knight, 1996 ),
- Reed, Crites & Middlebrooks Metodu (EPA, 1988).

Sözü edilen metotlarda evsel nitelikli atıksularının arıtımı için inşa edilmek istenen yapay sulakalanların boyutlandırma esasları verilmektedir. Bu kaynaklarda farklı yapay sulakalan dizayn metotları bulunmaktadır. Her metodun kendine özgü güçlü ve zayıf yanları mevcuttur. Bu metotlarda temel olarak atıksuda mevcut olan AKM ve BOİ yükleri baz alınarak gerekli olan toplam alanı hesaplama yöntemleri önerilir. Bazıları her iki yüke göre de hesaplama verirken, bazı yöntemlerde sadece AKM yükünü baz alarak alan hesabı yapar. Bazı yöntemlerde ise, toplam azot yükü ve fekal koliform miktarına göre alan hesapları bulunmaktadır. Gerçek anlamda bir yapay sulakalan yapılmak istendiğinde, hangi metodun kullanılması gerektiğine mühendislik bakış açısı ve kullanım amacı göz önüne alınarak karar verilebilir.

İki sistem için de BOİ yüküne göre tasarım yapılmıştır. Yukarıda adı geçen metotlardan; BOİ, azot ve AKM yüklerine göre tasarım yapmanın mümkün olduğu ve geçmişten günümüze kadar sıkça kullanılmış olan Reed, Crites & Middlebrooks

Metodu kullanılmıştır. Kampüs atıksuları için BOİ konsantrasyonu 200 mg/L olarak ön görülmüştür. Her iki sistem için verilmesi düşünülen günlük su miktarı 100 L'dir. Ortalama en düşük su 8 °C alınmıştır.

### 3.6.1. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalan tasarımı

$$\frac{C_e}{C_0} = A \times \exp(-0.7 \times K_T \times (A_v)^{1.75} \times t) \quad (\text{EPA,1988}). \quad (3.1)$$

$C_0$  : Giriş BOİ konsantrasyonu, mg/L.

$C_e$  : Çıkış BOİ konsantrasyonu, mg/L.

$A$  : Sulakalan girişinde ön çökeltmeyle giderilememiş BOİ<sub>5</sub> fraksiyonunu temsil eden amprik olarak tespit edilmiş bir katsayı (EPA, 1988).

0.7 : Amprik bir sabit (EPA, 1988).

$K_T$  : Sıcaklığa bağlı 1. derece reaksiyon hız sabiti, gün<sup>-1</sup>

$A_v$  : Mikrobiyolojik aktivite için spesifik yüzey alanı, m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

$t$  : bekletme süresi, gün.

$$t = \frac{L \times W \times n \times d}{Q} \quad (\text{EPA,1988}). \quad (3.2)$$

$L$  : Havuz uzunluğu, m.

$W$  : Havuz genişliği, m.

$n$  : Bitkiler tarafından kapatılmamış enkesit alanının oranı (EPA, 1988).

$d$  : Havuz derinliği, m.

$Q$  : Sistemden geçen debi, m<sup>3</sup>/gün.

$$K_T = K_{20} \times (1.1)^{(T-20)} \quad (\text{EPA,1988}). \quad (3.3)$$

$K_T$  : Sıcaklığa bağlı 1. derece reaksiyon hız sabiti, gün<sup>-1</sup>

$K_{20} = 20$  °C'deki reaksiyon hız sabiti, gün<sup>-1</sup>.

$T$  = En düşük su sıcaklığı, °C.

**Tasarım Kriterleri**

$$C_o = 200 \text{ mg/L}$$

$$C_e = 30 \text{ mg/L}$$

$$Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$n = 0.75 \text{ (EPA, 1988).}$$

$$K_{20} = 0,0057 \text{ gün}^{-1} \text{ (EPA, 1988).}$$

$$A = 0,52 \text{ (EPA, 1988).}$$

$$A_v = 15 \text{ m}^2/\text{m}^3 \text{ (EPA, 1988).}$$

$$T = 8^\circ \text{C}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$W = 2 \text{ m}$$

**1. Sıcaklık düzeltme faktörü ( $K_T$ )**

$$K_T = K_{20} \times (1.1)^{(T-20)} = 0.0018 \text{ gün}^{-1}$$

**2. Bekleme Süresi (t)**

$$\frac{C_e}{C_o} = A \times \exp(-0.7 \times K_T \times (A_v)^{1.75} \times t)$$

$$\frac{30}{200} = 0.52 \times \exp(-0.7 \times 0.0018 \times (15.7)^{1.75} \times t)$$

$$t = 8 \text{ gün}$$

**3. Havuz derinliği (d)**

$$t = \frac{L \times W \times n \times d}{Q}$$

$$d = \frac{Q \times t}{L \times W \times n}$$

$$d = \frac{0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times 8 \text{ gün}}{2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0.75}$$

$$d = 0,27 \text{ m}$$

**4. Kesit alanı ( $A_k$ )**

$$A_k = d \times W = 0.27m \times 2m = 0.54m^2$$

**5. Yüzey alanı ( $A_y$ )**

$$A_y = L \times W = 2m \times 2m = 4m^2$$

**6. Hidrolik yükleme hızı ( $L_w$ )**

$$L_w = \frac{Q}{L \times W} = \frac{0.1 \frac{m^3}{gün}}{2m \times 2m} = 0.025 \frac{m^3}{m^2 - gün} < 0.047 \frac{m^3}{m^2 - gün}$$

**7. Biyolojik yükleme hızı ( $X$ )**

$$X = \frac{C_0}{A_y} \times Q = \frac{200 \frac{mg}{l}}{4m^2} \times 0.1 \frac{m^3}{gün} = 0.005 \frac{kg}{m^2 - gün} < 0.0067 \frac{kg}{m^2 - gün}$$

**3.6.2. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan tasarımı**

$$\frac{C_e}{C_0} = \exp(-K_T \times t) \quad (\text{EPA, 1988}) \quad (3.4)$$

$C_0$  : Giriş BOİ konsantrasyonu, mg/L.

$C_e$  : Çıkış BOİ konsantrasyonu, mg/L.

$K_T$  : Sıcaklığa bağlı 1. derece reaksiyon hız sabiti, gün<sup>-1</sup>

$t$  : Bekletme süresi, gün.

$$A_k = \frac{Q}{K_s \times S} \quad (\text{EPA, 1988}) \quad (3.5)$$

$A_k$  : Kesit Alanı, m<sup>2</sup>.

$Q$  : Sistemden geçen debi, m<sup>3</sup>/gün.

$K_s$  : Ortamın hidrolik iletkenliği, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-gün.

S : Havuz eğimi.

$$t = \frac{L \times W \times n \times d}{Q} \quad (\text{EPA, 1988}) \quad (3.6)$$

L : Havuz uzunluğu, m.

W : Havuz genişliği, m.

n : Havuz ortamının porozitesi.

d : Havuz derinliği, m.

Q : Sistemden geçen debi, m<sup>3</sup>/gün.

$$K_T = K_{20} \times (1.1)^{(T-20)} \quad (\text{EPA,1988}). \quad (3.3)$$

$K_T$  = Sıcaklığa bağlı 1. derece reaksiyon hız sabiti, gün<sup>-1</sup>

$K_{20}$  = 20 °C'deki reaksiyon hız sabiti, gün<sup>-1</sup>.

T = En düşük su sıcaklığı, °C.

### Tasarım Kriterleri

$$C_0 = 200 \text{ mg/L}$$

$$C_e = 30 \text{ mg/L}$$

$$Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$n = 0.35 \quad (\text{EPA, 1988}).$$

$$S = 0.0002$$

$$K_s = 500 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-gün} \quad (\text{EPA, 1988}).$$

$$K_{20} = 0.86 \text{ gün}^{-1} \quad (\text{EPA, 1988}).$$

$$T = 8^\circ\text{C}$$

$$d = 0.5 \text{ m}$$

### 1. Sıcaklık düzeltme faktörü ( $K_T$ )

$$K_T = K_{20} \times (1.1)^{(T-20)} = 0.274 \text{ gün}^{-1}$$

### 2. Bekleme Süresi (t)



$$C_e/C_o = \exp(-K_T \times t)$$

$$30/200 = \exp(-0.274 \times t)$$

$$t = 7 \text{ gün}$$

### 3. Kesit alanı ( $A_k$ )

$$A_k = \frac{Q}{K_s \times S}$$

$$A_k = \frac{0.1 \frac{m^3}{gün}}{500 \frac{m^3}{m^2 \cdot gün} \times 0.0002} = 1m^2$$

### 4. Genişlik (W)

$$W = \frac{A_k}{d}$$

$$W = \frac{1m^2}{0.5m}$$

$$W = 2m$$

### 5. Havuz uzunluğu (L)

$$t = \frac{L \times W \times n \times d}{Q}$$

$$L = \frac{Q \times t}{W \times n \times d}$$

$$L = \frac{0.1 \frac{m^3}{gün} \times 7 \text{ gün}}{2m \times 0.35 \times 0.5m}$$

$$L = 2m$$

### 6. Yüzey alanı ( $A_y$ )

$$A_y = L \times W = 2m \times 2m = 4m^2$$

### 7. Hidrolik yükleme hızı ( $L_w$ )

$$L_w = \frac{Q}{L \times W} = \frac{0.1 \frac{m^3}{gün}}{2m \times 2m} = 0.025 \frac{m^3}{m^2 - gün} < 0.047 \frac{m^3}{m^2 - gün}$$

### 8. Biyolojik yükleme hızı ( $X$ )

$$X = \frac{C_0}{Ay} \times Q = \frac{200 \frac{mg}{l}}{4m^2} \times 0.1 \frac{m^3}{gün} = 0.005 \frac{kg}{m^2 - gün} < 0.0067 \frac{kg}{m^2 - gün}$$

Hidrolik ve biyolojik yükleme hızları her iki sistem için de sınırlar dâhilindedir.

### 3.7. Reaktörlerin Giriş-Çıkış Yapıları, Montajı ve İşletime Alınması

Tasarımını takiben her iki sistemin de inşasına başlanmıştır. Yapay sulakalan reaktörleri paslanmaya karşı dirençli olan galvanizli sacdan imal edilmiştir. Reaktörler sızdırmazlık deneylerinin akabinde, Osmanbey Kampüsüne getirilmiştir. Serbest ve yüzeyaltı akışlı reaktörlerin giriş ve çıkış tertibatları Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Serbest yüzey akışlı sistem giriş ve çıkış yapıları



Şekil 3.8. Yüzeyaltı akışlı sistem giriş yapısı



Şekil 3.9. Yüzeyaltı akışlı sistem çıkış yapısı

Her iki sistemde homojen su dağılımını sağlamak amacıyla eşit aralıklarla 2 cm çapında orifisler açılmıştır. Yüzeyaltı akışlı sistemde, orifisler havuz tabanından 20 cm yukarıda olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu sayede sistem içerisindeki olası kısa devrelerin önüne geçileceği düşünülmüştür. Serbest yüzey akışlı sistemde ise orifisler, su yüzeyinden itibaren 20 cm yukarı olacak şekilde tertip edilmiştir.

Yüzeyaltı akışlı sistemde sular 50 cm yüksekliğindeki plakadan savaklanarak, 10\*200 cm en ve boya sahip bir hazneye alınmakta (Şekil 3.9) ve buradan da 5

cm'lik çapa sahip borularla sistemi terk etmektedir. Serbest yüzey akışlı sistemde ise sular su kotu olan 27 cm'den yine 5 cm'lik borularla alınmaktadır.

Önceden, olası çökmelere karşı tedbir amacıyla hazırlanmış blokajın üzerine oturtulan reaktörler, su terazisi vasıtasıyla teraziye alınmıştır. Bu işlemi takiben dolgu malzemesi montajı başlamıştır. Yüzey altı akışlı yapay sulakalan sisteminin giriş ve çıkış yapılarına, olası tıkanmaları önlemek amacıyla 20 cm'lik, 50-100 mm çapında iri nehir çakılı döşenmiştir (Şekil 3.10).



a) Giriş dolgu malzemesi dizaynı

b) Çıkış dolgu malzemesi dizaynı

Şekil 3.10. Yüzeyaltı akışlı sistem giriş ve çıkış dolgu malzemesi

Eş zamanlı olarak 8-12 mm çapa sahip ince nehir çakılına montajı yapılmış ve 50 cm'lik dolgu malzemesinin üzerine koku problemini ortadan kaldırmak amacıyla 20 cm kalınlığında kırmızı-kahverengi Harran Toprağı serilmiştir. Serbest yüzey akışlı sisteminin tabandan başlayarak ilk 20 cm'lik kısma kadar ince nehir çakılı ve onun üzerine 30 cm'lik kırmızı-kahverengi Harran Toprağı serilmiştir. Bu işlem sonrasında toprak nemlendirilmiş ve bitki ekimine geçilmiştir (Haziran-2007). Yüzey alanı boyunca metrekareye 5 adet *Phragmites Australis* bitkisi ve havuz çevresine metreye 1 adet estetik açıdan katkı sağlayacağı düşünülen Kana Çiçeği ekilmiştir (Şekil 3.11). Sistem montajı tamamlandıktan sonra, bitkiler yaklaşık 4 ay boyunca musluk suyu ile beslenmiştir. Bu sayede, sistemin işleme alınabilmesi için, kâfi oranda bitki sayısına ulaşılmıştır. (Şekil 3.12).





Şekil 3.11. Bitki ekimi sonrası genel görünüm



Şekil 3.12. YAYS ve SYYS, genel görünüm (Ekim ayı)

Ekim-2007 tarihi itibariyle sisteme sentetik atıksu beslemesine başlanmıştır. Hazırlanan sentetik atıksular, yine paslanmaya karşı dirençli galvanizli sacdan imal edilmiş atıksu tanklarından, peristaltik pompa ve musluk hortumları vasıtasıyla sistemlere, çalışma süresi boyunca sürekli olarak verilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Atıksu besleme düzeneği

Sentetik atıksu teşkilinde kullanılan bazı kimyasalların tam anlamıyla çözünmesine ve çökmemesine olanak sağlamak amacıyla karıştırıcılar kullanılmıştır. Karıştırıcılar bir zaman ayarlayıcısı yardımıyla 75 dk'da sadece 15 dk düşük devirde çalıştırılmıştır. Sentetik atıksular, bozulmalara tedbiren günlük hazırlanmıştır.

### 3.8. Atıksu Analiz Yöntemleri

Yüzeyaltı ve serbest yüzey akışlı sistemlerin çıkış sularında KOİ, BOİ<sub>5</sub>, AKM, TP, TN ve pH analizleri yapılmıştır. KOİ, pH ve AKM analizleri haftada 3 (Pazartesi-Çarşamba-Cuma), BOİ<sub>5</sub> analizleri haftada 2 (Çarşamba-Cuma), TP analizleri haftada 1 veya 2 (Mart-2008'den itibaren), TN analizleri haftada 2 (Haziran-2008'den itibaren) kez yürütülmüştür. Her bir çıkış atıksu numunesi için eş zamanlı olarak 2 kez ölçüm yapılmıştır.

#### 3.8.1. pH

pH analizleri, Hanna Instruments pH 211 ve WTW Multiline P4 marka cihazlarla paralel olarak yürütülmüştür.

### 3.8.2. KOİ

KOİ analizleri “Standard Methods–5220 C. Closed Reflux, Titrimetric Method” yöntemine göre yürütülmüştür (Standard Methods, 1999).

### 3.8.3. BOİ<sub>5</sub>

BOİ<sub>5</sub> analizleri, “Standard Methods-5210 B. 5-Day BOD Test” yöntemine göre yürütülmüştür (Standard Methods, 1999).

### 3.8.4. AKM

AKM ölçümleri, Whatman GF/C 40 filtre kâğıdı kullanılarak Standart Metotlara uygun olarak yapılmıştır. Gravimetrik ölçümlerde ise Presica marka 205 A SCS model analitik terazi kullanılmıştır (Standard Methods, 1999). AKM, giriş atıksuyunda ölçülemeyecek kadar küçüktür. AKM analizleri, çıkış sularında KOİ değerlerinde meydana gelen pik seviyelere ışık tutmak amacıyla yapılmıştır.

### 3.8.5. TP ve TN

Toplam Fosfor ve Toplam Azot analizleri, Merck marka Nova 60 model fotometre cihazı ile hazır test kitleri kullanılarak yapılmıştır.

## 3.9. Sistem İşletim Koşulları

Yüzeyaltı ve serbest yüzey akışlı yapay sulakalan sistemleri Ekim 2007- Temmuz 2008 tarihleri arasında farklı hidrolik ve biyolojik yükler uygulanarak test edilmiştir (Çizelge 3.10) . Sistemlere, sıcak geçen aylarda yüksek, soğuk geçen aylarda düşük biyolojik yükleme yapılmıştır. Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında sistemlere, literatürde BOİ yüküne getirilmiş olan <6.7 g/m<sup>2</sup>-gün üst limit değerinin üzerinde ve 9.375 ile 10.625 g/m<sup>2</sup>-gün arasında değişen yüklemeler yapılmıştır. TN analizleri ancak Haziran ve Temmuz ayları dahilinde yapılabilmektedir.

Çizelge 3.10. Sistem işletim koşulları

	<b>Hidrolik Yükleme L/m<sup>2</sup>.gün</b>	Giriş BOİ mg/L	BOİ Yükü g/m <sup>2</sup> .gün	Giriş KOİ mg/L	KOİ Yükü g/m <sup>2</sup> .gün	Giriş TP mg/L	TP Yükü g/m <sup>2</sup> .gün	Giriş TN mg/L	TN Yükü g/m <sup>2</sup> .gün
<b>Ekim</b>	27.5	170	4.675	240	6.6				
<b>Kasım</b>	27.5	170	4.675	240	6.6				
<b>Aralık</b>	27.5	170	4.675	240	6.6				
<b>Ocak</b>	27.5	120	3.3	195	5.362				
<b>Şubat</b>	27.5	120	3.3	195	5.362				
<b>Mart</b>	27.5	120	3.3	195	5.362	19	0.522		
<b>Nisan</b>	27.5	120	3.3	195	5.362	19	0.522		
	37.5		4.5		7.312		0.712		
<b>Mayıs</b>	37.5	250	9.375	330	12.375	19	0.712		
	42.5		10.625		14.025		10		
<b>Haziran</b>	42.5	250	10.625	330	14.025	10	0.425	57	2.422
<b>Temmuz</b>	42.5	250	10.625	330	14.025	10	0.425	57	2.422

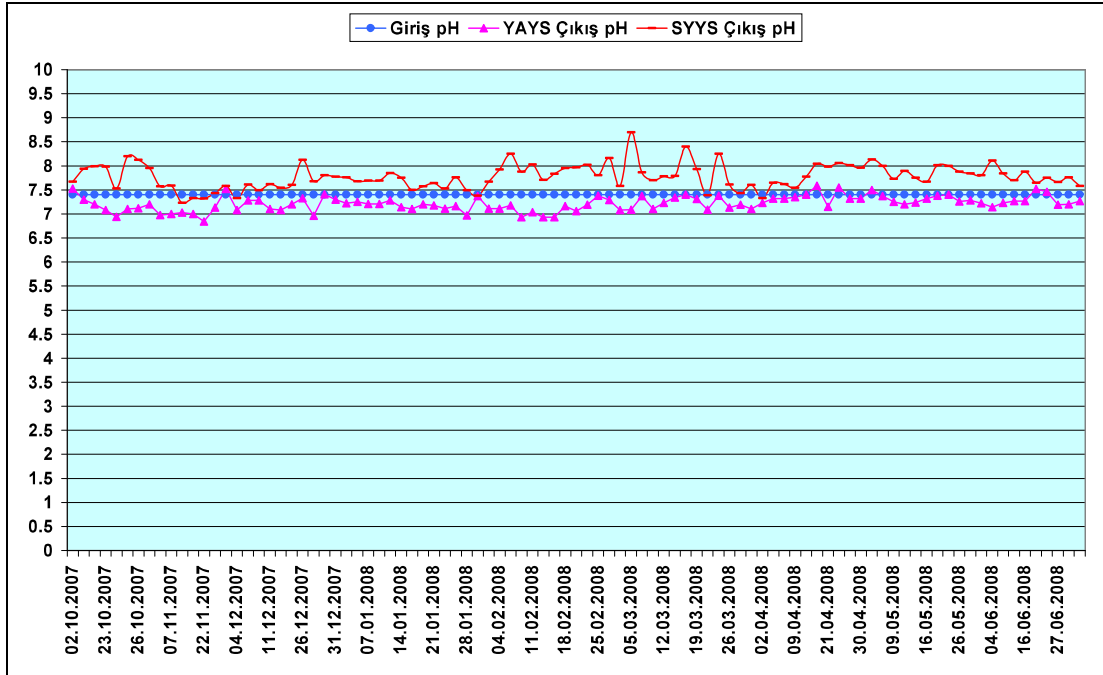


#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan (YAYS) ve serbest yüzey akışlı yapay sulakalan (SYYS) sistemleri yaklaşık olarak 9 ay süresince işletilmiştir. Bu zaman zarfının (Ekim 2007-Temmuz 2008) 4 mevsimi de kapsamı dolayısıyla, iklimsel değişimlerin, kampüs atıksularının arıtımı amacıyla kurulan iki sistem üzerine olan etkileri gözlemlenmiştir. Bu bölümde, iki sistemin farklı yükleme koşullarındaki davranışları, kirlilik giderim verimleri, bitki gelişimi ve arıtım verimi üzerine olan etkiler irdelenmiştir. Aynı zamanda iki sistemin birbirine göre avantaj-dezavantajları ortaya konularak ve giderim verimleri kıyaslanmıştır.

##### 4.1. YAYS ve SYYS Sistemlerinin pH Değişimi

Her iki sistem de işletim süresi boyunca aynı özellikte atıksu ile beslenmiştir. Giriş atıksuyu pH değeri işletim süresi boyunca  $7.4 \pm 0.1$  civarında değişim göstermektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. YAYS ve SYYS de pH değişimi

YAYS sistemi çıkış suları üzerinde yapılan pH analizlerinde, çok büyük mevsimsel değişimler gözlenmemiştir (Şekil 4.1). İşletim süresi boyunca pH seviyesi 6.84 ile 7.59 arasında değişmektedir. Sistem pH sınırın genel itibariyle giriş suyu pH sına göre düşük olması; atmosfere kapalı olan su ortamı ve mikrobiyolojik parçalanmalar sonucu oluşan karbondioksitin etkin bir şekilde atmosfere verilememesiyle açıklanabilir.

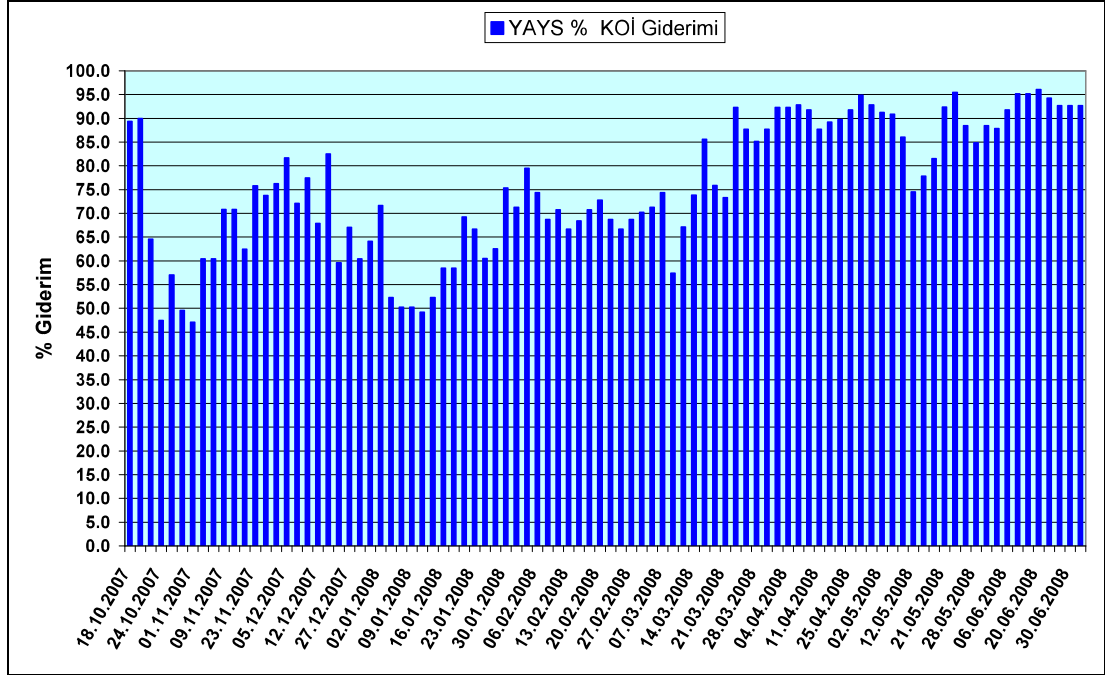
SYYS sistemi çıkış suları pH seviyelerindeki salınımlar, YAYS sistemine göre daha fazladır. İşletim süresince, SYYS sistemi çıkış suları pH değerleri 7.23 ile 8.70 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.1). Aynı zamanda sistemin işleme alınmasından itibaren gözlemlenen alg üremesinin bu salınımda etkili olduğu düşünülmektedir. Giriş atıksuyuna nazaran, SYYS sisteminin çıkış sularının pH değerlerinin yüksek olması, stabilizasyon havuzlarında meydana gelen alg faaliyetleriyle açıklanabilir; Güneş ışığı altında hem fotosentez hem de solunum olayı olur. Solunum olayı fotosentez olayına göre çok düşüktür. Havuz yüzeyindeki işlem  $CO_2$  tüketimi  $O_2$  üretimi ile sonuçlanır (Öztürk, 2006). Ortamdan karbondioksitin uzaklaştırılıp oksijen verilmesinin doğal sonucu pH değerindeki artıştır. Neticede alg üremesi, SYYS sisteminde pH artışlarına neden olmuştur. Alg faaliyetlerinin yanısıra sistemin atmosfere açık olması da etken faktördür.

## 4.2. KOİ Giderimi

Sulakalan yataklarında yer alan devinimsiz bölgelerde, çökebilir maddeler çökelme ve filtrasyon mekanizmalarıyla giderilebilirken, organik maddeler aerobik ve anaerobik heterotrof mikroorganizmalar tarafından giderilmektedirler.

KOİ giderimini etkileyen başlıca parametreler atıksuyun KOİ yükü, yatakların tasarımı, işletme koşulları, kullanılan dolgu malzemelerinin özellikleri, oksijen difüzyonu ve konveksiyonudur (Korkusuz, 2005).

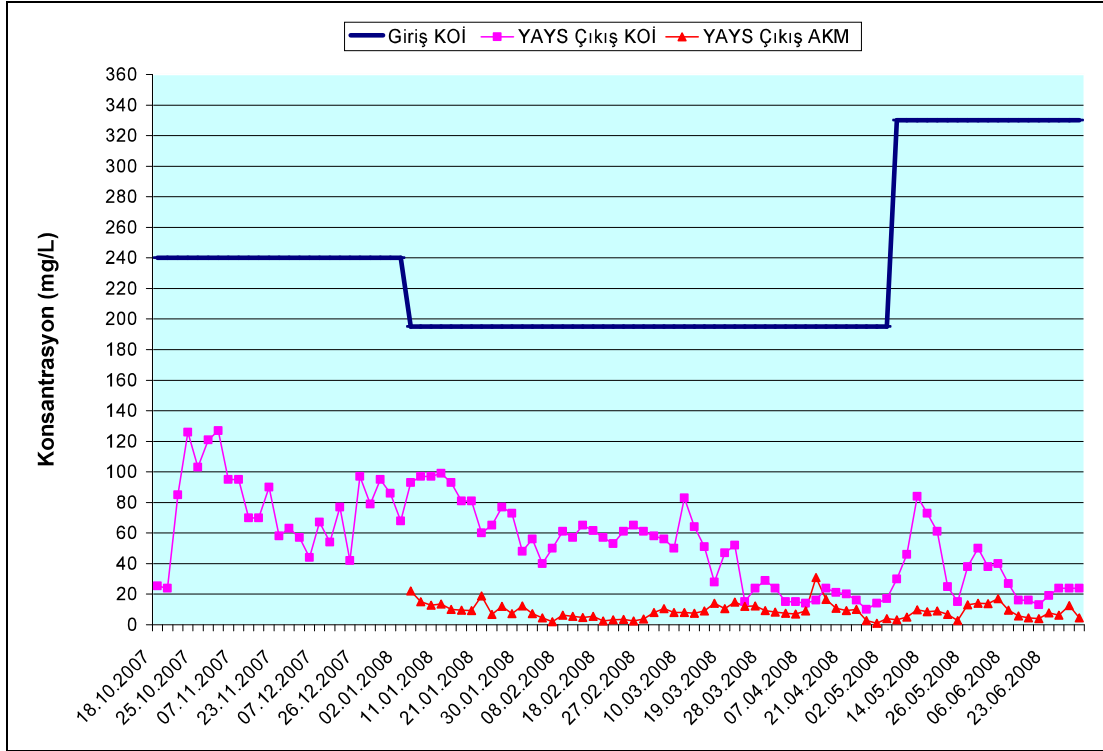
## 4.2.1. YAYS KOİ giderimi



Şekil 4.2. YAYS % KOİ giderimi

YAYS sisteminde % KOİ giderimi işletim süresi dahilinde 47.1 ile 96.1 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.2). En düşük % KOİ giderim verimi sistemin işleme alınmasından yaklaşık 30 gün sonra, en yüksek verim ise hava ve su sıcaklığının en yüksek olduğu Haziran ayında kaydedilmiştir. İlk aylarda gözlenen düşük giderim verimleri, sistemin atıksuya adaptasyon sağlamaya başlamasıyla Kasım ve Aralık aylarında yükselişe geçmiştir. En soğuk geçen Ocak ayında ise, KOİ yükünün düşük ( $5.362 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün}$ ) olmasına rağmen, arıtım verimi kısmen düşüğe geçmiştir. Hava sıcaklığının Mart ayı itibariyle yükselmesi sistem performansını artırmıştır. KOİ yükü Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında sırasıyla  $7.312$ ,  $12.375$  ve  $14.025 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün}$  olacak şekilde artırılmasına rağmen, sistemin giderim verimi sürekli artış göstermiştir.

YAYS sisteminde çıkış sularındaki AKM konsantrasyonu işletim süresi boyunca stabil konumdadır (Şekil 4.3). Giriş suyunda AKM'nin sifıra yakın olmasına rağmen çıkış sularında ortalama  $9 \text{ mg/L}$  seviyesinde AKM gözlenmesi, suyun akış esnasında biyofilm tabasına uyguladığı hidrolik kesme kuvvetiyle açıklanabilir.

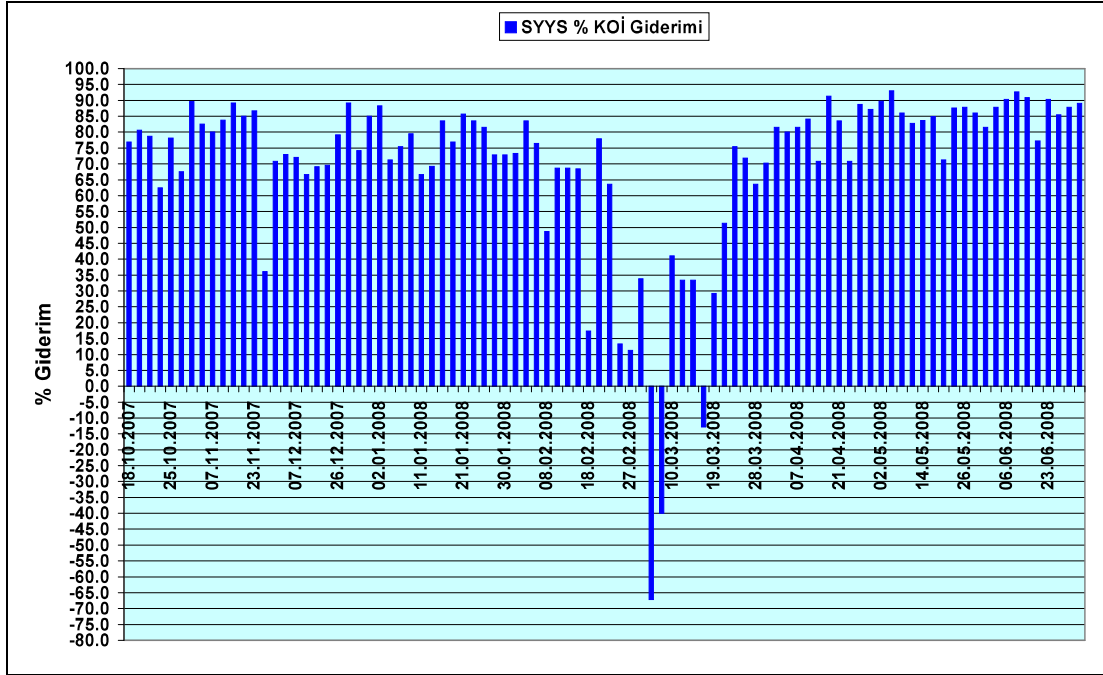


Şekil 4.3. YAYS, KOİ ve AKM değişimi

İlk aylarda çıkış KOİ değerlerinin salınım göstermesi, kök sisteminin dolgu malzemesi içerişindeki gelişimini tam olarak tamamlayamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu aylarda giriş KOİ konsantrasyonu 240 mg/L, çıkış KOİ konsantrasyonu ise ortalama 77 mg/L seviyesindedir (Şekil 4.3). Yılın en soğuk ayı olan Ocak ayında, giriş KOİ konsantrasyonu 195 mg/L'de tutulmuştur. Ocak ayı ve Şubat ayının başlarında, çıkış KOİ konsantrasyonu, biyolojik parçalanmanın sıcaklığın azalmasına doğru orantılı olarak azalması nedeniyle, ortalama 79 mg/L civarında seyretmiştir. Mart ayında hava sıcaklığında meydana gelen artışlar neticesinde 195 mg/L giriş konsantrasyonuna karşılık, çıkış konsantrasyonu ortalama 44 mg/L'ye kadar düşmüştür (Şekil 4.3). Nisan ayı dahilinde bekletme süresi 6.36 günden 4.66 güne düşürülmüş olmasına rağmen, çıkış suyu konsantrasyonunun ortalama 16 mg/L KOİ içermesi, sıcaklığın sistem performansı üzerinde etkin olduğunu göstermektedir. Mayıs ayının ortalarından itibaren, giriş KOİ konsantrasyonu 330 mg/L'ye artırılmış ve bekletme süresi 4.1 güne azaltılmıştır. Hava sıcaklığının oldukça yüksek olduğu ve bitki rizomlarının dolgu malzemesi içerisinde yoğun yayılım gösterdiği Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında, yüksek KOİ yükü ve düşük bekletme süresinde işletilen YAYS sisteminin çıkışında, 84-13

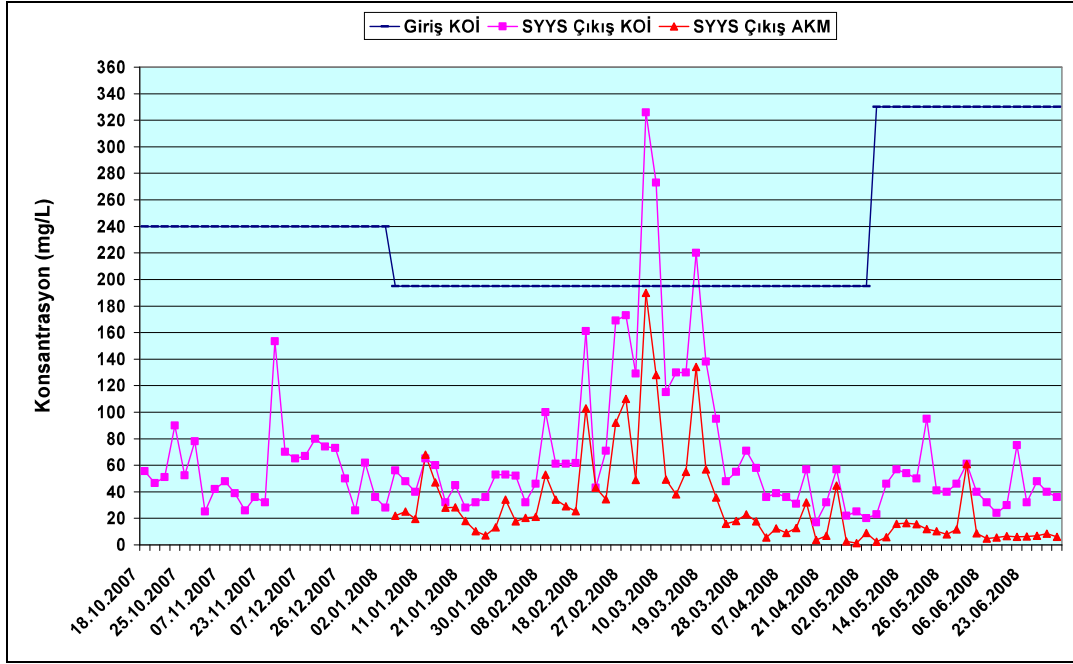
mg/L arasında değişen KOİ konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu aylardaki yüksek konsantrasyonlar, işletim koşullarının değiştirildiği günü takip eden üç hidrolik bekletme süresi içinde kaydedilmiştir. Sistemin stabil konuma geçmesiyle ortalama çıkış konsantrasyonu 26 mg/L seviyesine inmiştir.

#### 4.2.2. SYYS KOİ giderimi



Şekil 4.4. SYYS % KOİ giderimi

SYYS’de, işletim süresi boyunca % KOİ giderimi 0 ile 92.7 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.4). En düşük verimin elde edildiği Mart ayında, yoğun alg oluşumu gözlenmiş ve çıkış suyu KOİ konsantrasyonu, giriş KOİ konsantrasyonun oldukça üzerine çıkmıştır. Aşırı alg üremesinin nedeni ise, sistemdeki bitkilerin yüzey alanını kaplayamamış olmasından dolayı, su yüzeyinin gün içinde sürekli olarak güneş ışınlarına maruz kalmasıyla açıklanabilir. Mart ayı, her iki sistem için de, bitkilerin yeniden sürgün vermeye başladığı ay olmuştur. En yüksek verim ise, hidrolik bekletme süresinin azaltıldığı ve KOİ yükünün en yüksek ( $14.025 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün}$ ) olduğu Haziran ayında kaydedilmiştir. Yoğun alg büyümesinin gözleendiği, Şubat ve Mart ayı dışında kalan aylarda ortalama giderim verimi % 80 civarındadır.



Şekil 4.5. SYYS, KOİ ve AKM değişimi

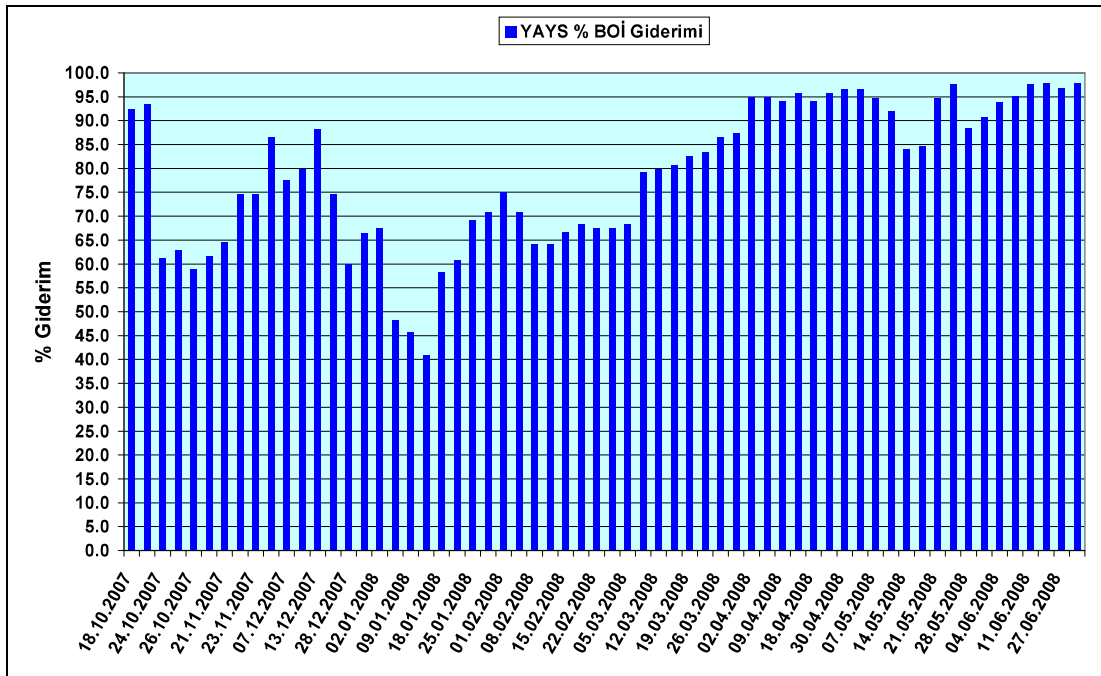
SYYS sisteminde, KOİ ve AKM arasındaki etkileşim Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Çıkış sularında kaydedilen yüksek AKM konsantrasyonları, alg büyümesinin göstergesidir. AKM seviyesinin artışına doğru orantılı olarak, KOİ konsantrasyonu da artış göstermiştir.

Sistemin işletildiği süre zarfında (Mart ve Nisan ayları hariç), çıkış konsantrasyonlarında çok büyük salınımlar gözlenmemiştir (Şekil 4.5). Bahsi geçen aylarda ortalama çıkış suyu KOİ konsantrasyonu 47 mg/L düzeyindedir. Yoğun alg büyümesinin gözlendiği Mart ayında çıkış konsantrasyonu, giriş değeri olan 195 mg/L’nin üzerine çıkarak 326 mg/L seviyesine ulaşmıştır. Mart ve Nisan aylarında çıkış suyu ortalama KOİ ve AKM konsantrasyonları sırasıyla 40 mg/L - 94 mg/L düzeyindedir. Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında, bitkilerin yüzey alanını kaplaması dolayısıyla, havuz yüzeyinde alg miktarında azalmalar gözlenmiştir. Bu nedenle ortalama AKM konsantrasyonu 11 mg/L seviyesine kadar düşmüştür. Bu aylarda artırılan biyolojik yük ve azaltılan bekleme süresi koşullarında, kaydedilen çıkış suyu ortalama KOİ konsantrasyonu 45 mg/L’dir. Sistemde sürekli olarak gözlenen ve bazı dönemlerde çok yüksek derişimlere ulaşan alg miktarının, ortam sıcaklığı ve oksijen transferi kadar, sistem arıtım performansı üzerine etkili olduğu düşünülmektedir.

### 4.3. BOİ Giderimi

Su içerisinde süspansiyon halde dağılmış yada katı bir yüzeye yapışık olarak bulunan, mikroorganizmalar çoğalarak organik maddeleri gaz halindeki son ürünlere ve hücre maddesi haline dönüştürürler (Muslu, 1996). BOİ, biyokimyasal oksitlenme için mikroorganizmalar tarafından tüketilen eritilmiş oksijenin ölçümüdür. Bu biyolojik reaksiyonlar ise sıcaklığa bağlıdır. Birçok durumda BOİ giderimi düşük sıcaklıklarda azalmıştır (Erkaya, 2005).

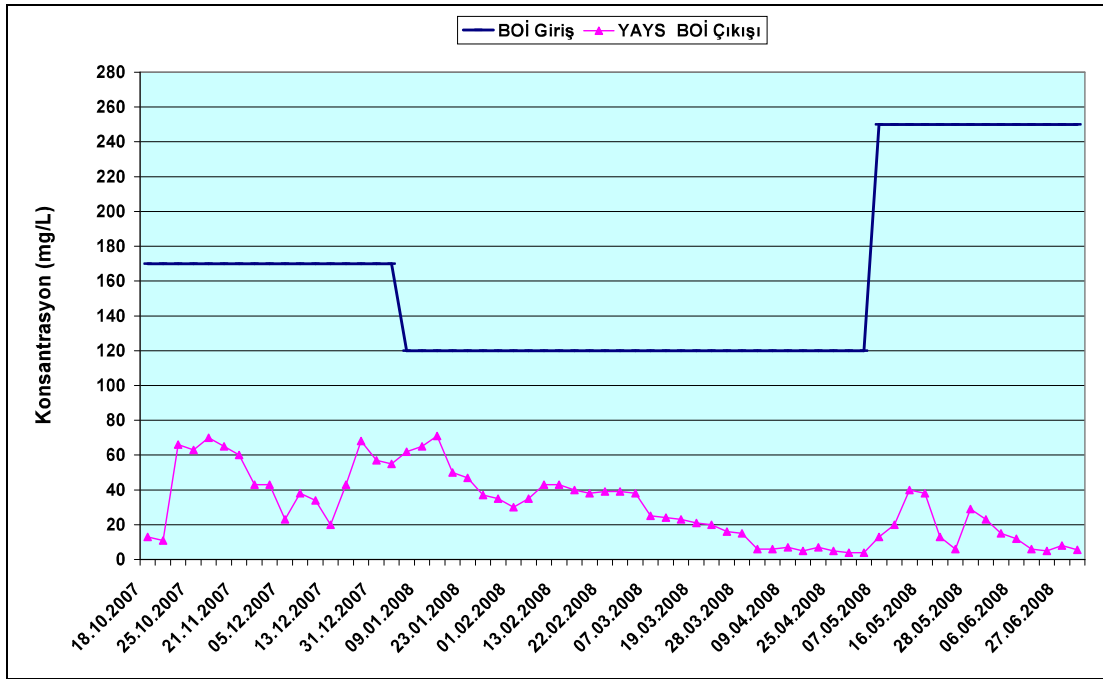
#### 4.3.1. YAYS BOİ giderimi



Şekil 4.6. YAYS % BOİ giderimi

YAYS sisteminde, işletim süresi boyunca % BOİ giderimi 40.8 ile 98 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.6). En düşük % giderim, en soğuk geçen Ocak ayında ve BOİ yükünün  $3.3 \text{ g/m}^2\text{-gün}$ , bekletme süresinin 6.36 gün olduğu koşullarda kaydedilmiştir. En yüksek % giderim ise, Haziran ayında ve BOİ yükünün oldukça yüksek ( $10.625 \text{ g/m}^2\text{-gün}$ ), bekletme süresinin kısa (4.1 gün) olduğu işletim koşullarında elde edilmiştir. Sistemin işleme alınması ve stabilitenin sağlanmasıyla meydana gelen giderim artışları, hava sıcaklığının azalmasına doğru orantılı olarak Ocak ayında azalmıştır. Şubat ayındaki küçük sıcaklık değişimlerine paralel olarak,

giderim verimi salınımlar göstererek yükselişe geçmiştir. Nisan ayından itibaren kademeli olarak artırılan BOİ yükü ve yine kademeli olarak azaltılan bekleme sürelerine karşın, sistem performansı sürekli olarak artış göstermiştir. Çok yüksek olan giderim verimleri, sıcaklığın ve metrekare başına düşen bitki sayısının fazla olduğu bahar ve yaz aylarında elde edilmiştir. Bu zaman zarfında meydana gelen kısmi düşüşlerin nedeni ise, değiştirilen yükleme koşulları karşısında sistemin ihtiyaç duyduğu adaptasyon süresidir.



Şekil 4.7. YAYS, BOİ değişimi

YAYS sisteminin çalışma süresi boyunca giriş ve çıkış sularındaki BOİ değişimi Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Sistem 170 mg/L BOİ konsantrasyonuyla işleme alınmıştır. YAYS sisteminin işleme alındığı Ekim ve sıcaklık düşüşlerinin yaşandığı Kasım ve Aralık aylarında çıkış sularındaki BOİ değişimleri 11 ile 70 mg/l arasında olmuştur. En soğuk geçen Ocak ayında sistemin BOİ yükü  $4.675 \text{ g/m}^2\text{-gün}$ ’den,  $3.3 \text{ g/m}^2\text{-gün}$ ’e düşürülmüştür. Ocak ayı giriş suyu BOİ konsantrasyonu 120 mg/L, çıkış suyu ise ortalama 52 mg/L’dir. Hava sıcaklığının kısmi artışlar gösterdiği Şubat ayında, ortalama BOİ konsantrasyonu 38 mg/L mertebesindedir. Sıcaklıkların bariz bir şekilde arttığı ve bitkilerin yeniden filizlenme dönemi olan Mart ayı itibariyle, çıkış suyu BOİ konsantrasyonunda kademeli olarak düşüşler



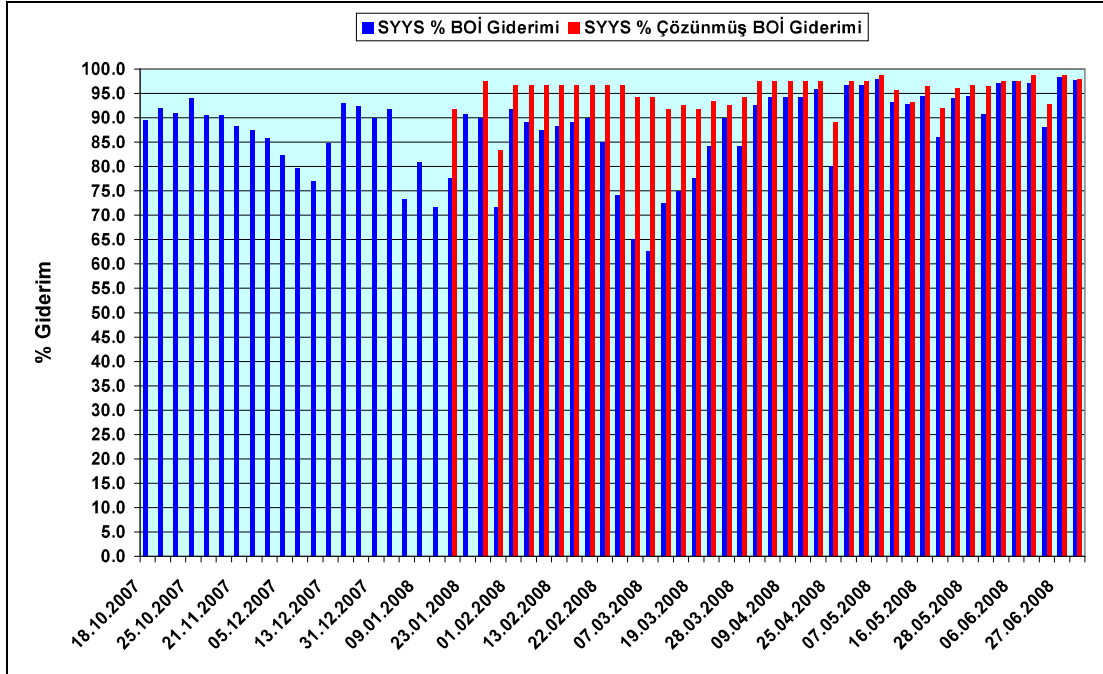
gözlenmiştir. Mart ayında ortalama 22 mg/L, Nisan ayında bekleme süresinin 4.66 gün olmasına karşın, ortalama 5 mg/L seviyesinde çıkış suyu konsantrasyonu kaydedilmiştir. Mayıs ayının başlarından itibaren, giriş suyu BOİ konsantrasyonu 250 mg/L'ye, BOİ yükü 10. 625 g/m<sup>2</sup>-gün'e çıkartılmış, bekleme süresi ise önce 4.66 günden 4.1 güne indirilmiştir. Şok yüklemelerin yapıldığı Mayıs ayında, sistemin arıtım veriminde düşüşler gözlenmemiştir. Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında çıkış suyu ortalama BOİ konsantrasyonunun 15 mg/L olduğu kaydedilmiştir.

#### 4.3.2. SYYS BOİ giderimi

Tüm sulak ortamlarda bulunan algler, serbest su yüzeyli sistemlerin kaçınılmaz bir parçası olmuşlardır. Algler belirli arıtma sistemlerinde (örneğin lagünler) önemli bir bileşen iken, serbest su yüzeyli sulak alan sistemlerinde de arıtma performansına önemli etkiler yaparlar (Çiftçi ve ark., 2007). Bu katkılar stabilizasyon havuzlarındaki organik madde giderimi ile açıklanabilir. Stabilizasyon havuzlarında organik maddelerin indirgenmesi, bakteri ve alg gibi iki mikroorganizma grubunun müşterek faaliyeti sonucu meydana gelir. Bakteriler, atıksu içinde mevcut organik karbonu, gelişmeleri ve enerji temin etmeleri için kullanırlar. Bu esnada açığa çıkan karbondioksit, amonyak ve diğer azotlu hidroliz ürünleri, algler tarafından kullanılır. Bu esnada oksijen açığa çıktığından, bakterilerin organik maddeleri oksitlemesi için çok müsait bir ortam meydana gelmiş olur. Fotosentez için tabiatıyla enerji kaynağı olarak güneş ışığına ihtiyaç vardır (Muslu, 1994).

Sistemin işleme alınmasından, çalışmaların tamamlanmasına kadar geçen süre boyunca SYYS sisteminde sürekli olarak alg üremesi gözlenmiştir. Alg üremesi, yıl içerisindeki güneşli gün sayısının çok fazla olması ve aynı zamanda bitki yaprak-gövde sisteminin, Mayıs, Haziran ve Temmuz ayları dışında kalan aylarda, henüz güneş ışınlarını engelleyecek kadar gelişmiş olmamasıyla açıklanabilir. Bu bağlamda SYYS sistemindeki mikrobiyal ayrışmaların, alg ve bakterilerin kompleks etkileşimi sonucu meydana gelmiş olduğu düşünülmektedir.

SYYS sisteminde % BOİ giderim verimi 62.5 ile 98.4 arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.8). Çalışma süresince, giderim verimlerinde büyük salınımlar gözlenmemiş ve ortalama % 87.3 BOİ giderimi sağlanmıştır.

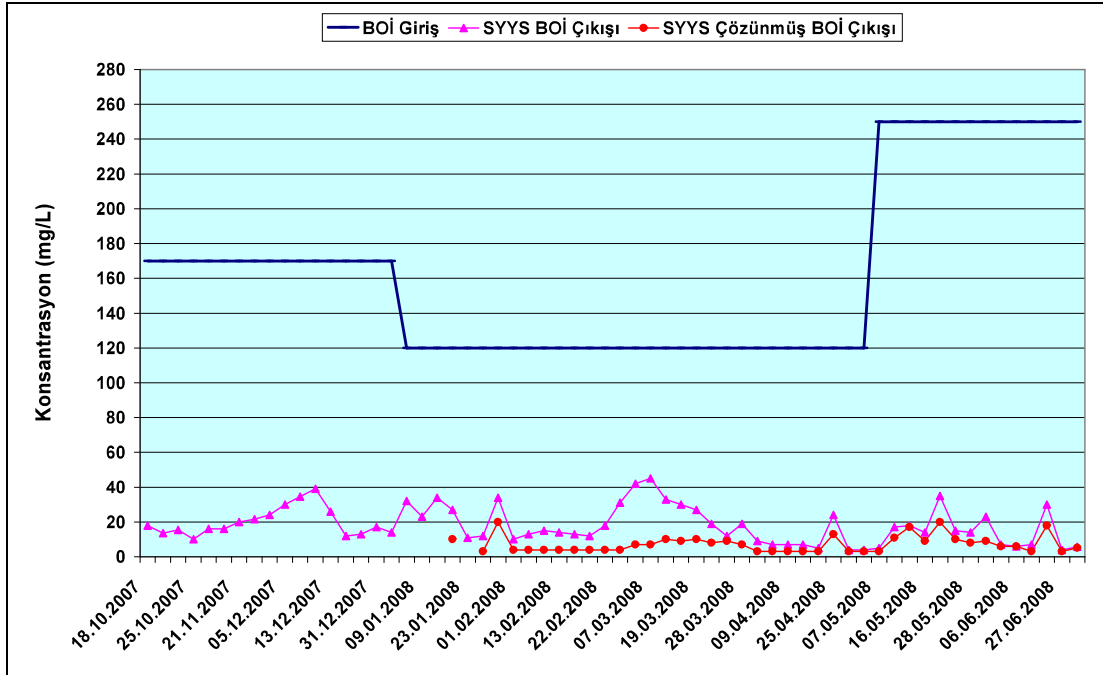


Şekil 4.8. SYYS % BOİ giderimi

En düşük % BOİ giderimi Mart ayında, en yüksek giderim ise Haziran ayında kaydedilmiştir. BOİ giderimi üzerine düşük sıcaklıkların çok büyük etkisi gözlenmezken, yüksek sıcaklıkların artırım verimini olumlu etkilediği saptanmıştır. BOİ ve hidrolik yüklerdeki ani değişimlere karşı, BOİ giderimi çerçevesinde, sistem toleransının yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Çıkış sularına alg karışımının, aşağıda açıklanan nedenlerden dolayı, BOİ tayininde hatalara neden olabileceği düşüncesiyle, süzülmeden yapılan numune analizlerine paralel olarak, Ocak ayından itibaren süzölmüş numunelerde de BOİ analizleri yapılmıştır. SYYS, çözünmüş BOİ artırım verimi Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Çözünmüş BOİ giderim verimi ortalama %95'tir.

SYYS sistemine ait toplam ve çözünmüş BOİ değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Sistem performansının yüksek ve çıkış suyu BOİ konsantrasyonlarının düşük olması, BOİ giderimine katkı sağladığı düşünölen alg varlığıyla açıklanabilir.



Şekil 4.9. SYYS BOİ değişimi

Sonbahar, kış ve ilkbaharda meydana gelen rüzgarların etkisiyle sistemde bulunan alglerin çıkış suyuna karıştığı gözlenmiştir. Kasım, Aralık ve Mart aylarında BOİ konsantrasyonlarındaki yükselişlerin, çıkış suyuna karışan alglerin BOİ<sub>5</sub> deneylerinde inkübasyon süresi boyunca, ışısız ortamda, solunum yaparak ortamdaki oksijeni azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Azalan oksijen konsantrasyonunun, beşinci gün ÇO konsantrasyonunun düşük, dolayısıyla BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonunun yüksek çıkmasına neden olabileceği kanısına varılmıştır. Bu varsayımı, BOİ konsantrasyonunun en yüksek olduğu Şubat ve Mart aylarında, eş zamanlı olarak yürütülen, süzölmüş numunelerde BOİ<sub>5</sub> deneyleri desteklemektedir. Bu aylarda, sıcaklığın artmasına paralel olarak sistem çıkışında düşük BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonları beklenirken, artışlar kaydedilmiştir. Bahsi geçen aylarda, alg varlığında yapılan BOİ<sub>5</sub> deney sonuçlarıyla, alglerin süzölüp ortamdan uzaklaştırılmasıyla yapılan BOİ<sub>5</sub> deney sonuçları arasındaki fark ortalama 20 mg/L BOİ iken, çıkış suyuna alg karışımının gözlenmediği diğer aylardaki fark ortalama 6 mg/L'dir. Alglerin rüzgârlarla çıkış suyuna karıştığı Aralık ayı için de bu yaklaşımın kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.

#### 4.4. TP Giderimi

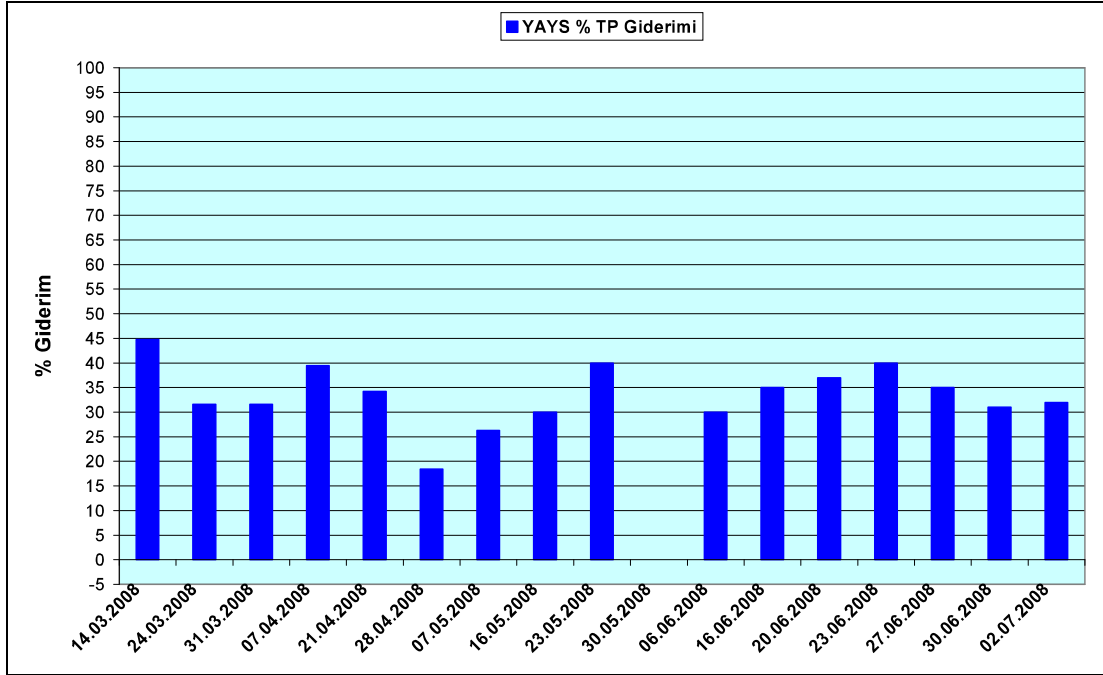
Bir sulakalanda fosfor giderimi bitki alımı, alt tabakada adsorbsiyon, çökelme–kompleksleşme reaksiyonları ve biyofilm tabakası tarafından gerçekleştirilen reaksiyonlarla olmaktadır. Köklü bitkilerle donatılmış sulakalanlarda fosfor gideriminin büyük bir kısmı, dolgu malzemesi (kum, çakıl, cüruf vb.) tarafından adsorpsiyon suretiyle gerçekleştirilmektedir.

Adsorpsiyonu etkileyen fiziksel ve kimyasal şartlar ise atıksu, bitki kökleri, dolgu malzemesi ve mikroorganizmaların meydana getirdiği çoklu ortam nedeni ile oldukça karmaşık bir yapı göstermektedir. Fosfor'un belirli bir kısmı ise bitkiler tarafından kullanılarak giderilmekte, küçük bir kısmı ise bakterilerin meydana getirdiği biyofilm yüzeyinde tutulmaktadır (Dağlı, 2004).

##### 4.4.1. YAYS TP giderimi

YAYS sistemine ait % TP giderim verimleri Şekil 4.10'da verilmiştir. YAYS sisteminde, % TP giderimi 0 ile 44.7 arasında değişim göstermiştir. Sistem, Mart ayı boyunca ve Nisan ayının ortasına kadar, uzun bekletme süresi (6.36 gün) ve yüksek fosfor (19 mg/L) içeriğine sahip atıksuyla beslenmiştir. Bu aylar dahilinde sistemin fosfor giderim verimi ortalama % 36 olarak belirlenmiştir.

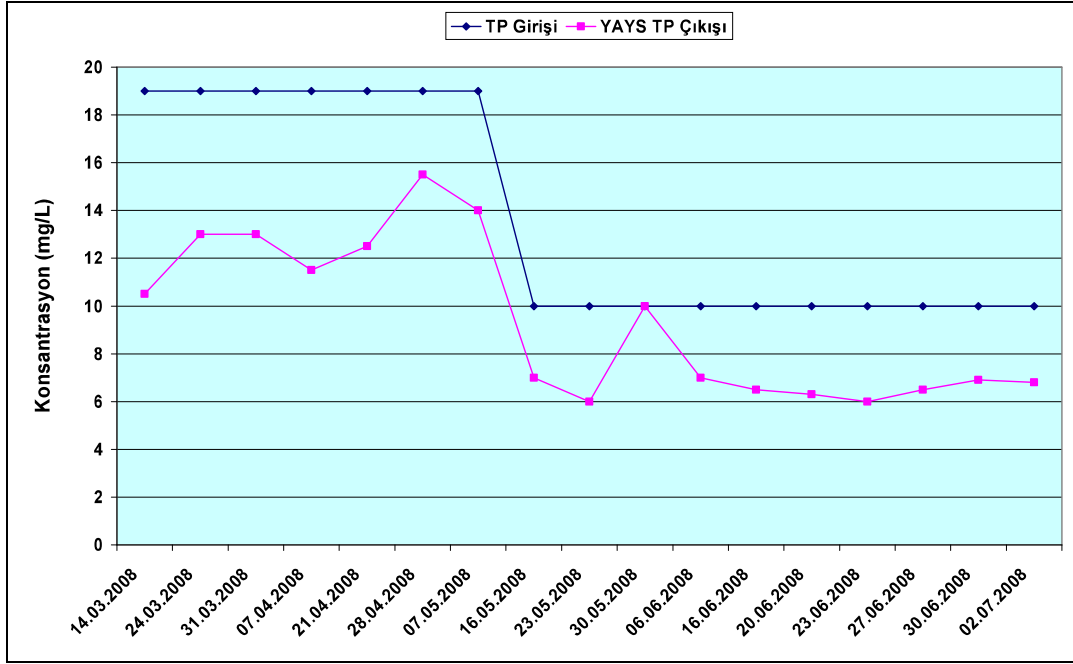
Nisan ayı ortasında sistemin bekletme süresi 6.36 günden 4.66 güne azaltılmıştır. Nisan ayı ortası ile Mayıs ayı ortası arasında kalan zaman diliminde, % TP giderim verimi ortalama % 26 olarak kaydedilmiştir. Mayıs ve sonrasındaki aylarda sistem 10 mg/L fosfora sahip atıksuyla ve 4.1 günlük bekletme süresi koşullarında çalıştırılmıştır. Bu işletim koşullarında ortalama % 35 oranında TP giderimi sağlanmıştır (30.05.2008 ölçümü % verime dahil edilmemiştir).



Şekil 4.10. YAYS % TP giderimi

Şekil 10.11’de YAYS sistemine ait giriş ve çıkış TP değişimleri verilmiştir. Giriş suyu konsantrasyonun 19 mg/L ve bekleme süresinin 6.36 gün olduğu işletim koşullarında, ortalama çıkış suyu TP konsantrasyonu 12 mg/l olarak tespit edilmiştir. Bekleme süresinin azaltılmasıyla (4.66 gün), çıkış suyu konsantrasyonu kısmen yükselerek, ortalama 14 mg/L seviyesine ulaşmıştır. Giriş suyu TP konsantrasyonunun 10 mg/L’ye ve bekleme süresinin 4.66 güden 4.1 güne azaltılmasıyla çıkış suyu ortalama konsantrasyonu 6.5 mg/L olarak ölçülmüştür (30.05.2008 tarihli TP konsantrasyonu hariç).

Sonbahar ve kış mevsimlerinde, besinlerin çoğu zamanla bitkilerden sızıntı ve organik madde ayrışması sonucunda ortama bırakılır. Bitkiler tarafından alınmış olan besinlerin sadece çok küçük bir bölümü ise bitkilerin gövdesinde kalır (Korkusuz 2005). Bu noktadan yola çıkarak, 23.05.2008 tarihinde yapılan hasatlama sonrası, bitkilerin % 30’unda sararma gözlenmiştir. Sararma esnasında, bitkilerin hasat sonrası arta kalan gövde kısmından suya, sızıntı yoluyla fosfor verdikleri düşünülmektedir.

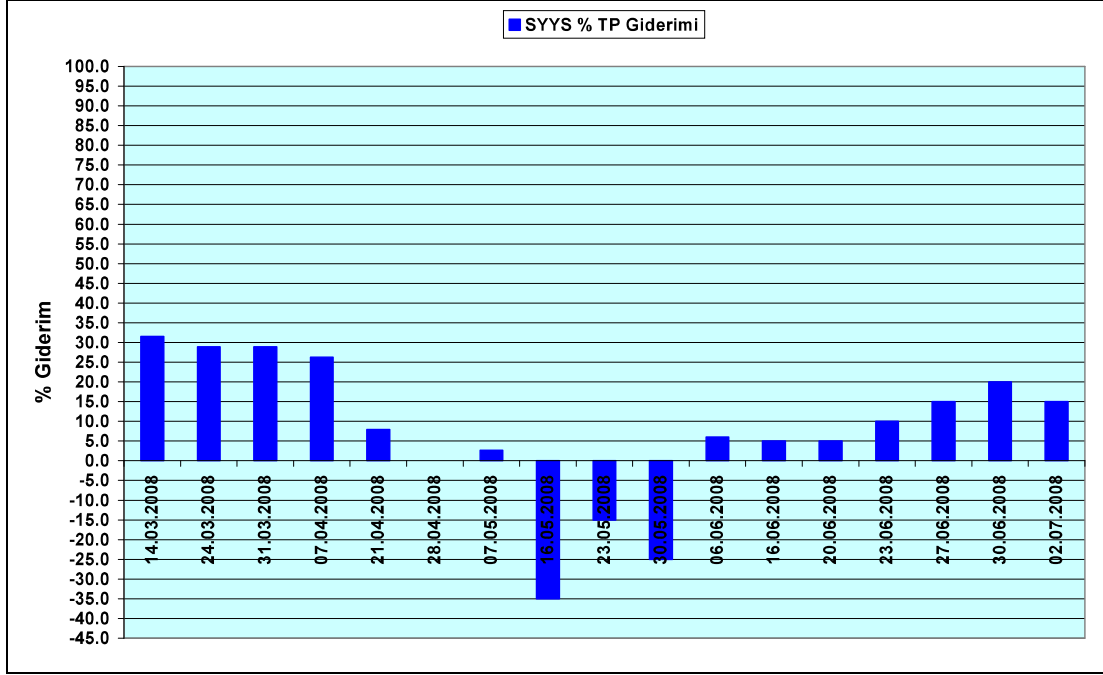


Şekil 4.11. YAYS, TP değişimi

23.05.2008 tarihinde yapılan bitki hasatlamasından sonra ölçülen çıkış suyu TP konsantrasyonunda ani ve kısa süreli bir artış saptanmıştır (10 mg/l). Bu artışın, hasatlama sonrası, bitki topluluğunda meydana gelen lokal sararmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.4.2. SYYS TP giderimi

SYYS sistemine ait % TP giderim verimleri Şekil 4.12’de verilmiştir. SYYS sisteminde, % TP giderimi 0 ile 31 arasında değişim göstermiştir. Giriş konsantrasyonunun 19 mg/L ve bekleme süresinin 7.27 gün olduğu işletim koşullarında ortalama % 29 TP giderimi sağlanmıştır. Bekleme süresinin 7.27 günden 5.33 güne azaltılmasıyla, sistem performansında kademeli olarak düşüşler yaşanmış ve arıtım verimi % 3.5’e kadar düşmüştür (18 Nisan-9 Mayıs). Mayıs ayında işletim koşulları değiştirilmiş, giriş konsantrasyonu 10 mg/L ve bekleme süresi 4.7 güne azaltılmıştır. Bu değişimlerden ve sistem stabil olduktan sonra elde edilen giderim veriminin ortalama % 10 olduğu kaydedilmiştir.

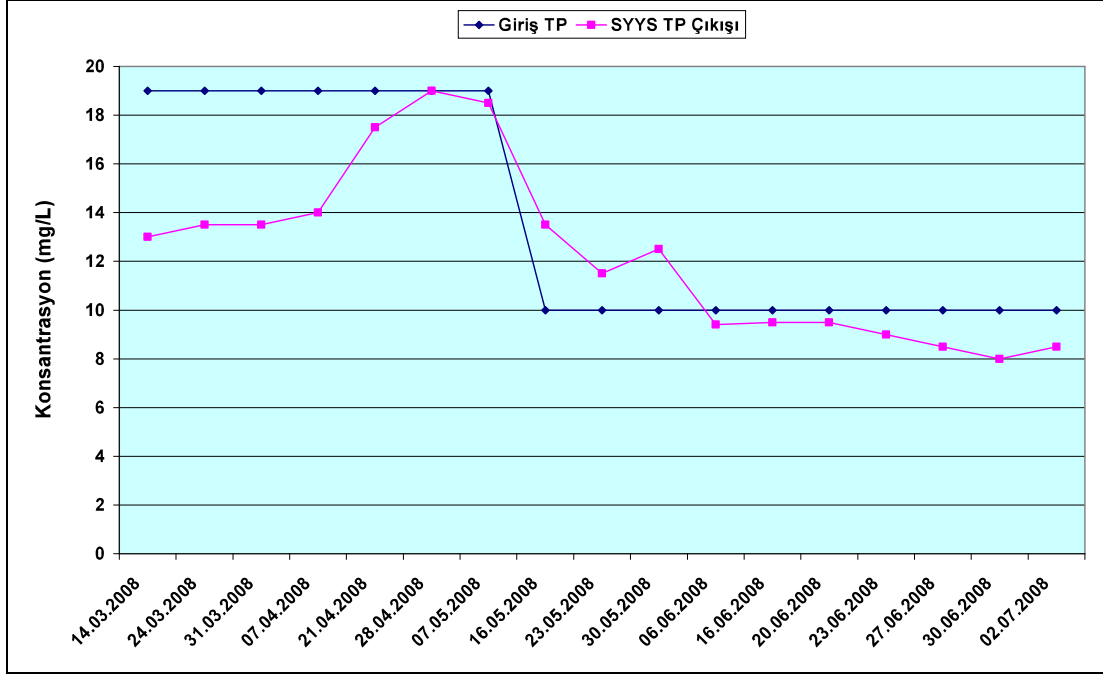


Şekil 4.12. SYYS, % TP giderimi

SYYS sisteminin giriş ve çıkış sularındaki TP değişimi Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

Giriş suyu konsantrasyonunun 19 mg/L ve bekletme süresinin 7.27 gün olduğu işletim koşullarında, sistemin çıkış suyu ortalama TP konsantrasyonu 13.5 mg/L olarak belirlenmiştir. Sistemin bekleme süresinde yapılan değişim sonrasında ortalama çıkış suyu konsantrasyonu 18 mg/L'ye kadar yükselmiştir.

Giriş konsantrasyonunun 10 mg/L ve bekletme süresinin 4.7 güne kadar azaltıldığı işletim koşulları sonrasında çıkış suyu TP konsantrasyonu kademeli olarak azalmış, fakat hasat sonrası yapılan deneylerde (30.05.2008), YASY sisteminde olduğu gibi, SYYS sisteminde de ani ve kısa süreli bir konsantrasyon artışı gözlenmiştir. Sistemin stabilizeye ulaştığı bu işletim koşullarında, ortalama çıkış suyu TP derişimi 8.9 mg/L gibi giriş suyuna göre oldukça yüksek bir değerde kalmıştır.



Şekil 4.13. SYYS, TP değişimi

#### 4.5. TN Giderimi

Yapay sulak alanlarda, atıksulardaki toplam azot; nitrifikasyon, denitrifikasyon, zeminde depo edilme, uçuculaşma, bitkilerle alım mekanizmaları ile giderilir. Yapay sulak alanlarda atıksular sulak alan yatağından süzülürken nitrifikasyon olayı gerçekleşir. Toplam azot gideriminde sıcaklık önemli bir faktördür ve soğuğa karşı duyarlılık söz konusudur. Kışın su sıcaklığının 5°C'nin altına düşmesi halinde azot giderimi sorunlu olur. Azot giderimi hidrolik yükleme oranı, azot/karbon oranı, kısa bekleme süresi gibi faktörlerden büyük bir şekilde etkilendiğinden dolayı giderim miktarları farklılık gösterebilir (Demirörs, 2006).

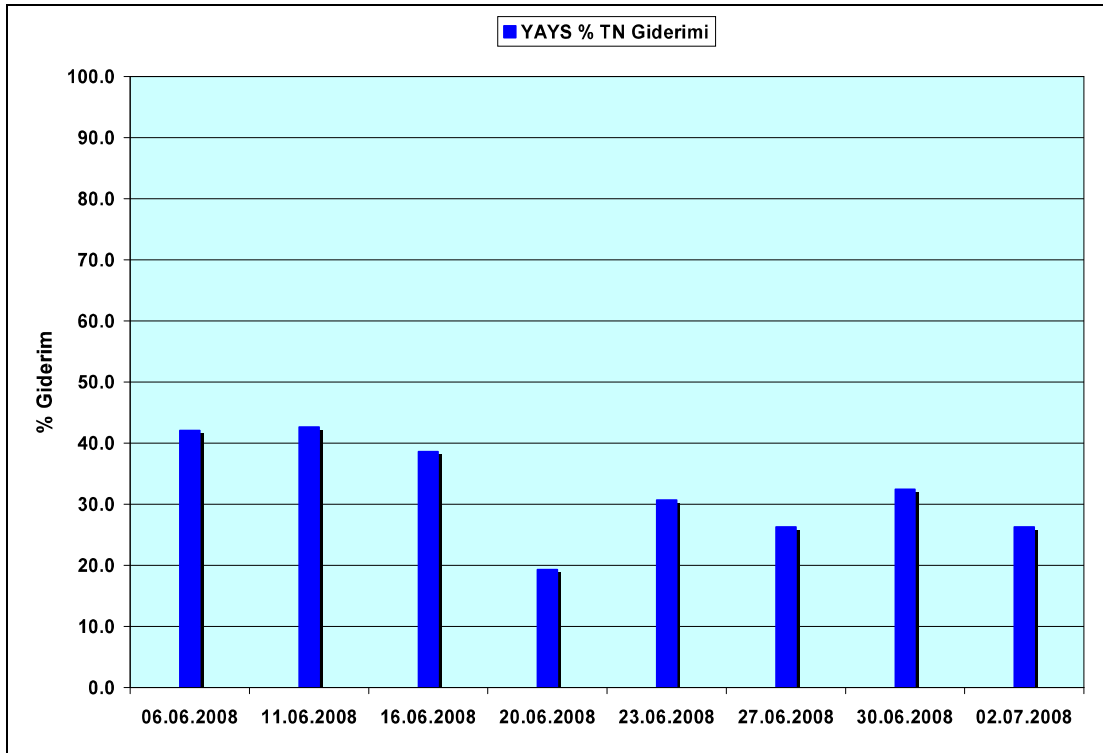
Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalanlarda sistem dibinde kalan (bentik) çevrenin geri kalan kısmı oksijenden yoksun kalmaya meyillidir. YAYS sistemlerinde mevcut oksijenin limitli olması nedeniyle genelde, nitrifikasyon yoluyla amonyak azotunun biyolojik giderimi kısıtlıdır. YAYS sistemlerde dipte oksijenin kısıtlı olması biyolojik nitrifikasyon süreciyle amonyum azotunun (NH<sub>4</sub>-N) istenen giderimini gerçekleştirmez. Evsel atıksular için, YAYS sistemlerinde çıkış atıksuyunda amonyum azotunun düşük düzeylerde olması için, geniş bir sulakalan uzun bekleme sürelerine ihtiyaç vardır (EPA, 1993). Nitrifikasyon, karbon giderimi ile



birlikte askıda çoğalan veya biyofilm sistemleriyle giderilebilir. İlave oksijen ihtiyacı vardır. Asgari çözünmüş oksijen ihtiyacı 2 mg/L'dir (Eroğlu, 2002).

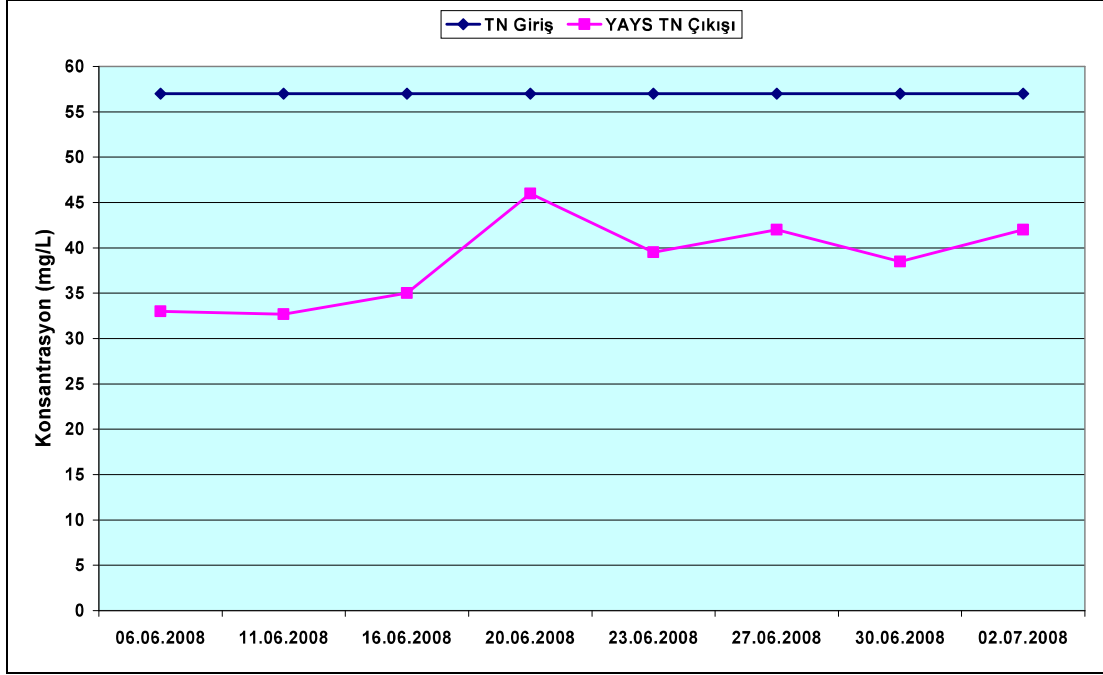
#### 4.5.1. YAYS TN giderimi

YAYS sisteminin (Haziran ve Temmuz aylarına ait), % TN giderim grafiği Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. YAYS % TN giderimi

YAYS sisteminde % TN giderim verimi 19.3 ile 42.6 arasında değişim göstermiş ve ortalama % 32 oranında giderim sağlanmıştır. Sistem Haziran ve Temmuz aylarında yüksek hidrolik yükleme ( $42.5 \text{ l/m}^2\text{-gün}$ ) koşulları altında çalıştırılmıştır. En düşük % giderim bitki hasatlamasından hemen sonra tespit edilmiştir. Sistem veriminin ortalama % 32 gibi düşük bir değerde kalması; düşük bekleme süresi, sürekli atıksu beslemesi ve düşük ÇO konsantrasyonlarıyla açıklanabilir.



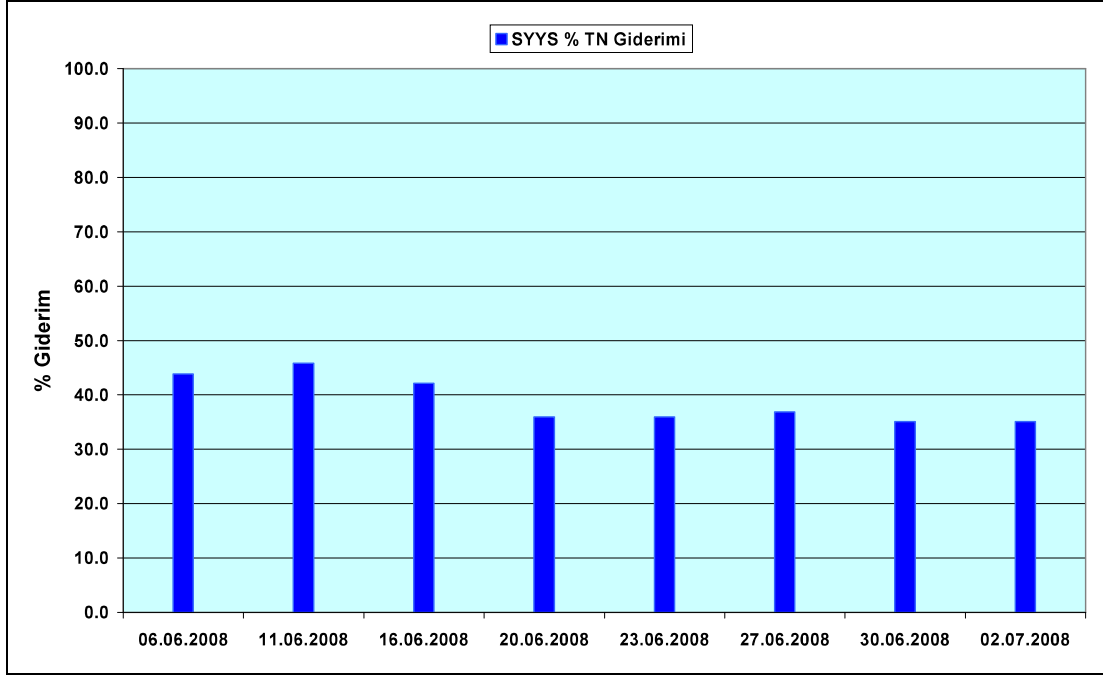
Şekil 4.15. YAYS, TN değışimi

YAYS sistemine ait giriş ve çıkış TN konsantrasyonları Şekil 4.15’de verilmiştir. Giriş konsantrasyonunun 57 mg/L, hidrolik yükün 42.5 L/m<sup>2</sup>-gün ve bekleme süresinin 4.1 gün olduğu işletim koşullarında, çıkış suyu konsantrasyonu 32.7 ile 46 mg/L arasında değişim göstermiştir. Ortalama çıkış suyu TN konsantrasyonu 38.5 mg/L mertebesindedir.

YAYS sistemi çıkış sularında yapılan ÇO analizlerinde, ortalama ÇO konsantrasyonu 1.8 mg/L olarak tespit edilmiştir. YAYS sisteminde ÇO oldukça düşük olması, hava sıcaklığının yüksek oluşu, karbonlu bileşiklerin oksidasyonu için yüksek oksijen gereksinimi ve sistemin sürekli olarak işletilmesi ile açıklanabilir. Düşük ÇO miktarının, nitrifikasyon prosesini kısıtladığı düşünülmektedir. YAYS sisteminde etkin olan TN giderim mekanizmasının denitrifikasyon olduğu düşünülmektedir.

#### 4.5.2. SYYS TN giderimi

SYYS sistemine ait (Haziran ve Temmuz ayları dahilinde), % TN giderim grafiği Şekil 4.16’ da verilmiştir.



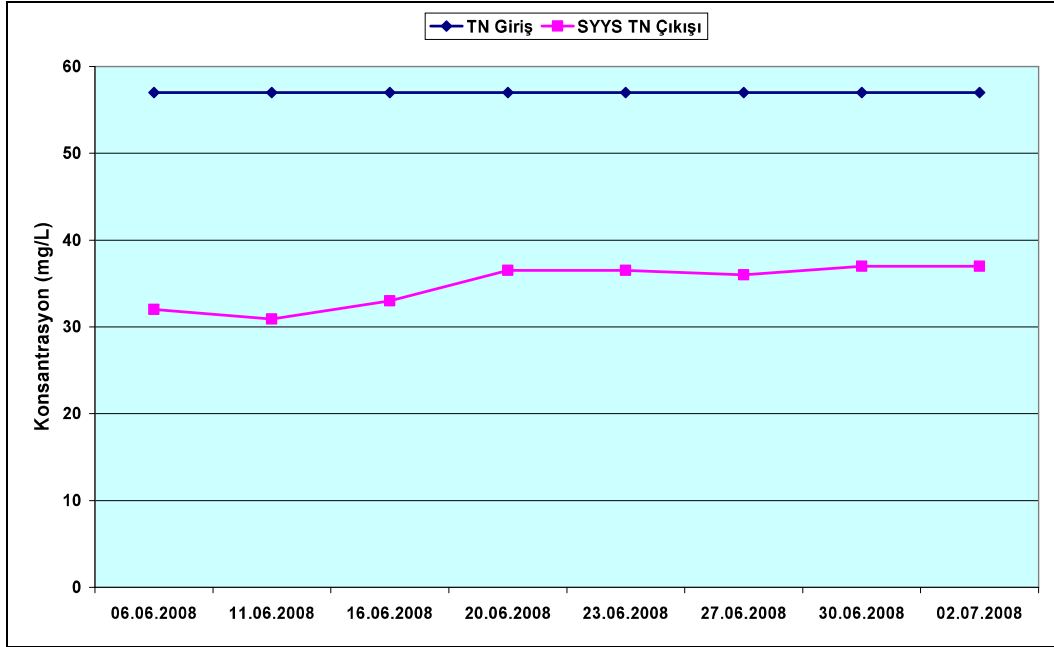
Şekil 4.16. SYYS, % TN giderimi

SYYS sisteminde, % 35.1 ile % 46 arasında değişen TN giderim verimleri elde edilmiştir. Yüksek hidrolik yükleme koşulları ( $42.5 \text{ L/m}^2\text{-gün}$ ) altında çalıştırılan sistemde, ortalama % 39.2 civarında arıtım verimi sağlanmıştır. Arıtım veriminin YAYS sistemine kıyasla yüksek olması alglerin ortama sağladığı oksijen miktarı ve yeni alg hücreleri oluşturmak için kullandıkları azot bileşikleriyle açıklanabilir.

SYYS sistemine ait giriş ve çıkış TN konsantrasyonları Şekil 4.17'de verilmiştir. YAYS ile aynı işletim koşullarında çalıştırılan SYYS sistemi çıkış suyu TN konsantrasyonu, 30.9 ile 37 mg/L arasında değişim göstermiştir. Ortalama çıkış suyu konsantrasyonu 34.6 mg/L mertebesindedir.

Hava sıcaklıklarının artmasıyla ÇO konsantrasyonunda yaşanan düşüşler nedeniyle çıkış suyu konsantrasyonunda kısmi yükselişler gözlenirse de, çıkış suyu TN miktarının çok fazla salınım göstermediği gözlenmiştir. Yapılan analizlerde SYYS sistemi ortalama ÇO konsantrasyonunun 4.2 mg/L olduğu tespit edilmiştir. Sistemin, atmosfere açık olması ve alglerin sürekli olarak suya transfer ettiği oksijen miktarı nedeniyle, YAYS sistemine kıyasla daha yüksek ÇO konsantrasyonuna erişebildiği

düşünölmektedir. ÇO miktarının yüksek olmasıyla nitrifikasyon prosesinin bu sistemde kısıtlanmadığı kanısına varılmıştır. Alglerin bünyelerine aldıkları azotlu bileşiklerle de TN giderimine katkı sağladığı düşünölmektedir.



Şekil 4.17. SYYS, % TN değışimi

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kampüs atıksularının arıtılması amacıyla projelendirilen, laboratuvar ölçekli yüzeyaltı ve serbest yüzey akışlı iki farklı yapay sulakalan sistemi Ekim 2007-Temmuz 2008 tarihleri arasında işletilmiştir. Sistemlerin farklı hidrolik ve organik yüklemeler karşısında arıtım verimleri incelenmiştir. Bu bölümde, her iki sistemin çıkış suyu kalite parametreleri, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde doğal arıtım sistemleri için getirilen deşarj standartlarına göre değerlendirilecektir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Evsel nitelikli atıksular için deşarj standartları (eşdeğer nüfusun ne olduğuna bakılmaksızın doğal arıtma ve stabilizasyon havuzları sistemiyle biyolojik arıtma yapan kentsel atıksu arıtma tesisleri için) ( SKKY, 2004).

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 SAATLİK	Kompozit Numune 24 SAATLİK
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ <sub>5</sub> ) (Çözünmüş)	(mg/L)	75	50
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	150	100
Askıda katı madde (AKM)	(mg/L)	200	150
pH	-	6-9	6-9

Her iki sistemin çıkış sularında, işletim süresi boyunca yapılan analizler sonucunda elde edilen pH değerlerinin, deşarj standartları dahilinde kaldığı saptanmıştır. YAYS sistemi çıkış suyu pH değerlerinde çok büyük mevsimsel değişimler gözlenmemiştir. Sistem pH'sı, giriş suyu pH'sına göre daha düşüktür. Bu durum atmosfere kapalı olan su ortamıyla açıklanabilir. SYYS sistemi çıkış suyu pH seviyeleri, işletim süresince giriş suyuna göre daha yüksektir. Sistemdeki alg faaliyetlerinin sistem pH'sı üzerinde etkili olduğu saptanmıştır.

YAYS sisteminde, % 47.1 ile % 96.1 arasında değişen KOİ giderimi sağlanmıştır. İşletim süresince çıkış suyu KOİ konsantrasyonları SKKY'de belirlenen deşarj standartlarının altında kalmıştır. KOİ giderim veriminin hava sıcaklığı ile birlikte doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Sistem performansının, şok yükleme ve iklimsel değişimlere karşı toleranslı olduğu saptanmıştır. Sistemin oksijen konsantrasyonunun artırılması amacıyla fasıllı olarak yapılacak beslemenin sistem performansını artıracığı düşünülmektedir. SYYS sistemi % KOİ giderim

verimi ise, -67.2 ile 92.7 arasında değişim göstermiştir. Çıkış suyu KOİ konsantrasyonlarının, alg üremesinin en fazla olduğu Mart ayında deşarj standartlarının oldukça üzerine çıktığı saptanmıştır. Alg üremesinin yoğun olarak yaşandığı bahar aylarında, sistemde oluşan alglerin çıkış suyuna karışmasının engellenmesiyle, KOİ konsantrasyonunun deşarj standartlarının altına düşürülebileceği düşünülmektedir.

YAYS sisteminde % 40.8 ile % 98 arasında değişen BOİ<sub>5</sub> giderimi sağlamıştır. Giderim verimi, hava sıcaklığında meydana gelen değişimlere paralel olarak farklılık göstermiştir. Sistemin ani yüklemelere karşı toleranslı olduğu saptanmıştır. Çıkış suyu BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonları işletim süresi boyunca deşarj limitinin altında kalmış ve hedeflenen oranda giderim sağlanmıştır. Bahar ve yaz aylarında artırılan organik ve hidrolik yüklere karşın, sıcaklık artışları nedeniyle, oldukça yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. SYYS sisteminde ise, % 62.5 ile % 98.4 oranında BOİ<sub>5</sub> arıtımı sağlanmıştır. İşletim süresi boyunca çıkış suyu konsantrasyonu deşarj standardının altında kalmıştır. Sistem performansı, kış aylarındaki düşük hava sıcaklıklarından daha az etkilenmiştir. Sistemde değişen oranlarda bulunan alglerin, BOİ<sub>5</sub> giderimine doğrudan ve dolaylı olarak katkı sağladığı düşünülmektedir.

YAYS sisteminde % 0 ile % 44.7 arasında değişen TP giderimi sağlanmıştır. Yüksek TP konsantrasyonu (19 mg/L) ve proje tasarımında öngörülen 6.36 günlük bekletme süresi koşullarında işletilen sistemde % 36 giderim sağlanmıştır. Bekleme süresinin 4.66 güne azaltılmasıyla sistem performansı TP giderimi açısından düşüğe geçmiş ve arıtım verimi % 26'da kalmıştır. Düşük giriş konsantrasyonu (10 mg/L) ve kısa bekletme süresi (4.1 gün) uygulamalarında ise % 35 oranında arıtım sağlanmıştır. Bu veriler ışığında, bekletme süresinin artırılması, yüksek TP içerikli atıksuların, YAYS sisteminde istenilen düzeyde arıtımına olanak sağlayacaktır. Kampüs atıksularının orta dereceli evsel atıksu formunda olduğu düşünülürse, 7 günlük bekletme süresinin, yüksek TP giderimi için yeterli olduğu düşünülmektedir. SYYS sisteminde ise, % TP giderimi -35 ile 31 arasında değişim göstermiştir. YAYS sistemine göre daha düşük bir TP giderimi sağlanmıştır. Sistem performansının, daha uzun (>8 gün) bekletme süresi uygulamalarında artacağı düşünülmektedir.

YAYS sisteminde, ortalama %32 mertebesinde TN giderimi sağlanırken, aynı işletim koşullarında SYYS sisteminde ortalama % 39.2'lik bir artım sağlanmıştır. Her iki sistemde yüksek TN (57 mg/L) ve kısa bekletme süresi (YAYS için 4.1gün – SYYS için 4.7 gün) koşullarında işletildiği zaman diliminde test edilmiştir. Bu bağlamda her iki sistem için yapılacak bekletme süresindeki artırımlar, sistem performansını olumlu yönde etkileyecektir. YAYS sisteminin, SYYS sistemine göre daha düşük artım verimine sahip olması, bu sistemdeki düşük ÇO konsantrasyonun nitrifikasyon basamağını sınırlamasıyla açıklanabilir. YAYS sistemine daha etkin bir oksijen transferi için sistem fasıllı olarak beslenebilir. SYYS sistemindeki algler, yeni hücre oluşumu için azotlu bileşikler bünyelerine almaları ve su ortamına sağladıkları oksijen ile azot giderimine katkı sağlamıştır.

YAYS ve SYYS sistemleri 10 ay boyunca aynı işletim koşullarında çalıştırılmışlardır. YAYS sisteminde oldukça yüksek KOİ ve BOİ<sub>5</sub> giderimi sağlanmıştır. SYYS sisteminde etkin bir BOİ<sub>5</sub> giderimi sağlanmasına rağmen, KOİ gideriminde alg girişimi nedeniyle, bahar aylarında hedeflenen giderim sağlanamamıştır. Alg varlığı ve girişimi, BOİ<sub>5</sub> ve TN giderimine katkı sağlarken, KOİ giderimde sistemin dezavantajı konumundadır. SYYS sisteminde TP giderimi YAYS sistemine göre düşüktür. YAYS sisteminde, ucuz bir dolgu malzemesi olan nehir çakılıyla ideal bir TP artımı gerçekleştirilmiştir. TP giderim verimi her iki sistemde, alıkonma sürelerinin uzatılmasıyla arttırılabilir. Giriş suyundaki yüksek TN konsantrasyonu ve sistemlerin kısa alıkonma süreleri nedeniyle, TN artımı istenilen oranda gerçekleştirilememiştir. TN giderimi bu işletim koşullarında SYYS sisteminde daha yüksektir. YAYS sisteminde daha etkili TN gideriminin, kesikli işletim ve uzun bekletme süresi uygulamalarıyla mümkün olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma ile, bölgede geniş bir alana yayılım göstermiş olan *Phragmites australis* bitkisi, etkin bir biyolojik arıtıma olanak sağlamıştır. Bitkinin, her iki sistemde de oldukça yüksek bir hızla çoğalabildiği saptanmıştır. Ayrıca, yıl içinde uzun süre yeşil kalabilmesi TP ve TN giderimine katkı sağlamıştır. Haziran ve Temmuz aylarında bitki yapraklarından terleme ve sistem yüzeyinden buharlaşma

vb. nedenlerle sistemden gündüz saatlerinde su çıkışı gözlenememiştir. Uzun vadeli sistem işletimi için su bütçesinin korunumu önem arz etmektedir. Bu nedenle hava sıcaklıklarının çok yüksek olduğu yaz aylarında yaprak yüzeyinden buharlaşmayı engellemek amacıyla, sık sık bitki hasadı yapılmalıdır. Bir diğer alternatif ise atıksuya yapılacak olan su takviyesi olabilir. Aksi takdirde, yaz aylarında her iki sistemin de uzun süreli verimli şekilde işletimi mümkün olmayacaktır.

Her iki sisteminde, şok yüklemelere karşı yüksek toleranslı oldukları saptanmıştır. Bu bağlamda, kampüs alanından arıtma tesisine gelmesi muhtemel atıksuların miktar ve kompozisyonundaki yüksek salınımların, her iki sistemde de işletim sorunları yaratmayacağı kanısına varılmıştır. Ayrıca, bu özeliği ile her iki yapay sulakalan sistemi dengeleme tankı olmadan tertip edilebilir. Fakat uzun vadede sorunsuz bir işletim süreci için, sulakalan sistemlerine ızgara ve ön çökeltimden geçmiş olan sular verilmelidir.

Kampüs atıksularının arıtımında, ideal bir BOİ<sub>5</sub> ve TN arıtımı gerçekleştirilmiş olan SYYS sisteminin kullanılmasının, yoğun alg üremesi nedeniyle bir takım sorunlar yaratabileceği düşünülmektedir. Yoğun alg kütlelerinin zamanla havuz dibine çökmesi, uzun vadede sistemin ömrünü kısaltabilir ve ayrıca bahar aylarında kaydedilen oldukça yüksek KOİ konsantrasyonları atıksu deşarj standartlarına uyumu imkansız kılabilir. Bu bağlamda, etkin KOİ, BOİ<sub>5</sub> ve ideal TP, TN giderimi sağlanmış olan YAYS sisteminin, kampüs atıksularının arıtımında kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- ALTINAYAR, G., 1988. Su Yabancı otları. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su işleri Genel Müdürlüğü, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- AYAZ, S., AKÇA, L., TUNÇSİPER, B., SAYGIN, Ö., 2003. Evsel Atıksuların Arıtımı İçin İki Kademeli Bir Yapay Sulakalan Sistemi. SKKD, 13 (3):18–22.
- AYAZ, S., 1998. Sahil Bölgelerinde Atıksuların Yapay Sulakalanlar İle Arıtılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, 146 s.
- BAHR, T.G., BALL, R.C., TANER, H.A., 1974. The Michigan State University Water Quality Management Program, in Wastewater Use in the Production of Food and Fiber-Proceedings. U.S.EPA-660/2-74-041.
- CLESCERI, L. S., GREENBERG, A.E., EATON, A.D., 1999. Standard Methods for Examination of Water & Wastewater 20th Edition, American Public Health Association, ISBN: 0875532357.
- CRITES, R., TCHOBANOGLU, G., 1998. Small and Decentralized Wastewater Management Systems, McGraw-Hill, Boston.
- CUETO, A.J., 1993. Development of Criteria for the Design and Construction of Engineered Aquatic Treatment Units in Texas, in Constructed Wetlands for Water Quality and Improvement. CRC Pres, Chapter 9, Boca Raton.
- ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI, DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 2008. Ankara.
- ÇİFTÇİ, H., KAPLAN, Ş., KÖSEOĞLU, H., KARAKAYA, E., KİTİŞ, M., 2007. Yapay Sulak Alanlarda Atıksu Arıtımı ve Ekolojik Yaşam. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, ISSN 1012-2354:149 – 160.
- ÇİNER, F., SARIOĞLU, M., 2004. Cumhuriyet Üniversitesi Kampüs Atıksularının İnert KOİ Bileşenlerinin Belirlenmesi. 1. Ulusal Çevre Kongresi Bildiriler Kitabı, 13-15 Ekim, Sivas, s. 515-520.
- DAĞLI, S., 2004. Atıksulardan Sulakalan Sistemleriyle Fosfor Giderimi, Doktora Tezi İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 95 s.
- DAĞLI, S., AKÇA, L., 2007. Yapay Sulakalan Sisteminde Fosfor Giderimine Ortam Malzemesinin Etkisi. İTÜ Dergisi, 17(1): 51-59.
- DEMİRÖRS, B., 2006. Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 76 s.
- EKMEKÇİ, F., 2007. Adana Sofulu Düzensiz Çöp Depolama Sahasından Alınan Çöp Sızıntı Sularının Laboratuar Ölçekli Ortamda Bitkisel Yolla Azot- Fosfor ve Ağır Metal Gideriminin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 162 s.
- EPA, 2000. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastwaters EPA\625\R-99\010. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati OH.
- EPA, 1988. Design Manual-Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, EPA/625/1-88/22, Washington.
- EPA, 1999. Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A technology Assessment. EPA 832/R-99/002, Washington. D. C.

- EPA, 2000. Guiding Principles for Constructed Wetlands. EPA 843-B-00-003, Washington. D. C.
- EPA, 1993. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. (<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/sub.pdf>).
- EPA. [www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf](http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).
- ERKAYA, H., 2005. Ege Bölgesinde Belediye Eysel Atıksu Arıtımı için Yapay Sulakalanlar. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 66 s.
- EROĞLU, V., 2002. Atıksuların Tasfiyesi. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 230 s.
- GOPAL, B., 1999. Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Potentials and Problems. Water Science and Tech., 40 (3): 27-35.
- HERSKOWITZ, J., 1986. Listowel Artificial Marsh Project Report, Ontario Ministry of the Environment, Water Resources Branch, Toronto.
- [HTTP://www.botany.hawaii.edu/faculty/carr/images/can\\_ind.jpg](http://www.botany.hawaii.edu/faculty/carr/images/can_ind.jpg)
- [HTTP://www.fujitaresearch.com/reports/wetlands.html](http://www.fujitaresearch.com/reports/wetlands.html)
- ISO DIN SECRETERIAT, 2001. Water Quality – Determination of the Elimination and Biodegradability of Organic Compounds in Aqueous Medium – Activated Sludge Simulation Test. ISO/TC 147/SC5 N324, Fransa.
- İSPIRLİ GÖKMEN, Y., 2006. Tokat İlinde Yapay Sulakalanlar ile Bu Sistemde Kullanılan Typha Latifolia L. Bitkisinin Eysel Atıksu Arıtmada Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tokat, 94 s.
- Jİ, G., SUN, T., ZHOU, Q., SUİ, X., CHANG, S., Lİ, P., 2002. Constructed Subsurface Flow Wetland for Treating Heavy Oil-Produced Water Of The Liaohe Oilfield in China. Elsevier, Ecol. Eng. 18: 459–465.
- KADLEC, R., KNİGHT, R., 1996. Treatment Wetlands, CRC Press Boca Raton FL. and Constructed Wetlands For Pollution Control, IWA 2000.
- KIRACOFE, B., NOVAK, J., 2000. Performance Evaluation of the Town or Monterey Wastewater Treatment Plant Utilizing Subsurface Flow Constructed Wetlands. <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-0721200014300031/unrestricted/Bktd1.pdf>.
- KİLİM, Y., ÖZDEMİR, A., 2004. Doğal Arıtma Projesi Hizmet İçi Eğitim Semineri, T.C. Tarım Ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Köy İçi İnşaat Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- KNIGHT, R. L., 1997. Wildlife Habitat and Public Use Benefits of Treatment Wetlands. Water Science and Technology, 35: 35-43.
- KORKUSUZ, E.A., 2004. Domestic Wastewater Treatment in Pilot-Scale Constructed Wetlands Implemented in the Middle East Technical University, ODTÜ, Doktora Tezi, Ankara, 261 s.
- KORKUSUZ, E.A., 2005. Düşey Akışlı Ekilmiş Sulakalanların Arıtma Verimlerinin Karşılaştırılması. Çevre Mühendisleri Odası, VI. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, 24–26 Kasım, İstanbul, s. 506–516.
- KORKUSUZ, E.A., BEKLİOĞLU, M., DEMİRER, G.N., 2003. ODTÜ’deki Düşey Akışlı Yüzeyaltı Pilot-Ölçekli Ekilmiş Sulak Alanların Fosfor Arıtım Kapasitesi, V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 1-4 Ekim, Ankara, s. 83-99.
- KÜÇÜK, Ö., ŞENGÜL. F., KAPDAN. İ., 2003. Deri Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Yapay Sulak Alanların Kullanımı Üzerine Bir Örnek Çalışma. V.

- Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 1-4 Ekim, Ankara, s. 208–215.
- METCALF and EDDY, 1991. Wastewater Engineering. 3rd ed., McGraw-Hill Publishing, New York.
- METCALF&EDDY, 2000. Wastewater Treatment, Disposal and Resuse, Mc Graw Hill Publishing, New York.
- MITSCH, W. J., JAMES G., 1993. Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York, 722 p.
- MUSLU, Y., 1994. Atıksuların Arıtılması. İTÜ Matbaası, İstanbul, 858 s.
- MUSLU. Y., 2000. Ekoloji ve Çevre Sorunları. Aktif Yayınları, İstanbul, 200 s.
- OEMC, 2001. Treating Wastewater with Constructed Wetlands, Wetlands Project Final Report. Governor's Office of Energy Management and Conservation 225 E. 16th Avenue, Suite 650, Denver, CO 80203.
- ÖZTÜRK, M., 2006. Fakültatif Havuzlarda Eysel Atık Su Arıtımı, Ankara. <http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler3/havuz.doc>.
- REED, C., CRİTES, W., 1984. Handbook of Land Treatment Systems for Endustrial and Municipal Wastes. Park Ridge, United States, 427 p.
- REIMOLD, R., MARGARET, M., 1997. Evaluating Ewtlands Treatment Systems for Alexandria, Egypt. Water Environment & Technology, 9(3): 29–32.
- ROUSSEAU, D., 2005. Performance of Constructed Treatment Wetlands: Model-Based Evaluation and Impact of Operation And Maintenance. Ghent University, PhD thesis, Belgium, 300 p.
- SARAÇOĞLU, S., 2006. Eski Karaağaç Köyü Eysel Atıksularının Dip Akıslı Yapay Sulakalan Arıtma Yöntemiyle Arıtılması. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 87 s.
- SLOEY, W.E., F.L. SPANGLER, C.W., FETTER, Jr., 1978. Management of freshwater wetlands for nutrient assimilation. p. 321–340. In R.E. Good, D.F. Whigham, and R.L. Simpson (ed.) Freshwater wetlands: Ecological processes and Management Potential. Academic Press, New York.
- SONG, Z., ZHENG, Z., LI, J., SUN, X., HAN, X., WANG, W., XU, M., 2006. Seasonal and Annual Performance of a Full-Scale Constructed Wetland System for Sewage Treatment in China. Ecological Engineering, 26: 272–282.
- SU KİRLİLİĞİ KONTROL YÖNETMELİĞİ, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete, Ankara, Tablo: 21-5.
- TAYADE, S.T., OJHA, A.R., KUMAR, R., SINGH, R.N., 2005. Feasibility Study of Constructed Wetland for Treatment of Municipal Wastewater. National Environmental Engineering Research Institute. <http://www.eco-web.com/editorial/06909.html>.
- UYANIK, S., 2008. Osmanbey Kampüsü Atıksu Arıtım Araştırma Merkezi Projesi, DPT 2007K120960.
- UYANIK, S., ARMAĞAN, B., ARI, H., ASLAN, M., GÖK, N., 2006. Kampüs Atıksuları İçin Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulakalan Tasarımı. GAP V. Mühendislik Kongresi, Bildiriler Kitabı, 26-28 Nisan, Şanlıurfa, s.1521-1526.
- VYMAZAL, J., 1995. Algae and Element Cycling in Wetlands. Lewis Publishers, Boca Raton, 689 p.
- WETZEL. R. G., 1993. Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, CRC Press, Boca Raton, FL.

- YALÇUK, A., 2007. Katı Atık Depolama Alanlarından Oluşan Sızıntı Sularının Arıtımında Yapay Sulak Alanların Kullanımı. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 199 s.
- YEŞİLNACAR, M. İ., DEMİR, F., UYANIK, S., YILMAZ, G. ve DEMİR, T., 2007. Harran Ovası Yeraltı Suyu Kalitesi ve Kirlenme Potansiyelinin Belirlenmesi. TÜBİTAK Projesi, Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG), Proje Kodu: 104Y188.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Muhsin Naz, 1984 yılında Adana'nın Karataş ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Atatürk İlkokulu'nda, orta öğrenimini ise Karataş Çok Programlı Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans öğrenimini, 2005 yılında birincilikle tamamladı. 2005 yılında, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlayan Naz, halen bu anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı; Kampüs atıksularının, sulakalanlarla arıtılabilirliğinin araştırılması, maksimum verimle arıtımı gerçekleştirecek en uygun sulakalan tipinin belirlenmesi ve sistemlerin işletiminde ortaya çıkabilecek sorunlara çözüm önerilerinin getirilmesidir.

Bu amaçla, Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüs alanı içerisine, yüzeyaltı akışlı ve serbest yüzey akışlı, iki adet laboratuvar ölçekli yapay sulakalan sistemi inşa edilmiştir. Urfa ili ve ilçelerinde yapılan arazi çalışmaları neticesinde, bölgeye adapte olmuş ve geniş alanlara yayılım göstermiş olan, üç adet bitki türü saptanmıştır (*Phragmites Australis*, *Cattails (typha)* ve *Juncus Effusus*). Bu bitkiler arasından, güçlü rizom yapısına sahip ve bölgede en yaygın tür olan, *Phragmites Australis* bitkisi, her iki sistemde kullanılmıştır. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminde, dolgu malzemesi olarak, düşük maliyetli ve temini kolay olan 8-12 mm çapında, uniform nehir çakılı kullanılmıştır. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sistemi dolgu malzemesi üzerine ve serbest yüzey akışlı yapay sulakalan sistemi tabanına, kırmızı-kahverengi Harran toprağı serilmiştir.

Sistemler, Ekim 2007 ile Temmuz 2008 arasında kalan 10 aylık süre zarfında işletilmiştir. Reaktörler, sürekli olarak, sentetik atıksu ile beslenmiştir. Mevsimsel değişimlerin yanı sıra, farklı alıkonma sürelerinin ve giriş konsantrasyonlarının, reaktörler üzerine olan etkisi işletim süresince izlenmiştir. Bu amaçla; pH, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, TP ve TN analizleri, 10 aylık süre zarfında, haftanın muhtelif günlerinde yapılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde; yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminde, % 40.8 & % 98 BOİ, % 47.1 & % 96.1 KOİ, % 0 & % 44.7 TP ve % 19.3 & % 42.6 TN giderimi sağlanmıştır. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalan sisteminde ise; % 62.5 & % 98.4 BOİ, % 0 & % 92.7 KOİ, % 0 & % 31 TP ve % 35.1 & % 46 TN giderim verimleri elde edilmiştir. Her iki sistemin de, şok yüklemelere karşı toleranslı olduğu saptanmıştır. Yüzeyaltı akışlı sistemin çıkış suları kirletici konsantrasyonları, deşarj

standartlarının altında kalmıştır. Serbest yüzey akışlı sistemde ise, yüksek oranda BOİ ve ideal oranda TP, TN giderimi sağlanmıştır. Fakat, bahar aylarında yoğun olarak gözlenen alg nedeniyle, çıkış KOİ konsantrasyonları, deşarj standardının oldukça üzerine çıkmıştır. Yüksek derişimlere ulaşan alg nedeniyle, serbest yüzey akışlı yapay sulakalan sisteminin, uzun vadeli ve sorunsuz bir sistem işletimi için uygun olmadığı düşünölmektedir. İşletim süresince, yüksek salınımlar göstermeyen, yüksek KOİ ve BOİ giderim verimine sahip olan, yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminin, kampüs atıksularının arıtımı için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

## SUMMARY

The aim of this study is to determine the treatability of campus wastewaters by wetlands, specify the most suitable wetland type in order to obtain treatment with maximum efficiency and discussing solutions to possible problems during operation.

With this aim, one surface flow and one subsurface flow, total two laboratory scale wetlands, were constructed in Harran University, Osmanbey Campus. As a result of field work in Sanliurfa province and its districts, tree plant type (*Phragmites Australis*, *Cattails (typha)* and *Juncus Effusus*) were obtained which have wide range habitat and adapted to region. The plant, *Phragmites Australis* which has strong rhizom structure and the most common one in the region was used in both systems. In subsurface flow constructed wetland system, 8-12 mm diameter uniform low cost river gravel, which is easy to find in the region, was used as filling material.

Red-brown Harran soil was scattered to the surface of the filling material of the subsurface flow constructed wetland and surface flow artificial wetland.

The systems were operated for a period of 10 months between October 2007 and July 2008. The reactors were continuously feed with synthetic wastewater. In addition to seasonal changes, effects of different retention times and inflow concentrations on the reactors were monitored. For that purpose; pH, BOD<sub>5</sub>, COD, TP, and TN analyses were performed at different days of weeks during the 10-month period.

According to performed analyses, % 40.8 – % 98 BOD, % 47.1 – % 96.1 COD, % 0 – % 44.7 TP, and % 19.3 – % 42.6 TN removal were sustained at the subsurface flow constructed wetland system. On the other hand, at the surface flow artificial wetland system, % 62.5 – % 98.4 BOD, % 0 – % 92.7 COD, % 0 – % 31 TP, and % 35.1 – % 42.6 TN removal were sustained. It was determined that both systems well tolerate to the shock loadings. Pollutant concentrations of the effluent water of the



subsurface flow system were below discharge standards. At the surface flow system, high rate of BOD and ideal rate of TP and TN removal were sustained. However, due to algae growth, frequently observed during spring season, effluent COD concentrations increased to much higher levels than discharge standards. Due to high concentration of algae presence in the effluent, surface flow artificial wetland is considered not suitable as a system for long term operation without problem. Subsurface flow constructed wetland system is concluded to be more suitable for treatment of campus wastewaters, because of its behavior without high fluctuations and with high COD and BOD removal efficiencies during operational runs.