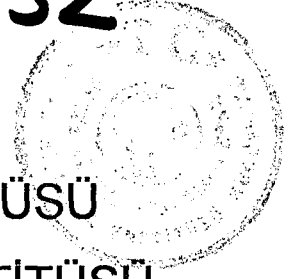


150232



T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATAKÖY EVSEL ATIKSULARININ
DOĞAL ARITILMASININ İNCELENMESİ

Öznur ÇAĞLAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU

GEBZE
2004



Öznur ÇAĞLAR'ın tez çalışması G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/06/2004 tarih ve 200.4/..23 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU
(Tez Danışmanı)

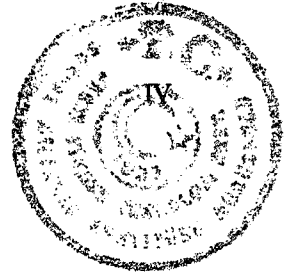
ÜYE : Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU

ÜYE : Prof. Dr. Feriyyeh ERTÜRK

ONAY

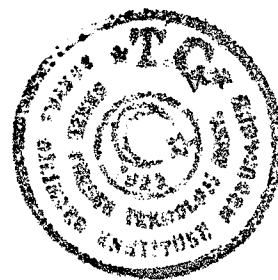
G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06/07/2004 tarih ve 200.4/..28 sayılı kararı.

İmza / Mühür
Prof. Dr. Adem KILIÇ
G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bil.
Enstitüsü Müdürü



ÖZET

Doğal sistemler, atıksu arıtımında yüksek miktarda organik madde, askıda katı madde, azot, fosfor, toksik madde, ağır metal ve patojenleri giderdiklerinden dolayı dünyada yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada, doğal arıtma sistemleri incelenmiş ve sucul arıtma sistemleri ile evsel atıksuların arıtılabilirliğini belirlemek amacıyla iki aşamalı laboratuvar ölçekli iki reaktör ile deneysel bir çalışma yapılmış ve giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Sistem için, AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP parametreleri gözlenmiştir. Birinci reaktör kum ve plastik toplardan granüler bir ortamdan oluşur. İkinci reaktör su mercimeklerini içerir. Bu iki reaktör arasında bir kaskat bulunur. Su mercimeği reaktöründe arıtma prosesi askıda katı madde çökmesi ve bakteriyel aktiviteye bağlıdır. Yeterli düzeyde nütrient giderimi için su mercimeğinin sık aralıklarla hasat edilmesi gerektiği görülmüştür. Sistemle ilgili istatistiksel bir değerlendirme de yapılmıştır.



SUMMARY

Natural systems for wastewater treatment are becoming widespread in the world, because they efficiently remove organic matter, suspended solids, nitrogen, phosphorus, toxic substances, heavy metals, and pathogens. In this study, natural treatment systems were investigated and to investigate treatment of domestic wastewater by aquatic treatment systems, experimental setup was constructed consisting of two reactors of laboratory scale at two stages and treatment efficiencies were compared. For the system SS, COD, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP parameters were observed. First reactor consists of a granular media of sand and plastic balls. Second reactor contains duckweed. In these two reactors there is a cascade. The treatment process in duckweed reactor is based on settling of suspended solids and on bacterial activity. It is concluded that to sustain nutrient removal at sufficient level, harvesting of duckweed is required at certain frequencies. Also, statistical evaluation of the system was done.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, tez yöneticisi hocam Sayın Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı hazırlamamda yardım ve desteklerinden dolayı G.Y.T.E. Çevre Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU' ya tüm samimiyetimle teşekkür ederim.

Çalışmamın deneysel kısmını gerçekleştirdiğim İSKİ Ataköy Biyolojik Tasfiye tesisi personeline bana olan yardımları için teşekkür ederim.

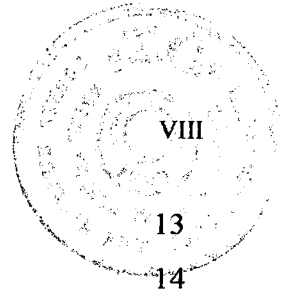
Her türlü desteklerinden dolayı hiçbir fedakarlığı esirgemeyen çok sevdiğim aileme - Annem Saadet ÇAĞLAR, Babam Hayri ÇAĞLAR, Yeğenim İdil TAŞKAN - çok teşekkür ediyorum.

Öznur ÇAĞLAR

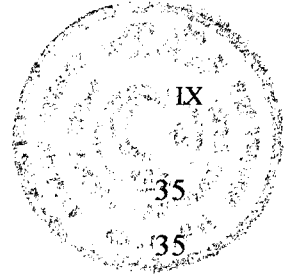


İÇİNDEKİLER DİZİNİ

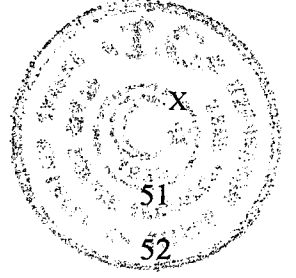
	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
KISALTMALAR DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XVI
1. GİRİŞ	1
2. DOĞAL ARITIM SİSTEMLERİ	3
2.1. Genel	3
2.2. Doğal Arıtım Sistemlerinin Sınıflandırılması	4
2.2.1. Toprak Temelli Sistemler	4
2.2.1.1. Düşük Hızlı Sistemler	4
2.2.1.2. Hızlı Filtrasyon Sistemleri	5
2.2.1.3. Karadan Akış Sistemleri	6
2.2.2. Sucul Sistemler	7
2.2.2.1. Sulakalanlar	7
2.2.2.2. Yüzer Sucul Bitki Sistemleri	7
2.2.2.3. Havuzlar (Pondlar)	8
2.3. Doğal Arıtım Sistemlerinin Dizaynı	8
2.4. Doğal Arıtım Sistemlerinin Özellikleri	8
2.5. Arıtma Mekanizmaları	11
2.5.1. Askıda Katı Madde (AKM)	11
2.5.2. Organik Madde	11
2.5.3. Azot	12
2.5.3.1. Organik Azot	13
2.5.3.2. Amonyak Azotu	13
2.5.3.3. Nitrat Azotu	13



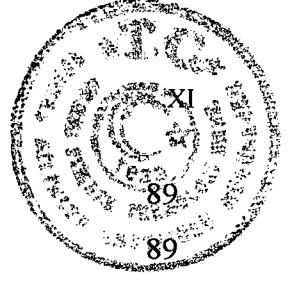
2.5.3.4. Biyolojik Denitrifikasyon	13
2.5.4. Fosfor	14
2.5.5. İz Elementler	14
2.5.6. İz Organikler	14
2.5.7. Mikroorganizmalar	14
3. SUCUL DOĞAL ARITIM SİSTEMLERİ	15
3.1. Genel	15
3.2. Sınıflandırma	15
3.2.1. Sulakalanlar	16
3.2.1.1. Türkiye’de Sulakalanların Durumu	17
3.2.1.2. Sulakalanların Bileşenleri	17
3.2.1.2.1. Bitki	18
3.2.1.2.2. Toprak	19
3.2.1.2.3. Hidroloji	19
3.2.1.3. Doğal Sulakalanlar	20
3.2.1.4. Yapay Sulakalanlar	23
3.2.1.4.1. Serbest Su Yüzeyle Sistemler	24
3.2.1.4.2. Yüzeyle Akışlı Sistemler	26
3.2.1.5. Yapay Sulakalanların Atıksu Arıtımında Kullanılması	26
3.2.1.6. Yapay Sulakalanlarda Kirlilik Uzaklaştırma Mekanizmaları	28
3.2.1.7. Makrofitlerin Yaşam Şekline Göre Yapay Sulak Alan Tipleri	29
3.2.2. Sucul Bitki Sistemleri	31
3.2.2.1. Yüzer Bitki Sistemleri	32
3.2.2.2. Batık Bitki Sistemleri	33
4. YAPAY SULAKALAN SİSTEMLERİNİN PROJELENDİRİLMELERİ (DİZAYNLARI)	34
4.1. Genel	34
4.2. Yapay Sulakalan Çeşitleri	34
4.3. Bölge Seçimi	34
4.3.1. Topografi	34



4.3.2. Serbest Su Yüzeyli Sistemler İçin Toprak Geçirgenliği	35
4.3.3. Hidrolojik Faktörler	35
4.4. Performans Tahmini	35
4.5. Proses Değişkenleri	37
4.5.1. Dizayn Kriterleri	37
4.5.2. BOİ ₅ Yükleme Oranı	37
4.5.3. Hidrolik Yükleme Oranı	38
4.5.4. Serbest Su Yüzeyli Sistemlerde Su Derinliği	38
4.5.5. Bekletme Süresi	39
4.6. Ön Arıtım	39
4.7. Bitkilendirme	40
4.8. Fiziksel Dizayn Faktörleri	14
4.8.1. Serbest Su Yüzeyli Sistemlerde Sivrisinek Kontrolü	42
4.8.2. Bitki Hasadı	42
5. SUCUL BİTKİ SİSTEMLERİ PROJELENDİRİLMELERİ (DİZAYNLARI)	43
5.1. Genel	43
5.1.1. Sucul Arıtma Sistemlerinin Özellikleri	43
5.1.2. İklimsel Sınırlamalar	44
5.2. Bitkilendirme	44
5.2.1. Yüzer Bitkiler	44
5.2.1.1. Su Sümbülü	45
5.2.1.2. Pennywort	46
5.2.1.3. Su Mercimeği	46
5.2.2. Batık Bitkiler	48
5.3. Sucul Bitki Sistemleri İçin Proses Dizayn Kriterleri	48
5.3.1. Organik ve Hidrolik Yükleme Oranı	48
5.3.2. Su Derinliği	49
5.3.3. Bitkisel Yönetim	49
5.3.4. Sivrisinekler ve Kontrolleri	49
5.3.5. Tavsiye Edilen Dizayn Parametreleri	50
5.3.6. Çamur Yönetimi	51



5.4. Sucul Arıtma Sistemlerinin Fiziksel Karakteristikleri	51
5.5. Performans Tahmini	52
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	55
6.1. Genel	55
6.2. Projelendirme Özellikleri	55
6.2.1. Bölge Özellikleri	55
6.2.2. Atıksu Kaynağı	56
6.2.3. Deneysel Çalışma Düzenegi	58
6.2.4. Hidrolik Bekletme Süresi	61
6.2.5. Bitki Hasadı ve Bunlar Üzerine Yapılan İşlemler	61
6.2.6. Kimyasal Analizler	62
6.3. Sistemin İşletilmesi	63
7. BULGULAR	64
7.1. Genel	64
7.2. Birinci Aşama Sonuçları	64
7.2.1. Birinci Reaktör İçin Elde Edilen Bulgular	64
7.2.2. İkinci Reaktör İçin Elde Edilen Bulgular	69
7.2.3. Kaskat Havalandırıcı İçin Elde Edilen Bulgular	72
7.3. İkinci Aşama Sonuçları	75
7.3.1. Birinci Reaktör İçin Elde Edilen Bulgular	75
7.3.2. İkinci Reaktör İçin Elde Edilen Bulgular	79
7.3.3. Kaskat Havalandırıcı İçin Elde Edilen Bulgular	83
7.4. Bitki Hasadı	85
8. TARTIŞMA VE YORUM	86
8.1. Genel	86
8.2. Elde Edilen Verim	86
8.2.1. Birinci Aşama için Verim	86
8.2.1.1. Birinci Reaktör için	86
8.2.1.2. İkinci Reaktör için	87
8.2.1.3. Kaskat Havalandırıcı için	88
8.2.1.4. Sistemin Toplamı için	89



8.2.2. İkinci Aşama için Verim	
8.2.2.1. Birinci Reaktör için	
8.2.2.2. İkinci Reaktör için	90
8.2.2.3. Kaskat Havalandırıcı için	91
8.2.2.4. Sistemin Toplamı için	92
8.3. Verimin Zamanla Değişiminin Gösterilmesi	94
8.3.1. Birinci Reaktör için Değişim	94
8.3.2. İkinci Reaktör için Değişim	100
8.4. İstatistiksel Değerlendirme	105
8.4.1. Birinci Reaktör için Değerlendirme	105
8.4.2. İkinci Reaktör için Değerlendirme	112
9. SONUÇLAR VE YORUM	120
KAYNAKLAR	124
ÖZGEÇMİŞ	

KISALTMALAR DİZİNİ

AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
HBS	Hidrolik Bekletme Süresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NH ₃ -N	Amonyak Azotu
TKN	Kjeldahl Azotu
TP	Toplam fosfor



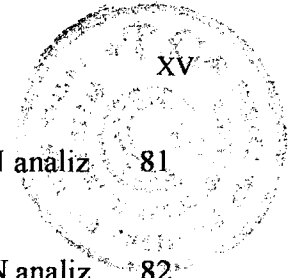
ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

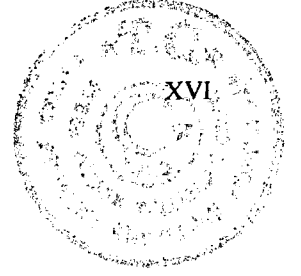
Sayfa

2.1. Düşük hızlı sistemlerin proses şeması	4
2.2. Hızlı filtrasyon hidrolik akım yolları	5
2.3. Karadan akış sistemleri proses şeması	6
2.4. Karadan akış sistemleri proses şeması	6
2.5. Doğal arıtım sistemlerinde azot çevrimi	12
3.1. Türkiye'deki sulakalanların dağılımı	17
3.2. Bataklık kısmı bulan serbest su yüzeyli sistemler	25
3. 3. Açık su pondu bulan serbest su yüzeyli sistemler	25
3. 4. Çayır kısmı bulunan serbest su yüzeyli sistemler	25
3.5. Yüzeyaltı akışlı sistemlerin görünüşü	26
3.6. Sucul bitki sistemlerinde kullanılan bitki türleri	32
4.1. Yüzeyaltı akışlı sistemler için çıkış yapısı	42
5.1 Su sümbülünün yapısı	45
5.2. Bazı tipik su mercimeği cinsleri (Lemnaceae)	47
6.1. İSKİ Ataköy Biyolojik Tasfiye Tesisi Proses Akım Şeması	57
6.2. Deneysel çalışma düzeneği için iki fotoğraf	59
6.3. Sistemin önden görünüşü	60
6.4. Sistemin üstten görünüşü	60
6.5. Birinci reaktör detayı	61
7.1. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan AKM analiz sonuçları, HBS=6.67 gün	66
7.2. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan KOİ analiz sonuçları, HBS=6.67 gün	67
7.3. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları, HBS=6.67 gün	67
7.4. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan NH ₃ -N analiz sonuçları, HBS=6.67 gün	67

7.4. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan $\text{NH}_3\text{-N}$ analiz sonuçları, HBS=6.67 gün	68
7.5. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TP analiz sonuçları, HBS=6.67 gün	68
7.6. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan AKM analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün	70
7.7. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan KOİ analiz sonuçları HBS = 11.4 gün	70
7.8. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün	71
7.9. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan $\text{NH}_3\text{-N}$ analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün	71
7.10. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TP analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün	72
7.11. 1. Aşamada, kaskat giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları	73
7.12. 1. Aşamada, kaskat giriş ve çıkış suyunda yapılan $\text{NH}_3\text{-N}$ analiz sonuçları	73
7.13. Sistemin genelinde birinci aşama için sonuçlar	74
7.14. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan AKM analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün	77
7.15. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan KOİ analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün	77
7.16. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları HBS = 3.33 gün	78
7.17. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan $\text{NH}_3\text{-N}$ analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün	78
7.18. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TP analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün	79
7.19. İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan AKM analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün	80
7.20. İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan KOİ analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün	81

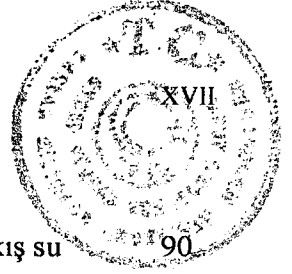


7.21. İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün	81
7.22. İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan NH ₃ -N analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün	82
7.23. İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TP analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün	82
7.24. İkinci aşamada, kaskat giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları	83
7.25. İkinci aşamada, kaskat giriş ve çıkış suyunda yapılan NH ₃ -N analiz sonuçları	84
7.26. Sistemin genelinde ikinci aşama için sonuçlar	84
8.1. Reaktörlere göre 1. Aşama arıtma verimleri	88
8.2. İkinci aşamadaki arıtma verimleri değerlerinin karşılaştırması	61
8.3. Birinci reaktör için, kirletici parametrelerin, aşamalara göre arıtma verimleri	93
8.4. İkinci reaktör için, kirletici parametrelerin, aşamalara göre arıtma verimleri	93
8.5. Tüm sistem için kirletici parametrelerin, aşamalara göre arıtma verimleri	94
8.6. Birinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri	95
8.7. İkinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri	95
8.8. Birinci aşama için KOİ verimlerinin günler ile değişimleri	96
8.9. İkinci aşama için KOİ verimlerinin günler ile değişimleri	96
8.10. Birinci aşama için TKN verimlerinin günler ile değişimleri	97
8.11. İkinci aşama için TKN verimlerinin günler ile değişimleri	97
8.12. Birinci aşama için NH ₃ -N verimlerinin günler ile değişimleri	98
8.13. İkinci aşama için NH ₃ -N verimlerinin günler ile değişimleri	98
8.14. Birinci aşama için TP verimlerinin günler ile değişimleri	99
8.15. İkinci aşama için TP verimlerinin günler ile değişimleri	99
8.16. Birinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri	100
8.17. İkinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri	100
8.18. Birinci aşama için KOİ verimlerinin günler ile değişimleri	101
8.19. İkinci aşama için KOİ verimlerinin günler ile değişimleri	101



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Doğal arıtım sistemlerinin dizaynlarında temel adımlar	9
2.2. Doğal arıtım sistemlerinin temel özellikleri	10
2.3. Doğal arıtım sistemleri için dizayn özelliklerinin karşılaştırılması	10
2.4. Doğal arıtmada, arıtılmış su için beklenen kalitenin karşılaştırılması	11
3.1. Doğal arıtım sistemlerinde sucul bitkilerin özel fonksiyonları.	18
3.2. Kirleticiler için sulakalanlarda giderim mekanizmaları.	21
3.3. Doğal sulakalanlarda, kirleticilerin giderimleri	22
4.1. Bitki türleri için dağılım ve gerekli çevresel şartlar	40
5.1. Su sümbülü sistemlerinin tipleri	46
5.2. Su mercimeğinin kompozisyonu	47
5.3. Su sümbülü sistemlerinin dizayn parametreleri	50
5.4. Su mercimeği sistemlerinin dizayn kriterleri	51
6.1. Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun kirletici konsantrasyonları	56
6.2. Çalışmada ölçülen parametreler ve analiz yöntemleri	62
7.1. Birinci aşamada birinci reaktörün çıkış suyu analiz sonuçları	65
7.2. Birinci aşamada, 2. reaktörün çıkış suyu analiz sonuçları	69
7.3. Birinci aşamada, kaskat için giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları	72
7.4. İkinci aşamada, 1. reaktörün çıkış suyu analiz sonuçları	76
7.5. İkinci aşamada, 2. reaktörün çıkış suyu analiz sonuçları	80
7.6. İkinci aşamada, kaskat için giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları	83
8.1. Birinci reaktörde, birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri	87
8.2. İkinci reaktörde, birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri	87
8.3. Kaskat havalandırıcı için birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri	88
8.4. Sistemin toplamı için birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su	89



kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri

8.5. Birinci reaktör için, ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri 90

kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri

8.6. İkinci reaktör için, ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri 90

kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri

8.7. Kaskat havalandırıcı için ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri 91

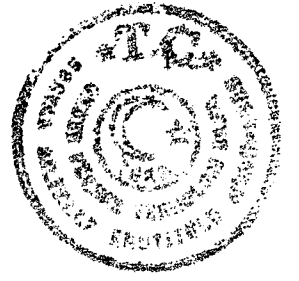
8.8. Sistemin toplamı için ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri 92

8.9. Birinci reaktör sonuçları için ANOVA tablosu 105

8.10. Birinci reaktör sonuçlarının varyans analizi özeti 106

8.11. İkinci reaktör sonuçları için ANOVA tablosu 112

8.12. İkinci reaktör sonuçlarının varyans analizi özeti 113



1. GİRİŞ

Dünya genelinde, tüketime, nüfusa ve alt yapı yetersizliğine bağlı olarak çevre kirliliği artmaktadır. Evsel veya endüstriyel atıksular birçok ülkede arıtılmadan doğrudan en yakında bulunan bir alıcı ortama deşarj edilmektedir. Şu an dünyada pek çok ülke özellikle de gelişmekte olan ülkeler, atıksularını sağlıklı bir şekilde toplayıp bertaraf edememektedirler.

Bugün dünyanın birçok yerinde özellikle su sıkıntısının çekildiği bölgelerde atıksu arıtım ve bu suyun yeniden kullanılması ile içme suyu havzalarındaki su kalitesini koruma maksadına yönelik olarak birçok araştırma ve uygulama çalışması yapılmaktadır. İnşası ve işletme maliyeti düşük, doğal mekanizmalar ile çalışan, ve evsel atıksu gibi nütrient açısından zengin ortamlarda organik yükün büyük oranda bitki biyokütlesine dönüşümü esasına dayanan doğal arıtım sistemleri, bu tip problemlerin çözüm alternatiflerinden biri olarak kullanılmaktadırlar. Doğal proseslerin farkına varılması, düşük yoğunluklu bölgelerde atıksu arıtımının zorunluluğu, uygun atıksu arıtım uygulamaları ve düşük ilk yatırım, işletme ve bakım masrafları gibi bir çok etken, son 20-30 yılda gelişmiş ülkelerde, doğal arıtım sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır.

Çevre koruma hareketlerinden önce, sulakalanlar, doğal yapıları nedeniyle alıcı ortam olarak nitelendirilirdi. Zamanla sulakalanların doğal ve ekonomik önemleri ortaya çıktıkça sulakalanlar koruma altına alınmaya başlanmıştır. Artan çevre kirlenmesinin önüne geçebilmek için doğal sulakalanlar yerine yapay sulakalanlar ön plana çıkarılmışlardır. Doğal sulakalanlardan yola çıkılarak geliştirilen yapay sulakalanlara “inşa edilmiş” veya “ekilmiş sulakalanlar” da denmektedir. Klasik arıtma sistemlerine göre inşa ve işletme masraflarının daha düşük olması, basit ve kolay işletilebilmelerinden dolayı doğal sistemleri, alternatif birer arıtma sistemleri olarak ortaya çıkmışlardır.

Bu çalışmada, öncelikle doğal arıtım sistemleri eşitleri, özellikleri, işletilmeleri ve verimleri konusunda kısaca bilgi verilip, yine doğal arıtım sistemleri çeşitlerinden biri olan sucul sistemler konusuna geçiş yapılacaktır. Ayrıntılarıyla sucul arıtma sistemleri açıklanacak ve yapay sulakalan sistemleri ile sucul bitki sistemlerinin projelendirilmeleri konusunda bilgi verilecektir. Ayrıca sucul arıtma sistemlerinin verimlerinin araştırılması amacıyla İSKİ Ataköy Biyolojik Tesisi'nde gerçekleştirilen deneysel çalışmanın ayrıntıları, sonuçları ve yorumları tez dahilinde sunulacaktır.



2. DOĞAL ARITIM SİSTEMLERİ

2.1. Genel

Doğal çevrede, su, toprak, bitkiler, mikroorganizmalar ve atmosfer etkileşim halinde iken, fiziksel, kimyasal, biyolojik prosesler meydana gelir. Doğal arıtım sistemleri, atıksu arıtımı için bu proseslerin avantajlarını kullanarak dizayn edilirler. Mekanik arıtım sistemlerinde de kullanılan sedimentasyon, filtrasyon, gaz transferi, adsorpsiyon, iyon değişimi, kimyasal çöktürme, kimyasal yükseltgenme ve indirgenme, biyolojik değişme ve indirgenme gibi prosesleri içeren doğal sistemler, aynı zamanda fotosentez, fotooksidasyon ve bitkisel kullanım gibi prosesleri de içerir (Metcalf and Eddy, 1991).

Kirleticilerin, yüzey toprağında ve/veya bitkisel ortamda tutulması, mikroorganizmaların organik bileşikleri, kullanıp parçalaması, sabit bir arıtım seviyesi sağlanması, düşük enerji ve bakım maliyetleri atıksu arıtımı için doğal arıtım sistemlerini cazip duruma getirir. (Chan et al., 1981).

Doğal proseslerin kullanımı, sistemin hizmet edeceği alandaki insan yoğunluğunun kolay tanımlanabilir olması, basit inşaat, basit işletme ve bakım, proses kararlılığı, düşük çamur üretimi, düşük maliyetler gibi karakteristik özelliklerinden dolayı doğal sistemler, gelişmekte olan ülkelerde, çevre sorunlarının çözümü için ümit verici bir alternatif durumundadır (Haberl, 1999).

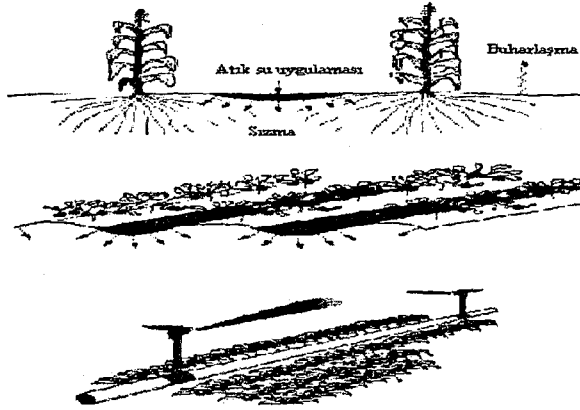
2.2. Doğal Arıtım Sistemlerinin Sınıflandırılması

Doğal arıtım sistemleri, iki kategoriye ayrılabilir. Bunlar; yüzeyaltı, hızlı filtrasyon, toprak akifer arıtım, yüzey akışlı ve düşük hızlı sistemleri içeren toprak temelli sistemler; ve havuzlar (pondlar), yüzer bitkilerle oluşturulan sistemler ve sulakalan sistemlerini içeren sucul sistemleridir (Kruzic, 1994).

2.2.1. Toprak Temelli Sistemler

2.2.1.1. Düşük Hızlı Sistemler

Düşük hızlı arıtma, günümüzde en yaygın kullanıma sahip doğal arıtma sistemidir ve arıtımı sağlamak için ekili bir alan içerir. Uygulanan su toprak profiline yatay ya da dikey olarak sızarak tüketilir. Şekil 2.1. de düşük hızlı sistemlerin prosesleri verilmektedir. Yüzeyden kaçışlar genellikle toplanıp sisteme yeniden uygulanır. Arıtma toprak profiline sızma ile gerçekleşir. Düşük hızlı sistemler, genellikle dizayn kriterlerine bağlı olarak tip 1 ve tip 2 olarak ikiye ayrılırlar (Metcalf and Eddy, 1991).

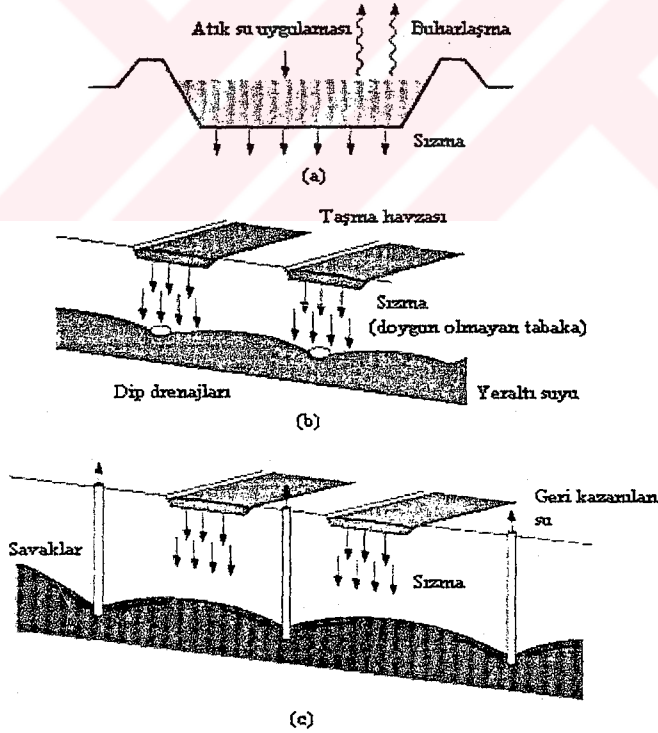


Şekil 2.1. Düşük hızlı sistemlerin proses şeması.

2.2.1.2. Hızlı Filtrasyon Sistemleri

Bu sistemlerde bazı ön arıtma işlemlerinden geçen atıksu kesikli olarak sığ bir filtreye ya da yayvan bir havzaya uygulanır. Şekil 2.2. de sistemin prosesleri verilmektedir. Serpiciler yardımıyla atıksuyun uygulanması mümkündür. Bitkilendirme havzalar için gerekli olmasa da serpme uygulamalarında önemli olmaktadır. Çünkü yükleme oranları kısmen yüksek, buharlaşma kayıpları düşüktür ve arıtımın meydana geldiği toprak profiline doğru uygulanan suyun çoğu sızar.

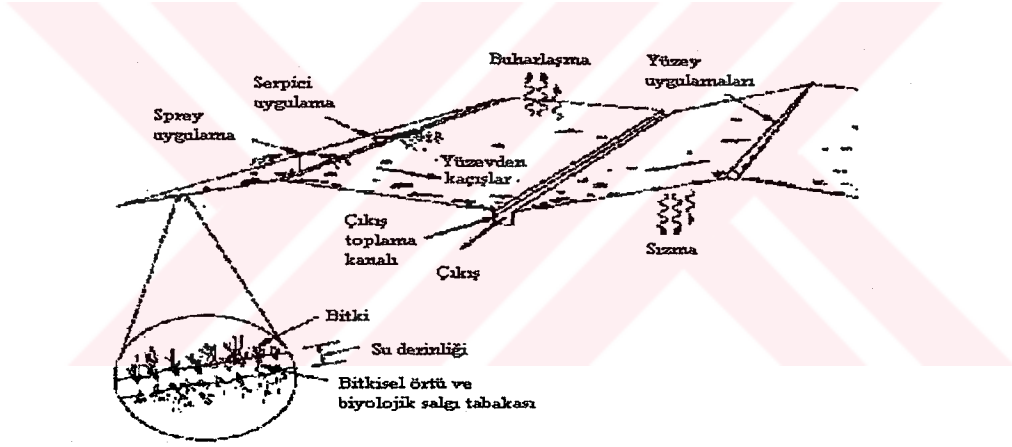
Hızlı filtrasyon sistemlerinde, düşük hızlı sistemlere göre arıtma potansiyeli, geçirimli toprakların düşük tutma kapasiteleri ve kısmen yüksek hidrolik yükleme oranları yüzünden daha azdır (Metcalf and Eddy, 1991).



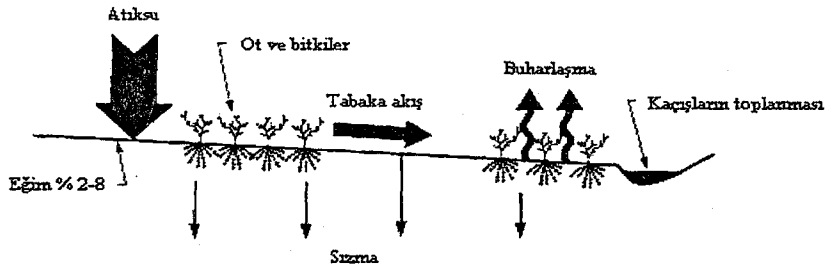
Şekil 2.2. Hızlı filtrasyon hidrolik akım yolları; (a) hidrolik akım yolları, (b) dip drenajları kullanarak geri alma yolu (c) savakları kullanarak geri alma yolu.

2.2.1.3. Karadan Akış Sistemleri

Bu sistemlerde ön arıtılmış su, bitkilendirilmiş eğimli yüzeylere dağıtılır. Şekil 2.3. ve Şekil 2.4. de karadan akış sistemlerinin prosesleri verilmektedir. Karadan akış sistemleri, geçirimsiz toprak yüzeyli, ya da yüzeyaltı tabakalı bölgelerde kullanılır. Toprak profiline sızma, temel hidrolik yoldur ve işlenen suyun çoğu yüzey çıkışı olarak toplanır. Suyun bir kısmı ise buharlaşma yolu ile kaybolmaktadır. Uygulanan su, zamanla ve yerel iklimle değişkenliğini kaybeder. Sistemler alternatif uygulamalar ve kurutma periyotlarını kullanarak işletilebilirler. Atıksuyun dağıtımı yüksek basınçlı serpiciler, düşük basınçlı spreyle ya da yüzey metotlarıyla dağıtılır (Metcalf and Eddy, 1991).



Şekil 2.3. Karadan akış sistemleri proses şeması.



Şekil 2.4. Karadan akış sistemleri proses şeması (Crites et al., 2000).

2.2.2. Sucul Sistemler

2.2.2.1. Sulakalanlar

Sulakalanlar, su yüksekliği tipik olarak 0.6 m den daha az olan su kaplı alanlardır. Bu alanlar, su kamışı, saz otu, su mercimeği ve su sümbülü gibi bitkilerin büyümesine yardımcı olurlar. Bitkilendirme, bakteri filmlerinin tutulmalarını sağlar, filtrasyon ve adsorpsiyona yardım eder, su kolonuna oksijen transferini kolaylaştırır ve güneş ışığının geçişine engel olarak alg büyümesini kontrol ederler. Hem doğal hem de yapay sulakalanlar atıksu arıtımı için kullanılabilirler. Sulakalanlar için deşarj sınırlandırılmıştır. Bu sebeple, ikincil veya ileri arıtım olarak kullanılmaktadırlar (Metcalf and Eddy, 1991). Yapay sulakalanlarda projelendirme yapılacağı için böyle bir sınırlandırma söz konusu değildir.

Sulakalanlar konusunda detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde verilecektir.

2.2.2.2. Yüzer Sucul Bitki Sistemleri

Yüzer sucul bitki sistemlerinde, yüzer bitki olarak su sümbülü ve su mercimeği kullanılır. Su yüksekliği sulakalan sistemlerine nazaran daha derindir ve 0.5 ile 1.8 m arasında değişir. İlave havalandırma, yüzer sucul bitki sistemlerinde arıtma kapasitesini arttırmak ve sinek oluşumunu biyolojik olarak kontrol etmek amacıyla kullanılırlar. Bu sistemler, ikincil arıtım, ileri ikincil arıtım ve nutrient giderimini sağlamak amaçlı kullanılırlar (İnternet 1).

Yüzer sucul bitki sistemleri konusunda detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde verilecektir.

2.2.2.3. Havuzlar (Pondlar)

En yaygın olan doğal sistem, atıksu arıtma havuzlarıdır. Stabilizasyon havuzları atıksu arıtımı için 3000 yıldan beri kullanılmaktadır. Stabilizasyon havuzlarında, işletme, bakım ve enerji gereksinimi minimumdur. Atıksu arıtma havuzları süreklilik ve deşarj sıklığına göre; buharlaşma havuzları, kontrollü deşarj havuzları, hidrografi kontrollü boşaltım havuzları, sürekli deşarjlı havuzlar şeklinde kategorize edilebilirler (İnternet 1).

Buharlaşma havuzları, sadece yıllık bazda buharlaşmanın yağışı aştığı iklimlerde uygulanabilir. Kontrollü deşarj uygulamasında, sadece akım şartları yeterli olduğunda yılda bir veya iki kez deşarj söz konusudur. Hidrografi kontrollü boşaltım havuzlarında, akım oranlarına göre deşarj yapılır. Bu havuzlarda da akım değerinin kabul edilen bir minimum değerden yukarıda olması istenir. Sürekli deşarj havuzlarında ise giriş ve çıkış akım değerlerinin aynı olması gerekir (İnternet 1).

2.3. Doğal Arıtım Sistemlerinin Özellikleri

2.3.1. Doğal Arıtım Sistemlerinin Projelendirilmesi (Dizaynı)

Doğal arıtım sistemlerinin dizaynında temel adımlar Tablo 2.1. de özetlenmiştir.

Doğal arıtım sistemlerinin, temel özelliklerin, tipik dizayn şekillerinin ve arıtılmış su için beklenen kalitenin karşılaştırılmaları Tablo 2.2., 2.3. ve 2.4.'de verilmektedir (Metcalf and Eddy, 1991).

Tablo 2.1. Doğal arıtım sistemlerinin dizaynında temel adımlar.

Düşük hızlı sistemler	Hızlı filtrasyon sistemleri	Karadan akış sistemleri	Yapay sulaklanlar ve yüzer bitki sistemleri:
Bölge tespiti ve seçimi	Bölge tespiti ve seçimi	Bölge tespiti ve seçimi	Bölge tespiti ve seçimi
Ön arıtım seviyesinin belirlenmesi	Ön arıtım seviyesinin belirlenmesi	Ön arıtım seviyesinin belirlenmesi	Ön arıtım seviyesinin belirlenmesi
Ekin seçimi	Dağıtım metodu seçimi	Dağıtım metodu seçimi	Bitki seçimi ve yönetimi
Dağıtım metodu seçimi	Hidrolik yükleme oranı dizaynının belirlenmesi	Sistem dizayn parametrelerinin belirlenmesi	Dizayn parametrelerinin belirlenmesi
Yükleme oranının belirlenmesi	Operasyonel çevrim dizaynının belirlenmesi	Depolama gereksiniminin belirlenmesi	Vektör kontrol ölçümleri
Alan gereksiniminin belirlenmesi	Toprak gereksinimlerinin belirlenmesi	Alan gereksiniminin hesaplanması	Sistem bileşenlerinin dizayn detayları
Depo hacmi gereksiniminin belirlenmesi	Filtrasyon alanının belirlenmesi	Sistem bileşenlerinin belirlenmesi	İzleme gereksinimlerinin belirlenmesi
İzleme gereksinimlerinin belirlenmesi	Çıkış geri devir sisteminin boyutlandırılması	Ekinin belirlenmesi	
	Depolama gereksiniminin belirlenmesi	Sistem bileşenlerinin dizayn detayları	
	İzleme gereksinimlerinin belirlenmesi	İzleme gereksinimlerinin belirlenmesi	

Tablo 2.2. Doğal arıtım sistemlerinin temel özellikleri.

Özellikler	Düşük hızlı	Hızlı filtrasyon	Karadan akış	Sulakalan uygulamaları	Yüzer bitki sistemleri
İklimsel özellikler	Soğuk havalarda ve yağış sırasında saklamak gereklidir.	Etkili değildir (soğuk havada operasyonun geliştirilmesi yararlı olabilir).	Soğuk havalarda ve yağış sırasında saklamak gereklidir.	Soğuk havalarda ve yağış sırasında saklamak gerekli olabilir.	Soğuk havalarda ve yağış sırasında saklamak gerekli olabilir.
Yeraltı suyuna derinlik	0.61-0.91 m (minimum)	30.5 m (daha düşük derinlikler alt drenaj sağlanıyorsa kabul edilebilir).	Önemli değildir.	Önemli değildir.	Önemli değildir.
Eğim	Ekili alan için %15 den düşük, ağaçlandırılmış alan için %40 dan düşük	Önemli değildir; aşırı eğimler gerekebilir.	Çıkış eğimi %1-8	Genellikle %5 den düşük	Genellikle %5 den düşük
Toprak geçirgenliği	Yavaş hızlı arası	Hızlı (kumlar)	Yavaş (killer, siltler)	Ortalama yavaş	Ortalama yavaş

Tablo 2.3. Doğal arıtım sistemleri için dizayn özelliklerinin karşılaştırılması.

	Uygulama tekniği	Yıllık hidrolik yükleme oranı, m/y	Alan ihtiyacı, ha/(10 ³ m ³ /d)	Gerekli ön arıtım	Bitkilendirme ihtiyacı
Düşük hızlı (tip 1)	Su serpicileriyle yada yüzeyden	1.7-6	6-21.4	Ön çökeltim	Gerekli
Düşük hızlı (tip2)	Su serpicileriyle yada yüzeyden	0.6-2	18.2-58.8	Ön çökeltim	Gerekli
Hızlı filtrasyon	Genellikle yüzeyden	6-91	0.4-6	Ön çökeltim	İsteğe bağlı
Karadan akış	Su serpicileriyle yada yüzeyden	7.3-57	0.6-4.8	Izgara	Gerekli
Sulakalan	Su serpicileriyle yada yüzeyden	5.5-13.3	1.9-6.6	Ön çökeltim	Gerekli
Yüzer bitki sistemleri	Yüzeyden	5.5-13.3	1.9-6.6	Ön çökeltim	Gerekli

Tablo 2.4. Doğal arıtımda, arıtılmış su için beklenen kalitenin karşılaştırılması.

Miktar, mg/l						
Çeşit	Düşük hızlı		Hızlı filtrasyon		Karadan akış	
Parametre	Ortalama	Maksimum	Ortalama	Maksimum	Ortalama	Maksimum
BOİ	<2	<5	2	<5	10	<15
AKM	<1	<5	2	<5	15	<25
Amonyak azotu	<0.5	<2	0.5	<2	1	<3
Toplam azot	3	<8	10	<20	5	<8
Toplam fosfor	<0.1	<0.3	1	<5	4	<6

2.3.2. Arıtma Mekanizmaları

2.3.2.1. Askıda Katı Madde (AKM)

Atıksudaki AKM nin , bir kısmı çok düşük akış hızlarının ve sığ derinliklerin sağlanmasıyla çökelme ile; bir kısmı da yaşayan bitkiler ve bitkisel köklere doğru filtrasyonla giderilir. İlave katı giderimi, ayrıca toprak yüzeyinde olmaktadır. Atıksuyun toprak yüzeyinden verildiği sistemlerde (düşük hızlı, hızlı filtrasyon ve yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemleri), AKM birincil olarak toprak ya da yüzeyaltı ortamda filtrasyonla giderilir. Düşük hızlı ve hızlı filtrasyon sistemlerinde AKM'nin çoğu toprak yüzeyinde giderilir (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.2.2. Organik Madde

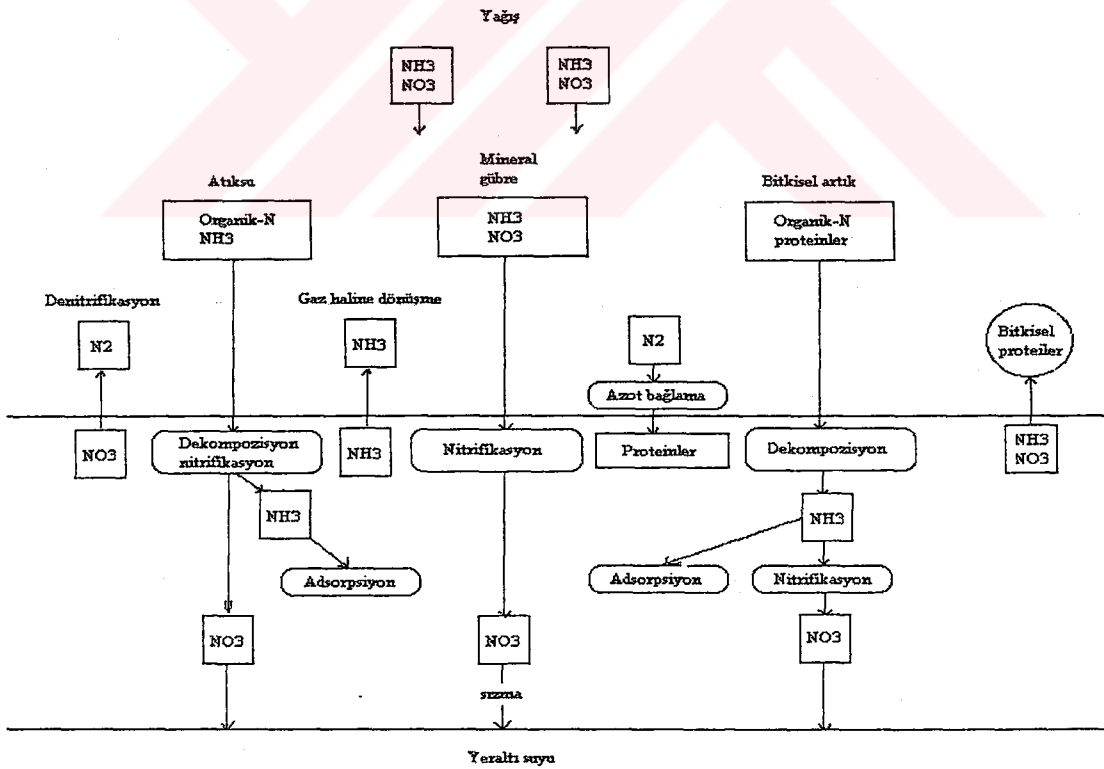
Atıksudaki organik maddeler ister çözülülebilir ister askıda olsun mikrobiyal parçalanma ile giderilir. Parçalanmadan sorumlu mikroplar toprak partikülleri yüzeyinde, bitkilerde ve bitki gövdelerinde biyofilm meydana getirirler. Genellikle doğal sistemler aerobik şartlarda işletilir. Çünkü aerobik parçalanma, anaerobik

parçalanmadan daha hızlı ve tamdır. Ayrıca koku oluşumu problemi azdır. Aerobik sistemler denitrifikasyonla azot giderimini maksimize etmek için kısıtlanabilir.

Doğal arıtım sistemlerinde aerobik olarak organik madde parçalama kapasitesi atmosferden sisteme oksijen transferine bağlıdır. Bu yüzden sistemin biyokimyasal oksijen ihtiyacı sisteme giren oksijen oranından küçük olmalıdır (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.2.3. Azot

Nitrojen çevrimi ve giderimi karmaşık proses ve reaksiyonları içerir. Doğal arıtım sistemlerinde azot çevrimi Şekil 2.1. de verilmektedir (Metcalf and Eddy, 1991).



Şekil 2.1. Doğal arıtım sistemlerinde azot çevrimi.

2.3.2.3.1. Organik Azot

Askıda katı maddeye bağı olan organik azot çöktürme ve filtrasyonla giderilebilir. Katı faz organik azot, direkt olarak toprak humusu içine alınabilir. Bazı organik azot çözünebilir amino asitlere hidrolize olurlar (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.2.3.2. Amonyak Azotu

Çözünebilir amonyak buharlaşma ile gaz amonyak şeklinde havaya karışarak giderilir. Ancak bu şekilde giderim göreceli olarak küçüktür. Amonyağın çoğu, iyon değiştirme reaksiyonları ile toprak partiküllerine geçici olarak adsorbe edilir. Adsorbe edilmiş amonyak bitki ve mikroorganizma kullanımı için ya da aerobik koşullarda nitrat azotuna çevrim için uygundur (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.2.3.3. Nitrat Azotu

Nitrat bitkiler tarafından tutulabilir, ancak tutma büyüme periyodu sırasında kök bölgesi yakınında meydana gelir. Bitkisel tutma ile sistemden nitrojen giderimini başarmak için bitkiler hasat edilmeli ve sistemden uzaklaştırılmalıdır. Bitkiler sistemde bırakılırsa bitkilerdeki azot içeriği yeniden kullanılabilir hale gelir ve organik azot olarak sisteme yeniden girer (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.2.3.4. Biyolojik Denitrifikasyon

Azot biyolojik denitrifikasyon yolu ile de giderilebilir ve sonrasında gaz nitroz oksit ve moleküler azot atmosfere verilir. Temel azot giderim mekanizmasıdır. Denitrifikasyon anoksik koşullarda fakültatif bakterilerle sağlanır. Denitrifikasyonun meydana gelmesi için tüm sistemin anoksik olmasına gerek yoktur. Ancak en yüksek denitrifikasyon için denitrifikasyon koşullarının optimum olması gerekir. Denitrifikasyon için karbon/azot oranı da önemlidir. Bu oranın 2/1 olması önemlidir (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.2.4. Fosfor

Fosforun az bir kısmı ve diğer uçucu olmayan elementler, mineral çevrimiyle form değiştirerek sedimentlere katılabilir. Bir çok sulakalan sisteminde fosfor giderimi, atıksu ve toprak arasındaki kısıtlı temas nedeniyle çok etkili değildir. Fakat, sistem için dolgu malzemesi olarak uygun toprak çeşidinin seçilmesi şartıyla bu durum tersine çevrilebilir. Önemli derecede kil içeriği ve demir ve alüminyum varlığı fosfor giderim potansiyelini arttıracaktır. Bununla birlikte, bu çeşit bir toprağın kullanımı hidrolik kapasiteyi azaltacak ve arıtım için daha fazla alan gerektirecektir (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.2.5. İz Elementler ve İz Organikler

İz elementlerin (genellikle metaller) giderimi sorpsiyon (adsorpsiyon ve çökeltme reaksiyonları) ile ve bazı metallerin bitkisel tutulmalarıyla olmaktadır. Metaller, sucul sistemlerin sedimentlerinde ya da toprak profillerinde tutulurlar. Sedimentlerde ve toprak profillerinde ve özellikle 6.5 pH değerlerinde metallerin tutulma kapasiteleri oldukça yüksektir. Pek çok metal için giderim verimi %80-95 arasındadır. Daha düşük verimler, özellikle serbest su yüzeyli sulakalan ve yüzer sucul bitki sistemlerinde, toprak su ilişkisinin sınırlı ve sedimentlerdeki anaerobik şartlar yüzünden gözlenebilmektedir (Metcalf and Eddy, 1991).

İz organik bileşikler, atıksulardan buharlaşma ve adsorpsiyonu takiben biyolojik ve fotokimyasal bozulmalar ile giderilir. Genellikle, doğal sistemler iz organik bileşiklerin geniş kısmını giderebilirler. Ancak tek tek bileşiklerin giderimi verimleriyle ilgili mevcut veri oldukça azdır (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.2.6. Mikroorganizmalar

Bakteriler ve parazitler için giderim mekanizması, çöktürme, süzme, parçalama, kurutmadır. Virüsler adsorpsiyonla giderilebilir. Sistem, mikroorganizmalar için belli miktarlarda giderim sağlasa da, dezenfeksiyon gereksinimi ortadan kaldırmak için yeterli olmaz (Metcalf and Eddy, 1991).

3. SUCUL DOĞAL ARITIM SİSTEMLERİ

3.1. Genel

Konvansiyonel arıtma proseslerinin yüksek maliyetlerinin yarattığı ekonomik baskılar su kirliliği kontrolü için yaratıcı, ekonomik ve çevresel alternatifler oluşturmaya itmiştir. Bu amaçla geliştirilen teknik bir yaklaşım, atıksu arıtım proseslerinin bir parçası olarak görev yapan yapay ekosistemler meydana getirmektedir.

Sulakalanlarda atıksu arıtımı uygulamalarında, hidroloji ve ekosistem arasında ilişkinin karakteristiklerinin bilinmesi gerekir. Su kaynağı, hız, akış oranı, yenilenme oranı, sel sıklığı gibi faktörlerin, sulakalan substratının kimyasal ve fiziksel özelliklerinde temel etkileri vardır. Bu özellikler ekosistemin karakter ve sağlığını etkilerler (Wile et al., 1985). Genelde sulakalanlara su hareketi ekosistem üzerinde olumlu etkiler oluşturur (Hantzche, 1985). Sucul sistemlerde, konvansiyonel aktif çamur ve damlatmalı filtrede olduğu gibi atıksu temel olarak bakteriyel metabolizma ve fiziksel çökelme yoluyla arıtılır. Atıksu arıtımında tek başına sucul bitkilerin verime katkıları azdır (Tchobanoglous, 1987). Bu bitkilerin fonksiyonu atıksu arıtım kapasitesini geliştiren sucul çevre bileşenlerini desteklemektir (Stowell et al., 1980).

3.2. Sınıflandırma

Bu bölümde sucul arıtma sistemleri iki kategoride incelenecektir. Bunlar:

1. Sulakalanlar (doğal ve yapay sulakalanlar)
2. Sucul bitki sistemleridir.

3.2.1. Sulakalanlar

Doğal veya yapay, devamlı veya geçici, suları durgun veya akıntılı, acı, tatlı veya tuzlu, denizlerin gel-git hareketlerinin çekilme devresinde altı metreyi geçmeyen derinlikleri kapsayan bütün sular, bataklık ve sazlıklardır. Sulakalanlar yeryüzünün en fazla biyolojik üretim yapan ekosistemleri olup, çok zengin biyolojik çeşitliliğe sahiptirler.

Sulakalanlar, bulundukları bölgenin su rejimin dengelemekte üstün işlev ve katkıları söz konusudur ve bulundukları yörenin iklimini stabilize ederler. Tortu ve zehirli maddeleri alıkoyarak ya da besin maddelerini kullanarak suyu temizlerler. Yeryüzünün en fazla biyolojik üretim yapan ekosistemleri, olup, çok zengin biyolojik çeşitliliğe sahiptirler. Balıkçılık, tarım, hayvancılık, saz üretimi ve rekreasyonel kullanımlar açısından yüksek bir ekonomik değere sahip olup, bölge ve ülke ekonomisine katkı sağlarlar. Ayrıca yeryüzünün en önemli genetik rezervuarları olmaları nedeniyle eğitim ve bilimsel çalışmalar için açık hava laboratuvarı özelliği taşırlar ve özellikle büyük göl ve nehirlerde su yolu taşımacılığına imkan sağlarlar (İnternet 2).

Sulakalanlar, tarım ya da yerleşim amaçlı kurutmalar, sanayi, tarım ve yerleşim alanlarından kaynaklanan kirlenmeler, içme, kullanma ve sulama suyu temini amacıyla aşırı miktarda su alınması, sulakalanı besleyen suların barajlarda tutulması veya yönlerinin değiştirilmesi, turizm ve ikinci konut amaçlı yapılaşmalar, yabancı balık türlerinin göllere aşılması, sazlıkların yakılması, tahribi, kontrolsüz saz kesimi gibi problemlerden dolayı tehdit altındadırlar. Öncelikli olarak sulakalan kaybına neden olan politika ve yasalar değiştirilmelidir, sulakalanlara arıtılmamış su verilmemelidir ve sulakalanla ilişkili tarım alanlarında, kimyasal ilaç ve gübre kullanımı yasaklanmalıdır.

3.2.1.1. Türkiye’de Sulakalanların Durumu

Türkiye sulakalanlar bakımından Bağımsız Devletler Topluluğu hariç, Avrupa ve Ortadoğu’nun en zengin sulak alanlarına sahiptir. Ülkemizde bir milyon hektarı aşkın 25 civarında sulak alan bulunmaktadır. Ülkemiz 1971 yılı Şubat ayında İran’ın Ramsar kentinde imzaya açılan ve Ramsar Sözleşmesi (Özellikle Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öne Sahip Sulak Alanların Korunması Sözleşmesi) olarak bilinen sulak alanların korunması hakkındaki sözleşmeye 17 Mayıs 1994’ten itibaren resmen taraf olmuştur. Şekil 3.1. de Türkiye’deki sulakalanların dağılımı görülmektedir (İnternet 3).



Şekil 3.1. Türkiye’deki sulakalanların dağılımı.

3.2.1.2. Sulakalanların Bileşenleri

Sulakalanların ana bileşenleri bitkiler (yıllık, mevsimlik, sualtı veya su yüzeyindeki bitkiler gibi), toprak (mineraller veya organik sedimentler) ve hidrolojidir (Vymazal, 1998). Sulakalan içinde gerçekleşen süreçlere ve besin

dönüşümüne, sulakalan bileşenlerinin yanında girişteki besin konsantrasyonu, sistemdeki mevcut besin konsantrasyonu ve diğer biyota da etki etmektedir (Gopal, 1999).

3.2.1.2.1. Bitki

Sucul bitkiler, sulakalanların önemli bileşenlerindendir. Doğal arıtım sistemlerinde sucul bitkilerin özel fonksiyonları Tablo 3.1. de verilmektedir (Stowell et al., 1982).

Tablo 3.1. Doğal arıtım sistemlerinde sucul bitkilerin özel fonksiyonları.

Bitkinin bölümü	Fonksiyonu
Su kolundaki kök ve dallar	Bakterilerin gelişebileceği bir yüzey sağlamak.
	Katıların adsorbe ve filtre edilebileceği bir ortam sağlamak.
Su üzerinde bulunan dal ve yapraklar	Güneş ışığının sisteme girişini engelleyerek, alg oluşumunu engellemek.
	Rüzgarın su üzerindeki etkilerini azaltmak.
	Bitkilerin su altındaki kısımları ile gaz alışverişinde rol oynamak.

Sulakalan bitkileri, su mercimeğinden (*Lemnaceae sp.*), su sümbülüne (*Potamogetonaceae Sp.*), büyük sukamışına (*Typha latifolia*), kamışa (*Phragmites australis*) ve ayakotuna (*Carex sp.*) kadar geniş bir aralığa sahiptir. Serbest yüzen makrofıtlar sudaki oksijeni tüketerek indirgenme reaksiyonlarını hızlandırır. Su mercimeği düşük biyokütleli fakat yüksek büyüme hızlı, dolayısıyla sık sık hasat gerektiren bir bitkidir. Su sümbülü sık sık hasat edilmesini gerektirse de, besin ve askıda katı uzaklaştırma potansiyeli yüksek olan bir bitkidir. Fakat hasat zorluğu nedeniyle su sümbülleri yapay sulakalan araştırmalarında sadece pilot tesislerde

kullanılabilmektedir. Diğer taraftan kamış, saz ve ayak otu sadece yılda bir kere hasat edilmeyi gerektirir (Mitsch et al., 1993; Gopal, 1999).

Sulakalanlarda baskın makrofit türlerinin besinleri absorplama verimi sistemdeki diğer türlerle birlikte ortam şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Sualtı makrofitler su kütlelerine 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 (Brix, 1993; Gopal, 1999).

3.2.1.2.2. Toprak

Sulakalan toprağı yada sedimenti hem kimyasal dönüşümlerin gerçekleşmesinde rol alır, hem de sulakalan bitkileri için gerekli kimyasal besinlerin temel kaynağıdır. Genellikle sulakalan toprağı, hidrojenli toprak olarak tanımlanır. Hidrojenli toprak, çok uzun anaerobik şartlarda oluşan topraktır. Hidrojenli toprak iki sınıftan oluşur. Bunlar, organik toprak (biyokütle bozunması ile oluşur) ve mineral (alüvyon) topraktır (Vymazal, 1998).

3.2.1.2.3. Hidroloji

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 canlı biyotanın devamını imkansızlaştırmaktadır. Sulakalanın hidrolojik rejimini belirleyen parametreler sıklık, zaman, derinlik, akışın sürekliliğı, günlük ve/veya mevsimlik su seviyesindeki

değişiklikler ve çıkış yapısıdır. Bütün bunların yanında hidrolojik çevrimde yer alan yağış, yüzey akış, sızma ve buharlaşmanın da göz önünde bulundurulması gerekir (Mitsch et al., 1993; Vymazal, 1998; Gopal, 1999). Sulakalan boyutlandırmasında hidrolojik rejime doğrudan bağlı olan bekleme süresi ve hidrolik yükleme hızı iki önemli değişkendir. Atıksudaki kirleticiler için sulakalanlarda giderim mekanizmaları Tablo 3.2. de verilmektedir. Tablodaki P ifadesi; birincil etki, S ifadesi; ikincil etki, I ifadesi; ileri (üçüncül) etki anlamına gelmektedir (Stowell et al., 1979).

3.2.1.3. Doğal Sulakalanlar

Doğal sulakalanlar yeryüzünde bulunuş formlarına göre 3 şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar:

1. Yüzey sularının etkisinden tamamen uzak ve yüksek bir seviyede olan sulakalanlardır. Besin ve su ihtiyacını yağışlardan sağlarlar, bundan dolayı besin bakımından zayıfırlar.
2. Etrafı yükseltilerle çevrili sığ çukurda olan ve besin ihtiyacını etrafındaki yükseltilerden yüzey akışı ile sağlayan sulakalanlardır. Bu tip sulakalanlara besin akışı süreklidir.

Doğal sulakalanlara yapılacak deşarjlarda ana prensip, yasal deşarj kriterlerini sağlamak koşuluyla, varolan habitatın zenginleştirilmesidir. Arıtım kapasitesini arttırmak amacıyla, doğal sulakalanlarda yapılan değişiklikler genellikle doğal ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Metcalf and Eddy, 1991).

Tablo 3.2. Kirleticiler için sulakalanlarda giderim mekanizmaları.

Mekanizma	Kirleticiler							Açıklama
	Çözülebilir Katılar	Koloidal katılar	BOİ	N	P	Ağır metaller	Ayrışması zor organikler	Bakteriler ve virüsler
<u>Fiziksel Çökelme</u>	P	S	I	I	I	I	I	I
Filtrasyon	S	S						Partiküllerin, suyun substrata geçişiyle mekaniksel filtrasyonu.
Adsorpsiyon		S						Partiküller arası çekim kuvveti (van der Waals kuvveti).
<u>Kimyasal Çökelme</u>				P	P			Çözünmez kirleticilerin formasyonları ya da yardımcı çökteticileri.
Adsorpsiyon				P	P	S		Substratta ya da bitki yüzeyinde adsorplama.
Dekompozisyon				P	P	P		Kararlılığı düşük kirleticilerin UV radyasyon, oksidasyon ve yitkellenme ile dekompozisyonu.
<u>Biyolojik Bakteriyel metabolizma</u>		P	P	P			P	Koloidal katıların ve çözülebilir organiklerin askıda, bentik ya da bitki destekli bakterilerce giderilmesi.
Bitkisel							S	Bakteriyel nitrifikasyon/ denitrifikasyon.
metabolizması							S	Bitkilerce organizmaların metabolizması ve tutulması.
Bitkisel adsorplama				S	S	S	S	Uygun şartlarda bitkisel tutulma.
Doğal ölümler								Uygun olmayan çevrede organizmaların doğal ölümleri.

Göl, deniz ve okyanus gibi açık sular ile yükseltiler arasında kalan ve bulunuş itibarıyla en yaygın olan sulakalanlardır. Açık sulardaki periyodik yükselmeler sulakalanlara besin taşınımı sağlamaktadır (Gopal, 1999). Doğal sulakalanlar, pek çok nedenden dolayı atıksu arıtımı proseslerinde etkili olarak kullanılmaktadırlar. Doğal sulakalanlar, sucul bitkilerin kök ve gövde kısımlarında büyüyen geniş ve yoğun bakteri popülasyonunu destekler ve atıksudan BOİ₅ gideriminde önemli rol oynarlar. Bu sulakalanların ayrıca, sucul bitkilerin kök ve gövde kısımlarında adsorpsiyon/filtrasyon potansiyelini, sulakalanların doğal sedimentlerinin iyon değiştirme/adsorpsiyon kapasitelerini artırmak ve bitkilerin yardımıyla rüzgar, güneş ışığı ve sıcaklık gibi iklimsel kuvvetlerin etkilerini azaltmak gibi özellikleri de vardır (Reed et al., 1985).

Doğal sulakalan sistemleri, oluşan cattail (*Typha*), saz (*Scirpus*) ve kamış (*Phragmites*) gibi sucul bitkilere göre sınıflandırılır. Doğal sulakalanların, artılmış çıkış sularının ileri arıtımında, veya sulakalan diğer yüzeysel su kaynaklarından izole edilmişse daha temel arıtımda kullanılabileceği özel durumlar çıkabilir. Sulakalanların zenginleştirilmesi, restorasyonu, veya inşa edilmesi için, artılmış çıkış sularının kullanılması çok ihtiyaç duyulan ve çevreye uyumlu bir aktivite olabilir (Reed et al., 1987).

Doğal sulakalanlarda, ön arıtmayla artılmış suyla gelen kirleticilerin giderimi Tablo 3.3. de verilmektedir (Reed et al., 1979). Bu tablo doğal sulakalanlardan bulunan genel sonuçları özetlemektedir; bazı durumlarda BOİ₅ ve AKM giderimi tablo değerinden büyük olabilir (Hyde et al., 1984).

Tablo 3.3. Doğal sulakalanlarda, kirleticilerin giderimleri.

Kirletici	Giderim, yüzde
BOİ ₅	70-96
AKM	60-90
Azot	40-90
Fosfor	Mevsimsel

Doğal sulakalanlarla yapılan mevcut çalışmalar, ikincil çıkış sularının ileri artımıyla sınırlıdır. Bir doğal sulakalan için, varolan vahşi yaşam habitatına ve ekosisteme vereceği potansiyel zararlar, kurak alanlardaki bütün sulakalanlar için bitki solunumunun artırdığı buharlaşma yoluyla oluşan su kaybı, sivrisinek ve koku problemi değerlendirilmesi gereken faktörlerdir. Atıksu artımının yanında, doğal sulakalanların kullanılmasıyla elde edilecek faydalar, genel olarak, açık alanların korunması, vahşi yaşam habitatının zenginleştirilmesi, rekreasyon alanı olarak kullanılması, sel sularının kontrol altına alınması olarak sayılabilir (Reed et al., 1979).

3.2.1.4. Yapay Sulakalanlar

Yapay sulakalanlar, doğal sulakalanların pozitif özelliklerine sahip olmalarının yanında, doğal sulakalanlarda oluşabilecek kötü durumların oluşmasını engellemek üzere kontrol edilebilirler (U.S. EPA, 1988). Yapay sulakalanlar, yüksek hidrolik kontrol sunar ve çevresel kaygılarla sınırlandırılmazlar. Doğal sulakalanların aksine yapay sulakalanlar herhangi bir yere inşa edilebilirler. Dizaynları ve yönetim seçenekleri esnekler. Ayrıca performansları ve güvenilirlikleri yüksektir (Wile et al., 1985).

Yapay sulakalan sistemleri, bitki türleri için coğrafi sınırlamalar, konvansiyonel atıksu artımına göre 4-10 kat daha fazla alana ihtiyaç duymaları, bazı hastalık etkeni olan organizmaların ve böceklerin üremesine ortam sağlamaları ve kontrol edilmemeleri durumunda koku problemleri yaratabilmeleri yüzünden atıksu artımında kullanılmaları sınırlanmıştır (U.S. EPA, 1988). Sualtı bitki türlerinin kullanılması veya sulakalan bitkilerinin düzenli olarak hasat edilmesi sinek problemini önemli ölçüde azaltacaktır (Russell, 1999).

Bitki gövdelerine tutunan bakteriler BO_5 gideriminin temel faktörleridirler. Yapay sulakalanlarda, günlük uygulanacak atıksu için yüzey alanı $24.6-39.6 \text{ m}^2/\text{m}^3$

tür (Reed et al., 1979). Yapay sulakalanlar için temel maliyetler, enerji gereksinimleri, ön arıtım, pompalama, iletme, dağıtım ve yer maliyetleridir. Ayrıca yapay sulakalan sistemleri için yer altı sularına sızıntıyı engellemek için bariyer tabakası ve taşkınlar için ilave bir yapı gerekli olabilir (Reed et al., 1979).

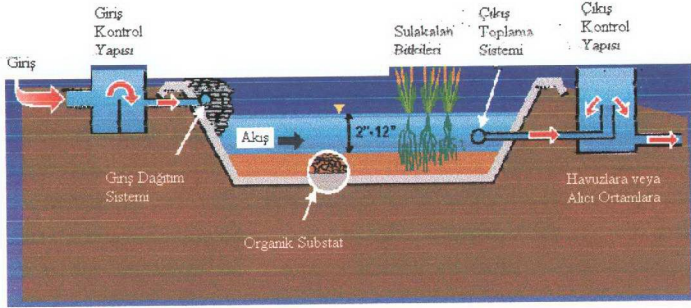
Yapay sulakalanlar, iki gruba ayrılır:

1. Serbest su yüzeyli sistemler.
2. Yüzeyaltı akışlı sistemler.

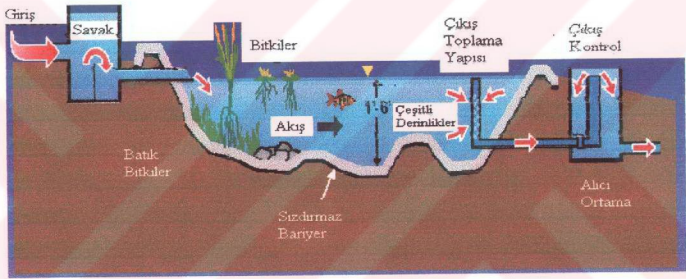
3.2.1.4.1. Serbest Su Yüzeyli Sistemler

Serbest su yüzeyli sistemleri, ön arıtılmış, düşük hızlı atıksuyun toprak ortamının üzerinden veya 25-450 mm derinliğinden verilmesi esasıyla dizayn edilirler (Freeman, 1993). Bu sistemler, sızıntıyı önlemek amacıyla yüzey altı bariyerleri bulunan havzalar ve kanallar, toprak ya da bitkilerin gelişmesine destek olacak uygun başka bir ortam ve sığ derinlikten sisteme akan su içerirler. Sığ su yüksekliği, düşük akış hızı, bitki sapları, sızıntı suyu akışı ve dar kanallar kısa devreleri minimize eder. Su yüksekliği 0.1-0.6 m arasındadır (Metcalf and Eddy, 1991). Ön arıtılmış atıksu, sürekli olarak sisteme verilir ve arıtma, bitkilerin kök ve gövde kısımlarına doğru yavaşça akarken meydana gelir (U.S. EPA, 1988).

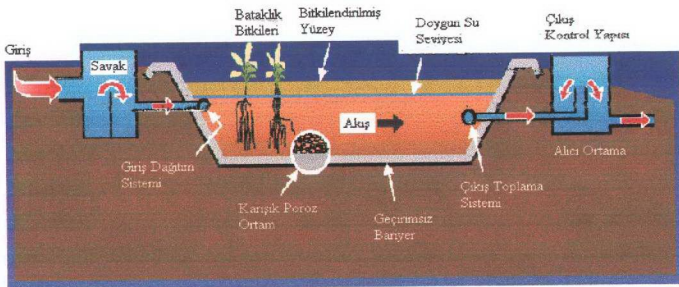
Serbest yüzey akışlı sulakalan sistemleri, ayrıca, yeni vahşi yaşam habitatları yaratmak ve yakındaki mevcut doğal sulakalan oluşumlarını zenginleştirmek amacıyla dizayn edilebilirler (Metcalf and Eddy, 1991). Serbest su yüzeyli sistemler, içeriğinde bataklık, açık su pondları ve çayır bulunmasına göre farklı tipte dizayn edilebilirler. Şekil 3.2. Şekil 3.3. ve Şekil 3.4. de bu sistemler gösterilmektedir (Eifert, 2000).



Şekil 3.2. Bataklık kısmı bulan serbest su yüzeyli sistemler.



Şekil 3.3. Açık su pondu bulan serbest su yüzeyli sistemler.

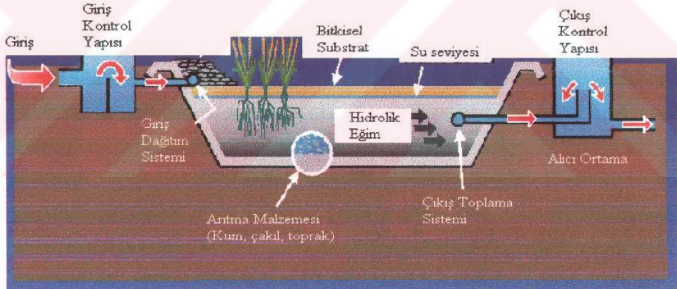


Şekil 3.4. Çayır kısmı bulunan serbest su yüzeyli sistemler.

3.2.1.4.2. Yüzeyaltı Akışlı Sistemler

Yüzeyaltı akışlı sistemler, serbest su yüzeyli sistemler benzer, tipik çakıl substrat sistemleridir. Ancak bu sistemde, sucul bitkiler çakıl ya da taş ortamda ekilir ve atıksu ortam yüzeyinden yaklaşık olarak 15 cm derinliğinden akar (Freeman, 1993).

Bu sistemler, temel olarak taş ortam kullandıklarında bir çeşit damlatmalı filtre sistemleri gibi çalışırlar. Geçirimsiz tabanlı kolonlar içerirler. Serbest su yüzeyli sistemlerin tersine, spesifik yüzey alanının önemli ama kritik olmadığı sistem eşitliklerinde, ortam porozitesi, istenen seviyede arıtım için gerekli alanın tahmininde kritiktir (U.S. EPA, 1988). Bu sistemler, kök zonu ya da kaya sızı filtreleri olarak da adlandırılırlar. Şekil 3.5. de sistemlerin görünüşü verilmektedir (Metcalf and Eddy, 1991).



Şekil 3.5. Yüzeyaltı akışlı sistemlerin görünüşü.

3.2.1.5. Yapay Sulakalanların Atıksu Arıtımında Kullanılması

Doğal sulakalanlar yüzyıllardır atıksu arıtımında kullanılmaktadır. Sulakalanların bu şekilde kullanılmalarının arkasında arıtmadan çok sulakalanların

alıcı ortam olarak kullanılması sebebi yatmaktaydı. Ancak bilinçsizce ve kontrolsüz olarak yapılan atıksu deşarjları doğal sulakalanların geri çevrilemez bir şekilde bozulmasına yol açtı. Sulakalanlar konusunda yapılan çalışmalarla doğal sulakalanların öneminin ve atıksu arıtımındaki yerinin farkına varılmıştır. 1950'lerden bu yana dünyanın değişik bölgelerinde sulakalan arıtma sistemleri uygulanmaya başlanmıştır (Ateş ve ark., 2001).

Sulakalanlar, ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendi kendini yenileyebilme kapasitesine sahiptirler. Bir çok canlı türüne yaşama alanı sağlayarak yabani hayat oluşturlar. Ortamdaki karbondioksiti tüketip oksijen üreterek atmosferin doğal dengesinin korunmasını sağlarlar. Organik maddeyi, askıda katı maddeyi, besinleri, toksik maddeleri, ağır metalleri ve biyolojik unsurları giderebilmesinden dolayı yüksek miktarda arıtım kapasitesine sahiptirler. Klasik arıtma sistemlerine göre inşa ve işletme maliyetleri daha düşüktür. Bütün bu faydalarından dolayı sulakalan sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanılması tavsiye edilmektedir (Simpson et al., 1983; Gabdois, 1990; Puckett, et al., 1993; Flanagan et al., 1994; Wallace et al., 2000). Bugün hem doğal sulakalanlar (her ne kadar kullanılmaları tavsiye edilmese de), hem de inşa edilen yapay sulakalanlar tüm dünyada, ikincil ya da üçüncül arıtma kademesi olarak kullanılmaktadırlar. (Gopal, 1999; Gerhard, 1999).

Amerika'da elde edilen tecrübelerle göre, serbest yüzey akışlı sulakalanlarda evsel atıksu arıtımında %90 BOİ ve KOİ giderimi, %99 bakteri giderimi ve % 10-15 N ve P giderimi elde edilmiştir. Avrupa'da yapılan çalışmalarda, evsel atıksuların yüzeyaltı sulakalanlardan sızdırılması ile %80-95 KOİ ve BOİ₅ giderimi, %99 bakteri giderimi, %35 N ve %25 P giderimi elde edilmiştir (Verhoeven et al., 1999). Yapılan çalışmalara göre, farklı bitki türüne ve akış şekline sahip sulakalanlarda evsel atıksu arıtımında, genel olarak, %80-99 BOİ₅, KOİ ve bakteri giderimi, %92-95 AKM, %30-80 toplam azot, ve %20-70 toplam fosfor giderimi elde edilmiştir (Yang et al., 1995; Vymazal et al., 1998; Radoux et al., 1997; Verhoeven et al., 1999; Bazua et al., 2000; Chunchai et al., 2000; Müller et al., 2000; Dobelmann et al., 2000).

Yapay sulakalanlarda çöp sızıntı sularının arıtımında da BOİ, KOİ, TAKM, TN, tuz, metal ve uçucu organik madde giderimi elde edilmiştir. Kağıt hamuru ve kağıt endüstrileri atıksularının arıtımında sulakalanların ileri arıtım olarak kullanılmasında liginosülfatlarda, TAKM, BOİ, renk arıtımında verim elde edilirken köpük oluşumunda azalına görülmüştür. Petrol endüstrileri atıksularının temel bileşenleri BOİ, KOİ, yağ, ve gres, amonyum azotu, fenoller, H₂S, eser organikler, ağır metaller ve diğer bileşiklerdir. Petrol endüstrisi atıksularının sulakalanlarda arıtımı için krom, çinko ve selenyum, fenoller, yağ ve gres, BOİ, KOİ, amonyum azotu ve nitrat gideriminde büyük ölçüde başarı sağlanmıştır (Husband et al., 2000).

3.2.1.6. Yapay Sulakalanlarda Kirlilik Uzaklaştırma Mekanizmaları

Besin dönüşümü, su kalitesinin iyileştirilmesinde rol alan sulakalan fonksiyonlarının en önemlilerinden biridir. Besin dönüşümü sırasında pekçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreç meydana gelmektedir. En önemli fiziksel süreç askıda katı madde (AKM) çökmesidir. Askıda organik maddelerin çökmesi, atıksuyun içerisindeki biyokimyasal oksijen ihtiyacının (BOİ) azalmasına da büyük katkıda bulunur. Kimyasal süreçler adsorpsiyon ve çift bağlarla metal iyonlarını uzaklaştırma olaylarını kapsar. Ağır metaller ve fosfor bu süreçlerle uzaklaştırılır. Biyolojik süreç boyunca, mikroorganizmalar (heterotrofik) vasıtasıyla, karbonun yükseltgenmesi indirgenmesi ve kullanılabilir oksijen varlığında azot ve sülfürün indirgenmesi ile bu maddelerin sistemden uzaklaştırılmaları sağlanır. Genellikle, sistemde, çıkış suyundaki organik maddenin varlığına bağlı olarak indirgenme reaksiyonları baskındır. Azotun çoğu nitrifikasyon sürecinde kaybolur. Nitrifikasyon sürecinde ototrofik mikroorganizmalar önemli rol üstlenirler. Fosforun uzaklaştırılmasında adsorpsiyon, bitki absorpsiyonu ve kimyasal çökme süreçleri gerçekleşir. Ayrıca fosforun uzaklaştırılmaları sırasında demir, mangan gibi elementler rol oynar. Metallerin gideriminde ise; fiziko-kimyasal (çökme, filtrasyon, kimyasal çökme, adsorpsiyon (katyon değişimi) süreçler yer alır

(Wetzel, 1992; Gopal, 1999; Simpson et al., 1983, Gadbois, 1990; Mitsch et al., 1993; Puckett et al., 1993; Flanagan et al., 1994; Kadlec, 1995; Vymazal, 1998).

Sulakalan sistemlerinde bakteri giderimi de sağlanmaktadır. Bakteri azalmasının, organik madde içeriğinin azalmasına bağlı olduğu, aslında sistemdeki bitkilerle doğrudan bir ilişkisinin bulunmadığı bildirilmektedir (Gopal, 1999). Diğer taraftan, su içerisinde bozunan bitkilerin besin sağlaması bakterilerin artmasına ve sistemde devamlılıklarına katkıda bulunmaktadır. Atıksu içindeki bakteriler çökme, filtrasyon ve sistemde besin azalması sonucunda yaşanan ölümlerle kendiliğinden azalmaktadır (Brix, 1993; Gopal, 1999).

3.2.1.7. Makrofitlerin Yaşam Şekline Göre Yapay Sulak Alan Tipleri

Yapay sulakalanlar baskın makrofit türünün yaşam şekline göre de sınıflandırılabilir. Çıkış suyu kalitesinin artırılması amacıyla farklı makrofit türlerine dayalı atıksu arıtım sistemleri birbirleriyle veya konvansiyonel atıksu sistemleri ile birleştirilebilir (Reed, 1991; Brix, 1993; Vymazal et al., 1998).

Birinci tip sulakalanlar su yüzeyinde serbest yüzen makrofit tabanlı sistemlerdir (Reed, 1991). Bu sistemlerde makrofitler oldukça büyük bir dağılım aralığına sahiptirler. Genel olarak kullanılan türleri su sümbülü (*Eichhamia Crassipes*, *Pistia stratiatis*, *Hydrocotyle umbellata*) ve su mercimeğidir (*Lemna*, *Spirodela*, *Wolffiella* ve *Wolffia spp.*). Ekosistemdeki en verimli ve üretken bitkilerden birisi olan su sümbülleri AKM gideriminde, organik maddelerin oksidasyonunda ve nitrifikasyon-denitrifikasyonda oldukça etkili olmasına rağmen fosfor uzaklaştırmasında çok verimli olamamaktadır (Brix, 1993; Vymazal et al., 1998). Su sümbüllerinden daha geniş bir coğrafik aralığa ve daha düşük sıcaklıklarda (1-3°C) büyüyebilme özelliklerinden dolayı su mercimekleri (*Lemna*, *Spirodella* ve *Wolffia sp.*) atıksu arıtımında daha fazla yaygın bir bitki türüdür. Dünyada en çabuk

büyüeyebilen ve gece gündüz büyüme hızı neredeyse birbirine eşit olan bir bitki türüdür. Su yüzeyini yoğun bir şekilde kaplamasından dolayı oksijenin suya transferini engellemekte, zayıf ışık geçirgenliği ile planktonların fotosentetik oksijen üretimini sınırlamaktadır. Bu sebepten dolayı su içinde anaerobik koşullar oluşmakta, denitrifikasyon süreci desteklenmektedir. Köklerinin su sümbüllerine göre daha az yüzey alanı olmasından dolayı mikrobiyal büyüme de sınırlı olmaktadır (Yymazal, 1998; Brix, 1998). Kolay hasat edilebilen ve besin değeri oldukça yüksek olan su mercimekleri su sümbüllerine göre en az iki kat protein, yağ, azot ve fosfor içermektedir (Brix, 1993). Bu sistemlerde havuz derinliği, su sümbülü için 0.4–1.2 m ve su mercimeği için 1.2–1.8 m arasında değişmektedir (Kadlec et al., 1996).

Diğer bir sulakalan tipi ise sualtı makrofit tabanlı sistemlerdir. Bu sistemler su akış şekline göre farklı şekilde projelendirilebilirler. Bunlardan birincisi serbest yüzey akışlı sistemlerdir. 3-5 m genişliğe 100 m'den fazla uzunluğa ve sığ derinliğe sahip olan bu tip sulakalanların en yaygın bitki türü saz otudur (*Scirpus facustris*). Atıksu artıtımı mikrobik türlerin tutunmasını sağlayan bitkinin sap ve dip kısımları tarafından desteklenir. İkinci tip sulakalan sualtı yüzeyli, bir temel veya vejetasyonun kök kısmını destekleyen sabit bir ortamdan (kaya, çakıl, kum ve toprak gibi) oluşur. Bu tip sulakalan sisteminde su seviyesi yatağın en üst seviyesinin altındadır (Reed, 1991; Brix, 1993; Yymazal et al., 1998). Her iki tipte de yeraltı suyu girişini önlemek için yatağın altında geçirmez tabaka bulunur. Geçirimsiz tabaka olarak genellikle kil kullanılır. Sistemde su derinliğini sabit tutmak için farklı çıkış yapıları kullanılmaktadır (Reed, 1991).

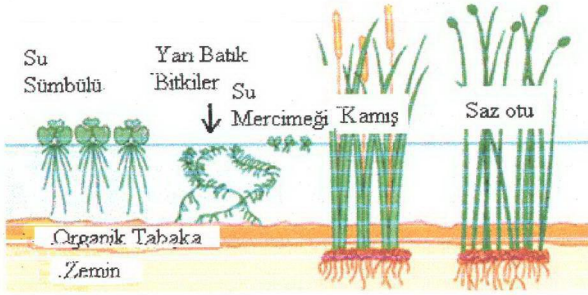
Sulakalan çalışmalarının ilk zamanlarında inşasının basit, işletme ve inşaa masraflarının düşük olması nedeniyle yatay akışlı sistemler tercih edilmekteydi. Yatay akışlı sistemler, tabanında sızıntıyı önlemek için konulmuş bariyer ve bitkinin yetişmesi için toprakla desteklenmiş tabanları olan ve sığ su derinliğine sahip tank veya kanalları içeren sistemlerdir. Sadece BOİ ve AKM parametrelerinin standartlarının sağlanması gerektiği yerlerde yeterlidirler (Gearheart, 1999). Fakat daha sonraları tam nitrifikasyonun olduğu süreçler de önem kazandı.

Yatay akışlı sistemlerin üçüncül artımda kullanılmasıyla oldukça yüksek azot giderimi elde edilmektedir. Oysa oksijen transfer kapasitesinin sınırlı olmasından dolayı yatay akışlı sistemlerin ikincil artımda kullanımlarında istenildiği gibi azot artımı gerçekleşmemektedir. Düşey akışlı sistemlerin oksijen transfer kapasitesinin diğer sisteme göre daha yüksek olmasından dolayı son 10 yıldır çalışmalar, bu sistemlerin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Düşey akışlı sistemler de yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarı akışlı olmak üzere iki şekilde planlanmaktadır (Ateş ve ark., 2001).

Düşey akışlı sulakalan sistemlerinin oksijen transfer kapasitesi yatay akışlı sistemlere göre daha yüksek ve bu sistemlerin alan ihtiyacı daha düşüktür. Ayrıca, düşey akışlı sistemlerde koku, sinek ve diğer hastalık yayıcı vektörlerin oluşma riski daha azdır. Bu sistemler lagün çıkışlarından gelen algin uzaklaştırılmasında da daha etkilidirler. Fakat bu sistemlerin, özel büyümeyi sağlayacak malzemelere (kum veya çakıl) ihtiyaç duymalarından dolayı inşa maliyeti daha fazladır. Tüm sulakalanların tabanında sızmayı engellemek için yeterli kalınlıkta kil tabakası bulunmalıdır. (Reed, 1991; Brix, 1999; Cooper, 1999).

3.2.2. Sucul Bitki Sistemleri

Sucul bitki sistemleri, yüzer ya da batık sucul bitkiler bulunduran sığ havuzlardır. Çalışmalarda sıkça kullanılan bitki türleri su sümbülü ve su mercimeğidir. Bu sistemler baskın bitki türüne göre 2 tipe ayrılırlar. Yüzer bitkilerin kullanıldığı sistemlerde, bitkiler ihtiyacı olan CO_2 ve O_2 i atmosferden direkt olarak alırlar. Bitkiler mineral nutrientleri sudan alırlar. Batık bitkilerin kullanıldığı sistemlerde ise bitkiler CO_2 , O_2 ve mineralleri su kolonundan absorplarlar. Batık bitkilerin fotosentetik kısımları su yüzeyinin altındadır (U.S. EPA, 1988). Algal büyüme anaerobik koşulların oluşması nedeniyle bu bitkilerin zarar görmelerine veya ölmelerine sebep olabilir (Metcalf and Eddy, 1991). Sucul bitki sistemlerinde kullanılan bitki türleri Şekil 3.6. da verilmektedir (U.S. EPA, 1988).



Şekil 3.6. Sucul bitki sistemlerinde kullanılan bitki türleri.

3.2.2.1. Yüzer Bitki Sistemleri

Büyük ölçekli uygulamalarda kullanılan bitki türleri genel olarak su sümbülü (*Eichornea crassipes*) ve su mercimeği (*Lemna*, *Spirodela* ve *Wolffiella*) türleridir. Yüzen akuatik bitki sistemleri oksijen bakımından zengin değildirler ve aerobik prosesler büyük oranda kök bölgesinde gerçekleşir. Bu sistemlerde su sütununun büyük bir kısmı, organik yükleme oranına bağlı olan oksijen azalmasının bir sonucu olarak, genellikle anaerobiktir. Yüzen akuatik bitki sistemlerinde arıtım üç temel mekanizma yoluyla gerçekleşir:

1. Su içinde askıda halde, bitki köklerinde ve havuz dibinde bulunan fakültatif bakterilerce gerçekleştirilen metabolik aktivite,
2. Atıksu katılarının ve önceden üretilmiş biyokütlenin (ölü bitkiler ve bakteriler) çökmesi
3. Nutrientlerin, canlı bitki örtüsü ve düzenli hasatla uzaklaştırılması.

3.2.2.2. Batık Bitki Sistemleri

Batık su bitkileri su içinde askıda veya dip sedimentinde köklü halde bulunabilirler. Bu bitkilerin fotosentetik kısımları su içindedir. Batık bitkilerin, çıkış sularının ileri arıtımında kullanılması, iyi bir seçenek olarak düşünülebilir. Alg gelişiminin güneş ışığını engellemesi veya anaerobik koşulların bitkileri ciddi oranda etkilemesi, bu bitkilerin kullanımını kısıtlamaktadır (U.S. EPA, 1988).

Bu bitkilerin, rosette tipi, düşük üretkenliğe sahip, yalnızca oligotrofik sularda büyüyen (örn., *Isoetes lacustris* ve *Lobelia dortmanna*) çeşitlerinden, daha büyük, yüksek üretkenliğe sahip ve ötrofik sularda büyüyen (örn., *Elodea canadensis*) çeşidine kadar bir çok türü vardır. Batık su bitkileri, kirletilmiş sulardan nutrient giderim yeteneğine sahiptirler. Bununla birlikte, bu bitkiler yalnızca oksijen içeriği yüksek olan sularda iyi gelişebilirler. Yüksek organik madde içeren sularda kullanımları kısıtlıdır, çünkü organik maddelerin mikrobiyal yollardan parçalanması anoksik koşullar yaratacaktır. Batık su bitkileri ile oluşturulan bir atıksu arıtma sistemi, ikincil arıtımı gerçekleştirilmiş çıkış sularının ileri arıtımında kullanılabilir, bunun yanında *Elodea nuttallii* ile oluşturulmuş bir sistemde, birincil arıtmadan geçmiş evsel atıksuyun arıtımında iyi sonuçlar alınmıştır. Batık bitkiler, yoğun fotosentetik aktivite dönemi boyunca, çözünmüş organik maddelerin miktarını azaltır ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artırır. Bu da pH'nın yükselmesi ile sonuçlanarak, amonyağın havalanması ve fosforun kimyasal çökmesi için gerekli optimal koşulların ortaya çıkmasını sağlar. Ayrıca yüksek oksijen konsantrasyonları, suda bulunan organik maddelerin mineralizasyonu için gerekli olan koşulların oluşmasını sağlar. Makrofitler tarafından kullanılan nutrientler, büyük oranda bitkilerin kök bölgelerinde ve mikrofloraya bağlı olarak kalır. *Egeria* (*Egeria densa*), elodea (*Elodea canadensis* ve *Elodea nuttallii*), boynuzotu (*Ceratophyllum demersum*) ve hydrilla (*Hydrilla verticillata*) en çok ümit veren türler arasındadır (Brix, 1993).

4. YAPAY SULAKALAN SİSTEMLERİNİN PROJELENDİRİLMELERİ (DİZAYNLARI)

4.1. Genel

Yapay sulakalanlar, maliyet etkili bir arıtma alternatifi olarak kullanılabilirler. Tipik olarak bir yapay sulakalan eşit alanda doğal sulakalanlara göre daha iyi performans gösterir. Çünkü taban kademelidir ve sistemdeki hidrolik rejim kontrol edilmektedir. Evsel atıksu arıtımının yanı sıra, yapay sulakalanlar endüstriyel uygulamalarda da kullanılmaktadırlar (Reed, 1987).

4.2. Yapay Sulakalan Çeşitleri

Yapay sulakalanlar serbest su yüzeyli sistemler ve yüzeyaltı akışlı sistemleri içerirler (U.S. EPA, 1988). Bu sistemler bir önceki bölümde ayrıntıları ile sunulmuştur.

4.3. Bölge Seçimi

4.3.1. Topografya

Bir yapay sulakalan hemen her yere inşa edilebilir. Oluşan bitki türleri kışın buzlanmalara karşı daha dayanıklı olabilirler. Kazı çalışmaları en büyük maliyetler olduğundan topografya bu açıdan önem taşımaktadır (U.S. EPA, 1988).

4.3.2. Serbest Su Yüzeyli Sistemler için Toprak Geçirgenliği

Serbest su yüzeyli sistemler için bölge seçiminde taban toprak geçirgenliği göz önünde tutulmalıdır. En çok istenen toprak geçirgenliği, 10^{-6} - 10^{-7} m/s dir. Kumlu kil ve siltli kil harç sıkıştırıldığı zaman kullanılmaya uygun olabilir. Oldukça geçirgen toprak dar hendekler için su akışı küçük olduğunda kullanılabilir. Ağır kil topraklarda, ilave toprak, toprak geçirgenliğini arttıracak ve bitkilerin büyümesini hızlandıracaktır (Miller et al., 1987).

4.3.3. Hidrolojik Faktörler

Herhangi bir yapay sulakalan için performans, diğer faktörlere olduğu kadar sistem hidrolojisine de bağlıdır. Yağış, filtrasyon, buharlaşma, hidrolik yükleme oranı ve su derinliği organiklerin, nutrientlerin ve iz elementlerin gideriminde etkilidirler. İklim kayıtları, yağış ve buharlaşma miktarının bulunmasında kullanılabilir. Hidrolojik durum yapay sulakalan sistemi dizaynında önceliği olan bir noktadır. Bekletme süresi ya da su hacmindeki değişiklikler arıtma performansını önemli ölçüde etkileyecektir (Zirschky, 1986).

4.4. Performans Tahmini

Sulakalan sistemleri BOI_5 , AKM ve nitrojen gideriminde oldukça etkili oldukları gibi, metallerin, iz organiklerin ve patojenlerin gideriminde de etkilidirler. Temel arıtma mekanizmaları 3. bölümde Tablo 3.1. de verilmektedir (U.S. EPA, 1988).

Serbest su yüzeyli sistemlerde, çözünebilir BOI_5 giderimi bitki kök ve gövdelerine tutunan mikrobiyal büyüme sayesinde gerçekleşir. Bitki örtüsü tamamlanmışsa algal büyüme oluşmayacağı için, reaksiyonlar için temel oksijen

kaynağı, yüzeyden havalanma ve bitkilerin oksijeni atmosferden almaları olacaktır (Reed et al., 1987). Organik yükleme alana tek bir noktadan değil ve eşit kısımlarla dağıtılmalıdır. Su derinliği oksijen dağılımının yeterli olması için 600 mm ya da daha düşük olmalıdır. Sulakalanlardan BOI_5 giderimi birinci derece reaksiyon modeliyle açıklanabilir (U.S. EPA, 1988).

Yüzeyaltı bileşenleri (toprak, çakıl, taş ve diğer ortamlar) için en önemli oksijen kaynağı bitkilerce kök bölgesine oksijen geçişidir. Yüzeyaltı akışlı sistemler yatak yüzeyinin altından akış prensibiyle dizayn edildikleri için, direkt atmosferik havalanma çok küçük olabilir (Reed et al., 1987). Bu durumda bitki seçimi çok önemli bir faktördür. Yüzeyaltı akışlı sistemlerde de, serbest su yüzeyli sistemlerde olduğu gibi BOI_5 giderimi birinci derece reaksiyon modeliyle açıklanabilir. (U.S. EPA, 1988).

Askıda katı madde giderimi her iki tip sulakalanda da çok etkilidir. Giderimin büyük bölümü girişten ilk birkaç metrede gerçekleşir. Uygun difüze boru dizaynlarıyla giriş akışında kontrol edilen dispersiyon, katıların gideriminde düşük hızları sağlamaya yardım eder ve kanalların sonunda anoksik koşullar engeller (U.S. EPA, 1988).

Sulakalanlarda bulunan su, bitkilerce güneş ışığından korunmuyorsa, alg oluşumu sorun haline gelebilir. Alg oluşumu AKM yi etkileyecek ve su kolonundaki oksijen seviyelerinde büyük salınımlar meydana gelecektir (U.S. EPA, 1988).

Nitrifikasyon/denitrifikasyon azot gideriminde en temel yoldur (Reed et al., 1987). Azot giderimlerinin, bekletme süresi 5-7 gün iken azot <10 mg/l çıkış değeri ürettiği belirtilmektedir (Bavor et al., 1987).

Sulakalanlarda fosfor giderimi atıksu toprak arası etkileşimin sınırlı olmasından dolayı çok etkili değildir. Etkili kil içeriği ve demir ve alüminyum, fosfor

giderimi potansiyelini artıracaktır (Reed et al., 1987). Ancak bu toprakların kullanılması hidrolik kapasiteyi arttıracak ve arıtım için gerekli alan artacaktır (U.S. EPA, 1988).

Serbest su yüzeyli sistemlerde metal giderimi kapasitesi hakkında sınırlı sayıda veri bulunmaktadır. Çünkü giderim mekanizmaları fosfor ile benzer ve çok etkili değildir (U.S. EPA, 1988). Yüzeyaltı akışlı sistemlerde etkileşim ve sorpsiyon fazla olduğundan metallerin giderimi daha etkili olabilmektedir (Reed et al., 1987). Yapay sulakalanlarda giderimin temel mekanizması çökelme ve absorpsiyon ile açıklanabilir. Çökelme, pH'ın yükselmesiyle artırılabilir.

4.5. Proses Değişkenleri

Yapay sulakalan sistemleri biyolojik reaktörler gibi düşünülebilir ve performansları birinci derece kinetik ile açıklanabilir (U.S. EPA, 1988).

4.5.1. Dizayn Kriterleri

Yüksek BOI_5 değerli atıksu arıtımı için yapay sulakalan kullanımı teknolojilerinde sınırlamalar vardır. Birincil çıkışların arıtımında sulakalanların kullanılmasına dair az sayıda veri bulunmasına rağmen, ikincil çıkışların arıtımı için pek çok bölgede yapay sulakalan uygulaması bulunmaktadır (Zirschky, 1986).

4.5.2. BOI_5 Yükleme Oranı

Yapay sulakalan sistemlerinde organik yükleme kontrolünde iki amaç vardır. Birincisi denitrifikasyon bakterileri için karbon kaynakları tedariki, ikincisi ise sulakalan sistemlerinde oluşan bitkilerin oksijen transferi yapabilmelerinde aşırı

yüklemeleri engellemektir. Eğer karbon kaynakları denitrifikasyon için kullanışlı değilse, toplam azot giderimi düşecektir. Ancak yüksek organik yüklemeler de, özellikle sisteme eşit olarak dağıtılmıyorlarsa, bitki ölümlerine ve koku oluşumuna neden olabilirler (U.S. EPA, 1988).

Serbest su yüzeyli sistemlerde, organik yükleme, step besleme şeklinde dağıtmayla ve sulakalan çıkışının geri devrettirilmesiyle kontrol edilebilirler. 112 kg BOİ₅ / ha d lık yükleme oranı tipik üst yükleme oranıdır (U.S. EPA, 1988).

Oksijen transfer oranı için 5-45 g O₂ / m² d, ve sulakalanlarda organik yükleme oranı için ise 133 kg BOİ₅ / ha d değerleri kullanılmaktadır (Reed et al., 1987).

4.5.3. Hidrolik Yükleme Oranı

Serbest su yüzeyli sistemleri için hidrolik yükleme oranı, sulakalanlar için kullanılan ve bölgeye özgü olan tüm hidrolik faktörlere sıkıca bağlıdır. Organik yükleme oranları da hidrolik yükleme oranı ile ilişkilidir. Hidrolik yükleme oranı 150-500 m³ / ha d arasında bir değerde olmalıdır (Hantzche, 1985). Hidrolik yükü belirlemek için genellikle bölgeye özgü şartlar, toprak ve hava şartları göz önünde bulundurulmaktadır. Bazı uygulamalarda hidrolik yükleme oranı olarak 200 m³ / ha d kullanıldığında arıtım veriminin maksimum olduğu gözlenmiştir (U.S. EPA, 1988).

4.5.4. Serbest Su Yüzeyli Sistemlerde Su Derinliği

Sistemdeki su yüksekliği ve taşma sıklığı, sulakalan bitkilerinin seçimi ve bakımı için önemli faktörleri oluşturmaktadırlar (Reed et al., 1987). Büyük su kamışları, batık topraklarda iyi gelişirler ve su derinliği 150 mm üzerinde olduğu yerlerde baskın olabilirler. Kamışlar (Reed) su tabakasının yüzey üstünde olduğu

yerlerde su ortamının kıyı şeridi boyunca meydana gelirler. Bunun yanında, suyun 1.5 m den derin olduğu yerlerde de büyüebilmektedirler. Aslında büyüme su içinde bulundukça en iyi seviyededir ve derinliğin direkt etkisi yok denecek kadar azdır (U.S. EPA, 1988).

4.5.5. Bekletme Süresi

Sulakalanlarda arıtma performansı diğer faktörlerin yanı sıra bekletme süresine de bağlıdır. Taban eğimi, su derinliği, bitkilendirme için alansal genişleme ve geometrik şekil kontrollü akış hızı ve bekletme süresi sulakalanların arıtma sistemlerini etkiler (Gearheath et al., 1982). Bekletme süresi 6-7 gün iken birincil ve ikincil atıksuların arıtma verimleri optimaldir (Stephenson et al., 1980). Daha kısa bekletme süreleri kirleticilerin parçalanması için gerekli süreyi sağlamayacak, daha uzun bekletme süreleri ise, anaerobik koşulların oluşmasına yardım edecektir (U.S. EPA, 1988).

İklimsel faktörler mevcut yükleme oranındaki bekletme süresine büyük oranda etki edebilirler. Yaz aylarında buharlaşmalar, bekletme süresini arttırırken; kış aylarında buzlanmalar, bekletme süresini büyük oranda düşüreceklerdir (U.S. EPA, 1988). Sulakalanlarda bekletme süresinin bulunması, topografya, bitkisel büyüme, katı çökelmelerindeki değişiklikler yüzünden meydana gelen ölü türlerden ötürü zor olabilir (U.S. EPA, 1988).

4.6. Ön Arıtım

İlk yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmek amacıyla, sulakalanlara deşarj öncesi, atıksuların ön arıtımı istenilmektedir. Ön arıtım seviyesi, çıkış kalitesini etkileyeceğinden, çıkış kalite özellikleri göz önünde tutulmalıdır (U.S. EPA, 1988).

Konvansiyonel birincil arıtma tesisleriyle birlikte kullanılan sulakalan sistemlerinin maliyetleri fazla, uygulanabilirliği azdır. Konvansiyonel lagünlerle ön arıtmada büyük alanlara ihtiyaç duyulur ve soğuk havalarda hidrojen sülfür, sıcak havalarda ise alg oluşumu problemleri ortaya çıkabilir(U.S. EPA, 1988).

4.7. Bitkilendirme

Bitkilerin temel faydaları, kök bölgesine (zonuna) oksijen transferini gerçekleştirmeleridir. Sistemdeki fiziksel varlıklarıyla toprak ya da destek ortamına girerek, difüzyonla gerçekleşen doğal dolaşımdan daha fazla oksijen transferi sağlarlar (Reed et al., 1987).

Serbest su yüzeyi sistemlerinde belki de en önemli kısım, mikrobiyal büyümenin tutulduğu ve böylelikle arıtımın gerçekleştiği bitkilerin kök ve gövde kısımlarıdır. En çok kullanılan bitki türleri, büyük su kamışları, reedler, rushelar, bulrushelar, su sazlarıdır. Bu bitki türleri için dağılım ve gerekli çevresel şartlar tablo 4.1 de verilmektedir (U.S. EPA, 1988).

Tablo 4.1. Bitki türleri için dağılım ve gerekli çevresel şartlar.

İsimleri	Bilimsel İsimleri	Dağılımları	İstenen sıcaklık °C	Max, tuzluluk toleransları (‰)	Etkin pH aralığı
Cattail	<i>Typha spp.</i>	Dünya çapında	10-30	30	4-10
Common reed	<i>Phragmites communis</i>	Dünya çapında	12-23	45	2-8
Rush	<i>Juncus spp.</i>	Dünya çapında	16-26	20	5-7.5
Bulrush	<i>Scirpus spp.</i>	Dünya çapında	18-27	20	4-9
Sedge	<i>Carex spp.</i>	Dünya çapında	14-32		5-7.5

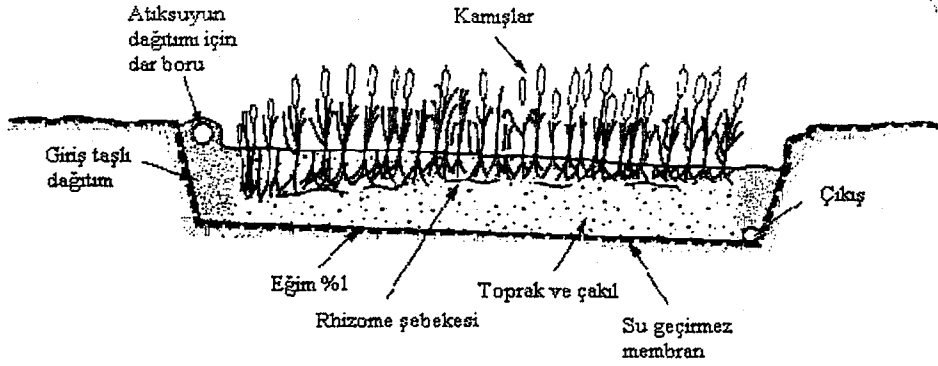
Cattail, hemen her yerde bulunabilir, dayanıklı ve üretilmeleri kolay olduğundan ve farklı çevresel koşullarda büyüyebildiğinden sulakalanlar için ideal bir bitki türüdür. Yıllık bazda büyük oranda biyomas üretebilme ve düzenli hasat edilmeleri şartıyla azot ve fosfor giderebilme kapasiteleri vardır (U.S. EPA, 1988). Bulrushes, uzun süre yaşarlar ve ot benzeri kümeler halinde büyürler. Hemen her yerde bulunabilirler ve özellikle 5 cm-3m derinliğindeki sularda yetiştirilebilirler. İstenilen sıcaklık değeri 6-27 °C arası ve pH değeri ise 4-9 arasındadır (U.S. EPA, 1988). Reeds, uzun boylu ve yaygın olarak kullanılan bir sucul bitkidir. Bu bitkilerin kullanılmasıyla oksijen transferi daha derin ve daha etkin olabilmektedir (U.S. EPA, 1988).

4.8. Fiziksel Dizayn Faktörleri

Sistemlerde uzunluk/genişlik oranının artırılması piston akım (plug flow) hidroliği sağlamaktadır (Miller et al., 1985). İçsel akış dağıtımı yüksek uzunluk-genişlik oranı veya içsel bariyerler kullanarak sağlanmalıdır (U.S. EPA, 1988).

Yüksek uzunluk - genişlik oranıyla kanal serileri için dağıtım sistemleri, manifold boruları ve çıkış valfleri kullanılarak kolaylıkla yapılabilir. Her sistem için kanallara ve sulakalanlara dağıtım kontrol edilmelidir. Giriş akışının birçok noktadan sulakalana dağıtılması, kontrol ve sulakalanların etkin işletilmeleri için önemli bir faktördür. geri devirli sistemler için, geri boruların olduğu pompa merkezli dağıtım sistemleri tasarlanmalıdır. Giriş akışı için, dağıtım sistemlerinde, akışın izlenmesi de önemli olabilmektedir (U.S. EPA, 1988).

Yapay sulakalan sistemleri için çıkış yapıları gelen suyun karakterine ve yapay sulakalandaki alt bileşenlere bağlıdır. Şekil 4.1. de yüzeyaltı akışlı sistemler için çıkış yapısı gösterilmektedir (U.S. EPA, 1988).



Şekil 4.1. Yüzeyaltı akışlı sistemler için çıkış yapısı.

4.8.1. Serbest Su Yüzeyli Sistemlerde Sivrisinek Kontrolü

Serbest su yüzeyli sistemleri, pek çok böcek türünün özellikle sivrisineklerin gelişmesi için ideal bir ortam yaratırlar. Genellikle sivrisinekler yüzeyaltı akışlı sistemlerde probleme yol açmazlar. O yüzden bu tip sulakalanların daha yaygın bir kullanım alanları bulunmaktadır (U.S. EPA, 1988).

4.8.2. Bitki Hasadı

Genellikle yüzeyaltı akışlı sistemlerde bitki hasadı önemli değildir (Hyde, 1984). Serbest su yüzeyli sistemler için kuru otlar sulakalanın hidrolik profilini korumak amacıyla bazı durumlarda yakılabilmektedirler. Nutrient giderimi için bitki biyoması hasadının pratik bir metot olmadığı kabul edilmektedir. Çünkü 200 gr bitki materyali hasatla uzaklaştırılırken, yıllık bazda sadece %8-10 oranında azot ve fosfor giderimi sağlanabilmektedir (U.S. EPA, 1988).

5. SUCUL BİTKİ SİSTEMLERİNİN PROJELENDİRİLMESİ (DİZAYNLARI)

5.1. Genel

Sucul bitki sistemleri ve sucul bitkilerin kullanıldığı yapay sistemler, endüstriyel ve evsel atıksuların arıtımı amaçlı kullanılırlar. Sucul bitki sistemleri, su sümbülü, su mercimeği, pennywort gibi yüzer bitkilerden oluşan sistemler ve yabani su otları, su milfoil ve watercress gibi batık bitkilerle oluşturulan sistemler olarak iki kategoriye ayrılabilir (U.S. EPA, 1988).

1970'den beri sucul bitki sistemleri ikincil veya ileri arıtım uygulamalarında başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Literatürde bu sistemlerin performansları için bulunan veriler sayısaldan çok gözlemseldirler. Sucul arıtma sistemlerinde, hidrolik bekletme süresi, hidrolik yükleme ve organik yükleme en çok ihtiyaç duyulan ve sıklıkla kullanılan parametrelerdir (U.S. EPA, 1988).

5.1.1. Sucul Arıtma Sistemlerinin Özellikleri

Sucul arıtma sistemleri, bir veya daha fazla türde su sümbülü su mercimeği gibi vasküler bitki bulunduran sığ derinlikteki havuzlardan oluşur (Tchobanoglous, 1987). Sığ derinlikler ve sucul makrofitlerin varlıkları, sucul arıtma sistemleri ile stabilizasyon havuzları arasındaki temel farklılıklardır. Bitkilerin varlığı, eşit yada kısa bekletme sürelerinde sucul arıtma sistemlerinde stabilizasyon havuzlarına göre çıkış kalitesini artmasına yardımcı olur (U.S. EPA, 1988).

Sucul sistemlerde atıksu temel olarak, konvansiyonel damlatmalı filtrelerde olduğu gibi bakteriyal metabolizma ve fiziksel çökelme yolu ile arıtılır. Sucul bitkilerin arıtmaya tek başlarına katkıları oldukça azdır (Tchobanoglous, 1987). Daha çok sucul çevre bileşenlerine destekleyerek arıtma kapasitesinin artmasına yardımcı olurlar (Stowell et al., 1980).

5.1.2. İklimsel Sınırlamalar

Yaygın olarak kullanılan su sümbülü sistemleri sadece sıcak havalı iklimlerde kullanılabilir. Çünkü su sümbülünün yetişmesi için en uygun sıcaklık değeri 21-30 °C arasındadır. 12 saat boyunca -3 °C lik sıcaklığa maruz kalması durumunda bitki zarar görecektir, 48 saat boyunca -5 °C lik sıcaklığa maruz kalması ise bitkinin ölümüne neden olacaktır. Eğer su sümbülü sistemleri, soğuk bölgelerde kullanılacaksa sistemin bir serada ve uygun sıcaklık değerinde tutulması sağlanmalıdır. (Reed et al., 1980). Su mercimeği, su sümbülüne göre soğuk hava şartlarına karşı daha dayanıklı bir bitki türüdür ve 7 °C nin altındaki sıcaklıklarda bile üretilmektedir (Leslie, 1983).

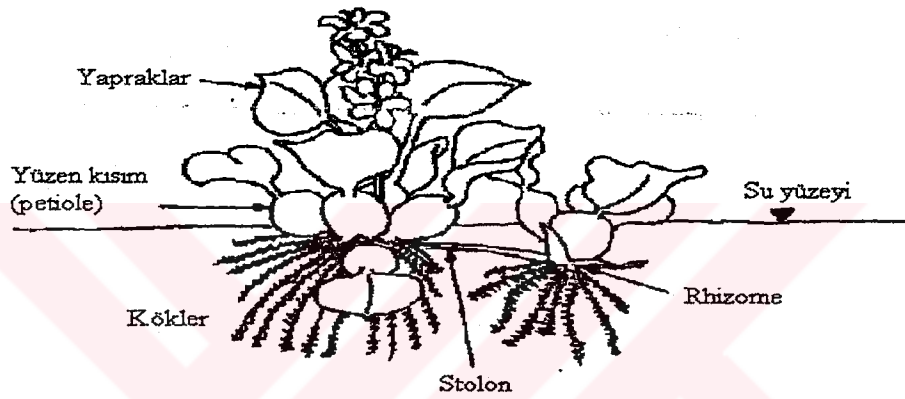
5.2. Bitkilendirme

5.2.1. Yüzer Bitkiler

Yüzer bitkiler, su kolonundan aşağıya uzayan köklere ve su yüzeyinde bulunan fotosentetik kısımlara sahiptirler. Kökleri vasıtasıyla da gerekli nütrientleri sudan alırlar. Bu kökler, askıda katılar için filtrasyon/adsorpsiyonun gerçekleştiği bakteriyel gelişme için ideal ortamlardır. (U.S. EPA, 1988). Yüzer bitkilerle, güneş ışığının suya geçişi azaltılmış ve su atmosfer arası gaz transferi sınırlandırılmış olur. Yüzer sucul bitkiler, BOİ₅ yükleme oranı, bekletme süresi gibi projelendirme parametrelerine bağlıdır (Stowell et al., 1980).

5.2.1.1. Su Sümbülü

Su sümbülü uzun ömürlü, dairesel, vasküler sucul bir bitkidir. Dikey, parlak yeşil yaprakları ve kokulu çiçekleri vardır. Su smbllerinin büyümelerine etkileyen faktörler, bitkilerin güneş enerjisini kullanma etkinlikleri, suyun nütrient kompozisyonu ve çevresel faktörlerdir (Reedy et al. 1984). Şekil 5.1. de su sümbülünün yapısı verilmektedir (Reed et al., 1987)..



Şekil 5.1. Su sümbülünün yapısı.

Bitki petiolleri birçok hava kabarcığı içeren süngerimsi bir yapıdır ve bitkinin su yüzeyinde durmasına yardımcı olurlar. Su smbllerinin boyu (st ile kök ucu arası) 0.5-1.2 m arasındadır. Bitkiler su yüzeyini kaplayıncaya kadar oalırlar ve sonra dikey olarak büyümeye devam ederler. Su sümbülü çok üretken fotosentetik bir bitkidir. Hızlı büyümeleri atıksu arıtımı için avantaj olabilmelerine rağmen yavaş akışlı sular için ciddi problemler oluşturabilirler. Su sümbülleri, dünya çapında en hızlı büyüyen otlar arasında sekizinci sırada gösterilmektedirler (Reddy et al., 1982). Aynı sistem içinde farklı sucul bitki türlerinin gelişmelerine engel olacak kadar geniş bir kapak oluştururlar (U.S. EPA, 1988). Su smblleriyle oluşturulan sistemlerin zellikleri Tablo 5.1. de verilmektedir (U.S. EPA, 1988).

Tablo 5.1. Su sümbülü sistemlerinin tipleri.

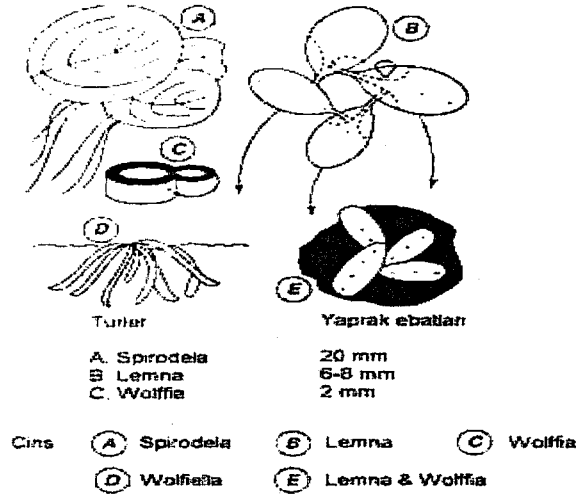
Tip	Amaç	BOİ ₅ yükleme oranı, kg / ha d	Avantajları	Dezavantajları
Havalandırmasız aerobik	İkincil arıtım	40-80	Sınırlı sivrisinek ve koku	Büyük alan gereksinimi, zor hasat
Havalandırmasız aerobik	Nütrient giderme	10-40	Sınırlı sivrisinek ve koku, nütrient giderimi	Büyük alan gereksinimi, zor hasat
Havalandırılmalı aerobik	İkincil arıtım	150-300	Sivrisineksiz, kokusuz, yüksek organik yükleme oranları, küçük alan gereksinimi	İlave hasat ve güç gereksinimi
Fakültatif/anarobik	İkincil arıtım	220-400	Yüksek organik yükleme oranları, küçük alan gereksinimi	Sivrsinek ve koku artışı

5.2.1.2. Pennywort

Bağımsız bir yüzer bitki değildirler birbirlerine bağıdırlar. Yatay olarak büyürler. Su sümbüllerini tersine fotosentetik kısımları oldukça küçüktür. Ortalama büyüme oranları 10 g / m d ır. Sudan azot ve fosfor alımları, su sümbülleri için kış aylarında hemen hemen sona ererken, pennywort için yaklaşık olarak yaz ve kış mevsimleri boyunca sabit kalır. Azot ve fosfor giderimleri su sümbüllerinden çok daha fazladır (DeBusk et al., 1987). Pennywort için yıllık biyomaslar su sümbüllerinden küçük olmasına karşılık bu durum soğuk havalarda avantaj sağlayabilir (U.S. EPA, 1988).

5.2.1.3. Su mercimeği

Su mercimekleri, en küçük ve en basit çiçekli bitkilerdir. Küçük, yeşil, yaprağımsı, birkaç mm genişliğe sahiptirler. Lemma, Spirodela ve Wolfia tipleri atıksu arıtımı amaçlı olarak kullanılmaktadırlar Şekil 5.2. de su mercimeğinin türleri ve özellikleri verilmiştir. Lemma ve Spirodela genellikle 10 mm den kısa kök yapılarına sahiptirler.



Şekil 5.2. Bazı tipik su mercimeği cinsleri (Lemnaceae) (Arceivala, 1996).

Yapraklarındaki küçük bir hücre bölünerek yeni bir yaprak oluşturur. Her bir yaprak yaşamı boyunca 10-20 kez üreyebilir (Reed et al., 1980). Su mercimekleri su sümbüllerine göre %30 daha hızlı büyüyebilirler. Su mercimeği su sümbülünde olduğu gibi %95 oranında su içeriğine sahiptir. Kompozisyonları Tablo 5.2. de verilmektedir. Su mercimeği içerdikleri protein, yağ, azot ve fosfor bileşenleri dolayısıyla, çeşitli kuşlar ve hayvanlar için besin kaynaklarıdır (U.S. EPA, 1988).

Tablo 5.2. Su mercimeğinin kompozisyonu.

İçerik	Kuru ağırlıktaki değişim	Kuru ağırlıktaki ortalama
Ham protein	32.7-44.7	38.7
Yağ	3.0-6.7	4.9
Lif	7.3-13.5	9.4
Kül	12.0-20.3	15.0
Karbonhidrat		35.0
TKN	4.59-7.15	5.91
P	0.5-0.7	0.6

Su mercimeği örtüsünün varlığı ayrıca, suda anaerobik koşulların oluşmasını sağlayacaktır. Çünkü yüzeyde havalanma ve küçük bitkilerin oksijen üretimleri azdır. İlave havalandırma sağlanarak bu problem giderilebilir (U.S. EPA, 1988).

5.2.2. Batık Bitkiler

Batık bitkiler, suda asılı ya da dip sedimentine ekili durumdadırlar. Tipik olarak fotosentetik kısımları suda bulunur. Batık bitkilerin atıksu arıtımında kullanılmaları, alg oluşumu ve anaerobik koşullara duyarlılıkları nedeniyle sınırlıdır. Batık bitkiler sudan CO₂ giderimi sağlayan fotosentetik prosesleri sayesinde pH yükselir ve atmosfere difüze olabilen gaz formda amonyak oluşumuyla sudan amonyak giderimini sağlarlar. Amonyak gazı balıklar için azotun en zehirli formudur. Geceleri solunum yaparak oksijen tüketen batık bitkiler, sivrisinek balıklarına bu bakımdan rakip olurlar (U.S. EPA, 1988).

5.3. Sucul bitki sistemleri için proses projelendirme kriterleri

5.3.1. Organik ve hidrolik yükleme oranı

Organik yükleme oranı bu sistemlerin projelendirme ve işletme için kilit parametredir. Havalandırıcı ekipmanı olmaksızın aerobik olan su sümbülü sistemlerinde organik yüklemeye bağlı nütrient giderimi ve ikincil arıtma meydana gelir. Ancak bu tip sistemler sivrisinek ve koku oluşumu problemi yaratabilirler. Su sümbülü sistemleri için organik yükleme oranı, 10-300 kg / ha d arasındadır. Havalandırmazsız sistemlerde bu değerin 100 kg / ha d değerini aşmamasına dikkat edilmelidir. Hidrolik yükleme oranı, bir günde birim sucul sistem yüzey alanına gelen su hacmidir şeklinde tanımlanabilir. Su sümbülü sistemlerinde evsel atıksu arıtımı için bu değer, 240-3570 m³ / ha d , ikincil arıtım için ise 200-600 m³ / ha d arasındadır. İleri arıtım sistemlerinde 1000 m³ / ha d değeri başarı ile kullanılmaktadır. Hidrolik yükleme oranı organik yükleme oranından da etkilenmektedir (U.S. EPA, 1988).

5.3.2. Su derinliği

Su sũmbũlũ sistemleri için derinlik 0.4-1.8 m arasında olmalıdır. Optimal derinlik ise 1.0-1.5 m dir (Reed et al., 1980). Su mercimeği sistemlerinde ise, 1.5-2.5 m arasında su derinliği kullanılmaktadır.

5.3.3. Bitkisel yũnetim

Hasat edilen su sũmbũllerinin kullanılmaları ũzerinde pekđok araştırma yapılmıştır (Hayes et al., 1987). Kompostlaştırma, metan ũretimi için anaerobik parđalama, şeker fermentasyonu ile alkol ũretimi uygulanan prosesler arasındadır. Parđalama teknikleri, bũyũk ۆlđekli operasyonlarda kullanılabilirler. Hasat ihtiyağı, su kalitesi amağlarına ve bitkinin bũyũme oranına bağlıdır. Sucul bitkilerin hasadına nũtrientlerin giderilmesi amağıyla ihtiyaç duyulur. Bitkilerle azot ve fosfor giderimi, sadece hasat sıklığına bağlı oluşur (U.S. EPA, 1988). Su mercimeği sistemlerinde etkili nũtrient giderimi için, ۆzellikle sıcak dۆnemlerde haftada en az bir kere hasat yapılmalıdır. Hasat edilen bitkiler hayvan yemi olmak ũzere genellikle kurutulur. Ancak kurutma sırasında koku oluşu probleminde dikkat edilmelidir (U.S. EPA, 1988).

5.3.4. Sivrisinekler ve kontrolleri

Sivrisinek popũlasyonunu kontrol etme stratejileri; havuzlarda sivrisinek balıkları (*Gambusia affinis*) yetiştirmek, sucul sistemlerde aerobik koşulları korumak amağıyla etkili ۆn arıtım ile organik yũkũ azaltmak, sucul sistemlerde aerobik koşulları korumak amağıyla etkili ۆn arıtım ile organik yũkũ azaltmak, giriş atıksuyunun geri devretmek, sık hasat yapmak, havalandırma ekipmaları kullanarak oksijen difũzyonu sağlamaktır (Tchobanoglous, 1987).

Etkili sivrisinek kontrolü için, çözünmüş oksijen değerini 1 mg/l seviyesinde tutmak ve sıklıkla hasat yapmak gereklidir. Balıklarla sivrisinek kontrolü yapılması düşünülüyorsa, aşırı yüklemelere dikkat edilmelidir. Çünkü aşırı yüklemeler, anaerobik koşulların oluşmasına ve dolayısıyla balıkların ölmelerine neden olabilirler (U.S. EPA, 1988).

5.3.5. Tavsiye edilen projelendirme parametreleri

Tavsiye edilen projelendirme parametreleri su sümbülü sistemleri için Tablo 5.3. de, su mercimeği sistemleri için ise Tablo 5.4. de verilmektedir (U.S. EPA, 1988).

Tablo 5.3. Su sümbülü sistemlerinin dizayn parametreleri.

Faktör	Havalandırmasız aerobik	Havalandırmasız aerobik	Havalandırmalı aerobik
Giriş atıksuyu	İzgara veya çökeltme	İkincil	İzgara veya çökeltme
Giriş BOİ ₅ , mg/l	190-180	30	130-180
BOİ ₅ yükleme oranı, kg / ha d	40-80	10-40	150-300
Beklenen çıkış mg/l			
BOİ ₅	<30	<10	<15
AKM	<30	<10	<15
TN	415	<5	<15
Su derinliği, m	0.5-0.8	0.6-0.9	0.9-1.4
Bekletme süresi, gün	10-36	6-18	4-8
Hidrolik yükleme m ³ / ha d	>200	<800	550-1000
Hasat sıklığı	Yıllık	Ayda iki kere	Aylık

Tablo 5.4. Su mercimeği sistemlerinin dizayn kriterleri.

Faktör	Havalandırmasız aerobik
Giriş atıksuyu	Fakültatif havuz çıkışlı
BOİ ₅ yükleme oranı, kg / ha d	22-28
Su derinliği, m	<50
Bekletme süresi, gün	15-25
Hidrolik yükleme, m ³ / ha d	0.5-0.8
Hasat sıklığı	aylık
Su sıcaklığı, °C	>7

5.3.6. Çamur yönetimi

Havuzlardaki çamur, atıksu katılarından ve ölü bitkilerden oluşur. Bunların düzenli olarak sucul sistemlerden uzaklaştırılması çok önemlidir. Aksi takdirde, havuzda anerobik koşulların oluşması söz konusu olabilir. Yapılan çalışmalarda, birim hacimde arıtılmış atıksu başına $1.5-8.10^{-4}$ m³ çamur oluştuğu bulunmuştur (U.S. EPA, 1980). Sucul sistemler için havuzların sıklıkla temizlenmesi ve bitkilerin sıklıkla hasat edilmeleri tavsiye edilmektedir (Reed et al., 1987).

5.4. Sucul Arıtma Sistemlerinin Fiziksel Özellikleri

Sistemler için konfigrasyonlar, hidrojen sülfür ve sivrisinek larvaları oluşum problemlerini çözmek amacıyla geliştirilirler. Bunu için de genellikle düşük organik yükleme ve çıkışın geri devrettirilmesi kullanılmaktadır. Organik yüklemenin düşük tutulması aynı zamanda anerobik koşulların oluşmasına da engel olacaktır. Sığ ve yüksek uzunluk genişlik oranına sahip dikdörtgen havuzlar atıksu arıtma tesislerinde, kısa devrelerin oluşumunu engellemek ve hasat işlemini kolaylaştırmak için dizayn edilebilirler (U.S. EPA, 1988).

Havuzlarda levhaların yada giriş akışının dağıtan manifoldların kullanılması bekletme süresini uzatabilir. Çıkış suyunun geri devrettirilmesi ve suyun çoklu noktalardan dağıtılması atıksu bileşenlerinin çıkış konsantrasyonlarının azalmasına yardımcı olacaktır (U.S. EPA, 1988).

Havalandırma ihtiyacı, sistemdeki sivrisinek ve koku kontrolü ihtiyacından ortaya çıkar. Havuzların havalandırılmasıyla, çözünmüş oksijen 1 mg/l de sabit tutulup, havuzdaki balıkların yaşaması ve hidrojen sülfür oluşunun önlenmesi sağlanmış olur. Sprey şeklinde havalandırıcılarla sistemin etkin havalanması sağlanabilir (U.S. EPA, 1988).

Çözünmüş oksijen seviyesini havuz boyunca 1-2 mg/l seviyelerinde tutulmasını sağlamak için günde en az iki kere çözünmüş oksijen parametresi ölçülmelidir. Çözünmüş oksijen 1 mg/l değerinden aşağıya düşerse, sisteme ilave havalandırıcılar eklenmeli ya da sistem düzelene kadar girişler azaltılmalıdır. Büyük kabarcıklı difüzyonlar, özellikle havalandırma kesikli olursa, birkaç işletimden sonra, kalın bir biyolojik çamurun oluşmasına neden olabilir (Tchobanoglous et al. 1987). Havuzların aylık olarak temizlenmesiyle biyolojik çamurlar için kontrol sağlanır (U.S. EPA, 1988).

5.5. Performans Tahmini

Sucul arıtım sistemlerinde, BOİ ve AKM giderimi, çökelme, bitki köklerinde çökelme ve mikrobiyal kullanım mekanizmalarıyla gerçekleşir. Mikrobiyal aktivite, dip sedimentinin anaerobik parçalanmasını ve sudaki organik maddelerin, hem askıda hem de bağlı organizmalar tarafından parçalanmasını içerir. Giderim mekanizması, giriş suyunun özelliklerine ve sucul bitki sisteminin dizayn ve işletme şartlarına bağlıdır. Sistem içinde alg gelişmesi, BOİ₅ ve AKM değerinde artışa yol açacaktır (Reed, 1990).

Sucul sistemlerde azot giderimi, mikrobiyal denitrifikasyon ve bitki hasadı yoluyla sağlanır. Nitrifikasyon sonucu üretilen nitrat, denitrifikasyon ve bitki kullanımı yoluyla uzaklaştırılır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla, akuatik sistemlerde (özellikle su sümbülü sistemlerinde), nitrifikasyon ve bunu takip eden denitrifikasyonun azot gideriminde ana mekanizma olduğu açığa çıkmıştır. Bitki kullanımı, sadece giriş suyunda azot yükünün düşük olduğu ve bitki hasadının önemli yer tuttuğu durumlarda ana mekanizma haline gelir (Reed, 1990). Azot giderimi ile ilgili olarak su mercimeği sistemlerinin kullanıldığı çalışmalardan elde edilen sonuçlar kısıtlıdır. Fakat su sümbülü için durum tersinedir. Su sümbülü ile yapılan pilot ölçekli deneylerden, tüm azot gideriminin, birinci derece reaksiyon hızını takip ettiği görülmüştür (Reed, 1990). Amonyak yada toplam azot gideriminde kullanılacak akuatik sistemlerin tasarımında, bitki gelişimini ve bitkilerin azot kullanımını arttırmak için sabit bir hasat işleminin uygulanacağı bir sistem mi, yoksa yoğun bir bitki örtüsü muhafaza edilip, azot giderimi için nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesinin kullanılacağı bir sistem mi olacağına karar verilmesi önemli bir aşamadır (Reed, 1990).

Sucul bitkilerle fosfor giderimi, bitkisel kullanım, ölü bitki hücrelerindeki mikrobiyal faaliyetler, dip sedimentlerinde bekleme ve suda çökelme ile sağlanır. Fosforun sistemden tam olarak uzaklaştırılmaları için bitki hasadı ve sedimentlerin temizlenmesi gereklidir (Reddy et al., 1983). Çökelme/adsorpsiyonla, hasat yapılmaksızın, yaklaşık 2 kg / ha d değerinde fosfor giderimi sağlanabilir (Stowell et al., 1980). Fosfor ayrıca kimyasal madde ilavesiyle çökelme reaksiyonlarıyla da giderilebilir (U.S. EPA, 1988). Fosfor giderim oranı, atıksu özelliklerine, akuatik bitki tipine, hasat sıklığına ve iklime bağlı olarak, sahaya özeldir. Tipik giderim oranı %30–50 arasında değişir. Atıksu akuatik sisteme verilmeden önce, fosfor, kimyasal çökelme reaksiyonları ile sistemden uzaklaştırılabilir. Çökelme, gerekli fosfor giderim derecesine bağlı olarak, düşük maliyetli bir yöntem olabilir (Reed, 1990).

Sucul bitki sistemlerinde, metallerin ve iz organiklerin giderimi önemli ölçüde gerçekleşebilir (Reed, 1990). Su mercimekleri, çinko, mangan ve demir gibi metalleri hızlı bir biçimde sudan absorbe edebilirler (Culley et al., 1973). Metal

giderimi, bitkisel kullanım, kimyasal çöktürme ve adsorpsiyon yoluyla olur. İz organikler için potansiyel giderim mekanizmaları, mikrobiyal parçalama, bitki kullanımı ve buharlaştırmadan oluşur. Eğer metallerin veya iz organiklerin gideriminde akuatik bitki sistemlerinin kullanılması düşünülüyor ise, öncesinde pilot ölçekli bir tesis işletilmelidir (Reed, 1990).

Patojenik bakteriler, fakültatif veya stabilizasyon havuzlarında olduğu gibi doğal ölüm, daha büyük canlılar tarafından tüketilme, çökeltme ve adsorpsiyon mekanizmalarıyla giderilirler. Yapılan bir çok çalışma, havuz sistemlerinde patojenlerin gideriminin, öncelikle bekletme süresi ve sıcaklığa bağlı olduğunu göstermiştir. Havuz sistemleri için önerilen, indikatör organizmaların giderim denkleminin, sucul sistemler içinde geçerli olabileceği belirtilmiştir (Reed, 1990).



6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Genel

Doğal arıtım sistemlerinden biri olan sucul sistemlerin, arıtma düzeylerinin araştırılması amacıyla, İSKİ Ataköy Biyolojik Tasfiye tesisi bahçesinde kurulan deneysel çalışma düzeneğiyle 31.10.2002 - 25.03.2003 tarihleri arasında ölçümler yapılmıştır. Çalışma debi ayarlanarak bekletme sürelerinin değiştirilmesiyle iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşama 31.10.2002 – 17.12.2002 tarihleri arasında, ikinci aşama 18.02.2003 – 25.03.2003 tarihleri arasında yapılmıştır. İki aşama arasında hava şartlarına bağlı olarak ölçümlere ara verilmiş ancak sistem beslenmeye devam edilmiştir.

6.2. Projelendirme özellikleri

6.2.1. Bölge özellikleri

Deneysel çalışma düzeneği, İSKİ Ataköy Biyolojik Tasfiye Tesisi bahçesinde kurulmuş ve atıksu kaynağı olarak tesisteki ön çökeltim havuzu çıkış suyu kullanılmıştır. Tesise ait hidrolik ve tasarım bilgileri aşağıda verilmektedir.

Tesisin kapasitesi : 7650 m³ / gün

Organik yük : 2430 kg / gün (54 gr / kişi gün)

AKM yükü: 4050 kg / gün (90 gr / kişi gün)

Kurulu güç : 326 kW

Tesis bünyesinde bulunan eğitim merkezinde, İSKİ'nin çeşitli birimleri için gerekli işletme personeli yetiştirilmektedir.

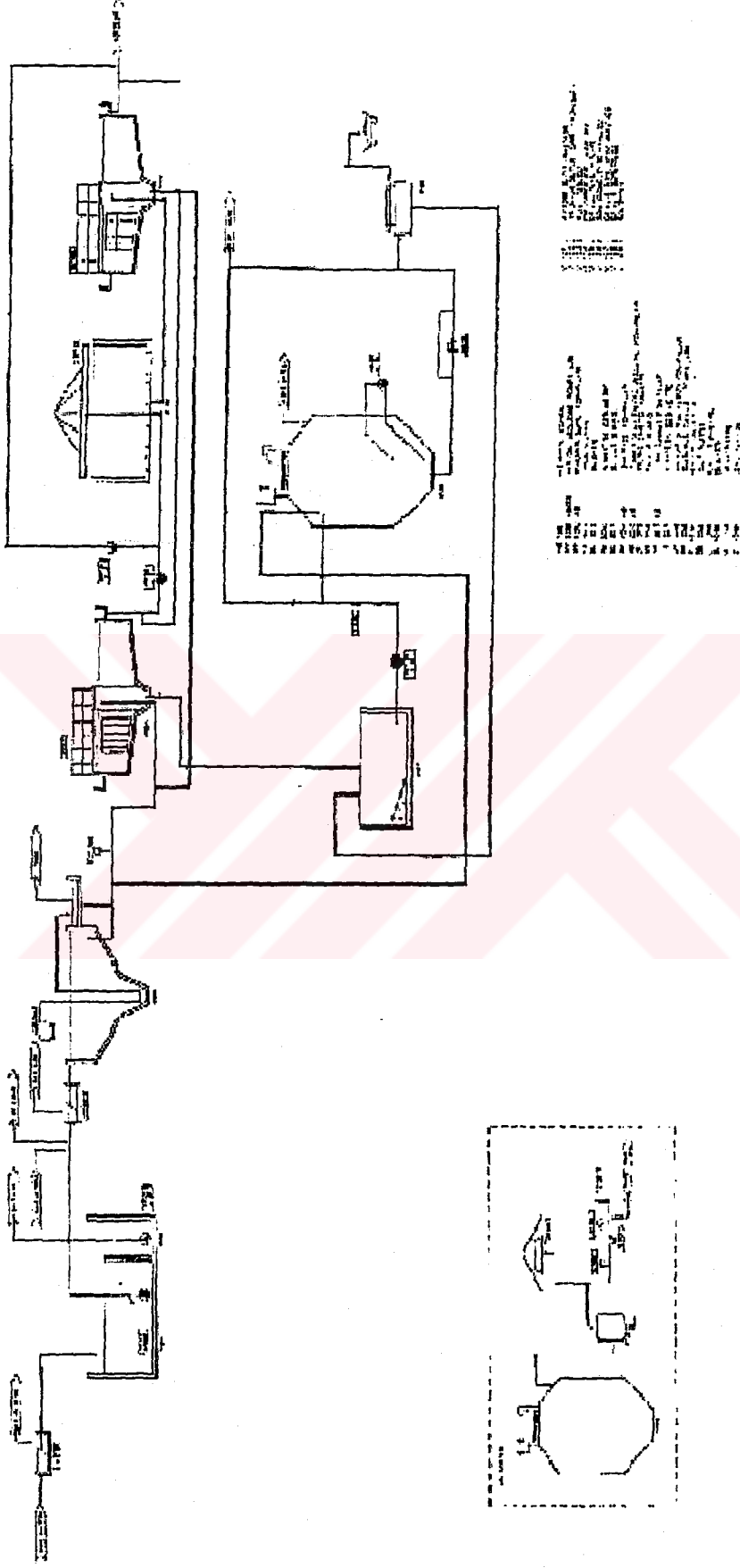
6.2.2. Atıksu kaynağı

Sistem için atıksu kaynağı, İSKİ Ataköy Biyolojik Tasfiye Tesisi ön çökeltim havuzu çıkış suyudur. Bu kaynak için kirletici konsantrasyonları Tablo 6.1 de verilmiştir.

Tablo 6.1. Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun kirletici konsantrasyonları

Parametre	N	En fazla	En az	Ortalama	Standart Sapma
pH	11	7.34	7.14	7.22	0.07
KOl(mg/l)	11	243	178	215	21.8
TKN(mg/l)	10	35.8	25.6	30.6	3.63
NH ₃ -N(mg/l)	10	33.0	19.6	22.7	4.03
Top P(mg/l)	10	2.7	1.59	2.04	0.36
AKM(mg/l)	11	75	38	50.3	11.9

İSKİ Ataköy Biyolojik Tasfiye tesisi için proses akım şeması Şekil 6.1. de verilmiştir.



Şekil 6.1. İSKİ Ataköy Biyolojik Tasfiye Tesisi Proses Akım Şeması.

6.2.3. Deneysel çalışma düzeneği

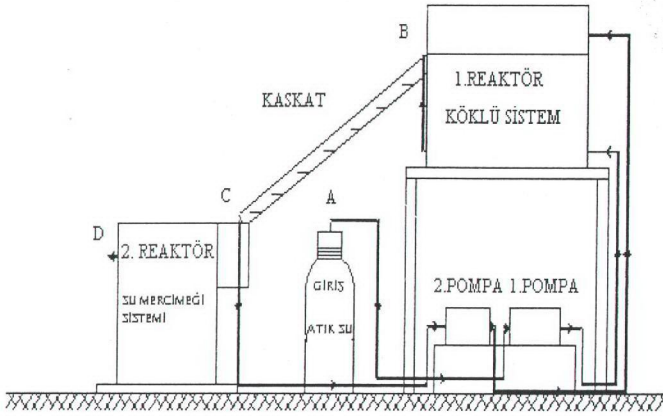
Deneysel çalışma düzeneği olarak birbirine seri bağlı, pleksiglastan imal edilmiş iki reaktör kullanılmıştır. Birinci reaktör 80 x 50 x 40 cm boyutlarındadır ve değişik çaplı kum-çakıl malzeme ve küçük plastik toplanla doldurulmuş; böylelikle boşluklu bir ortam sağlanmıştır. Bu reaktörde ekili bitki bulunmamaktadır. Dolgu malzemesinin artıma verimine etkisi araştırılmak istenmiştir. Sulakalanlarda bitkilerden önce suyun toprakla teması düşünölerek böyle bir simölasyona gidilmiştir. Dolgu malzemesi 40 cm yüksekliktedir ve reaktör 33.6 lt boşluk hacmine sahiptir. şekil 6.4'de birinci reaktörde kullanılan malzemeler gösterilmiştir.

İkinci reaktör 50 x 50 x 30 cm boyutlarındadır ve su mercimeği *Lemna minor* ile oluşturulan sucul bitki sistemi olarak dizayn edilmiştir. Bu reaktördeki su derinliği 40 cm ve reaktör hacmi ise 57.6 lt dir. Su mercimeklerinin, rüzgardan etkilenip, reaktörün herhangi bir köşesinde üst üste birikmelerini engellemek ve reaktörde piston akım şartlarını sağlamak amacıyla, reaktöre, eşit aralıklarla 28 x 48 cm boyutlarında dört adet perde yerleştirilmiştir. Bu tasarımıla birlikte, en/boy oranı, 1/15 olan uzun ve dar bir havuz elde edilmiştir.

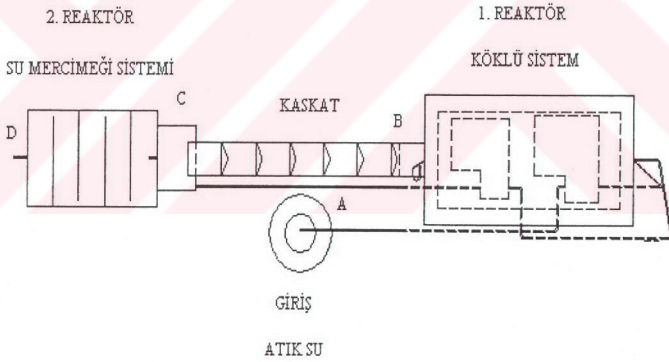
Bu iki reaktörün arasına bir kaskat havalandırıcı yerleştirilmiştir. PVC malzemeden imal edilmiş olan bu kaskat havalandırıcı, 120 cm boyunda, 10 cm çaplı ve üzerinde 2.5 cm yarıçaplı basamakları bulunacak şekilde dizayn edilmiştir. Deneysel çalışma düzeneği için iki adet fotoğraf şekil 6.2. de verilmiştir. Çalışmada kullanılan sistemin, önden ve üstten görünümü şekil 6.3. ve 6.4. te verilmiştir. Birinci reaktörün detayı ise şekil 6.5. te verilmiştir.



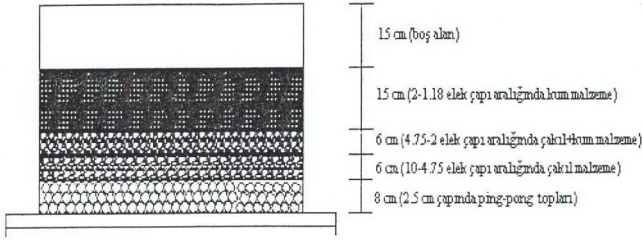
Şekil 6.2. Deneysel Çalışma düzeneği için iki fotoğraf.



Şekil 6.3. Sistemin önden görünüşü.



Şekil 6.4. Sistemin üstten görünüşü



Şekil 6.5. Birinci reaktör detayı.

6.2.4. Hidrolik bekletme süresi

Hidrolik bekletme süresi, teorik olarak havuza giren suyun havuzdan çıkıncaya kadar havuzda kaldığı süreyi ifade etmektedir. Bu deneysel çalışma için iki farklı hidrolik bekletme süresi kullanılmıştır. İlk aşamada sistem, 5.04 l/gün debi ile beslenmiş ve 1. reaktör için 6.67 gün ve 2. reaktör için 11.4 günlük hidrolik bekletme süreleri elde edilmiştir. İkinci aşamada ise, debi iki katına çıkarılmış (10.08 l/gün), böylece 1. reaktör için 3.33 gün ve 2. reaktör için 5.7 günlük hidrolik bekletme süresi elde edilmiştir.

6.2.5. Bitki hasadı ve bunlar üzerine yapılan işlemler

Çalışmada sucul bitki olarak su mercimeği (*lemna minor*) seçilmiştir. Bitki hasadı, çalışmanın başlangıcında hafta iki kez yapılmış, birinci aşamanın son üç haftasında, hasat sıklığı iki haftada bire düşmüştür. Ancak ikinci aşamada, hava sıcaklıklarının düşmesi nedeniyle, bitki gelişimi yavaşlamış, bu nedenle, bitki hasadı bir kez yapılmıştır. Hasat edilen bitkiler, çeşme suyu altında yıkanmış ve 10-15 dakika vakum altında suları alınmıştır. Tartılarak yağ ağırlıkları bulunmuştur.

6.2.6. Kimyasal Analizler

Çalışmada kullanılan atıksu için ve her iki aşamada, reaktör çıkışları için belirli periyotlarda numuneler alınmış ve pH, KOİ, AKM, NH₃-N, TKN ve TP analizleri yapılmıştır. Analizler standart metodlara göre yapılmıştır (APHA, AWWA, WPCF, 1992). Çalışmada ölçülen parametreler ve analiz yöntemleri Tablo 6.2 de verilmiştir.

Tablo 6.2. Çalışmada ölçülen parametreler ve analiz yöntemleri

Parametre	Ölçüm Yöntemi	Kullanılan alet	Kaynak
pH		pH metre	
KOİ	Open Reflux		Standart Methods, APHA, AWWA, WPCF,(1992)
AKM	Gravimetrik	Vakumlu süzme aparatı	Standart Methods, APHA, AWWA, WPCF,(1992)
TKN	Macro Kjeldahl	Macro Kjeldahl Seti	Standart Methods, APHA, AWWA, WPCF,(1992)
NH ₃ -N	Distilasyon	Distilasyon seti	Standart Methods, APHA, AWWA, WPCF,(1992)
TP	Asitli ortamda parçalama, kolorimetrik	Spektrofotometre	Standart Methods, APHA, AWWA, WPCF,(1992)

6.3. Sistemin İşletilmesi

Çalışma, su mercimeği ile oluşturulan bir sisteminin, doğal şartlarda, değişen yükler altında, gösterdiği performans değişimlerini gözlemek amacıyla, açık havada yapılmıştır.

Atıksu öncelikle, birinci reaktöre iki adet debi ayarlı peristaltik pompalar vasıtası ile ilk aşamada 5.04 l/gün ikinci aşamada 10.08 l/gün debide verilmiştir. Bu reaktörle, su mercimeği kullanılan ikinci reaktöre gelen AKM yükünü azaltmak, organik yükü bu sistemlerin dizayn kriterleri içinde tutmak ve sulakalanlarda dolgu malzemelerinin, arıtım potansiyellerine olan etkisini araştırmak amaçlanmıştır.

Birinci reaktörden çıkan atıksu, kaskat havalandırıcıdan geçirilerek ikinci reaktöre bağlı bekleme haznesine alınmış ve buradan cazibe ile ikinci reaktöre taşınmıştır. Kaskat havalandırıcı sayesinde, hem ikinci reaktöre gelen atıksuyun çözünmüş oksijen konsantrasyonunun arttırılacağı, hem de suda bulunan azotun bir kısmının havalandırmayla uzaklaştırılacağı düşünülmüştür. İkinci reaktör ise, su mercimeklerinin yetiştiği ortam olarak planlanmıştır. Sucul bir bitki türü olan su mercimeğinin arıtma potansiyeline etkisi araştırılmıştır.

7. BULGULAR

7.1. Genel

Yapılan çalışmada, iki farklı hidrolik bekletme süresi kullanılarak, evsel atıksu için giderim verimleri ölçülmüştür. Çalışmada Şekil 6.3. ve 6.4. de görülen A, B, C ve D noktalarından numuneler alınmış ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Her iki aşamada, sistem kararlı hale gelinceye kadar çalışmaya devam edilmiş, kararlı hale geldikten sonra bir süre daha analizlere devam edilmiştir. Birinci aşamada sistemin kararlı hale gelmesi 39 gün sürmüş, ikinci aşamada bu süre 33 gün olmuştur. Bu bölümde elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmaktadır.

7.2. Birinci Aşama Sonuçları

Birinci aşamadaki çalışma 31.10.2002 ile 17.12.2002 tarihleri arasında yapılmış ve sistem 5.04 lt/gün lük bir debi ile beslenmiştir. Böylece birinci reaktörün hidrolik bekletme süresi 6.67 gün ikinci reaktörün hidrolik bekletme süresi 11.4 gün olmuştur. Sistem kararlı hale gelinceye kadar reaktör çıkış sularından alınan numunelerde AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, ve TP analizleri yapılmıştır.

7.2.1. Birinci Reaktör için Elde Edilen Bulgular

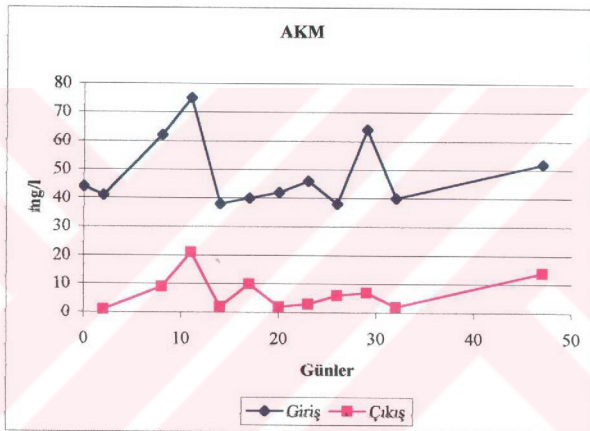
Boyutları 80 x 50 x 40 cm olan birinci reaktör, değişik çaplı kum-çakıl malzeme ve küçük plastik toprakla doldurulmuş boşluklu bir ortamdır. Ekili bir bitki türü yoktur. Reaktör çıkış suyundan alınan numunelerde AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, ve TP analizleri yapılmıştır. Tablo 7.1. de bekletme süresi 6.67 gün olduğunda, birinci reaktörün giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları verilmektedir.

Tablo 7.1. Birinci aşamada birinci reaktörün giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları.

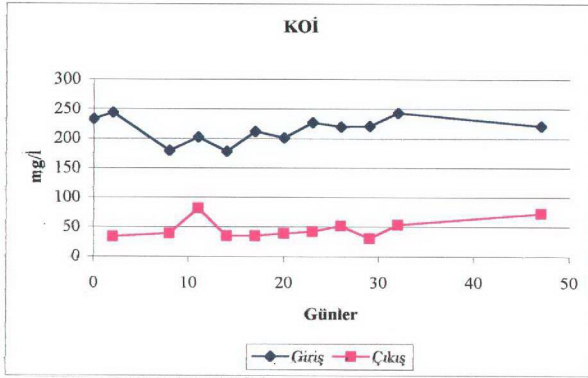
Tarih	Gecen süre, gün	AKM, mg/l		KOİ, mg/l		TKN, mg/l		NH ₃ -N, mg/l		TP, mg/l	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
2002											
30-Ekim	0	44		233		35,84		33,04		2,68	
2-Kasım	2	41	3	244	34		17.4		10.6		2.28
8-Kasım	8	62	9	179	39		15.1		12.3		2.10
11-Kasım	11	75	21	202	82	28	11.8	19,60	11.8		
14-Kasım	14	38	2	178	35		17.9		14.6	1.59	1.43
17-Kasım	17	40	10	212	35		17.4		14.0		1.73
20-Kasım	20	42	2	201	39		17.4		15.1		1.63
23-Kasım	23	46	3	227	42	25.76	19.6	22.80	17.4	2	
26-Kasım	26	38	6	220	52		18.5		19.0		1.49
29-Kasım	29	64	7	221	31		17.9		16.8		1.18
2-Aralık	32	40	2	243	54		23.5		20.2		
5-Aralık	35		-		-	34.72	23.5	21.84	16.8	1.74	1.65
8-Aralık	38		-		-		25.6		18.5		1.25
11-Aralık	41		-		-		13.4		11.2		1.28
14-Aralık	44		-		-		14.6		12.2		1.20
17-Aralık	47	52	14	221	73		19.6		15.9		1.37

Birinci aşama için, yüzey alanı, 0.32 m^2 , hidrolik yükü $157.5 \text{ m}^3/\text{ha.gün}$ ve yüzeyel yükleme oranları, $3.39 \text{ g KOİ} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $0.48 \text{ g TKN} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $0.36 \text{ g NH}_3\text{-N} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $0.032 \text{ g TP} / \text{m}^2 \text{ gün}$ olarak hesaplanmıştır.

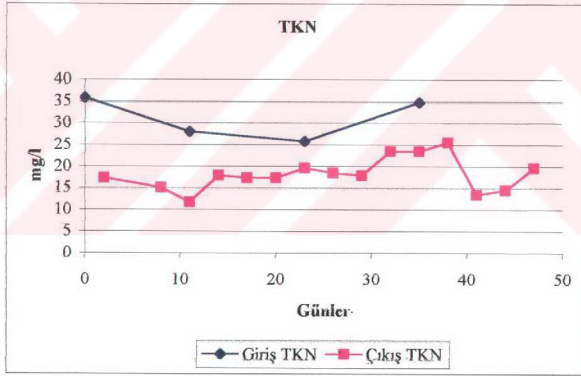
Şekil 7.1., 7.2., 7.3., 7.4., ve 7.5. te birinci reaktörün giriş ve çıkış sularında yapılan AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, ve TP analizleri karşılaştırmalı bir biçimde gösterilmiştir.



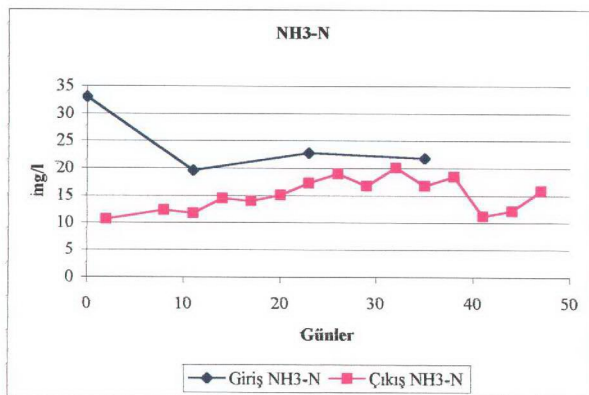
Şekil 7.1. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan AKM analiz sonuçları, HBS=6.67 gün.



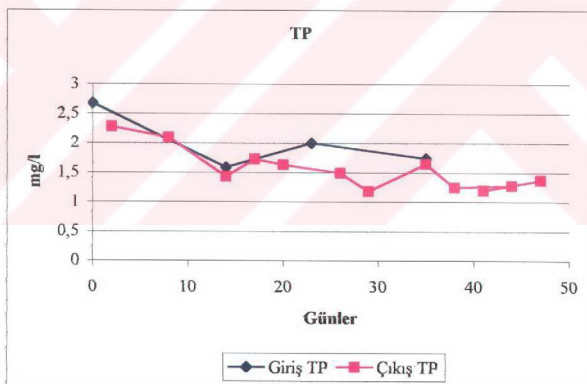
Şekil 7.2. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan KOİ analiz sonuçları, HBS=6.67 gün.



Şekil 7.3. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları, HBS=6.67 gün.



Şekil 7.4. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan $\text{NH}_3\text{-N}$ analiz sonuçları, HBS=6.67 gün.



Şekil 7.5. Birinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TP analiz sonuçları, HBS=6.67 gün.

7.2.2. İkinci Reaktör için Elde Edilen Bulgular

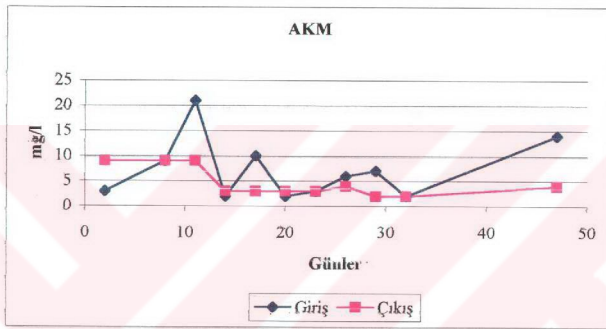
İkinci reaktör 50 x 50 x 30 cm boyutlarındadır ve su mercimeği *Lemna minor* ekilidir. Bu reaktördeki su derinliği 40 cm ve reaktör hacmi ise 57.6 lt dir. Su mercimeklerinin, rüzgardan etkilenip, reaktörün herhangi bir köşesinde üst üste birikmelerini engellemek ve reaktörde piston akımı şartlarını sağlamak amacıyla, reaktöre, eşit aralıklarla 28 x 48 cm boyutlarında dört adet perde yerleştirilmiştir. Bu tasarımla birlikte, en/boy oranı, 1/15 olan uzun ve dar bir havuz elde edilmiştir. Reaktör çıkış suyundan alınan numunelerde AKM, KOİ, TKN, NH₃-N, ve TP analizleri yapılmıştır. Tablo 7.2. de bekletme süresi 11.4 gün olduğunda birinci reaktörün çıkış suyu analiz sonuçları verilmektedir.

Tablo 7.2. Birinci aşamada, 2. reaktörün çıkış suyu analiz sonuçları.

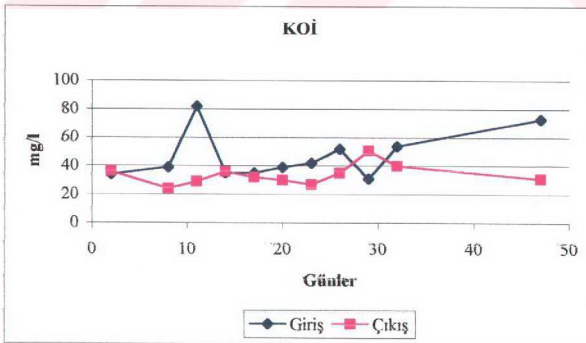
Tarih, 2002	Geçen süre, gün	AKM, mg/l	KOİ, mg/l	TKN, mg/l	NH ₃ -N, mg/l	TP, mg/l
Giriş suyu, ortalama		7.2	47	18.2	15.2	1.55
08.11	8	9	24	3.4	3.4	2.71
11.11	11	9	29	5.6	2.2	1.78
14.11	14	3	36	2.8	2.2	1.55
17.11	17	3	32	2.2	1.7	1.04
20.11	20	3	30	2.2	2.2	1.37
23.11	23	3	27	2.2	1.7	2.05
26.11	26	4	35	3.4	3.4	1.17
29.11	29	2	51	2.8	2.2	0.99
02.12	32	2	40	2.8	2.8	1.02
05.12	35	-	-	1.7	1.7	1.07
08.12	38	-	-	7.3	3.9	1.05
11.12	41	-	-	7.3	3.4	1.17
14.12	44	-	-	2.2	4.4	1.12
17.12	47	4	31	4.5	2.6	1.25

Birinci aşama için, yüzey alanı, $0,15 \text{ m}^2$, hidrolik yükü $336 \text{ m}^3/\text{ha.gün}$ ve yüzeysel yükleme oranları, $1,47 \text{ g KOİ} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $0,6 \text{ g TKN} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $0,52 \text{ g NH}_3\text{-N} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $0,062 \text{ g TP} / \text{m}^2 \text{ gün}$ olarak hesaplanmıştır.

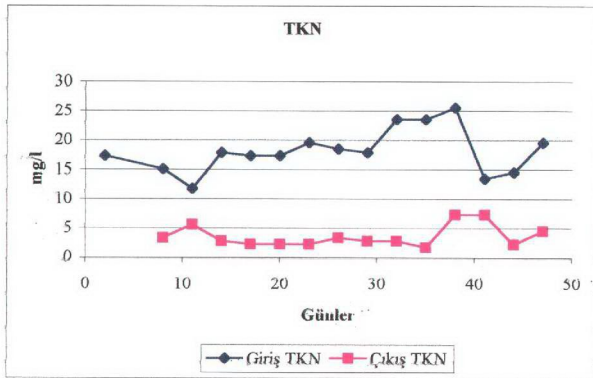
Şekil 7.6., 7.7., 7.8., 7.9., ve 7.10. da ikinci reaktörün giriş ve çıkış sularında yapılan AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, ve TP analizleri karşılaştırmalı bir biçimde gösterilmiştir.



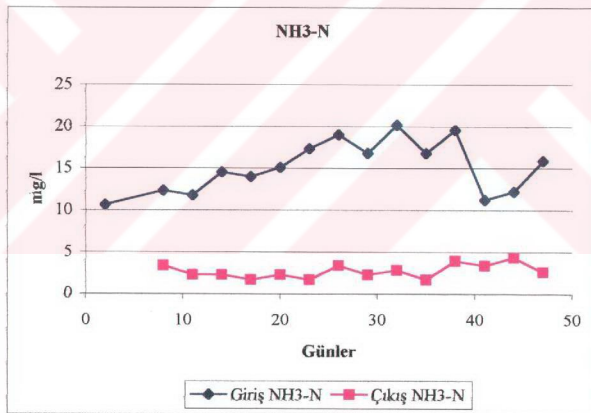
Şekil 7.6. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan AKM analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün.



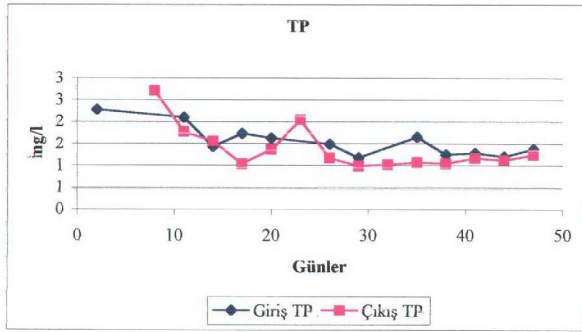
Şekil 7.7. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan KOİ analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün.



Şekil 7.8. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün.



Şekil 7.9. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan $\text{NH}_3\text{-N}$ analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün.



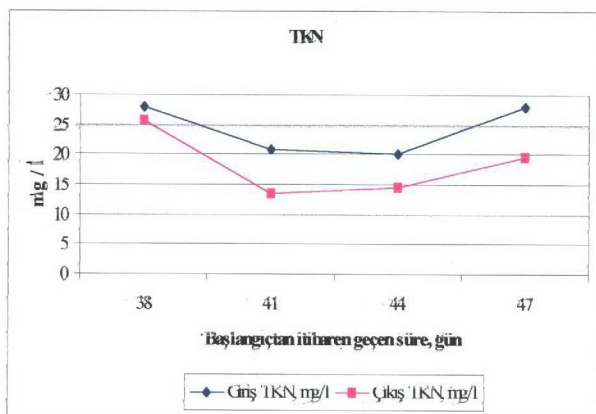
Şekil 7.10. Birinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TP analiz sonuçları, HBS = 11.4 gün.

7.2.3. Kaskat Havalandırıcı için Elde Edilen Bulgular

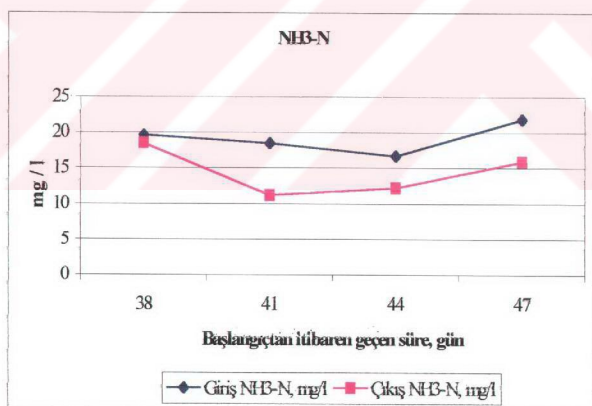
Birinci aşamada sistem, 5.04 lt / gün' lük bir debi ile beslenmiştir. Numuneler, sistem kararlı hale geldikten sonra, çalışmanın 38, 41, 44 ve 47. günlerinde Şekil 6.3. ve 6.4. te gösterilen B ve C noktalarından toplanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 7.3. te verilmiştir. Şekil 7.11. ve 7.12.' de bu sonuçlar karşılaştırmalı bir biçimde gösterilmiştir. Birinci aşama için sistemin genelinde parametrelerin karşılaştırılmaları Şekil 7.13. de verilmektedir.

Tablo 7.3. Birinci aşamada, kaskat için giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları.

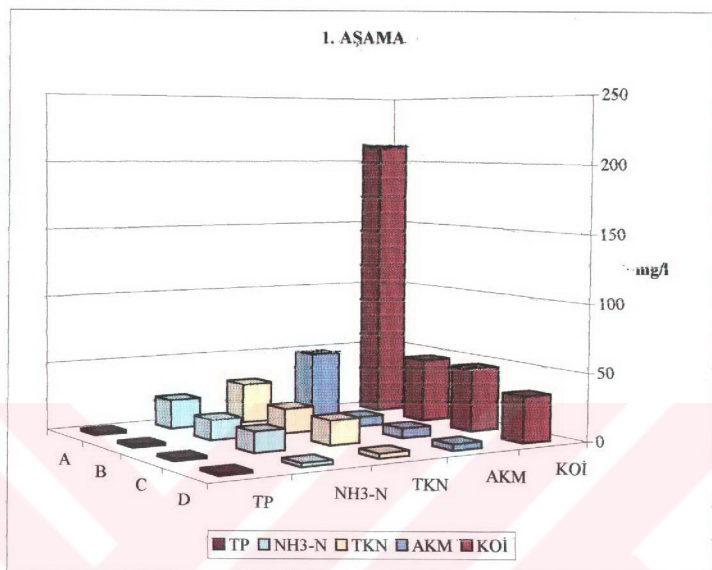
Tarih 2002	Geçen süre, gün	TKN, mg/l		NH ₃ -N, mg/l	
		B	C	B	C
08-Aralık	38	28.0	25.6	19.6	18.5
11-Aralık	41	20.9	13.4	18.5	11.2
14-Aralık	44	20.1	14.6	16.7	12.2
17-Aralık	47	27.9	19.6	21.8	15.9



Şekil 7.11. 1. aşamada, kaskat giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları.



Şekil 7.12. 1. aşamada, kaskat giriş ve çıkış suyunda yapılan $\text{NH}_3\text{-N}$ analiz sonuçları.



Şekil 7.13. Sistemin genelinde birinci aşama için sonuçlar.

Birinci aşama tamamlandıktan sonra debi değiştirilmiş ve reaktörler için farklı bekleme süreleriyle çalışma yapılmıştır. İki aşama arası soğuk hava koşulları yüzünden deneylere ara verilmiş Ancak sistem beslenmeye devam edilmiştir.

7.3. İkinci Aşama Sonuçları

İkinci aşamadaki çalışma 18.02.2003 ile 25.03.2003 tarihleri arasında yapılmış ve sistem 10.08 lt/gün'lük bir debi ile beslenmiştir. Birinci reaktörün hidrolik bekletme süresi 3.33 gün ikinci reaktörün hidrolik bekletme süresi 5.7 gün olmuştur. Sistem kararlı hale gelinceye kadar reaktör çıkış sularından alınan numunelerde AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, ve TP analizleri yapılmıştır.

7.3.1. Birinci Reaktör için Elde Edilen Bulgular

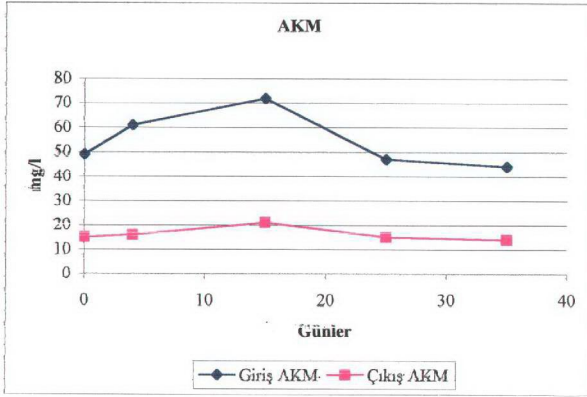
İkinci aşamada sistem 10.08 lt/gün' lük bir debi ile beslenmiş, bu reaktörün hidrolik bekletme süresi 3.33 gün olmuştur. İkinci aşama için, yüzey alanı, 0.32 m^2 , hidrolik yükü $315 \text{ m}^3/\text{ha.gün}$ ve yüzeysel yükleme oranları, $6.8 \text{ g KOİ} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $95 \text{ g TKN} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $0.72 \text{ g NH}_3\text{-N} / \text{m}^2 \text{ gün}$, $0.064 \text{ g TP} / \text{m}^2 \text{ gün}$ olarak hesaplanmıştır. Reaktör çıkış suyundan alınan numunelerde AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, ve TP analizleri yapılmıştır.

Tablo 7.4. de bekletme süresi 3.33 gün olduğunda birinci reaktörün giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları verilmektedir.

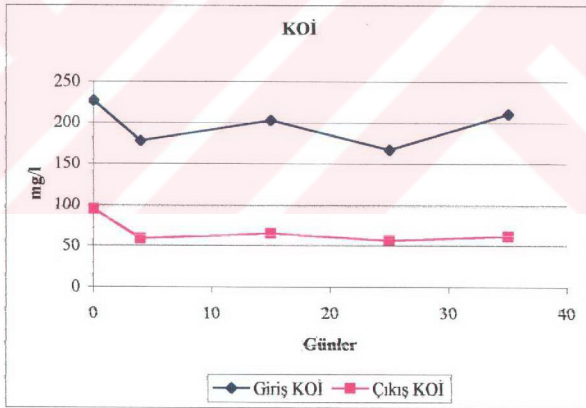
Şekil 7.14., 7.15., 7.16., 7.17., 7.18. ve 7.19. da birinci reaktörün giriş ve çıkış sularında yapılan AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, ve TP analizleri karşılaştırmalı bir biçimde gösterilmiştir.

Tablo 7.4. İkinci aşamada, I. reaktörün giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları.

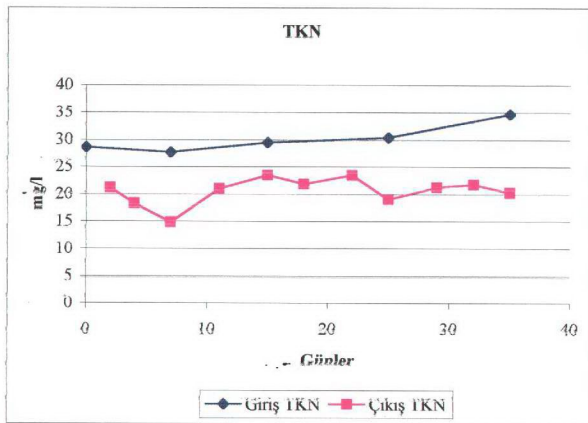
Tarih	Geçen süre, gün	AKM, mg/l		KOİ, mg/l		TKN, mg/l		NH ₃ -N, mg/l		TP, mg/l	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
2003 18.Şub	0	49		227		28.6		21.3		1.97	
20.Şub	2						21.2		16.8		1.38
22.Şub	4	61	16	178	59		18.3		14.0		1.16
25.Şub	7					27.7	14.8	20.2	10.6	1.71	1.27
01.Mar	11						21.0		16.8		1.41
05.Mar	15	72	21	203	65	29.5	23.5	21.3	15.1	1.95	1.37
08.Mar	18						21.9		18.5		1.54
12.Mar	22						23.5	21.3	19.6	2.16	1.78
15.Mar	25	47	15	167	57	30.4	19.0		15.7		1.61
19.Mar	29						21.3	23.0	19.3	2.53	1.59
22.Mar	32						21.8		19.6		1.80
25.Mar	35	44	14	211	62	34.7	20.3		18.5		1.61



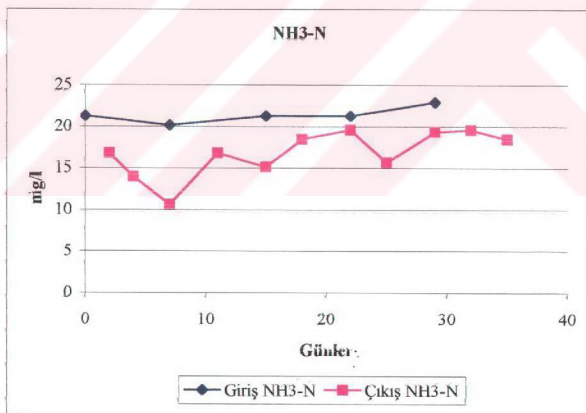
Şekil 7.14. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan AKM analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün.



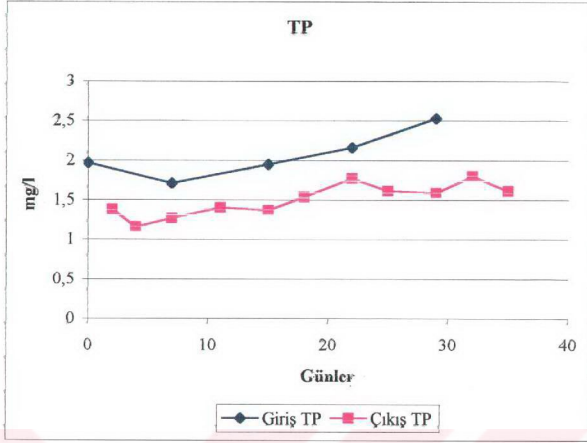
Şekil 7.15. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan KOI analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün.



Şekil 7.16. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün.



Şekil 7.17. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan NH₃-N analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün.



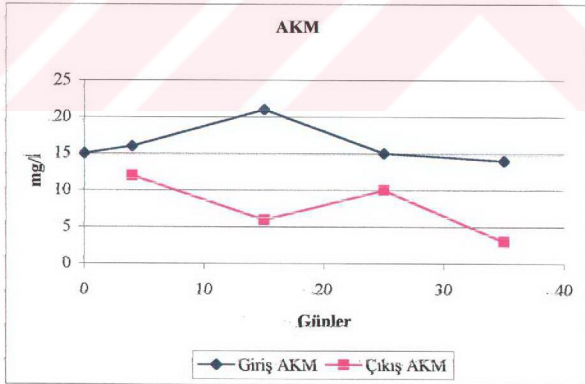
Şekil 7.18. İkinci aşamada, birinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TP analiz sonuçları, HBS = 3.33 gün.

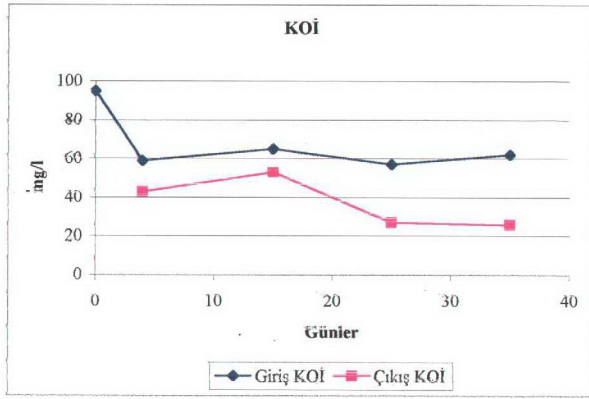
7.3.2. İkinci Reaktör için Elde Edilen Bulgular

İkinci aşamada sistem 10.08 lt/gün' lük bir debi ile beslenmiş, bu reaktörün hidrolik bekleme süresi 5.7 gün olmuştur. İkinci aşama için, yüzey alanı, 0.15 m², hidrolik yükü 672 m³ / ha gün ve yüzeysel yükleme oranları, 4.99 g KOİ / m² gün, 1.43 g TKN / m² gün, 1.15 g NH₃-N / m² gün, 0.103 g TP / m² gün olarak hesaplanmıştır. Reaktör çıkış suyundan alınan numunelerde KOİ, TKN, NH₃-N, ve TP analizleri yapılmıştır. Tablo 7.5. de bekleme süresi 5.7 gün olduğunda ikinci reaktörün çıkış suyu analiz sonuçları verilmektedir. Şekil 7.19., 7.20., 7.21., 7.22. ve 7.23. te ikinci reaktörün giriş ve çıkış sularında yapılan AKM, KOİ, TKN, NH₃-N, ve TP analizleri karşılaştırmalı bir biçimde gösterilmiştir.

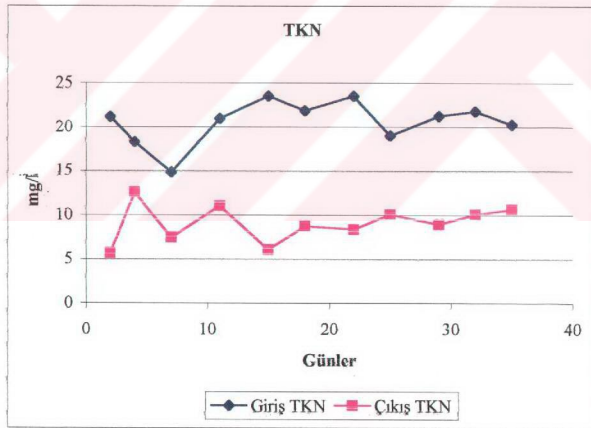
Tablo 7.5. İkinci aşamada, 2. reaktörün çıkış suyu analiz sonuçları.

Tarih 2003	Geçen süre, gün	AKM, mg/l	KOİ, mg/l	TKN, mg/l	NH ₃ -N, mg/l	TP, mg/l
Giriş Suyu, Ortalama		16.2	67.6	20.6	16.8	1.50
20 Şubat	2			5.7	1.1	1.13
22 Şubat	4	12	43	12.6	7.3	1.10
25 Şubat	7			7.5	5.0	1.15
01 Mart	11			11.0	6.7	1.10
05 Mart	15	6	53	6.1	1.7	1.08
08 Mart	18			8.8	5.0	1.34
12 Mart	22			8.4	5.0	1.70
15 Mart	25	10	27	10.0	6.7	1.39
19 Mart	29			8.9	5.6	1.37
22 Mart	32			10.0	6.7	1.61
25 Mart	35	3	26	10.6	7.3	1.52

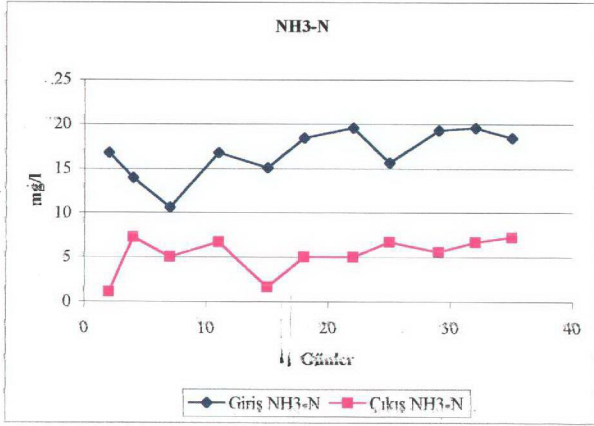
**Şekil 7.19.** İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan AKM analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün.



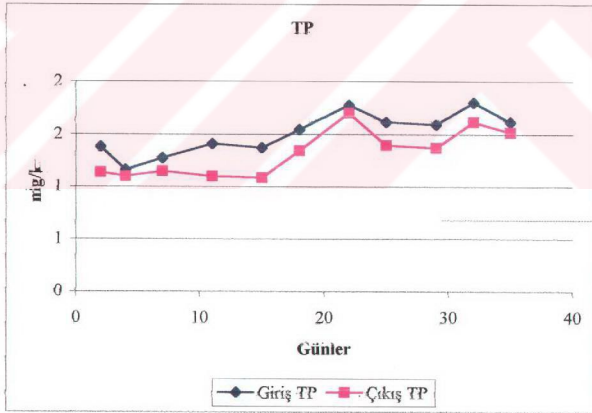
Şekil 7. 20: İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan KOİ analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün.



Şekil 7. 21: İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün.



Şekil 7.22. İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan $\text{NH}_3\text{-N}$ analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün.



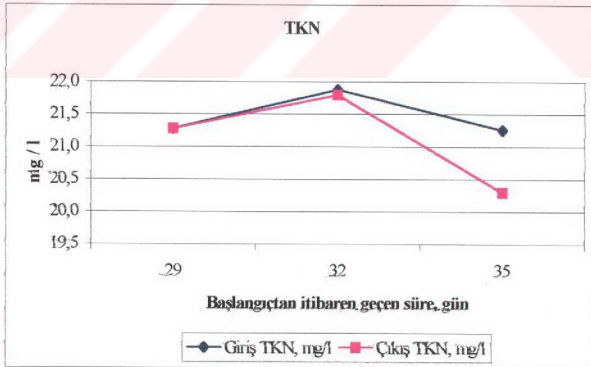
Şekil 7.23. İkinci aşamada, ikinci reaktör giriş ve çıkış suyunda yapılan TP analiz sonuçları, HBS = 5.7 gün.

7.3.3. Kaskat Havalandırıcı için Elde Edilen Bulgular

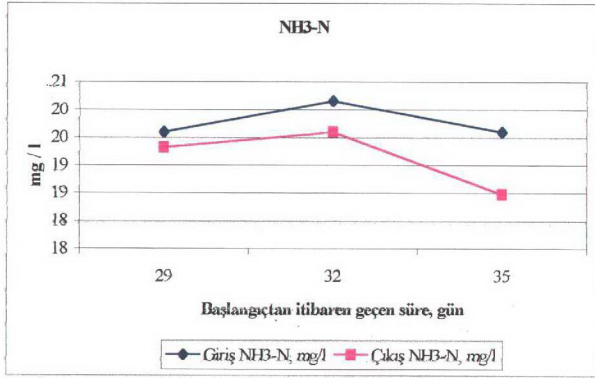
İkinci aşamada sistem, 10.08 lt / gün' lük bir debi ile beslenmiştir. Numuneler, sistem kararlı hale geldikten sonra, çalışmanın 29, 32 ve 35. günlerinde toplanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 7.6. da verilmiştir. Şekil 7.24. ve 7.25. de bu sonuçlar karşılaştırmalı bir biçimde gösterilmiştir. İkinci aşama için sistemin genelinde parametrelerin karşılaştırılmaları Şekil 7.26. da verilmektedir.

Tablo 7.6. İkinci aşamada, kaskat için giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları.

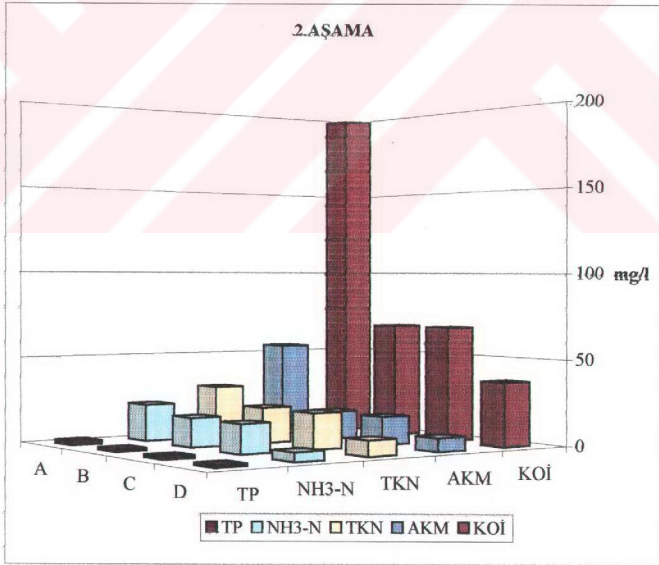
Tarih 2003	Geçen süre, gün	TKN, mg/l		NH ₃ -N, mg/l	
		B	C	B	C
19-Mart	29	21.3	21.3	19.6	19.3
22-Mart	32	21.9	21.8	20.2	19.6
25-Mart	35	21.3	20.3	19.6	18.5



Şekil 2.24. İkinci aşamada, kaskat giriş ve çıkış suyunda yapılan TKN analiz sonuçları.



Şekil 2.25. İkinci aşamada, kaskat giriş ve çıkış suyu analiz sonuçları.



Şekil 7.26. Sistemin genelinde ikinci aşama için sonuçlar.

7.4. Bitki Hasadı

Çalışma süresince, bitki hasadı, alg oluşumunun önlenmesi ortam şartlarının (pH, sıcaklık vb.) sabit tutulması amacıyla, sabit bir bitki örtüsünün muhafaza edilmesine çalışılmıştır. Bu amaçla, bitki hasadı, ikinci reaktördeki bitki yoğunluğuna bağlı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada, hava sıcaklığı ortalama 11°C olmuş, 11/12/2002 tarihinde en düşük 1°C (ort. 2.5°) ve 17/11/2002 tarihinde en yüksek 19°C (ort. 17°C) hava sıcaklığı ölçülmüştür. Bitki hasadı, çalışmanın başlangıcında hafta iki kez yapılmış, birinci aşamanın son üç haftasında, hasat sıklığı iki haftada bir düşmüştür. Her hasatta ortalama 49 gr (yaş ağırlık) bitki hasat edilmiştir.

İkinci aşamada, hava sıcaklığı ortalama 0-1°C olmuş, 25/03/2003 tarihinde en düşük -7°C (ort. -5.5°) ve 05.03.2003 tarihinde en yüksek 6°C (ort. 5°C) hava sıcaklığı ölçülmüştür. 20.02.2003, 25.02.2003 ve 01.03.2003 tarihlerinde reaktörler karla kaplanmıştır. Buna rağmen, ikinci reaktörde bitki örtüsü varlığını sürdürmüş ve ikinci aşama boyunca sabit kalmıştır. Ancak, bu aşamada bitki gelişimi gözlenmemiş, su yüzeyindeki bitki miktarı sabit kalmıştır. İkinci aşamada, bitki hasadı bir kez yapılmış ve hasat edilen bitki ağırlığı 60 gr (yaş ağırlık) olmuştur.

8. TARTIŞMA VE YORUM

8.1. Genel

8.2. Elde Edilen Verim

Farklı hidrolik bekleme süreleri uygulanarak, tasarlanan sistem için parametrelerin giderim verimleri hesaplanmıştır ve reaktörler için ayrı ayrı hesaplanan verim değerleri tablolar ve grafikler şeklinde özetlenmiştir.

8.2.1. Birinci Aşama için Verim

8.2.1.1. Birinci Reaktör için

Birinci reaktörle, hidrolik bekletme süresi 6.67 gün iken, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri Tablo 8.1. de verilmektedir. Şekil 8.1. de birinci aşamadaki artıma verimleri değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 8.1. Birinci reaktörde, birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri

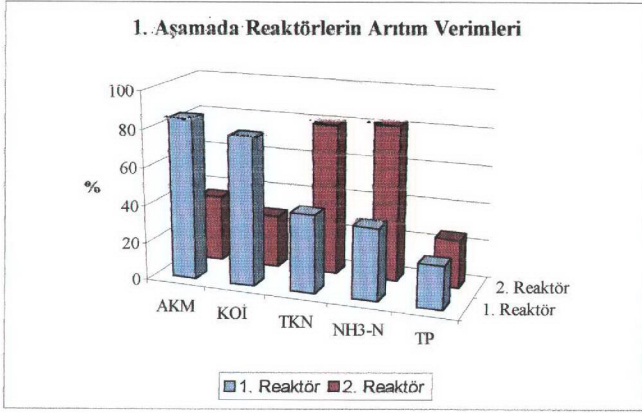
Parametre	Giriş	Çıkış	% Arıtma Verimi
AKM	48.5	7.2	85.2
KOI	215.1	46.9	78.2
TKN	31.1	18.2	41.4
NH ₃ -N	24.3	15.1	37.9
TP	2	1.5	25
ÇO	1.4	3.5	-
pH	7.2	7.5	-

8.2.1.2. İkinci Reaktör için

İkinci reaktörle, hidrolik bekleme süresi 11.4 gün iken, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri Tablo 8.2. de verilmektedir.

Tablo 8.2. İkinci reaktörde, birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri

Parametre	Giriş	Çıkış	% Arıtma Verimi
AKM	7.2	4.6	36
KOI	46.9	34	28.1
TKN	18.2	3.6	80.2
NH ₃ -N	15.16	2.7	82.2
TP	1.55	1.38	10.96
ÇO	3.7	4.5	-
pH	7.6	7.2	-



Şekil 8.1. Reaktörlere göre 1. aşama arıtma verimleri.

8.2.1.3. Kaskat Havalandırıcı için

Tablo 8.3. de kaskat havalandırıcı için birinci aşamada, ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri verilmektedir.

Tablo 8.3. Kaskat havalandırıcı için birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri

Parametre	Giriş	Çıkış	% Arıtma Verimi
TKN	24.3	18.3	24.7
NH3-N	19.2	14.5	24.6
TP	1.4	1.4	6.6
NO ₃ -N	0.7	0.5	27.3
NO ₂ -N	0	0.13	-

8.2.1.4. Sistemin Toplamı için

Sistemin toplamı için birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri Tablo 8.4. de verilmektedir.

Tablo 8.4. Sistemin toplamı için birinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri

Parametre	Giriş	Çıkış	% Arıtma Verimi
AKM	48.5	4.6	90.5
KOİ	215.1	34	84.3
TKN	31.1	3.6	88.4
NH3-N	24.3	2.7	88.9
TP	2	1.38	31.1
ÇO	1.4	4.5	-
pH	7.2	7.2	-

8.2.2. İkinci Aşama için Verim

8.2.2.1. Birinci Reaktör için

Birinci reaktörle, hidrolik bekletme süresi 3.33 gün iken, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri Tablo 8.5. de verilmektedir. Şekil 8.2. de birinci aşamadaki arıtma verimleri değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 8.5. Birinci reaktör için, ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri.

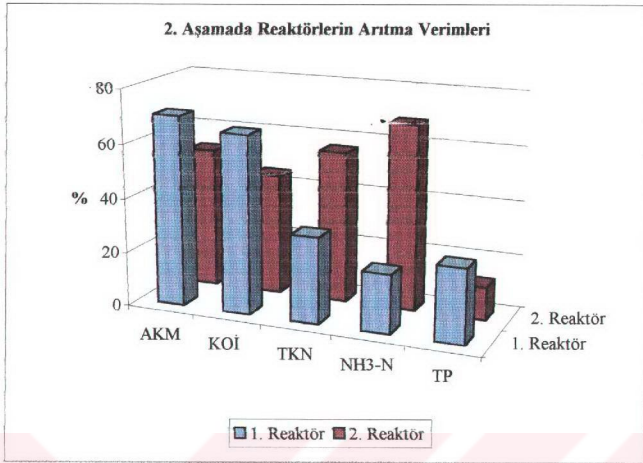
Parametre	Giriş	Çıkış	% Arıtma Verimi
AKM	54.6	16.2	70.3
KOİ	197.2	67.6	65.7
TKN	30.2	20.6	31.7
NH ₃ -N	21.4	16.8	21.6
TP	2.1	1.5	28.5
ÇO	1.4	2.7	-
pH	7.2	7.5	-

8.2.2.2. İkinci Reaktör için

İkinci reaktörle, hidrolik bekleme süresi 5.7 gün iken, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri Tablo 8.6. da verilmektedir.

Tablo 8.6. İkinci reaktör için, ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % artıma verimleri.

Parametre	Giriş	Çıkış	% Arıtma Verimi
AKM	16.2	7.8	52.2
KOİ	67.6	37.2	45
TKN	20.6	9.1	56
NH ₃ -N	16.8	5.3	68.4
TP	1.5	1.3	13.3
ÇO	2.7	3.8	-
pH	7.4	7.2	-



Şekil 8.2. İkinci aşamadaki arıtma verimleri değerlerinin karşılaştırması.

8.2.2.3. Kaskat Havalandırıcı için

Kaskat havalandırıcı için ikinci aşamada, ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % arıtma verimleri Tablo 8.7. de verilmektedir.

Tablo 8.7. Kaskat havalandırıcı için ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % arıtma verimleri

Parametre	Giriş	Çıkış	% Arıtma Verimi
TKN	21.5	21.1	1.86
NH3-N	19.8	19.3	2.5
TP	1.96	1.7	14.9
NO ₃ -N	0.2	0.26	-
NO ₂ -N	0.1	0.2	-

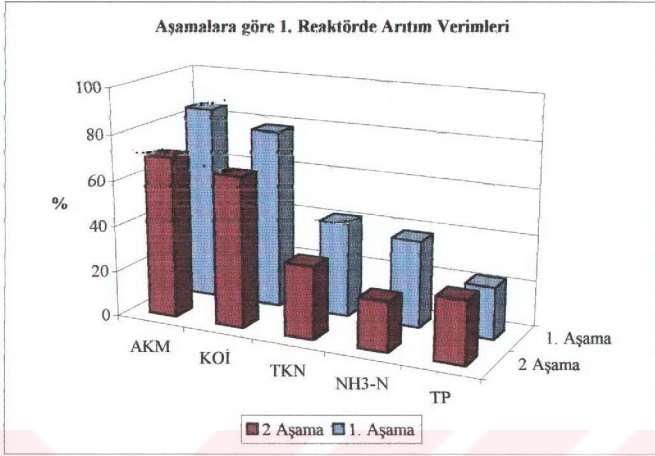
8.2.2.4. Sistemin Toplamı için

Sistemin toplamı için ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % arıtma verimleri Tablo 8.8. de verilmektedir.

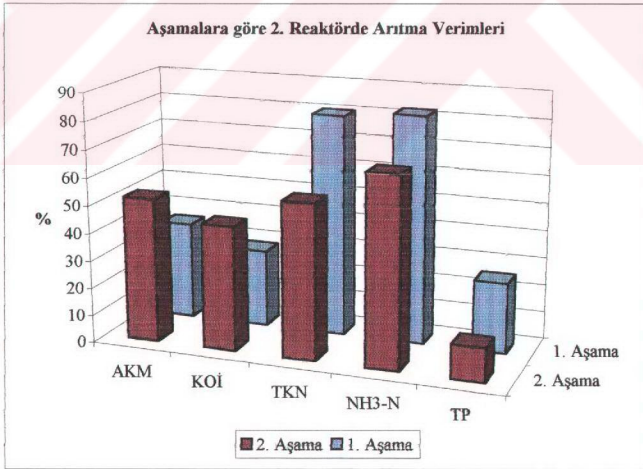
Tablo 8.8. Sistemin toplamı için ikinci aşamada, çalışmaların ortalama giriş-çıkış su kalitesi ve sistemin ortalama % arıtma verimleri

Parametre	Giriş	Çıkış	%Arıtma Verimi
AKM	54.6	7.8	85.8
KOİ	197.2	37.2	81.1
TKN	30.2	9.1	70
NH3-N	21.4	5.3	75.2
TP	2.1	1.3	38.1
ÇO	1.4	3.8	-
PH	7.2	7.2	-

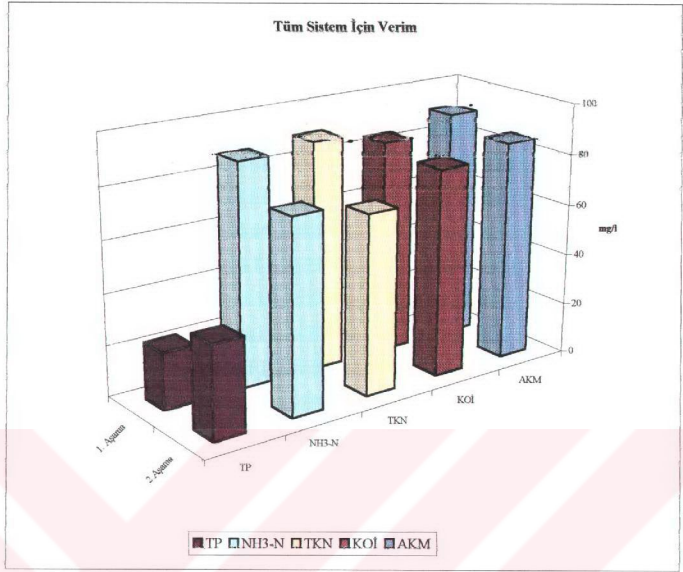
Şekil 8.3. de birinci reaktör için, Şekil 8.4. de ikinci reaktör için kirletici parametrelerin, aşamalara göre arıtma verimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekil 8.5. de ise tüm sistem için kirletici parametrelerin, aşamalara göre arıtma verimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.3. Birinci reaktör için, kirletici parametrelerin, aşamalara göre arıtma verimleri.



Şekil 8.4. İkinci reaktör için, kirletici parametrelerin, aşamalara göre arıtma verimleri.

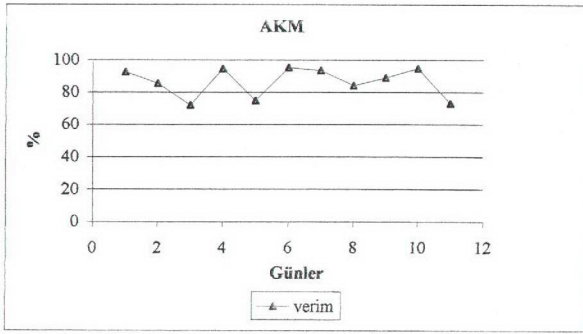


Şekil 8.5. Tüm sistem için kirlenici parametrelerin, aşamalara göre artıma verimleri.

8.3. Verimin Zamanla Değişiminin Gösterilmesi

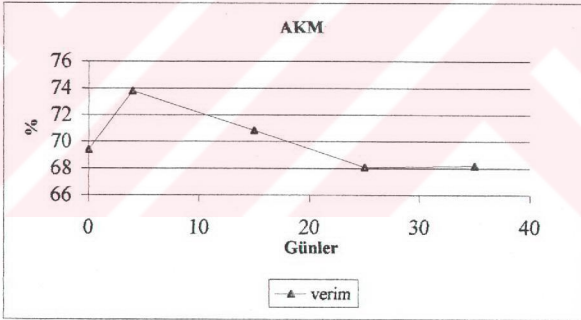
8.3.1. Birinci Reaktör İçin Değişim

Birinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri Şekil 8.6. da verilmiştir.



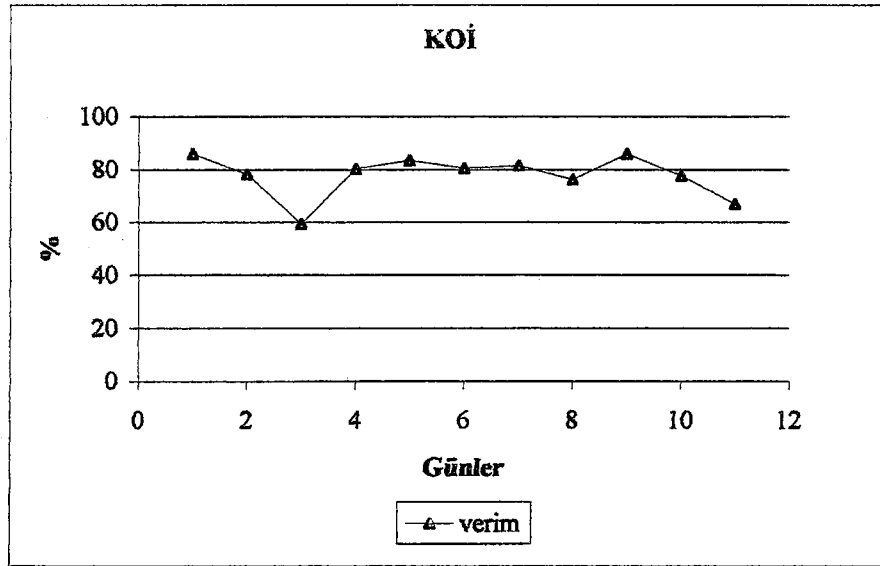
Şekil 8.6. Birinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için AKM verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.7. de verilmiştir.



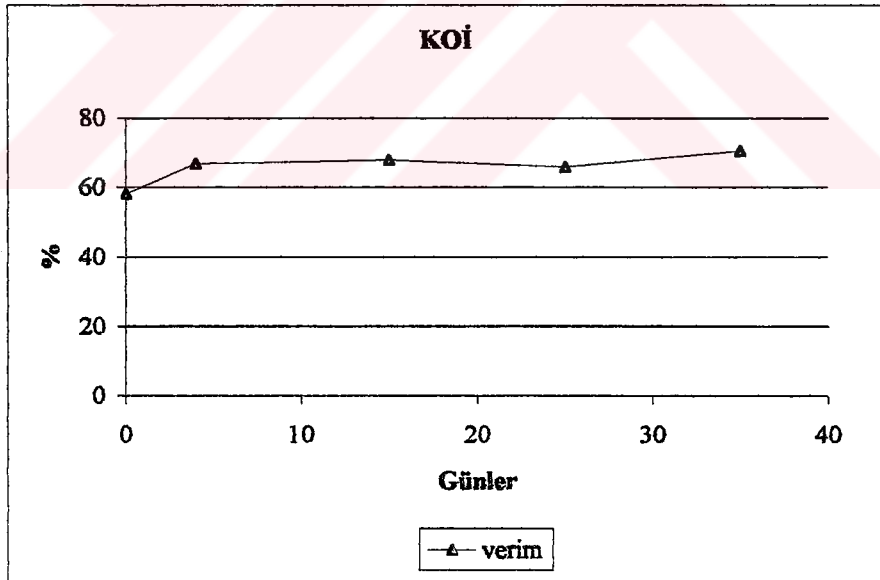
Şekil 8.7. İkinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri.

Birinci aşama için KOİ verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.8. de verilmiştir.



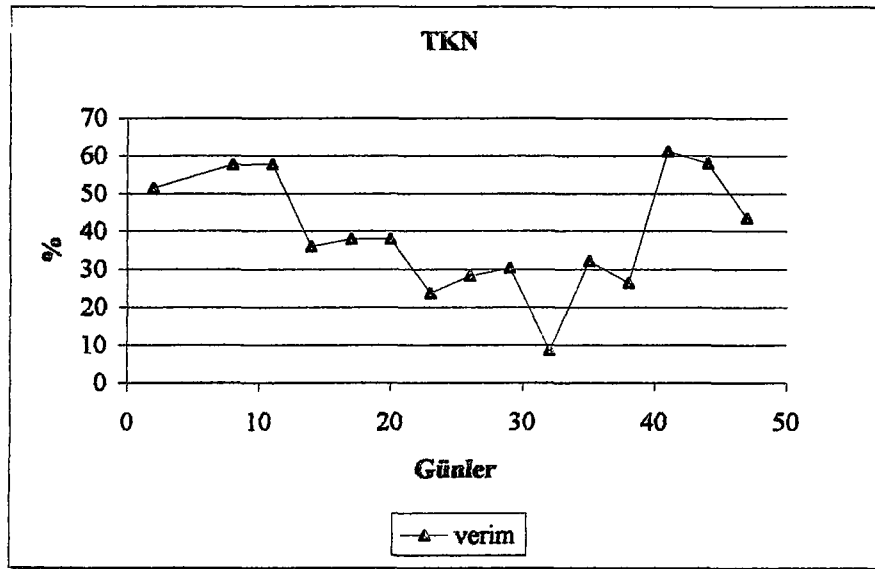
Şekil 8.8. Birinci aşama için KOİ verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için KOİ verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.9. da verilmiştir.



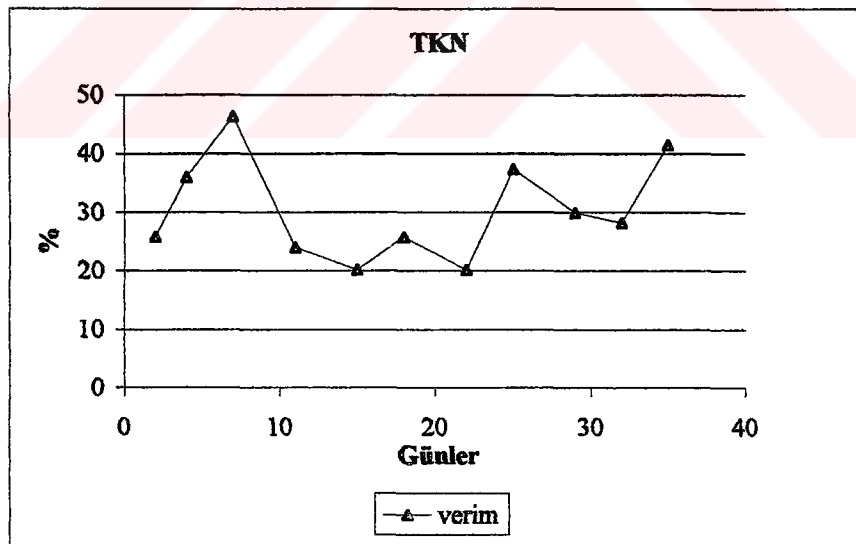
Şekil 8.9. İkinci aşama için KOİ verimlerinin günler ile değişimleri.

Birinci aşama için TKN verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.10. da verilmiştir.



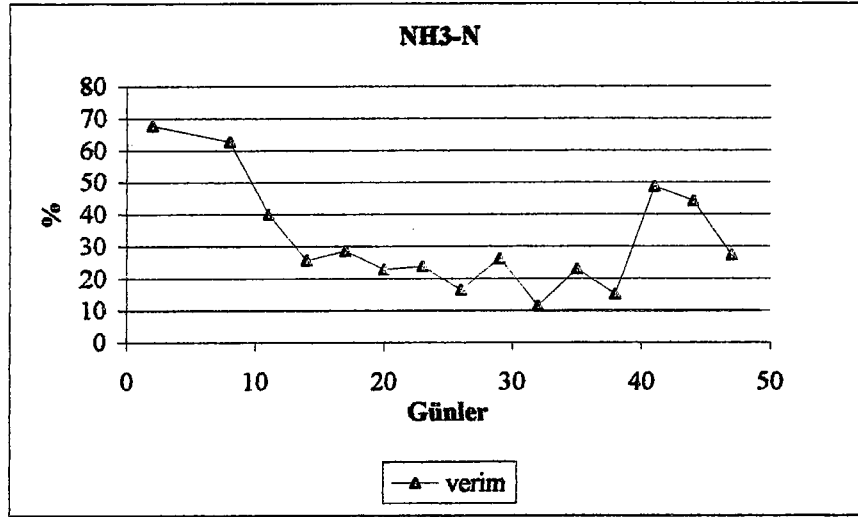
Şekil 8.10. Birinci aşama için TKN verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için TKN verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.11. de verilmiştir.



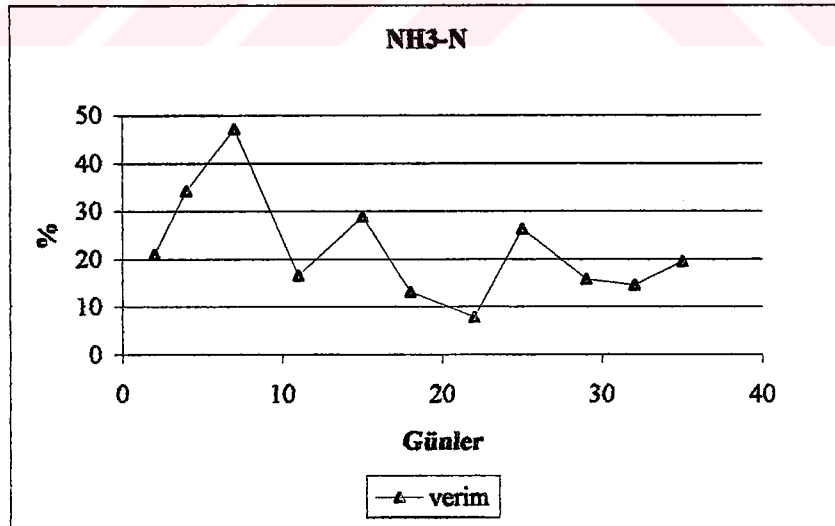
Şekil 8.11. İkinci aşama için TKN verimlerinin günler ile değişimleri.

Birinci aşama için $\text{NH}_3\text{-N}$ verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.12 de verilmiştir.



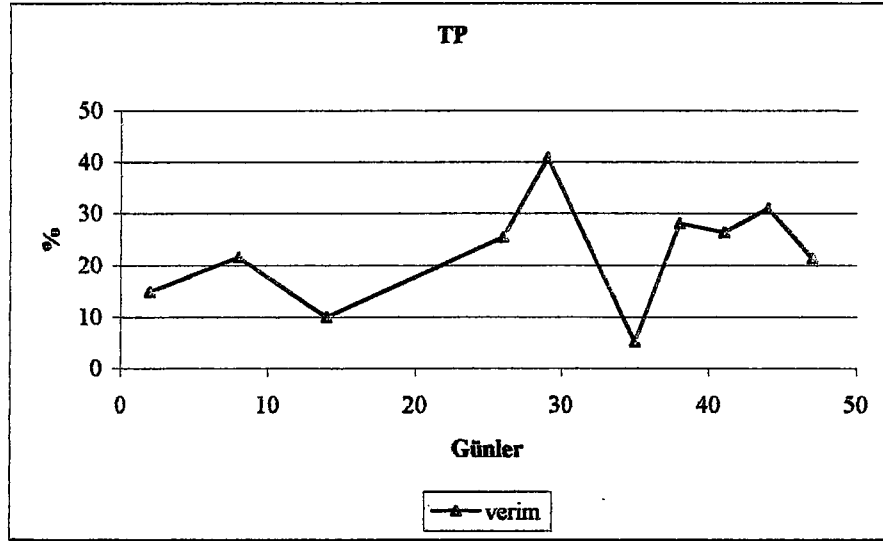
Şekil 8.12. Birinci aşama için $\text{NH}_3\text{-N}$ verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için $\text{NH}_3\text{-N}$ verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.13. de verilmiştir.



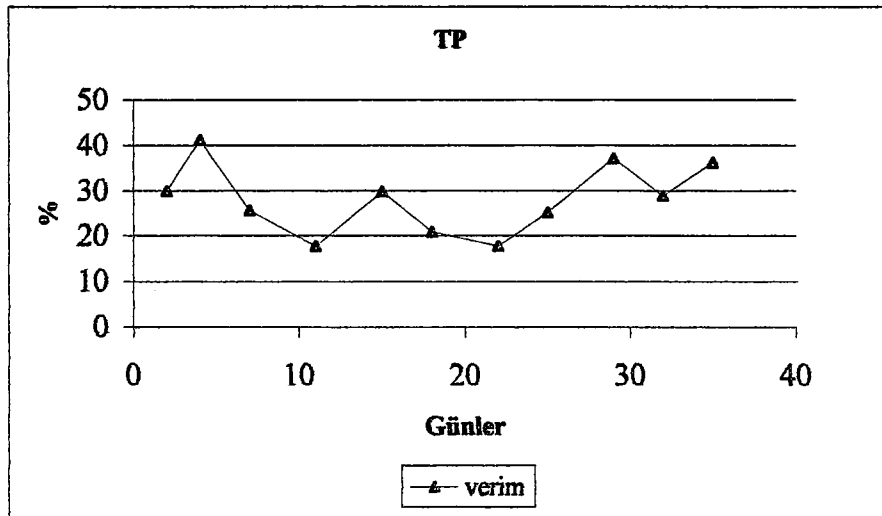
Şekil 8.13. İkinci aşama için $\text{NH}_3\text{-N}$ verimlerinin günler ile değişimleri.

Birinci aşama için TP verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.14. de verilmiştir.



Şekil 8.14. Birinci aşama için TP verimlerinin günler ile değişimleri.

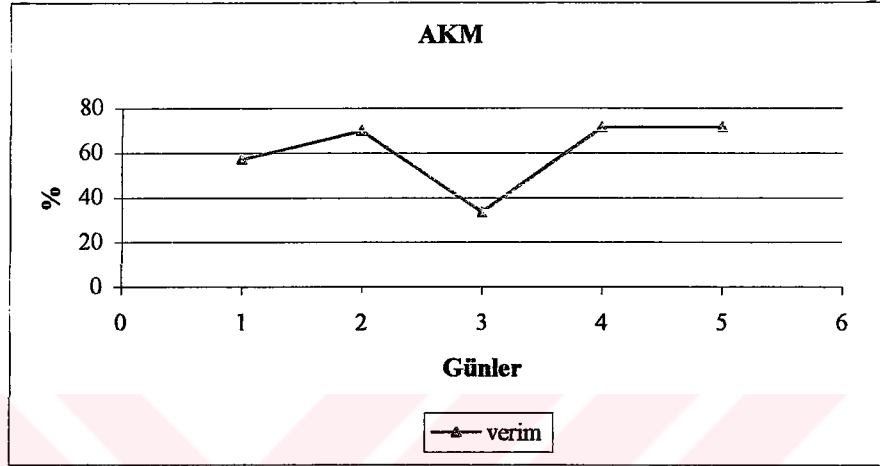
İkinci aşama için TP verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.15. de verilmiştir.



Şekil 8.15. İkinci aşama için TP verimlerinin günler ile değişimleri.

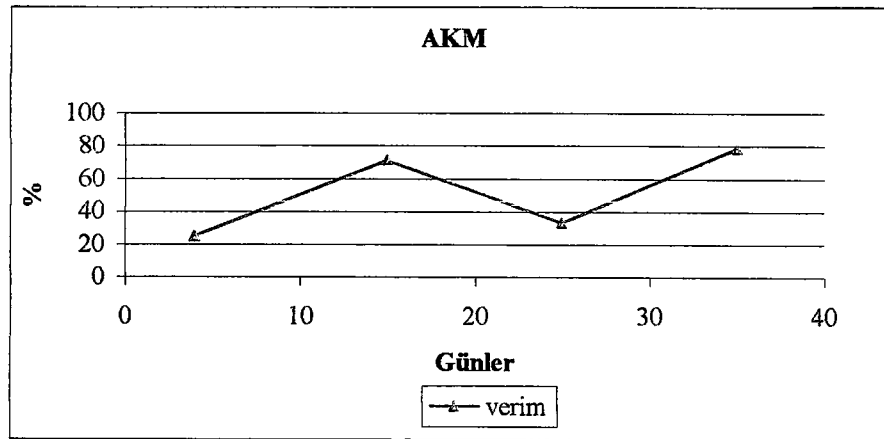
8.3.2. İkinci Reaktör İçin Kontrol

Birinci aşama için AKM verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.16. de verilmiştir.



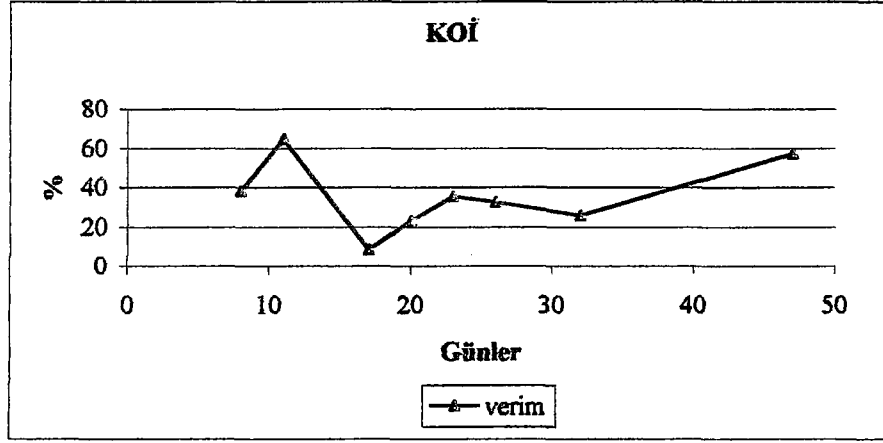
Şekil 8.16. Birinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için AKM verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.17. de verilmiştir.



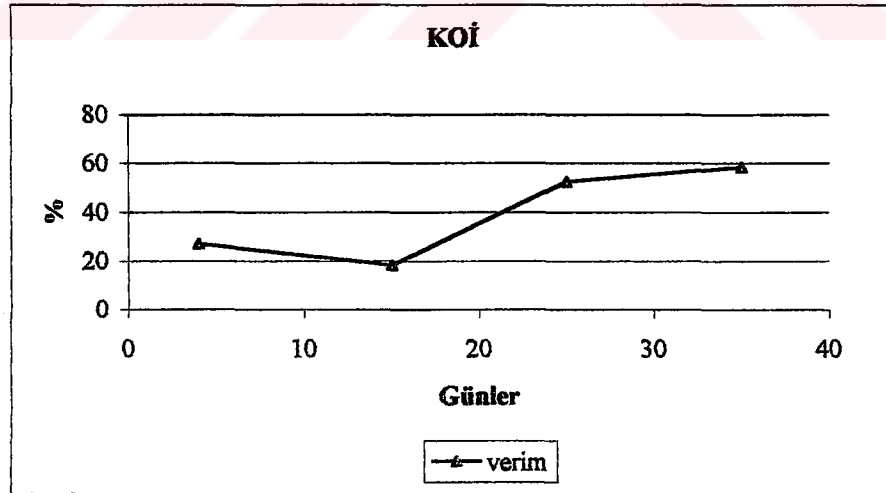
Şekil 8.17. İkinci aşama için AKM verimlerinin günler ile değişimleri.

Birinci aşama için KOİ verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.18. de verilmiştir.



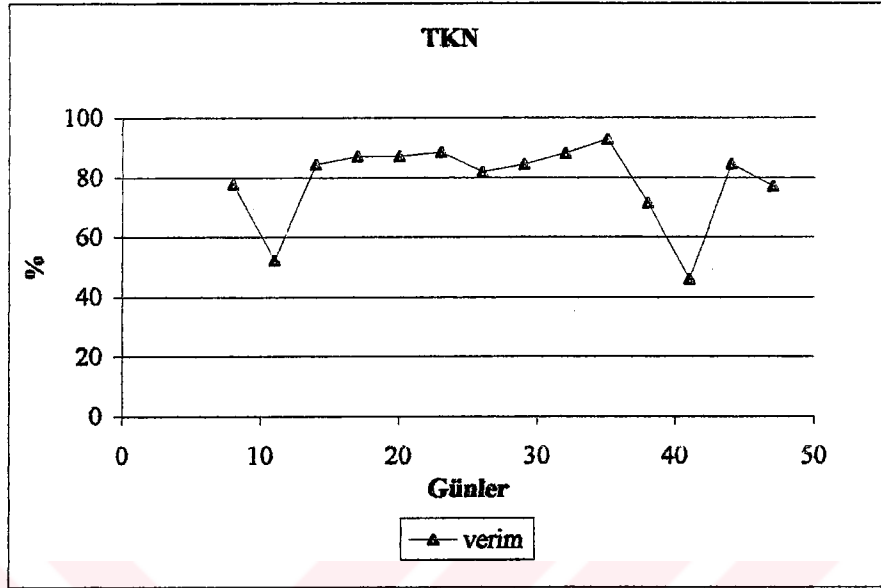
Şekil 8.18. Birinci aşama için KOİ verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için KOİ verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.19. da verilmiştir.



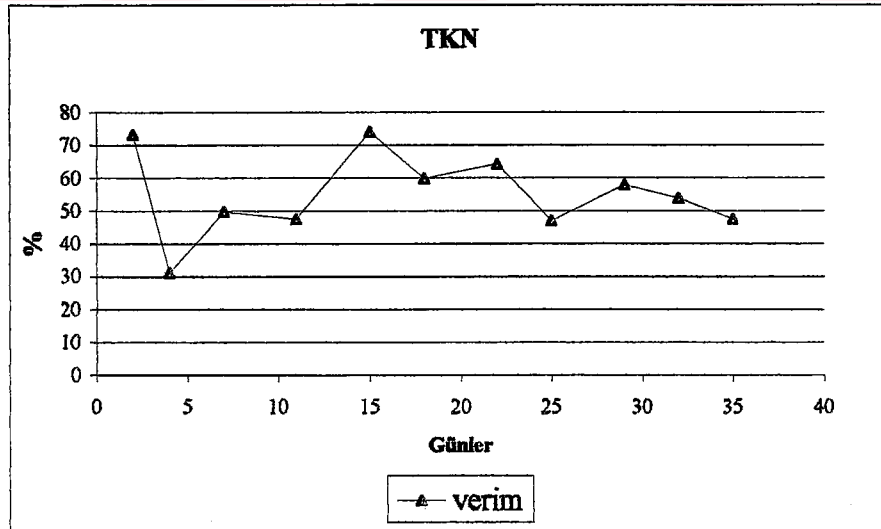
Şekil 8.19. İkinci aşama için KOİ verimlerinin günler ile değişimleri.

Birinci aşama için TKN verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.20. de verilmiştir.



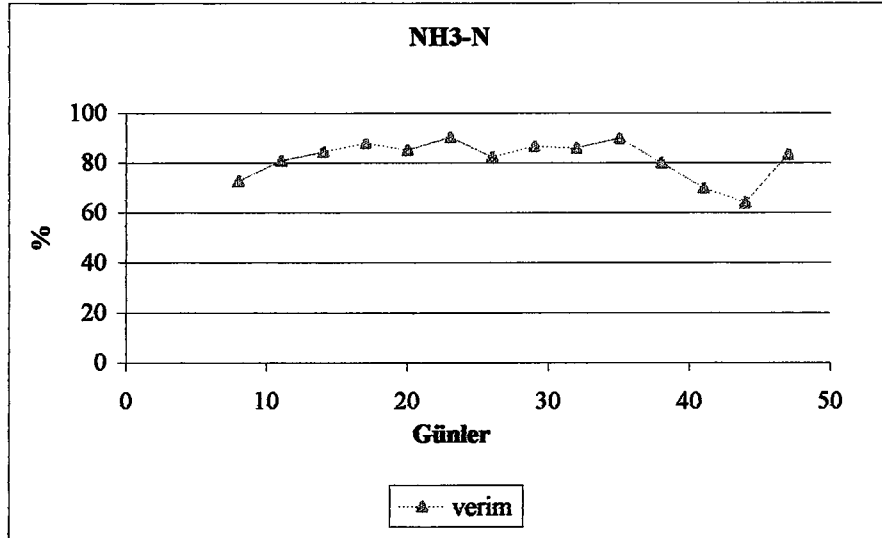
Şekil 8.20. Birinci aşama için TKN verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için TKN verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.21. de verilmiştir.



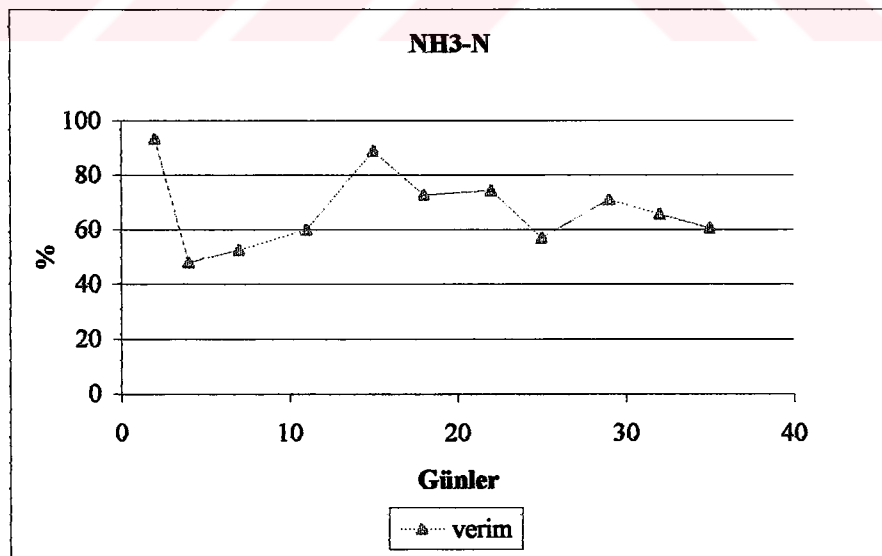
Şekil 8.21. İkinci aşama için TKN verimlerinin günler ile değişimleri.

Birinci aşama için $\text{NH}_3\text{-N}$ verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.22. de verilmiştir.



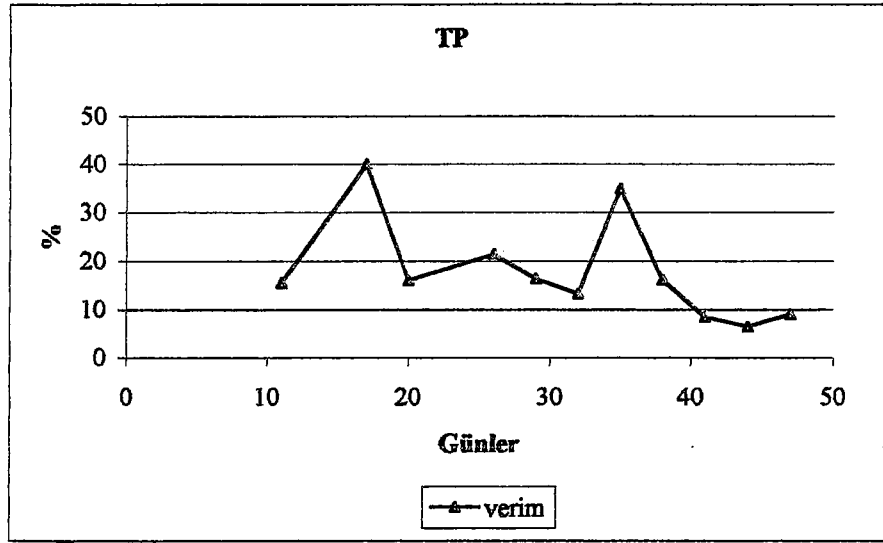
Şekil 8.22. Birinci aşama için $\text{NH}_3\text{-N}$ verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için $\text{NH}_3\text{-N}$ verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.23. de verilmiştir.



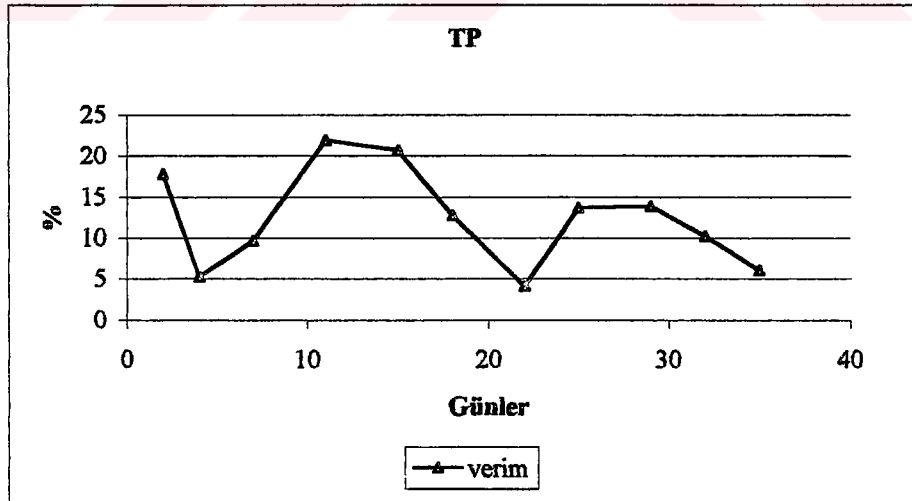
Şekil 8.23. İkinci aşama için $\text{NH}_3\text{-N}$ verimlerinin günler ile değişimleri.

Birinci aşama için TP verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.24. de verilmiştir.



Şekil 8.24. Birinci aşama için TP verimlerinin günler ile değişimleri.

İkinci aşama için TP verimlerin günler ile değişimleri Şekil 8.23. de verilmiştir.



Şekil 8.23. İkinci aşama için TP verimlerinin günler ile değişimleri.

8.4. İstatistiksel Değerlendirme

8.4.1. Birinci reaktör için değerlendirme

Birinci reaktörde aşamalara göre parametrelerin giderim verimleri için varyans analizi yapılmıştır. Tablo 8.9. da ANOVA tablosu verilmiştir.

Tablo 8.9. Birinci reaktör sonuçları için ANOVA tablosu.

ANOVA						
Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	F ölçütü
Örnek	917,4070	1	917,407	6,8531	0,012433	4,08474
Sütunlar	24753,6177	4	6188,404	46,2281	1,75E-14	2,605972
Etkileşim	672,8346	4	168,2086	1,2565	0,303004	2,605972
İçinde	5354,6679	40	133,8667			
Toplam	31698,5272	49				

Kurulan hipotezler şunlardır:

H_0 : birinci reaktörde aşamalara göre verim ortalaması eşittir.

H_0 : birinci reaktörde parametrelere göre verim ortalaması eşittir.

H_0 : birinci reaktörde aşamalar ve parametre verimleri arasında etkileşim yoktur.

$F_{hes} > F_{ölçütü}$ - H_0 red edilir (birinci reaktörde aşamalara göre verim ortalaması eşit değildir).

$F_{hes} > F_{ölçütü}$ - H_0 red edilir (birinci reaktörde parametrelere göre verim ortalaması eşit değildir).

$F_{hes} < F_{ölçütü}$ - H_0 kabul edilir (birinci reaktörde aşamalar ve parametre verimleri arasında etkileşim yoktur).

Birinci reaktör sonuçlarının varyans analizi özeti Tablo 8.10. da verilmektedir.

Tablo 8.10. Birinci reaktör sonuçlarının varyans analizi özeti.

Anova: Yinelemeli İki Etken						
ÖZET	AKM verim	KOİ verim	TKN verim	NH3-N verim	TP verim Toplam	
1.						
Say	5	5	5	5	5	25
Toplam	443,9835	379,0097	204,351	172,2626	119,6492	1319,256
Ortalama	88,7967	75,80194	40,87019	34,4525	23,92984	52,77024
Varyans	94,3188	144,661	183,9051	427,5869	146,2826	819,7266
2.						
Say	5	5	5	5	5	25
Toplam	350,2585	329,4684	169,5351	116,7986	139,0217	1105,082
Ortalama	70,0517	65,89368	33,90702	23,3597	27,80435	44,20329
Varyans	5,5613	21,88652	89,69317	187,4908	37,2808	462,82

Birinci ve ikinci aşamada AKM verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 14

Red bölgesi : $t > 2,145$

Test istatistiği : $t = 3,67$

Karar : $3,67 > 2,145 \rightarrow H_0$ red ve H_1 kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada AKM verimleri ortalaması arasında fark vardır).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(6,68 < \mu_1 - \mu_2 < 25,84) = 0,95$$

Buna göre; birinci reaktör için birinci aşamada AKM verimleri ortalaması ikinci aşama verimlerin ortalamalarından fazla olup, ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla birinci aşama lehine % 6,68 - 25,84 arasındadır.

Birinci ve ikinci aşamada KOİ verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 14

Red bölgesi : $t > 2,145$

Test istatistiği : $t = 2,89$

Karar : $2,89 > 2,145 \rightarrow H_0$ red ve H_1 kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada KOİ verimleri ortalaması arasında fark vardır).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(3,09 < \mu_1 - \mu_2 < 20,88) = 0,95$$

Buna göre; birinci reaktör için birinci aşamada KOİ verimleri ortalaması ikinci aşama verimlerin ortalamalarından fazla olup, ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla birinci aşama lehine % 3,09 – 20,88 arasındadır.

Birinci ve ikinci aşamada TKN verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sinaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 24

Red bölgesi : $t > 2,064$

Test istatistiği : $t = 1,67$

Karar : $2,064 > 1,67 \rightarrow H_0$ kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada TKN verimleri ortalaması arasında fark yoktur).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(-2,09 < \mu_1 - \mu_2 < 20,01) = 0,95$$

Buna göre; ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla % -2,09 – 20,01 arasındadır.

Birinci ve ikinci aşamada $\text{NH}_3\text{-N}$ verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 24

Red bölgesi : $t > 2,064$

Test istatistiği : $t = 1,68$

Karar : $2,064 > 1,68 \rightarrow H_0$ kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada $\text{NH}_3\text{-N}$ verimleri ortalaması arasında fark yoktur).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(-2,28 < \mu_1 - \mu_2 < 22,23) = 0,95$$

Buna göre; ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla % -2,28 – 22,23 arasındadır.

Birinci ve ikinci aşamada TP verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 19

Red bölgesi : $t > 2,093$

Test istatistiği : $t = 1,36$

Karar : $2,093 > 1,36$ H_0 kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada TP verimleri ortalaması arasında fark yoktur).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(-8,79 < \mu_1 - \mu_2 < 3,08) = 0,95$$

Buna göre; ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla % -8,79 – 3,08 arasındadır.

8.4.2. İkinci reaktör için değerlendirme

İkinci reaktörde de aşamalara göre parametrelerin giderim verimleri için varyans analizi yapılmıştır. Tablo 8.11. de ANOVA tablosu verilmiştir. Kurulan hipotezler şunlardır:

H_0 : ikinci reaktörde aşamalara göre verim ortalaması eşittir.

H_0 : ikinci reaktörde parametrelere göre verim ortalaması eşittir.

H_0 : ikinci reaktörde aşamalar ve parametre verimleri arasında etkileşim yoktur.

Tablo 8.11. İkinci reaktör sonuçları için ANOVA tablosu.

ANOVA						
Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	F ölçütü
Örnek	917,40698	1	917,407	6,85313816	0,01243	4,08474
Sütunlar	24753,618	4	6188,404	46,2281098	1,7E-14	2,605972
Etkileşim	672,83459	4	168,2086	1,2565384	0,303	2,605972
İçinde	5354,6679	40	133,8667			
Toplam	31698,527	49				

$F_{hes} > F_{ölçütü}$ - H_0 red edilir (ikinci reaktörde aşamalara göre verim ortalaması eşittir değildir).

$F_{hes} > F_{ölçütü}$ - H_0 red edilir (ikinci reaktörde parametrelere göre verim ortalaması eşit değildir).

Fhes<Fölçütü - H_0 kabul edilir (ikinci reaktörde aşamalar ve parametre verimleri arasında etkileşim yoktur).

İkinci reaktör sonuçlarının varyans analizi özeti Tablo 8.12. da verilmektedir.

Tablo 8.12. İkinci reaktör sonuçlarının varyans analizi özeti.

Anova: Yinelemeli İki Etken						
ÖZET	AKM verim	KOI verim	TKN verim	NH3-N verim	TP verim	Toplam
1.						
Say	5	5	5	5	5	25
Toplam	443,984	379,010	204,351	172,263	119,649	1319,25
Ortalama	88,797	75,802	40,870	34,453	23,930	52,770
Varyans	94,319	144,661	183,905	427,587	146,283	819,727
2.						
Say	5	5	5	5	5	25
Toplam	350,259	329,468	169,535	116,799	139,022	1105,08
Ortalama	70,052	65,894	33,907	23,360	27,804	44,203
Varyans	5,561	21,887	89,693	187,491	37,281	462,820

Birinci ve ikinci aşamada AKM verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 7

Red bölgesi : $t > 2,365$

Test istatistiği : $t = 0,52$

Karar : $2,365 > 0,52 \rightarrow H_0$ kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada AKM verimleri ortalaması arasında fark yoktur).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(-30,42 < \mu_1 - \mu_2 < 47,58) = 0,95$$

Buna göre; ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla % -30,42 - 47,58 arasındadır.

Birinci ve ikinci aşamada KOİ verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 10

Red bölgesi : $t > 2,228$

Test istatistiği : $t = 0,27$

Karar : $2,228 > 0,27 \rightarrow H_0$ kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada KOİ verimleri ortalaması arasında fark yoktur).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(-31,15 < \mu_1 - \mu_2 < 24,47) = 0,95$$

Buna göre; ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla % -31,15 – 24,47 arasındadır.

Birinci ve ikinci aşamada TKN verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 23

Red bölgesi : $t > 2,069$

Test istatistiği : $t = 4,25$

Karar : $4,25 > 2,069 \rightarrow H_0$ red ve H_1 kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada TKN verimleri ortalaması arasında fark vardır).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(12,15 < \mu_1 - \mu_2 < 35,22) = 0,95$$

Buna göre; birinci reaktör için birinci aşamada TKN verimleri ortalaması ikinci aşama verimlerin ortalamalarından fazla olup, ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla birinci aşama lehine % 12,15 – 35,22 arasındadır.

Birinci ve ikinci aşamada $\text{NH}_3\text{-N}$ verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 24

Red bölgesi : $t > 2,064$

Test istatistiği : $t = 2,88$

Karar : $2,88 > 2,064 \rightarrow H_0$ red ve H_1 kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada $\text{NH}_3\text{-N}$ verimleri ortalaması arasında fark vardır).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(3,76 < \mu_1 - \mu_2 < 23,01) = 0,95$$

Buna göre; ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla % 3,76 – 23,01 arasındadır.

Birinci ve ikinci aşamada TP verimleri ortalamasının %5 anlamlılık düzeyinde farklı olup olmadığının sınaması için aşağıdaki hipotezler kurulabilir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Anlamlılık düzeyi : 0,05

Serbestlik derecesi : 20

Red bölgesi : $t > 2,086$

Test istatistiği : $t = 1,45$

Karar : $2,086 > 1,45$ H_0 kabul edilir. (Birinci ve ikinci aşamada TP verimleri ortalaması arasında fark yoktur).

Ortalamalar arasındaki farkın %95 olasılıkla güven sınırları şu şekilde gösterilebilir:

$$P(-2,47 < \mu_1 - \mu_2 < 13,65) = 0,95$$

Buna göre; ortalamalar arasındaki fark %95 olasılıkla $-2,47 - 13,65$ arasındadır.

9. Sonuçlar ve Yorum

İSKİ Ataköy biyolojik tasfiye tesisinin ön çöktürme havuzundan alınan evsel atıksu , bir sulakalan modeli olarak tasarlanan birinci reaktöre verilmiş, arıtım verimleri ve organik yük oranları ile çıkış konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Bu reaktör bitkilendirilmemiş bir dolgu malzemesi ile dizayn edildiğinden, yapay sulakalan sistemleri için dolgu malzemesinin tek başına arıtıma olan katkısı bulunmuştur. Birinci aşamada bu reaktörde, 6.67 gün hidrolik bekletme süresi ile çalışılmış ve AKM için; % 85.2, KOİ için; % 78.2, TKN için; % 41.4, NH₃-N için; % 37.9 ve TP için; % 25 verim değeri elde edilmiştir. İkinci aşamada ise, 3.33 günlük hidrolik bekletme süresi ile çalışılmış ve AKM için; % 70.3, KOİ için; % 65.7, TKN için; % 31.7, NH₃-N için; % 21.6 ve TP için; % 28.5 verim değeri elde edilmiştir. Bu parametrelerin giderim mekanizmalarının esas olarak, filtrasyon ve anaerobik parçalama olduğu düşünölmektedir.

Birinci reaktörde arıtım, esas olarak filtrasyon ve askıda katı madde gideriminin bir sonucu olarak gerçekleşmiştir. Ekili bir sulakalan için arıtım, su bitkileri ve mikroorganizmaların simbiyotik faaliyetleri sonucu olmaktadır. Ancak birinci reaktör sadece dolgu malzemeleri ile oluşturulan bir sistem olduğundan arıtım filtrasyonla sınırlı kaldığından nütrient giderimi nispeten düşük olmuştur.

Organik madde ve toplam fosfor gideriminin büyük bir kısmı, askıda katı madde gideriminin bir sonucu olarak gerçekleşmiştir. Başka bir deyişle, giderilen organik madde ve nutrientlerin, askıda katı maddelerin bileşimleri olduğu ve anaerobik parçalama yoluyla giderimin az olduğu kabul edilmektedir.

Birinci reaktörde, TKN ve NH₃-N parametrelerin giderim mekanizmaları esas olarak, filtrasyon, anaerobik parçalama ve havalandırıcı kaskatta gerçekleşen nitrifikasyondur. TKN ve NH₃-N, kaskatta gerçekleşen nitrifikasyon yoluyla sırayla %24.6 ve %24.6 oranında giderilmiştir. İkinci aşamada ise havalandırıcı

kaskatın etkisi oldukça azalmıştır. İkinci aşamada, birinci reaktörde gerçekleşen TKN ve $\text{NH}_3\text{-N}$ giderimlerine nitrifikasyonun etkisi, sırasıyla % 1.6 ve % 3.3 oranında gerçekleşmiştir. Bunun, havalandırıcı kaskat uzunluğunun, bu hidrolik yükleme oranı için yetersiz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Birinci reaktör için, bekletme süresinin azaltılması, dolayısıyla hidrolik yükleme oranının artırılması, TP parametresi dışında, arıtım verimlerinin azalmasıyla sonuçlanmıştır. Yapay sulakalan sistemlerinde dolgu malzemelerinin, arıtım verimliliğine olan etkisinin, düşük hidrolik yükleme oranlarında daha fazla olduğu söylenebilir. TP giderim verimindeki farklılığın nedeni ise, yüksek hidrolik yükleme oranı ile çalışılan ikinci aşamada, reaktör giriş suyu toplam fosfor konsantrasyonunun, birinci aşamadakine nazaran daha fazla olması ve çıkış konsantrasyonunun her iki aşamada aynı olmasıdır. Birinci aşamada, TP giriş ve çıkış konsantrasyonu 1.78–1.55 mg / l iken, ikinci aşamada bu değerler sırasıyla 2.1–1.5 mg / l olmuştur.

Sonuç olarak, yapay sulakalanlarda, dolgu malzemelerinin, AKM ve AKM'ye bağlı organik madde gideriminde etkili olduğu, bunun yanında nutrient giderimindeki etkilerinin, ancak bu parametrelerin suda askıda katı madde olarak bulunan kısımları ile sınırlı olduğu görülmektedir.

Bir sucul bitki sistemi olarak dizayn edilen su mercimeği ile oluşturulan ikinci reaktörde, birinci aşamada, 11.4 gün hidrolik bekletme süresi ile çalışılmış ve AKM için; % 36, KOİ için; % 28.1, TKN için; % 80.2, $\text{NH}_3\text{-N}$ için; % 82.2 ve TP için; % 10.96 verim değerleri elde edilmiştir. İkinci aşamada ise, 5.7 günlük hidrolik bekletme süresi ile çalışılmış ve AKM için; % 52.2, KOİ için; % 45, TKN için; % 56, $\text{NH}_3\text{-N}$ için; % 68.4 ve TP için; % 13.3 verim değerleri elde edilmiştir.

Birinci aşama için, sistemden ortalama % 36 AKM giderimi elde edilmiştir. İkinci aşamada, hidrolik yükleme oranı arttırılmasına rağmen AKM giderimi ortalama % 52.2 oranında gerçekleşmiştir. KOİ için elde edilen sonuç ise birinci

aşamada, % 28.1, ikinci aşamada, % 45 olmuştur. Düşük organik yükleme oranları ile çalışıldığında bu sistemlerin KOİ giderim oranlarının düşük olacağı görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan su mercimeği sisteminin KOİ giderim veriminin, literatürde verilenlerle karşılaştırıldığında nispeten düşük olmasının nedeni, $\text{KOİ} / \text{NH}_4^+$ ilişkisinin uygun olmaması olabilir.

Hidrolik bekletme süresinin düşürülmesi, organik madde gideriminde gerçekleşen durumun tersine, TKN ve $\text{NH}_3\text{-N}$ gideriminde azalmaya neden olmuştur. Elde edilen giderim verimleri, literatürde verilen değerlere yakındır.

Elde edilen TP fosfor giderimlerinin, literatürde yayınlananlarla karşılaştırıldığında düşük olduğu görülmektedir. Fosfor gideriminin düşük ve sınırlı olmasının, büyük fosfor moleküllerinin mikrobiyal hidrolizlerinin yavaş gerçekleşmesinin, biyokütle gelişimini kısıtlayıcı etkisi olmasından kaynaklanıyor olabileceği düşünülmektedir. Çünkü, birinci aşamada giriş ve çıkış suyu konsantrasyonları, sırasıyla 1.55 ve 1.38 TP mg / l iken, ikinci aşamada bu değerler 1.50 ve 1.31 mg TP / l olmuştur. Görüldüğü gibi, ikinci aşamada yüzeysel yükleme oranının artırılmasına rağmen, çıkış suyu konsantrasyonu sabit kalmıştır. Başka bir ihtimalle, TP giderim verimlerinin düşük olmasının nedeni atıksuyun C/N/P oranının, uygun mikrobiyal gelişim ve su mercimeği için uygun olmamasıdır. Ancak, bu çalışma kapsamında, böyle bir araştırma yapılmamıştır

Sonuç olarak, su mercimeği ile oluşturulan arıtım sistemlerinin, ikincil ve ileri arıtım için uygun olduğu ve küçük yerleşimlerden, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bölgelerin atıksularını arıtan atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının ileri arıtımına kadar, geniş bir ölçekte uygulanabilir olduğu anlaşılmaktadır. İşletme maliyetlerinin düşük olması, bu sistemleri, gelişmekte olan ülkeler için uygun bir alternatif haline getirmektedir. Bununla birlikte, iklimsel koşullar, atıksu özellikleri gibi parametrelerin, bu sistemlerin arıtım mekanizmalarına olan etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, daha çok araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır.

Dünyanın bir çok yerinde atıksu arıtımı, atıksuyun yeniden kullanılabilmesi ve içme suyu havzalarındaki su kalitesini koruma amacıyla birçok araştırma ve uygulama çalışması arasından, inşası ve işletme maliyeti düşük, doğal mekanizmalar ile çalışan doğal arıtım sistemleri problemlerin çözümü için yaygın olarak kullanılan sistemlerden biridir.



KAYNAKLAR

APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water, and Wastewater, 18th ed., 1992.

Aquaculture Systems for Wastewater Treatment: Seminar Proceedings and Engineering Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-430/9-80-006, NTIS No. PB 81-156705, 1980.

Arceivala, S.V., "Wastewater Treatment for Pollution Control", Türkçe çev. Balman, A. H., Balman, V., McGraw-Hill Comp., ISBN 975-92817-08 New Delhi, 1996.

Ateş, N., Özesmi, U. "Atıksu Arıtımında Sulakalan Kullanımı", SKKD, Cilt11, sayı: 3, sh. 39-54, 2001.

Bavor, H.J., Roser, D.J., and McKersie, S., "Nutrient Removal Using Shallow Lagoon-Solid Matrix Macrophyte Systems", Reedy, K.R. and Smith, W.H. (Eds), Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery, Magnolia Publishing Inc, 227-235, 1987.

Bazua, C.D., Haberl, R., Keiner, I., Krishnan, R., and Luna-Pabello, V.M., "Artificial Wetlands: Viable Options for Rural, Suburban, and Urban Areas in Mexico City", 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, November 11-16, Florida, 2000.

Brix, H., "Wastewater Treatment in Constructed Wetlands: Systems Design Removal Processes and Treatment Performance", Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, pp: 9-22, Ed. Gerald A. Moshiri, Lewis Publishers, ISBN 0-87371-550, Florida, USA, 1993.

Brix, H., "Wastewater Treatment in Europe, Ed. Vymazal. J., Brix, H., Cooper, P.F., and Haberl, R., Backhuys Publishers, Netherlands, 1993.

Chan, E., Bursztynsky, T.A., Hatzsche, N.N., and Litwin, Y.J., The Use of Wetlands for Water Pollution Control. U.S. EPA Grant No. R-806357. 1981.

Chunca, J., and Shida, H. "Combination of Constructed Wetland System with Urban Garden Architecture", 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, November 11-16, Florida, 2000.

Crites, R.W., Reed, S.C., and Bastian, R.K., Land Treatment Systems for Municipal and Industrial Wastes. McGraw-Hill, Inc., New York, 2000.

Culley, D.D., and Ernest, A.E., "Use of Duckweed for Wastewater Treatment and Animal Feed", Water Pollution Control Vol. 45, No. 2, pp: 337-347, 1973.

Debusk, T.A. and Reddy, K.R., "Wastewater Treatment Using Floating Aquatic Macrophytes: Containment Removal Processes and Management Strategies", Aquatic plants for water treatment and Resource Recovery. Magnolia Publishing Inc., Orlando, FL, pp. 643-656, 1987.

Dobelmann, J.K., Müller, D.H., and Hahn, H.H., "Tropical Waterhyacinth in Constructed Wetlands as a Seasonal Water Treatment Possibility in a Moderate Climate Zones", 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, November 11-16, Florida, 2000.

Eifert, W.H., "Constructed Wetlands: An Overview of the Technology", Presentation For: Peconic River Remedial Alternatives, Roux Associates, INC. Environmental Services and Management Environmental Services and Management. 2000.

Flanagan, N.E., Mitsch, W.J., Beach, K., "Predicting Metal Retention in a Constructed Mine Drainage Wetland", Ecological Engineering, 3 (2), 135-159, 1994.

Freeman, R.J. Jr, Constructed Wetlands Experience in the Southeast, in Constructed Wetlands for Water Quality and Improvement, Chapter 6, G.A. Moshiri, ed., CRC Press, Boca Raton, FL. 1993.

Gabdois, L.E., "Environmental Feasibility of Using Wetlands to Treat Runoff Pollution", Proceedings of An International Symposium, Wetlands of the Great Lakes: Protection and Restoration Status of the Science, Kusler, Smardon, J.R., (Eds), 284-290, 1990.

Gearheart, R.A., and Finney, B.A., Utilization of Wetlands for Reliable Low-Cost Wastewater treatment – A pilot Project. Paper Presented to IV World Congress on Water Resources, at Buenos Aires, Argentina, September 5-9, 1982.

Gerhard, R., "The use of Free Water Surface Constructed Wetland as An Alternative Process Treatment Train to Meet Unrestricted Water Reclamation Standards", Water Science and Technology, 40 (4-5), 375-382, 1999.

Gopal, B., "Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment Potentials and Problems", Water Science and Technology, 40 (3), 27-35, 1999.

Haberl, R., "Constructed wetlands: A change to solve wastewater problems in development countries" water science and technology' Vol:40' No.3' pp/11-17' 1999.

Hantzche, N.N., "Wetland Systems for Wastewater Treatment: Engineering Applications", Ecological Consideration in Wetland Treatment of Municipal Wastewaters, Van Nostrand Reinhold Co., NY, pp. 7-25, 1985.

Hayes, T. D., Isaacson, H.R., Reddy, K.R., Chynoweth, D.P., and Biljetina, R., "Water Hyacinth Systems for Water Treatment", Reddy, K.R. and Smith, W.H. (Eds). Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery. pp. 121-139, 1987.

Husband, J. D., Martin, C.D., and Johnson, K.D., "A Review Of Constructed Wetland Treatment Technology For Industrial Wastewater Treatment", 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, November 11-16, Florida, 2000.

Hyde, H.C., and Ross, R.S., Technology Assessment of Wetlands for Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, EPA600/2-841154, NTIS No. PB 85-106896, 1984.

Internet 1: <http://www.action.gr/common/e-learning/bio/books/book3/>

Internet 2: <http://www.cevre.gov.tr/genelbilgiler/sulakalan.htm>

Internet 3: <http://www.cevreorman.gov.tr/sulak/sulakalan/sulaka.htm>

Kadlec, R.H., "Overview: Surface Flow Constructed Wetlands", Water Science and Technology, 32 (3), 1-2. 1995.

Kadlec, R., and Knight, R.L., "Treatment Wetlands", Lewis Publishers, ISBN 0-87374-930-1, Florida, USA, 1996.

Kruzic, A.P. "Natural Treatment Systems", Water Environmental Research, Vol: 66, No: 4, 1994.

Leslie, M., "Water Hyacinth Wastewater Treatment Systems: Opportunities and Constraints in Cooler Climates", U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/2-83-095, Washington D.C., 1983.

Metcalf and Eddy, Inc. "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse", 3rd Ed., McGraw-Hill, Inc., New York, NY, Ch. 13, 1991.

Miller, I.W.G., and Black, S. "Design and Use of Artificial Wetlands", Ecological Considerations in Wetland Treatment of Municipal Wastewaters, Van Nostrand Reinhold Co., NY, 26-37, 1985.

Mitsch, W.J., and Gosselink, J.G., "Wetlands", 2nd Edition, ISBN0-442-00805-8, 1993.

Müller, D. H., Coppik, K., and Coppik, L., "Innovations Concerning the Wastewater Treatment" 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, November 11-16, Florida, 2000.

Puckett, L.J., Woodside, M.D., Libby, B. and Schening, M.R., "Sinks for Trace Metals, Nutrients, and Sediments in Wetlands of The Chickahominy River Near Richmond, Virginia", *Wetlands*, 13 (2), 105-114, 1993.

Radoux, M., Cadelli, D., and Nemcova, M., "A comparison of Purification Efficiencies of Various Constructed Wetland Ecosystems (Aquatic, Semi-aquatic, and Terrestrial) Receiving Urban Wastewater", *Wetlands Ecology and Management*, 4, 207-217, 1997.

Reddy, K.R. and Tucker, J.C., "Productivity and Nutrient Uptake of Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes* L. Effect of Nitrogen Source", *Econ. Bot.* 37:237-247, 1983.

Reddy, K.R., and DeBusk, W.F., "Growth Characteristics of aquatic Macrophytes Cultivate Nutrient-Enriched Water. Water Hyacinth, Water Lettuce, and Pennywort", *Econ. Bot.* 38:225-235, 1984.

Reed, S.C., Bastian, R.K., Jewell, W., "Assessment of Aquaculture Systems for Wastewater Treatment: An Overview", *Aquaculture Systems for Wastewater Treatment: Seminar Proceedings and Engineering Assessment*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430/9-801006, NTIS No. PB 81-156705, 1-12, 1979

Reed, S.C., and Bastian, R.K., *Aqua Culture Systems for Wastewater Treatment and Engineering Assessment*. U.S. EPA Office of Water Program Operation EPA/430/9-80-0007, 1980.

Reed, S.C., and Bastian, R.K., "Wetlands for Wastewater Treatment: An Engineering Perspective", *Ecological Considerations in Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*, Van Nostrand Reinhold, NY, 445-450, 1985.

Reed, S.C. Middlebrooks, E.J., and Crites, R.W., *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, McGraw-Hill Book Co., NY, 1987.

Reed, S.C., "Natural Systems for Wastewater Treatment", WPCF, ISBN 0-9432-44-31-5, Alexandria, VA, USA, 1990.

Russell, R.C., "Constructed Wetland and Mousquitoes: Health Hazards and Management Options-An Australian Perspective", *Ecological Engineering*, 12, 107-124, 1999.

Simpson, R.L., Good, R.E., Walker, R. and Frasco, B.R., "The Role of Delaware River Freshwater Tidal Wetlands in the Retention of Nutrients and Heavy Metals", *Journal of Environmental Quality*, 12(1), 4148, 1983.

Stephenson, M., Turner, G., Pope, P., Colt, J., Knight, A., and Tchobanoglous, G., Publication No. 65, *The Use and Potential of Aquatic Species for Wastewater Treatment*. Pb. by California State Water Resources Control Board, 1980.

Stowell, R., Tchobanoglous, G., Colt, J. and Knight, A., "The Use of Aquatic Plants and Animals for the Treatment of Wastewater", *Departments of Civil Engineering and Land, Air, and Water Resources*, University of California, Davis, 639-645, 1979

Stowell, R., Ludwig, R., Colt, J., and Tchobanoglous, G., "Toward the Rational Design of the Aquatic Treatment Systems". Presented at the American Society of Civil Engineers, Spring Convention, Portland, OR. 1980.

Stowell, R., Weber, S., Tchobanoglous, G., Wilson, B., and Townzen, K., "Mosquito considerations in the Design of Wetland Systems for the Treatment of Wastewater", *Department of Civil Engineering*, University of California, Davis, California, and *Vector Biology Control Branch*, California State Department of Health Services, Sacramento, CA, 1982.

Stowell, R., Ludwig, R., Colt, J. and Tchobanoglous, G., "Concepts in Aquatic Treatment System Design", Journal of Environmental Engineering Division, Proceedings ASCE, vol. 57, no. 7, 1985.

Tchobanoglous, G., "Aquatic Plant Systems for Wastewater Treatment: Engineering Considerations", Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery, Magnolia Publishing, Inc., Orlando, FL, pp.27-48, 1987.

Tchobanoglous, G., Maitski, F., Thomas, K., and Chadwick, T.H., "Evaluation and Performance of City of San Diego Pilot Scale Aquatic Wastewater Treatment System Using Water Hyacinth", Presented at the 60th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation, Philadelphia, PA. October 5-8, 1987.

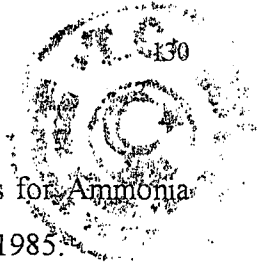
US. EPA: Design Manual for Constructed Wetlands and Floating Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, EPA 625/1-88-022, Cincinnati, OH, September 1988.

Verhoeven, J.T.A., and Meuleman, A.F.M., "Wetlands for Wastewater Treatment: Opportunities and Limitations", Ecological Engineering, 12, 5-12. 1999.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., and Haberl, R. "Removal Mechanism and Types of Constructed Wetlands", Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe, Ed. Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., and Haberl, R., Backhuys Publishers, Netherlands, 1998.

Vymazal, J., "Czech Republic", Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe, Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., and Haberl, R., Backhuys Publishers, Netherlands, 1998.

Wallace, S., Parkin, G., and Cross, C., "Cold Climate Wetlands: Design and Performance", 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, November 11-16, Florida, 2000.



Weber, A.S. and Tchobanoglous, G., "Rational Design Parameters for Ammonia Conversion in Water Hyacinth Treatment Systems", JWPCF 57:316-323, 1985.

Wetzel, R. G., "Wetlands As Metabolic Gates" International Association Great Lakes Research, 18 (4), 592-532, 1992.

Wile, I., Miller, G., and Black, S., Design and Use of Artificial Wetlands, Ecological Considerations in Wetland Treatment of Municipal Wastewaters, Van Nostrand Reinhold Co., NY, pp. 26-37, 1985.

Wile, I., Miller, G., and Black, S., "Design and Use of Artificial Wetlands", Ecological Considerations in Wetland Treatment of Municipal Wastewaters, Van Nostrand Reinhold, NY, 26-37, 1985

Yang, Y., Zhencheng, X., Kangping, H., Junsan, W., and Guizhi, W., "Removal Efficiency of Costructed Wetland Wastewater Treatment System at Bainikeng, Shenzhen", Water Science And Technology, 32 (3), 31-40, 1995.

Zirschky, J., "Basic Design Rational for Artificial Wetlands", ERM-Southeast, Inc, prepared for USEPA RSKERL, Ada, OK, 1986.



ÖZGEÇMİŞ

Öznur Çağlar 14.05.1979'da Bursa'da doğmuştur. İlk öğretim ve liseyi tamamladıktan sonra 1996 yılında Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başlamış ve 2000 yılında bu bölümden mezun olmuştur. Halen G.Y.T.E. Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimlerine devam etmektedir.

