

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YATAY YÜZEY ALTI AKIŞLI YAPAY SULAK ALAN SİSTEMLERİNİN
KULLANILARAK STABİLİZASYON HAVUZU ÇIKIŞINDAN ALG
GİDERİLMESİ VE ÇIKIŞ SUYU KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Hale URUŞ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2013**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YATAY YÜZEY ALTI AKIŞLI YAPAY SULAK ALAN SİSTEMLERİNİN
KULLANILARAK STABİLİZASYON HAVUZU ÇIKIŞINDAN ALG
GİDERİLMESİ VE ÇIKIŞ SUYU KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Hale URUŞ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2013**

Yrd. Doç. Dr. Güzel YILMAZ danışmanlığında, Hale URUŞ 'un hazırladığı “Yatay Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulak Alan Sistemlerinin Kullanılarak Stabilizasyon Havuzu Çıkışından Alg Giderilmesi ve Çıkış Suyu Kalitesinin İyileştirilmesi” konulu bu çalışma 13/09/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Güzel YILMAZ

Üye : Doç. Dr. Erkan ŞAHİNKAYA

Üye : Prof. Dr. Sinan UYANIK

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

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma TÜBİTAK (Proje No: 110Y014) tarafından desteklenmiştir.

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Doğal Arıtım	6
1.1.1. Doğal arıtma sistemlerinin uygulamalarındaki temel hususlar	7
1.2. Stabilizasyon Havuzları	13
1.2.1. Anaerobik stabilizasyon havuzu	16
1.2.2. Fakültatif stabilizasyon havuzu	16
1.2.3. Aerobik stabilizasyon havuzu	18
1.2.4. Olgunlaştırma havuzları	18
1.3. Sulak Alanlar	18
1.3.1. Doğal sulak alanlar	19
1.3.2. Yapay sulak alanlar	20
1.4. Yapay sulak alanlarda bitki toplulukları	36
1.5. Abiyotik Faktörler ve Sulak Alanlar Üzerindeki Etkileri	43
1.6. Yapay Sulak Alanlarda Kirlilik Giderim Mekanizmaları	45
1.6.1. Sulak alan azot prosesleri	46
1.6.2. Fosfor giderimi	48
1.6.3. Askıdaki katılar	49
1.6.4. Patojen giderimi	49
1.7. Yapay Sulak Alanların Bölgeleri, Bileşenleri ve Tasarım Kriterleri	50
1.7.1. Hidroloji	51
1.7.2. Topoğrafya	51
1.7.3. Toprak	52
1.7.4. Sel riski	52
1.7.5. Mevcut arazi kullanımı	53
1.7.6. İklim	53
1.7.7. Uygulanan ön arıtma	53
1.7.8. Bitki örtüsü seçimi ve yönetimi	54
1.7.9. Dizayn parametreleri	54
1.8. Yapay Sulak Alan Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	61
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	63
3. MATERYAL ve METOT	68
3.1. Osmanbey Atıksu Arıtma Tesisi ve Gerçek Ölçekli Stabilizasyon Havuzunun Tanıtılması	68
3.2. Çalışma Bünyesinde Kullanılan Pilot Ölçekli YYAYSA Sisteminin Tanıtılması	73
3.3. Atıksu Analiz Yöntemleri	81
3.4. Sistem İşletim Koşulları	82
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	83
4.1. Yapay Sulak Alan Giriş ve Çıkışında pH, Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijen Değişimleri	83
4.2. Yapay Sulak Alan Sisteminde Toplam KOİ ve Çözünmüş KOİ Giderim Verimleri	87
4.3. Yapay Sulak Alan Sisteminde Askıda Katı Madde ve Uçucu Askıda Giderim Verimleri	91
4.4. Yapay Sulak Alan Sisteminde Azot Giderim Verimleri	92
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	96
5.1. Sonuçlar	96
5.2. Öneriler	97
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	102
EKLER	103

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YATAY YÜZEY ALTI AKIŞLI YAPAY SULAK ALAN SİSTEMLERİNİN KULLANILARAK STABİLİZASYON HAVUZU ÇIKIŞINDAN ALG GİDERİLMESİ VE ÇIKIŞ SUYU KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Hale URUŞ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Güzel YILMAZ
2013, Sayfa: 112

Atıksu artımında kullanılan stabilizasyon havuzları, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve koliform giderimi bakımından etkin bir arıtım sağlarken, çıkış suyu kalitesi açısından, yüksek alg ve askıda katı maddeye sahiptirler. Yılın bazı aylarında AKM konsantrasyonu 100 mg/L' yi geçer. Bu aşırı alg ve askıda katı maddenin alıcı ortamda kirlilik oluşturmamaları için giderilmesi gereklidir. Alg yoğunluğu yüksek olan stabilizasyon havuzu çıkış suları, bu suların tarımsal amaçlı kullanımına ihtiyaç duyulan bölgeler açısından çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre 24 saatlik Kompozit numune sınır değerler (Tablo 21.5. Evsel Nitelikli Atıksular* (Eşdeğer Nüfusun Ne Olduğuna Bakılmaksızın Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan) ve Stabilizasyon Havuzları Sistemiyle Biyolojik Arıtma Yapan Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri İçin)) KOİ ve AKM sırasıyla 120 mg/L ve 150 mg/L olarak belirlenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi stabilizasyon havuzlarının yaygın olarak kullanıldığı bölgeler için aynı sorunların yaşanmaması açısından yapılan çalışmanın bir ışık tutması beklenmektedir. Yapılan bu çalışma ile özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi sıcak iklime sahip yerleşim yerlerinde sıkça kullanılan stabilizasyon havuzlarının çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bilindiği üzere stabilizasyon havuzu çıkışında bulunan ve çökemeyen algler damla sulama sistemlerinde tıkanma problemlerine neden olmaktadır. Yüksek alg ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) içeriği nedeniyle stabilizasyon havuzu çıkış sularının tarımsal sulamada kullanılamaması veya sadece bazı ürünlerin sulanmasına izin verilmesi bu sistemin iyileştirmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda inşa edilen Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan sistemi 320 gün süresince işletilmiş olup sistemin verimliliği denenmiştir. YYAYSA sistemin kurulum ve işletimi ucuz bir sistem olması, sistemin uygulanabilirliği açısından en önemli avantajıdır. Sisteminin en önemli dezavantajı ise tıkanma problemidir. Gerçekleştirilen bu çalışmada; YYAYSA sistemi bir yıl boyunca yüksek miktarda askıda katı madde içeren atıksu ile beslenmiştir. Çalışma neticesinde YYAYSA Sistemin yüksek miktarda alg içeren stabilizasyon havuzu çıkış suyu kalitesinin iyileştiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca sistemin olası muhtemel tıkanma probleminin gözlemlenmemiş olması oldukça önemli bir noktadır. Sistemi işletmeye 40 L/m².gün hidrolik yük ile başlanılmış olup, 100 L/m².gün hidrolik yüke kadar çıkılarak sistem performansı değerlendirilmiştir. YYAYSA Sistemine giriş Toplam KOİ ve Çözünmüş KOİ sırasıyla ortalama 233±130 mg/L ve 116±78 mg/L olarak ölçülmekte iken, çıkışta sırasıyla 73±54 mg/L ve 62±51 mg/L olarak ölçülmüştür. Toplam azot miktarı ise giriş ve çıkışta sırasıyla 8.2±3 mg/L ve 3.4±1,8 mg/L olarak gözlemlenmiştir. Çalışmanın asıl amacını teşkil eden olan AKM ve UAKM analiz sonuçları ise sırasıyla giriş değerleri ortalama 100±68 ve 106±83 mg/L iken çıkış değerleri ise ortalama 9±5 ve 10±5 mg/L olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yapılan bu çalışma kuruluş amacına ulaşmış olup, Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi arıtılmış suyun tarımsal amaçlı kullanımına ihtiyaç duyulan bölgelerde uygulanabilirliği açıkça ortaya konmuştur. Pilot ölçekli gerçekleştirilen bu çalışmanın gerçek ölçekli uygulanabilmesine yönelik başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Yapay Sulak Alan, Stabilizasyon Havuzu, Alg, AKM, KOİ

ABSTRACT

MSc Thesis

ALGAE REMOVAL FROM DOWNSTREAM OF STABILIZATION POND AND IMPROVEMENT OF EFFLUENT QUALITY BY USING HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND SYSTEMS

Hale URUŞ

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

Supervisor: Assist. Prof. Güzel YILMAZ
2013, Page: 112

While stabilization ponds used in the wastewater environment provide an effective medium in terms of biochemical oxygen demand and removal of coliform, from the point of effluent quality, they have high amount of algae and suspended solid (SS). In some months of year, SS concentrations exceeds 100 mg/L. These excessive algae and suspended solids should be removed so that they do not create a pollution in receiving environment. Stabilization pond effluents, whose algae densities are high, cause a variety of problems in terms of areas, where these waters are needed to be used as agricultural purposed. According to Water Pollution Regulation, composite sample limit values for 24 hours of chemical oxygen demand (COD), and SS (Table 21.5 Domestic Quality Wastewaters* (for the plants making biological treatment with natural treatment (constructed wetland) and stabilization pond system without regarding to what equivalent population is.)) were determined as 120 mg/L and 150 mg/L, respectively. For the regions, like Southeast Anatolia, where stabilization ponds are widely used, in terms of not experiencing the same problems, the study carried out is expected to shed light on this matter. With this study carried out, it is aimed to improve the water quality of stabilization ponds which are often used in some settlements, especially such as Southeast Anatolia Region with warm climate, As known, the algae, which are present at the effluent of stabilization and cannot precipitate, cause a plugging problem in drip irrigation systems. Due to the content of high algae and chemical oxygen demand (COD), the fact that the effluents of stabilization ponds cannot be used in agricultural irrigation or that only some products are allowed to be used released that this system should be improved. Horizontal subsurface flow constructed wetland system (HSFCWS) built in this context was operated for 320 days and efficiency of system was tested. That installing and operating HSFCWS system is cheap and easy is a major advantage in terms of applicability of the system. The most important disadvantage of system is plugging problem. In this study realized, HSFCWS system was fed with wastewater containing high amount of suspended solid during one year. As a result of the study, it was concluded that, in HSFCWS system, effluent quality of stabilization pond containing high amount of algae improved. In addition, possible plugging problem of the system becomes unsolved is a highly important point. Operating of the system was started with a hydraulic load of 40 L/m².day and raising it to 100 L/m².day, system performance was assessed. While total COD and dissolved COD in the inlet to HSFCWS system was measured as average 233 ± 130 mg/L and 116 ± 78 mg/L, respectively, these values were measured as 73 ± 54 mg/L and 62 ± 51 mg/L at the outlet, respectively. Total amount of nitrogen were observed as 8.2±3 mg/L and 3.4±1,8 mg/L at the inlet and outlet, respectively. For the result of SS and VSS (Volatile Suspended Solid) analyses, while the inlet values were average 100 ± 68 mg/L and 106 ± 83 mg/L, respectively, the outlet values were identified as average 9 ± 5 mg/L and 10 ± 5 mg/L, respectively. As a conclusion, this study carried out reached its foundation aim and its applicability in the regions, like Southeast Anatolia, where treated water is needed to use for agricultural purpose, was clearly introduced. In this study, realized as pilot scaled, successful results were obtained toward being able to apply in real scale.

KEYWORDS: Constructed Wetland, Stabilization Pond, Algae, SS, COD

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım süresince bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Güzel YILMAZ'a, analiz sonuçlarımın yorumlanmasında tez sürecime önemli katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Sinan UYANIK ve Sayın Doç.Dr. Erkan ŞAHİNKAYA'ya; gerek laboratuvar çalışmalarımda gerekse dostluklarıyla destek olan sevgili meslektaşlarım Çevre Mühendisi Hasan Ali EMGİN, Nesrin DURSUN ve Adem KILIÇ'a, Arş. Gör. İbrahim UYANIK'a, tezim süresince yardımlarını ve manevi desteğini benden esirgemeyen sevgili Yücel ŞAHİNKAYA'ya ve bütün eğitim hayatım boyunca maddi-manevi her türlü desteği benden esirgemeyen sevgili aileme teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, yapılan çalışmaya maddi destek verdiği için TÜBİTAK'a (Proje No: 110Y014) teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1.Aritma tesisleri.....	7
Şekil 1.2.Doğal arıtma sistemlerinde azot dönüşümü (çon: çözünebilir organik azot).....	10
Şekil 1.3.Stabilizasyon havuzlarında gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar.....	14
Şekil 1.4.Fakültatif stabilizasyon havuzlarında BOİ giderim yolları	17
Şekil 1.5.Yaygın sulu ortam bitkileri	19
Şekil 1.6.Doğal sulak alanlar.....	20
Şekil 1.7.Yapay sulak alanlarda bitki kök bölgesinde oluşabilecek etkileşimler	21
Şekil 1.8.Yüzey akışı ile acil makrofitlerin arıtma sistemi	24
Şekil 1.9.Serbest su yüzeyli inşa edilmiş bir sulak alanın ana bileşenleri	25
Şekil 1.10.Sydney, NWS, Avustralya yakınındaki orman sahasındaki yağmur suyu akışı için serbest su yüzeyli bir yapay sulak alan.....	26
Şekil 1.11.Monastery Run, Pennsylvania, ABD’de, bazik maden drenajlarının artırılması için kullanılan serbest yüzeyli yapay sulak alan (SYS).....	28
Şekil 1.12.Tipik bir yüzeyaltı akışlı sisteminin kesit alanı	29
Şekil 1.13.Yüzeyaltı yatay akışlı yapay bir sulak alanın şematik görünümü: 1 büyük taşlarla doldurulmuş içeri akış dağıtım bölgesi; 2 geçirimsiz tabaka; 3 filtrasyon malzemesi; 4 bitki örtüsü; 5 yataktaki su seviyesi; 6 dış akış toplama bölgesi; 7 boşaltma borusu; 8 su seviyesi ayarlanabilen dış akış yapısı.....	31
Şekil 1.14.Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alan akış yönü.....	32
Şekil 1.15.Phalaris arundinacea ve Iris pseudacorus’ un ekili olduğu Struhaşe’deki yüzeyaltı yatay akışlı yapay sulak alan	32
Şekil 1.16.Staverton’daki (İngiltere) yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan.....	33
Şekil 1.17.Tek bir hane halkı için dikey akışlı bir sistemin yerleşimi. Kaba lağım önce sedimentasyon tankında muamele edilir. Çöktürülen lağım, yatak yüzeyine elle kontrol edilen bir pompa tarafından darbe ile yüklenir. İşlenen atıksu bir drenaj boruları sisteminde toplanır ve atık suyun yarısı pompalama duvarına tekrar geri sirküle edilir.....	35
Şekil 1.18.Yüzeyaltı düşey akışlı yapay sulak alan akış yönü	36
Şekil 1.19.Typha latifolia Konya-İlgin ilçesi-Kapaklı Köyü dere yatağında çekilmiştir.....	38
Şekil 1.20.Phragmites australis (saz otu) Konya-İlgin ilçesi Çavuşçu Gölü kıyısında çekilmiştir....	39
Şekil 3.1.Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü’nde bulunan atıksu arıtma tesisinin şematik görünümü	69
Şekil 3.2.Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü’nde bulunan stabilizasyon havuzunun tanıtılması.....	69
Şekil 3.3.Osmanbey atıksu arıtma tesisi stabilizasyon havuzu	73
Şekil 3.4.Yüzeyaltı akışlı sistem giriş (a) ve çıkış (b) yapısı	74
Şekil 3.5.Pilot ölçekli YYAYSA kurulumu	74
Şekil 3.6.Watson Marlow Peristaltik Pompa ile sistemin beslenmesi.....	75
Şekil 3.7.YYAYSA’dan çıkış suyu alınması.....	76
Şekil 3.8.YYAYSA sistemine ait giriş ve çıkış su örnekleri	77
Şekil 3.9.Bitkilerin hasat öncesi ve sonrası görünümü.....	78
Şekil 3.10.Şanlıurfa’ da yağışların mevsimlere göre dağılımı.....	79
Şekil 4.1.Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında sıcaklık, pH ve oksijen konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi.....	86
Şekil 4.2.Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında toplam KOİ, çözünmüş KOİ, askıda katı madde ve uçucu toplam katı madde konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	89
Şekil 4.3.Toplam KOİ ve çözünmüş KOİ giderim verimlerinin zamanla değişimi	90
Şekil 4.4.Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında amonyum, nitrat ve toplam azot konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	94
Şekil 4.5. Yapay sulak alan sisteminde toplam azot giderim veriminin zamana bağlı değişimi.....	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Kıtaıçi su kaynaklarının sınıflarına göre kailte kriterleri.....	4
Çizelge 1.2. Havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzları için tasarım parametreleri	15
Çizelge 1.3. Evsel atıksuları arıtan farklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri	15
Çizelge 1.4. Ortalama hava sıcaklığına bağılı olarak organik yükleme hızları.....	17
Çizelge 1.5. Sulak alanlarda temel kirletici giderim mekanizmaları.....	22
Çizelge 1.6. SYS’lerde hedef atık su çıkış konsantrasyonuna erişmek için tavsiye edilen yükleme oranları	26
Çizelge 1.7. Serbest yüzeyli yapay sulak alanlarda hedef atık su çıkış konsantrasyonuna erişmek için tavsiye edilen yükleme oranları	27
Çizelge 1.8. Çeşitli atıksu tiplerinde serbest yüzeyli yapay sulak alanların kullanım örnekleri	28
Çizelge 1.9. Çeşitli tiplerdeki atık sular için YYAYSA’ların kullanım örnekleri.....	33
Çizelge 1.10. Yapay sulakalanlar için tipik boyutlandırma değerleri	54
Çizelge 1.11. Yüzey altı akış sistemleri için tipik ortam karakteristikleri	58
Çizelge 3.1. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü nüfus tahminleri	70
Çizelge 3.2. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü 2010 güz dönemi atıksu debi tahmini.....	70
Çizelge 3.3. Osmanbey Kampüsü 2010 yaz dönemi atıksu debi tahmini.....	71
Çizelge 3.4. Arıtma tesisine gelecek atıksuyun kirlilik parametreleri.....	71
Çizelge 3.5. Evsel atıksuyun tipik özellikleri	71
Çizelge 3.6. Osmanbey Kampüsü atıksularının özellikleri.....	72
Çizelge 3.7. YYAYSA sistemi hidrolik yükleme hızları	76
Çizelge 3.8. Uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama sıcaklık değerleri	79
Çizelge 3.9. Şanlıurfa iline ait uzun yıllar güneşlenme süresi	80
Çizelge 4.1. Yapay sulak alan sistemine ait ortalama performans verileri	90
Çizelge 4.2. Su kirliliğı kontrol yönetmeliğine göre sınır değerler (Tablo 21.5. Evsel Nitelikli Atıksular*(eşdeğer nüfusun ne olduğuna bakılmaksızın doğal arıtma (yapay sulak alan) ve stabilizasyon havuzları sistemiyle biyolojik arıtma yapan kentsel atıksu arıtma tesisleri için))	91

SİMGELER DİZİNİ

AKM	: Askıda Katı Madde
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TKOİ	: Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOC	: Toplam Organik Karbon
TKM	: Toplam Katı Madde
TN	: Toplam Azot
N	: Azot
NO ₂ -N	: Nitrit Azotu
NO ₃ -N	: Nitrat Azotu
NH ₄ -N	: Amonyum Azotu
YAS	: Yüzeyaltı Akışlı Sulak Alan Sistemi
SYS	: Serbest Yüzeyle Yapay Sulakalan Sistemi
YYAYSA:	Yüzeyaltı Yatay Akışlı Yapay Sulak Alan Sistemi
YDAYSA:	Yüzeyaltı Düşey Akışlı Yapay Sulak Alan Sistemi
PE	: Population Equivalent (Nüfus Eşdeğeri)

1. GİRİŞ

Kirlilik genellikle kaynak tüketimi neticesinde meydana gelen, kontrol altına alınması ve giderilmesi gereken bir unsurdur. Kamuoyu tarafından kabul gören herhangi bir arıtma sisteminin, sürdürülebilir bir sonucu olması önemli unsurlardan biridir. Bu nedenle, tasarımcılar özellikle onu kullanılacak olan insanların desteğini kazanmak için elde edilebilecek yararları açıkça ortaya koyan bir plan oluşturmalarıdır.

Maliyet-Fayda, düşük enerji girişi, çevresel hizmetlerin sağlanması, rekreasyon ve eğitim, ekonomik kalkınma gibi faydaları topluma bildirilmelidir. Topografya ve doğal özelliklerin kullanımı, düşük maliyet ve minimum malzeme kullanımını sağlayacaktır. Çevrenin sorumlu hizmetkârları olarak bilinen doğal bir atıksu arıtım sistemine yatırım yapmak doğal dengenin sürdürülebilirliği ile yakından ilgili olduğunu söylemek mümkündür. Sürdürülebilir atıksu arıtımı sağlayan bu doğal sistemler özellikle kırsal alanlar için oldukça ideal arıtma sistemleridir (IWA, 2011).

Herhangi belli bir proje için arıtma sisteminin işletim sınırları mümkün olduğunca çok açıdan değerlendirilmelidir. Bu sınırlamalar sadece fiziksel koşullar değil, aynı zamanda sosyal, kültürel gibi görünmez koşulları da kapsmalıdır. Tesisler planlanırken zaten toplumda var olan yapılı çevre ile birlikte değerlendirilmelidir. En yararlı arıtma sistemi uzun bir süre için çalışan ve fonksiyonel olabilen arıtma sistemidir. Stabilizasyon havuzları bu anlamda evsel atık su arıtımında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bunun ana nedeni stabilizasyon havuzlarının ekonomik ve kolay işleme sahip olmalarıdır. Ancak özellikle sıcak yaz aylarında stabilizasyon havuzu çıkış suyunda yüksek alg konsantrasyonundan dolayı alıcı ortamda istenmeyen durumlar meydana gelmekte ve alıcı ortamda çürüyen alglar oksijen tüketimine neden olmaktadır. Yüksek alg ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) içeriği nedeniyle stabilizasyon havuzu çıkış sularının tarımsal sulamada kullanılamaması veya sadece bazı ürünlerin sulanmasına izin verilmesi bu sistemin iyileştirmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu amaçla, stabilizasyon havuzu çıkış sularının iyileştirilmesi için yine işletimi kolay ve ekonomik bir sistem olan yapay sulak sistemleri kullanılmaktadır.

Yapay Sulak alanlar, ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendi kendini yenileyebilme kapasitesine sahiptirler. 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. Çevredeki doğal malzeme kullanılarak ihtiyaç büyüklüğünde hazırlanan havuzlarda atık suyun filtre edilmesi, yetiştirilen sulak alan bitkileri ve filtre ortamındaki mikroorganizmalarla suyun arıtılması esasına dayanan bu sistem, doğal yapının küçük taklitleridir.

Türkiye’de Sulama sisteminin kıt olduğu yerlerde, ayrıntıların su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde verilen su kalitesi göstergelerine sahip, sulama standartlarını karşılayan atık suyun kullanılması tavsiye edilmektedir. Arıtılmış atıksu, bu göstergelere göre, sulamada kullanım için değerlendirilmektedir. Göstergeler, toplam çözülmüş katı konsantrasyonu ve elektrik iletkenliği, diğer tuzlarla bağlantılı sodyum konsantrasyonu, bor konsantrasyonları, ağır metaller ve diğer zehirli maddeler, kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları, toplam katılar, organik maddeler, yağ, gres ve patojenik mikroorganizmalar gibi organik maddeler ve yüzer maddeler olarak düzenlenebilirler. Kıta içi su kaynaklarının, parametrelerin aralığı bazında, yüksek kaliteden bir hayli kirliye kadar değişen dört tip su kalitesi (Bakınız, Çizelge 1.1) sınıflandırılmıştır (Çakmak ve Apaydin, 2010).

Sulama amaçları için arıtılan belediye suyunu güvenli bir şekilde yeniden kullanmak amacıyla, arazi kullanımı ekolojisiyle bağlantılı olan tüm kimyasal, jeolojik, jeokimyasal, çevresel ve halk sağlığıyla ilgili parametrelerin göz önüne alınması gerekmektedir. Arıtma tesislerinden gelen belediye atık suyunun güvenli kullanımı için temel konu, çevresel nedenlerle, onların suyun olduğu alıcı ortamlara (çatlaklar, nehirler, göller, denizler) atılmasının önlenmesidir (Kalavrouziotisa ve Apostolopoulos, 2007).

Su temini ve deşarj sorumluluğu, kasabalarda belediyelere ve köylerde köy kanununa göre köy ihtiyar heyetine verilmiştir. (Sular hakkında 831 sayılı kanunun 1 ve 4. maddeleri). Kurumlar, örgütler ve işletmeler yasayla kendi atık su arıtma

tesislerini kurmaya zorlanmışlardır (2872 sayılı Çevre Kanununun 11. maddesi). Bu amaçla, kurumlar, örgütler ve işletmelerin hiç bir risk veya zarar olmaksızın, atık su arıtma, atma ve deşarj için yukarıda belirtilen sorumlu otoritelerle ortak önlemler almaları gerekmektedir. Bu konunun, yönetmeliklerle düzenleneceği belirtilmiştir. Kontroller Çevre Genel Müdürlüğü tarafından yapılacaktır (Doğrusöz, 1997; Zaimoğlu ve Bagatur, 2001). Çevre Genel Müdürlüğü tarafından yapılacak kontrollerin temelini oluşturan temel bir yönetmelik vardır. Bu yönetmeliğin 25. Maddesine göre, atık suyun kanalizasyon sisteminin olduğu yerlerde şebekeye bağlanması gerekmektedir. Aynı yönetmeliğin 28. Maddesine göre, yetersiz sulama suyu temininin olduğu yerlerde, atık sudan sulamada faydalanma uygulamalarının desteklenmesi gerekmektedir. Bu çerçevede 7 Ocak 1991 tarih ve 20748 sayılı resmi gazetede, Su Kirliliği Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği yayımlanmıştır. Atık sudan faydalanma, bu teknik bildirim 46. maddesinde aşağıdaki maddelerle belirtilmiştir. Türkiye’de evsel atık suları yeniden kullanmak için hâlihazırda yönetmelikleri değiştirmek veya diğer bir deyimle, özellikle büyük şehirlerde olmak üzere, evsel atık suları yeniden kullanmak gereklidir (Zaimoğlu ve Bagatur, 2001).

Atıksuların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler şunlardır (SKKY TEKNİK USULLER TEBLİĞİ, 1991);

- ✓ Suyun içindeki çözülmüş maddelerin toplam konsantrasyon ve elektriksel iletkenlik
- ✓ Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- ✓ Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu,
- ✓ Bazı şartlarda Ca^{++} ve Mg^{++} iyonlarının toplam konsantrasyonu,
- ✓ Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen madde miktarı,
- ✓ Patojen organizmaların miktarı,

Çizelge 1.1. Kıtaiçi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (SKKY, 1991)

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFLARI			
	I	II	III	IV
A) Fiziksel ve inorganik- kimyasal Parametreler				
Sıcaklık (°C)	25	25	30	> 30
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0 dışında
Çözünmüş oksijen (mg O ₂ /L) ^a	8	6	3	< 3
Oksijen doygunluğu (%) ^a	90	70	40	< 40
Klorür iyonu (mg Cl ⁻ /L)	25	200	400 ^b	> 400
Sülfat iyonu (mg SO ₄ ⁻ /L)	200	200	400	> 400
Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)	0.2 ^c	1 ^c	2 ^c	> 2
Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/L)	0.002	0.01	0.05	> 0.05
Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	5	10	20	> 20
Toplam fosfor (mg P/L)	0.02	0.16	0.65	> 0.65
Toplam çözünmüş madde (mg/L)	500	1500	5000	> 5000
Renk (Pt-Co birimi)	5	50	300	> 300
Sodyum (mg Na ⁺ /L)	125	125	250	> 250
B) Organik parametreler				
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	25	50	70	> 70
Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) (mg/L)	4	8	20	> 20
Toplam organik karbon (mg/L)	5	8	12	> 12
Toplam kjeldahl-azotu (mg/L)	0.5	1.5	5	> 5
Yağ ve gres (mg/L)	0.02	0.3	0.5	> 0.5
Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri (MBAS) (mg/L)	0.05	0.2	1	> 1.5
Fenolik maddeler (uçucu) (mg/L)	0.002	0.01	0.1	> 0.1
Mineral yağlar ve türevleri (mg/L)	0.02	0.1	0.5	> 0.5
9) Toplam pestisid (mg/L)	0.001	0.01	0.1	> 0.1
C) İnorganik kirlenme parametreleri ^d				
Civa (µg Hg/L)	0.1	0.5	2	> 2
Kadmiyum (µg Cd/L)	3	5	10	> 10
Kurşun (µg Pb/L)	10	20	50	> 50
Arsenik (µg As/L)	20	50	100	> 100
Bakır (µg Cu/L)	20	50	200	> 200
Krom (toplam) (µg Cr/L)	20	50	200	> 200
Krom (µg Cr ⁺⁶ /L)	Ölçülmeyecek kadar az	20	50	> 50
Kobalt (µg Co/L)	10	20	200	> 200
Nikel (µg Ni/L)	20	50	200	> 200
Çinko (µg Zn/L)	200	500	2000	> 2000
Siyanür (toplam) (µg CN/L)	10	50	100	> 100
Florür (µg F ⁻ /L)	1000	1500	2000	> 2000
Serbest klor (µg Cl ₂ /L)	10	10	50	> 50
Sülfür (µg S ⁻ /L)	2	2	10	> 10
Demir (µg Fe/L)	300	1000	5000	> 5000

Çizelge 1.1. (devam)

Mangan ($\mu\text{g Mn/L}$)	100	500	3000	> 3000
Bor ($\mu\text{g B/L}$)	1000 ^e	1000 ^e	1000 ^e	> 1000
Selenyum ($\mu\text{g Se/L}$)	10	10	20	> 20
Baryum ($\mu\text{g Ba/L}$)	1000	2000	2000	> 2000
Alüminyum (mg Al/L)	0.3	0.3	1	> 1
Radyoaktivite (pCi/L)				
alfa-aktivitesi	1	10	10	> 10
beta-aktivitesi	10	100	100	> 100
D) Bakteriolojik parametreler				
Fekal koliform(EMS/100 mL)	10	200	2000	> 2000
Toplam koliform (EMS/100 mL)	100	20000	100000	> 100000

- (a) Konsantrasyon veya doygunluk yüzdesi parametrelerinden sadece birisinin sağlanması yeterlidir.
- (b) Klorüre karşı hassas bitkilerin sulanmasında bu konsantrasyon limitini düşürmek gerekebilir.
- (c) pH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonu $0.02 \text{ mg NH}_3\text{-N/L}$ değerini geçmemelidir.
- (d) Bu gruptaki kriterler parametreleri oluşturan kimyasal türlerin toplam konsantrasyonlarını vermektedir.
- (e) Bora karşı hassas bitkilerin sulanmasında kriteri $300 \mu\text{g/L}$ 'ye kadar düşürmek gerekebilir.

Bu çalışma ile özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi sıcak iklime sahip yerleşim yerlerinde sıkça kullanılan stabilizasyon havuzlarının çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Stabilizasyon havuzu çıkışında askıda bulunan ve çökemeyen algler damlama sulama sistemlerinde tıkanma problemlerine neden olmaktadır. Arıtılmış suyun bu bölgelerde tarımsal kullanımına duyulan ihtiyaç ve daha sıkı desarj standartlarının karşılanabilmesi için stabilizasyon havuzları çıkış suları kalitesinin iyileştirilmesi şarttır. Bu bağlamda çalışmanın amacı, stabilizasyon havuzu çıkışında yüksek konsantrasyonlarda bulunan alglerin giderilmesi amacıyla inşası ve işletimi ucuz bir sistem olan yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanların (YYAYSA) performansının değerlendirilmesidir. Ve bu çalışmanın neticesinde özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi sıcak iklime sahip yerler için bu sistemin uygulanabilirliği açıkça ortaya konulmasıdır.

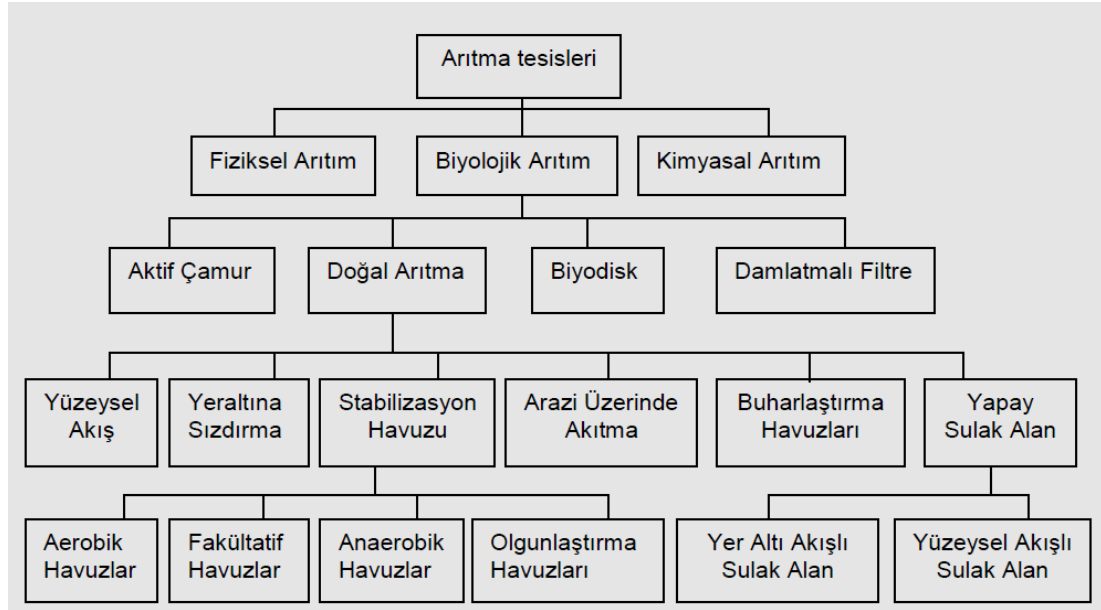
1.1. Doğal Arıtım

Doğal arıtma, doğal ortamlardaki; fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sonucu kirletici maddelerin tutulması veya dönüştürülmesini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Bu sürece, bitkiler fotosentez ile oksijen sağlayarak ve bazı kirleticileri bünyesine alarak toprak, çakıl vb. ortam malzemeleri de filtrasyon, adsorpsiyon gibi prosesler ile katkıda bulunurlar. Ayrıca ortam malzemesi yüzeyinde oluşan biyofilm tabakasında da organik madde giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon gerçekleşir.

Doğal ekosistemlerin taklit edilmesiyle tasarlanmış, mühendislik ürünü arıtma sistemleri, çevresel sağlamlığının yanı sıra etkinliği sebebiyle de (Reed ve ark.1995; Crites ve ark. 1998), giderek dünya çapında daha popüler hale gelmektedir. Ayrıca doğal arıtma sistemleri konvansiyonel arıtma sistemlerinin tersine estetik görünüşleri nedeniyle de tercih edilmektedirler. Doğal arıtma sistemleri arasından, sulak alanlar yaygın olarak tercih edilen sistemlerdir (web 1).

Atık su arıtma işlemlerinin amacı, gelişmiş ülkelerde, tüm kirleticileri (patojenler, organik ve inorganik kimyasallar) ortadan kaldırmak iken, gelişmekte olan ülkelerde, suyla taşınan hastalıkların yayılmasını önlemek ve patojenlerin kontrolü altına almak suretiyle halk sağlığını korumaktır (Carr, 2005). Gelişmekte olan ülkelerde, bu amaçlara erişmede, atık su stabilizasyon havuzlarının performansı, birçok durumda tatmin ediciymiş gibi görünmektedir. 180–500 kg'lık yükleme oranlarıyla, tropikal bölgelerdeki dönüm başına bir günlük biyolojik oksijen talebi (BOİ), BOİ 'nin giderilme verimleri, azot, fosfor ve indikasyon bakterileri sırasıyla, %75 – 90; %30 – 50; %20 – 60 ve %60 – 99 olarak belirlenmiştir. Doğru bir şekilde çalıştırılan ve dizayn edilen stabilizasyon havuzları, nerdeyse parazitlerin, bağırsak bakterilerinin ve virüslerin (%99) hepsinin giderilmesini başarabilir ve atık suyun kokmasını önleyebilmektedir. Stabilizasyon havuzu atık suları, daha fazla herhangi bir işlem yapmadan çevreye salınırlarsa, gidiş yolları üzerindeki yeri ve yüzey suyunu kirletebilirler ve onları içme ve diğer kullanımlar için güvensiz hale getirebilirler. Bu durumda, doğal sistemleri kullanan sulak arazi teknolojileri, su

kaynaklarına (arızlarına) nihai salımları öncesi atık sudan patojenlerin ve besinlerin daha iyi giderilmesini sağlayabilirler. Tropikal alanlar, dünyanın sulak alanlarının yaklaşık yarısına sahip olmasına rağmen (450.10^6 ha), bu bölgelerdeki atık suyu işlemek için sulak alan teknolojilerini benimseme hızı yavaş olmuştur (Çakmak ve Apaydin, 2010).



Şekil 1.1. Arıtma tesisleri (EPA,1999)

1.1.1. Doğal arıtma sistemlerinin uygulamalarındaki temel hususlar

Atık su karakteristikleri, arıtma mekanizmaları, halk sağlığı konuları ve düzenleyici gerekliliklerle ilgili bilgi, başarılı bir tasarımın ve doğal arıtma sistemlerinin çalışmasının temelidir.

Doğal sistemlerde atık suyun işlenmesi, toprak-su-bitki ekosisteminde meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerle sağlanır. Doğal sistemler, en azından bir dereceye kadar kirletici oldukları düşünülen atık suyun büyük ve küçük oluşturucularının (askıdaki katılar, organik madde, azot, fosfor, nadir elementler, nadir organik bileşikler ve mikroorganizmalar) neredeyse hepsinin giderilmesi yeteneğindedirler. Bu oluşturucuların giderilmesinden sorumlu temel süreçler, bu bölümde açıklanmaktadır (Metcalf and Eddy, 1991).

Askıdaki katılar

Atıksudaki askıdaki katılar; toprak yüzeyi üzerindeki su akışı kısmen çok düşük akış hızları ve sığ derinliklerle iyileştirilen sedimentasyonla, kısmen de canlı bitki örtüsü ve bitki örtüsü süprüntüsü aracılığı ile filtrasyon ile giderilir. Katıların ek giderilme işlemi toprak ara yüzünde olur. Toprak yüzeyi altında akma özelliği olan Yüzey Altı Akışlı Sulakalan Sistemlerinde (YAS); yavaş debi, hızlı süzülme sedimentasyon (çökelme) sırasında önemli olabilmesine rağmen, atık sudaki askıdaki katılar, esas olarak toprak veya alt yüzey ortamından geçerek filtrasyonla giderilir. Yavaş debi ve hızlı süzülme sistemlerinde, birçok katı, toprak yüzeyinde giderilmektedir. Bu yüzden, atıksu katılarının bu sistemlerin süzücü yüzeylerini tıkama veya kapama eğilimi vardır; böylece, sistemlerin süzücü yüzey kaybını en aza indirmek için dizayn edilmeleri ve işletilmeleri gereklidir (Metcalf and Eddy, 1991).

Organik madde

İster çözünebilir ister çözünemez olsun, atık suda bozunabilir organik madde, mikrobik bozunma aracılığıyla giderilir. Bozunmadan sorumlu olan mikroplar genellikle, toprak partiküllerinin bitki örtüsünün ve süprüntünün yüzeylerinde oluşan balçıklar (şlamlar) veya filmlerle ilişkilidir. Genellikle, aerobik ayrışma anaerobik ayrışmadan hızlı ve tam olduğu için ağırlıklı olarak aerobik mikroorganizmalarla yapılsın diye, doğal sistemler, aerobik koşulları sürdürmek için dizayn edilmekte ve çalıştırılmaktadır; bu nedenle, aerobik bozunmayla ilişkili potansiyel kokulardan kaçınılmaktadır. Aerobik sistemlerin kullanılmasının bir istisnası, sistemler, denitrifikasyonla (azot giderme), azot giderilmesini maksimize etmek için dizayn edildikleri zaman ortaya çıkar. Bu gibi durumlarda, sistemde azot gidermeyi iyileştirmek için, periyodik oksijensiz (anoksik) koşullar empoze edilir. Doğal arıtma sistemlerinin organik maddeyi bozma kapasitesi, oksijenin atmosferden sisteme transferiyle sınırlıdır. Böylece, sistemler, uygulanan organik maddenin (BOİ yükleme oranı/hızı) biyokimyasal oksijen talebi, sisteme oksijen transferinin tahmin edilen oranından daha azdır (Metcalf and Eddy, 1991).

Azot

Doğal sistemlerde azotun dönüşümü ve giderilmesi, Şekil 1.2’de açıklandığı gibi, karmaşık süreçler ve reaksiyonlar dizisi gerektirmektedir. Atıksudan azot giderilmesiyle ilgili mekanizmalar, azotun mevcut olduğu biçime bağlıdır. Azot, ileri atıksu arıtma işleminin bir sonucu olarak, azot gidermeye maruz kalan atıksu söz durumlarının haricinde, ekseriya, amonyak veya organik azot biçimindedir (Metcalf and Eddy, 1991).

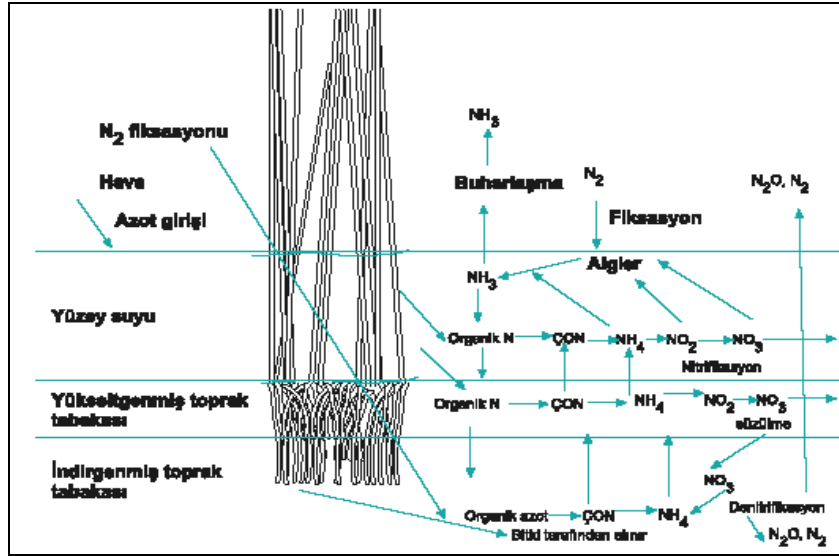
Organik azot

Atık sudaki askıdaki katılarla ilişkili olan organik azot, yukarıda açıklandığı gibi, sedimentasyon ve filtrasyonla giderilir. Katı faz organik azotu, kompleks karbonhidratlar, proteinler, protein benzeri maddeler ve ligninler içeren, çok büyük kompleks organik maddelerden oluşan toprak humuslarına direkt olarak dahil olabilir. Bazı organik azotlar, amonyum $[NH_4^+]$ iyonunun açığa çıkması için daha fazla parçalamaya uğrayabilen çözünebilir aminoasitlere hidroliz olur (Metcalf and Eddy, 1991).

Amonyak azotu

Amonyak azotu, doğal sistemlerde birkaç yol izleyebilir. Çözünebilir amonyak, direkt olarak amonyak gazı şeklinde atmosfere uçurmak suretiyle giderilebilir. Bu giderme yolu, uzun bekletme sürelerinin ve pH oynamalarının amonyağın önemli derecede amonyak uçuculuğu üretmek için birleştiği stabilizasyon havuzları durumu haricinde oldukça küçüktür (< %10). Doğal bir sistemdeki iç akımın ve dönüştürülen amonyağın çoğu, toprak partikülleri ve yüklü organik partiküller üzerindeki iyon değişimi reaksiyonları aracılığıyla kalıcı olarak adsorbe edilir. Adsorbe edilen amonyak bitki örtüsü ve mikroorganizmalar tarafından alınmaya veya aerobik koşullar altında biyolojik nitrifikasyon aracılığıyla nitrat azotuna dönüştürülmeye uygundur. Doğal sistemlerin amonyak adsorplama kapasitesi sonlu olduğu için, adsorbe edilen amonyağın açığa çıkması ve adsorpsiyon yerlerini rejenere etmek için

nitrifikasyon gereklidir: Bu adsorpsiyon açığa çıkma döngüsü, adsorpsiyonun eğim yüzeyine hapsedildiği ve adsorpsiyon kapasitesinin daha sınırlı olduğu arazi üzeri akış sistemlerinde özellikle önemlidir (Metcalf and Eddy, 1991).



Şekil 1.2. Doğal arıtma sistemlerinde azot dönüşümü (ÇON: Çözünebilir organik azot) (Korkusuz ve ark., 2005; Özen ve Beklioğlu, 2007)

Nitrat azotu

Negatif yüklü olan nitrat azotu, değiştirme mekanizmaları tarafından tutulmasa da, çözeltide kalır ve süzülmeyle taşınır. Eğer bitki alımı veya denitrifikasyonla giderilmezse, nitrat çözeltiye geçecek veya altta yatan yer altı sularına süzülecektir. Yavaş debi, hızlı süzülme ve çamur uygulaması gibi suyun süzülmesini öne çıkaran sistemler için, süzülen ürün içindeki nitrat halk sağlığı risklerine neden olabilir. Böylece, bu sistemler yer altı sularını korumak için gerekli azot giderme dercesine erişmek için dizayn edilmeli ve çalıştırılmalıdır. Nitrat bitki örtüsü tarafından alınabilirse de, alım sadece aktif büyüme dönemleri sırasında kök bölgesine yakın bir yerde olur. Sistemden bitki örtüsünün alımı ile azot giderilmesini gerçekleştirmek için, bitki örtüsü hasat edilmeli ve sistemden uzaklaştırılmalıdır. Eğer bitki örtüsü sistemde bırakılırsa, bitki örtüsünün içinde bulunan azot geri döndürülecek ve

organik azot olarak sisteme tekrar girecektir. Bitki alımı ve hasat, yavaş debi sistemlerindeki başlıca azot giderme mekanizmasıdır (Metcalf and Eddy, 1991).

Biyolojik azot giderme (denitrifikasyon)

Nitrat da biyolojik azot gidermeyle ve ardından gaz azotoksidin ve moleküler azotun atmosfere salınmasıyla giderilir. Biyolojik denitrifikasyon alan üzerinde akış, hızlı süzülme ve sulu sistemlerdeki başlıca azot giderme mekanizmasıdır. Denitrifikasyon, oksijensiz koşullar altında parçalayıcı bakteriler tarafından yürütülür. Denitrifikasyonun olması için, tüm sistemin oksijensiz olmasına gerek yoktur. Denitrifikasyonun aerobik yerlere yakın olan mikro yerlerde olduğu bilinmektedir. Bununla beraber, maksimum denitrifikasyona erişmek için gerek duyulan koşullar optimize edilmelidir. Tam denitrifikasyon reaksiyonunu tamamlamak için, havasız koşullara ek olarak, yeterli bir karbon/azot oranı gereklidir. Doğal sistemlerde tam denitrifikasyona erişmek için, en az 2:1'lik bir karbon/azot oranı (TOC ve toplam azota dayalı olarak) gereklidir. Bitkilerin çürümesinden gelen karbon, özellikle sulu sistemlerde, kısmi bir karbon kaynağı olarak görev yapabilirse de, alan üstü akışı ve hızlı süzülme gibi yüksek debili sistemlerde, karbon kaynağı uygulanan atık suya dâhil edilmelidir. Böylece, azot oranları tipik olarak 1/1'den daha az olan ikincil atıklara sahip bu sistemlerde maksimum azot giderimine erişilemez (Metcalf and Eddy, 1991).

Fosfor

Tesisler bazı miktarlara kadar sürdürmesine rağmen, doğal arıtma sistemlerindeki başlıca fosfor giderme prosesleri kimyasal çöktürme ve adsorpsiyondur. Esas olarak ortofosfatlar biçiminde olan fosfor, toprak içindeki kil mineralleri ve belli organik fraksiyonlar tarafından adsorbe edilir. Kalsiyumla (nötrden bazik pH değerlerine kadar) ve demir veya alüminyumla (asidik pH değerinde) kimyasal çöktürme adsorpsiyondakinden daha düşük bir debide olsa da, eşit derecede önemlidir. Adsorbe edilen fosfor genellikle sıkıca tutunabilir ve genellikle çözeltiye geçmeye karşı dirençlidir.

Toprakların fosfor adsorplama kapasitesi sonlu olmasına rağmen, kumlu topraklar için bile oldukça büyüktür. Calumet, Mischihan'daki belediyenin arıtılmamış atık suyunun hızlı süzülmesinden 88 yıl sonra, yer altı sularındaki fosforun konsantrasyonu hâlâ düşüktür (0,1–0,4 mg/L). Bununla beraber, uzun dönemli uygulama, tabakanın fosforla doymuş olduğunu göstermek suretiyle üst 0,3 m'lik kısımda çözünebilir fosforun önemli derecede artmasına neden olmuştur. Doğal bir arıtma sistemiyle fosforun erişilebilir giderilme derecesi, atık suyun toprak matrisiyle temas derecesine bağlıdır. Böylece, alan üstünden akış ve sulu sistemler gibi, suyun önemli derecede toprak üzerinde akışına önem veren sistemlerin fosfor giderilmesi için sınırlı bir potansiyeli vardır (Metcalf and Eddy, 1991).

Nadir elementler

Nadir elementlerin (esas olarak metaller) giderilmesi esas olarak sorpsiyon (adsorpsiyon ve çöktürme reaksiyonlarını içeren terim) aracılığıyla ve bir sınıra kadar bitkinin bazı metalleri bünyesine almasıyla olur. Metaller, toprak profilde veya sulu sistemlerin katmanlarında tutulur. Birçok metal için birçok toprak ve katman içinde tutma kapasitesi, özellikle 6,5'un yukarısındaki pH değerlerinde olmak üzere, çok yüksektir. Düşük pH ve anaerobik koşullar altında bazı metaller daha fazla çözünebilir olup, çözeltiye geçebilirler.

Metallerin giderilmesi, atık konsantrasyonlarına ve yerel yer koşullarına bağlı olarak, sistemler arasında değişmektedir. Birçok metal için rapor edilen giderme verimleri, genellikle % 80 ile %95 arasında değişmektedir. Serbest yüzeyli sulak alanlarda ve suda yaşayan yüzer bitki sistemlerinde, suyun toprakla ve katmanlarla suyun sınırlı teması ve katmanlardaki anerobik koşullardan dolayı daha düşük giderme verimleri beklenebilir (Metcalf and Eddy, 1991).

Nadir organik maddeler

Nadir organik bileşikler, ardından biyolojik veya fotokimyasal parçalanmanın geldiği uçurma ve adsorpsiyon aracılığıyla atıksudan uzaklaştırılır. Genellikle, doğal

sistemler, nadir organik bileşiklerin büyük fraksiyonlarını giderme yeteneğindedir; bununla beraber, halihazırdaki veri tabanı, tek tek bileşikler için giderme verimlerini önceden bilemeyecek kadar küçüktür (Metcalf and Eddy, 1991).

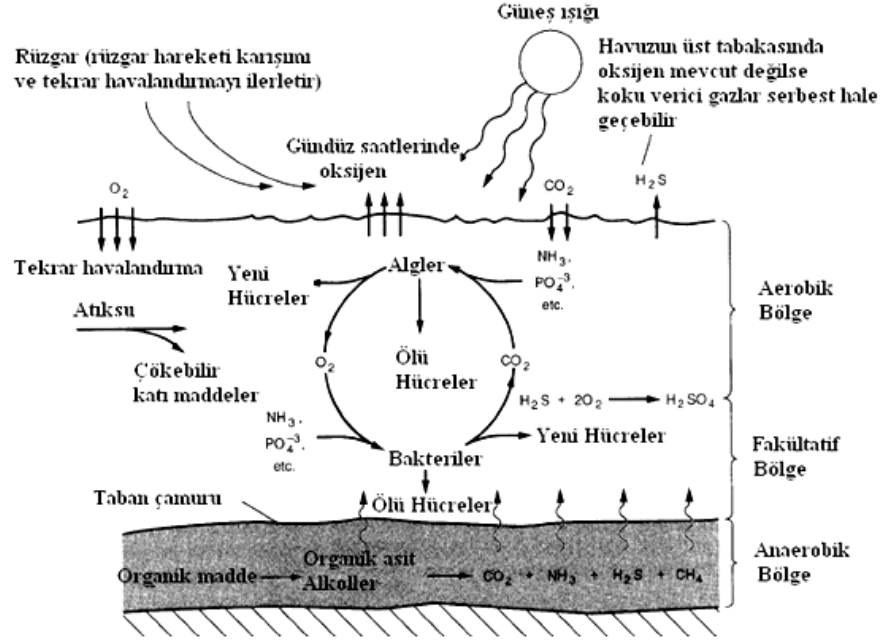
Mikroorganizmalar

Birçok doğal arıtma sisteminde yaygın olan bakteriler ve palantler (protozoa ve helminitler) için giderme mekanizmaları, birer birer yok etmeyi, filtreden geçirmeyi, sedimentasyonu, yakalamayı, predasyonu, kurutmayı ve adsorpsiyonu içermektedir. Virüsler, kendine özgü bir şekilde adsorpsiyon ve onun ardından gelen tek tek yok etme (kökünü kazıma) ile giderilir. Her ikisi de, atık suyun toprak profili içinden geçerek akışına önem veren yavaş debi ve hızlı süzülme sistemleri süzüntü içindeki atık su mikroorganizmalarını tamamen giderme yeteneğindedir. Normalinde, yavaş debili sistemler için kullanılan orta dokuludan ince dokuluya kadar olan topraklarda, tam gidermeye 1,5 m'lik bir ilerleme ile erişilebilir. Hızlı süzülme sistemlerindeki gidermelere erişmek için, toprak geçirgenliğine ve hidrolik yükleme oranına bağlı olan mesafe ile topraktan geçen daha uzun yolculuk mesafelerine gerek duyulmaktadır. Doğal arıtma sistemlerinin diğer tüm biçimleri, bir takım büyüklük dereceleriyle mikroorganizmaların konsantrasyonlarını azaltma yeteneğinde olsalar da, sistem atığında bakteri sınırlamalarının konulduğu dezenfeksiyon ihtiyacını ortadan kaldıracak yeterince giderme sağlamaz (Metcalf and Eddy, 1991).

1.2. Stabilizasyon Havuzları

Stabilizasyon havuzlarının (SH) 3000 yıllık bir geçmişe sahip, en eski atıksu arıtma yöntemi olduğu bilinmektedir. Stabilizasyon havuzları, işletmesi en kolay atıksu arıtma sistemleridir. Stabilizasyon havuzları düşük nüfusa sahip yerlerdeki atıksuların arıtılmasında en uygun yöntemlerden biri olarak kabul edilebilir. Bu havuzlar, enerji, mekanik donanım ve yetişmiş işletme elemana ihtiyaç duyulmaması nedeni ile oldukça avantajlı sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemlerde atıksuların arıtımı, derin havuz içerisinde uzun süre bekletilmesi sonucu organik maddelerin ayrışması esasına dayalıdır. Bilinen bu avantajlarının yanında geniş

araziye gereksinim duyulması dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Ekseriya sıcak veya ılıman iklime sahip bölgelerde için uygun olduğu düşünülse de, tropik iklim kuşağından kutupsal iklim kuşağına kadar değişen iklim koşulları altında işletilebilmektedir (Toprak, 2000 ve ÇOB, 2010).



Şekil 1.3. Stabilizasyon havuzlarında gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar (SKKY,1991)

Atıksuların ağırlıklı olarak doğal metotlarla arıtıma (Bakınız, Şekil 1.3) tabi tutulduğu bu havuzlarda, ham atıksuyun tamamen doğal süreçler içerisinde algler ve bakteriler tarafından arıtımı gerçekleştirilmektedir. Arıtımın gerçekleşmesi için güneş enerjisi yeterlidir. Sıcak ve tropikal ülkelerde güneş ışığı süresi tatmin edici olduğundan dolayı, atıksuyu temizlemek ve yüksek verimlilik için bu tür bir sistem mükemmel bir fırsat sunmaktadır (SKKY,1991).

Havuzların işletim özelliklerinin daha iyi bilinmesi ile değişik havuz tipleri ortaya çıkmıştır. Dünya tasarım evresinde yaygın kullanılan üç tip ASH vardır. Bunlar; anaerobik, fakültatif ve olgunlaştırma havuzları olarak sıralanabilir. Bunlara ait boyutlandırma kriterleri Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzları için tasarım parametreleri (ÇOB, 2010).

Parametre	Havalı	Fakültatif	Havasız
Hidrolik Bekletme Süresi, Gün	5-20	10-30	20-50
Su Derinliği, m	0.3-1	1-2	2.5-5
BOİ ₅ Yüğü, kg/ha.gün	40-120	15-120	200-500
Çözünmüş BOİ ₅ Giderimi, %	90-97	85-95	80-95
Toplam BOİ ₅ Giderimi, %	40-80	70-90	60-90
Alg Konsantrasyonu, mg/L	100-120	20-80	0-5
Çıkış AKM, mg/L	100-250	40-100	70-120

Çizelge 1.3. Evsel atıksuları arıtan farklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri (ÇOB, 2010)

Özellik	Fakültatif	Havalı sürekli akışlı	Havalı geri devirli
Katı Madde Kontrolü	Yoktur (Bir Kısmı Çöker, Diğer Kısmı Arıtılmış Su İle Çıkar)	Kısmen (Katılar Çökmez, Arıtılmış Su İle Çıkar)	Tam Kontrol (Fazla Çamur Kontrollü Olarak Sistemden Çekilir)
Lagündeki AKM Konsantrasyonu, mg/L	50-150	100-350	3000-5000
UAKM/AKM (%)	50-80	70-80	70-80
Çamur yaşı θ_c , gün	Yüksek	Genellikle 5	Sıcak İklim: 10-20 Ilık İklim: 20-30 Soğuk İklim: >30
BOİ Giderim Hızı (20°C'de Günlük, Filtrelenmiş), kg/m ³ /gün	0.6-0.8	1-1.5	20-30
Sıcaklık Katsayısı, θ	1.035	1.035	1.01-1.05
Hidrolik Kalış Süresi, Gün	3-12	Genellikle 5	0.5-2
BOİ Giderim Verimi (%)	70-90	50-60	95-98
Nitrifikasyon	Yok	Uygunsuz Şartlar	Az
Koliform Giderimi (%)	60-99	60-90	60-90
Lagün Derinliği, m	2.5-5	2.5-5	2.5-5
Arazi ihtiyacı, (m ² /kişi)			
Sıcak iklim	0.3-0.4	0.3-0.4	0.15-0.25
Ilık iklim	0.45-0.9	0.35-0.7	0.25-0.55
Güç İhtiyacı, kW/kişi-yıl	12-15 ⁶	12-14	18-24
hp/1000	2-2.5 ⁶	2-2.5	3-5

Çizelge 1.3. (devamı)

Min.güç (kW/10 ³ m ³ Hacmi	Lagün	0.75-1 (Eşit O ₂ Yaymak)	2.75-5 (Bütün Katıları Askıda Tutmak)	15-18 (Bütün Katıları Askıda Tutmak İçin)
Çamur		Birikir ve Birkaç Yıl Sonra Uzaklaştırılır	Birikim olmaz. Katı Maddeler Artılmış Su İle Çıkar	Fazla Çamur Günlük Uzaklaştırılır
Çıkış yapısı		Savakla Dışarı Verilir	Kısmi veya Tam Boru Kullanılır	Savak veya Boru Kullanılır

1.2.1. Anaerobik stabilizasyon havuzu

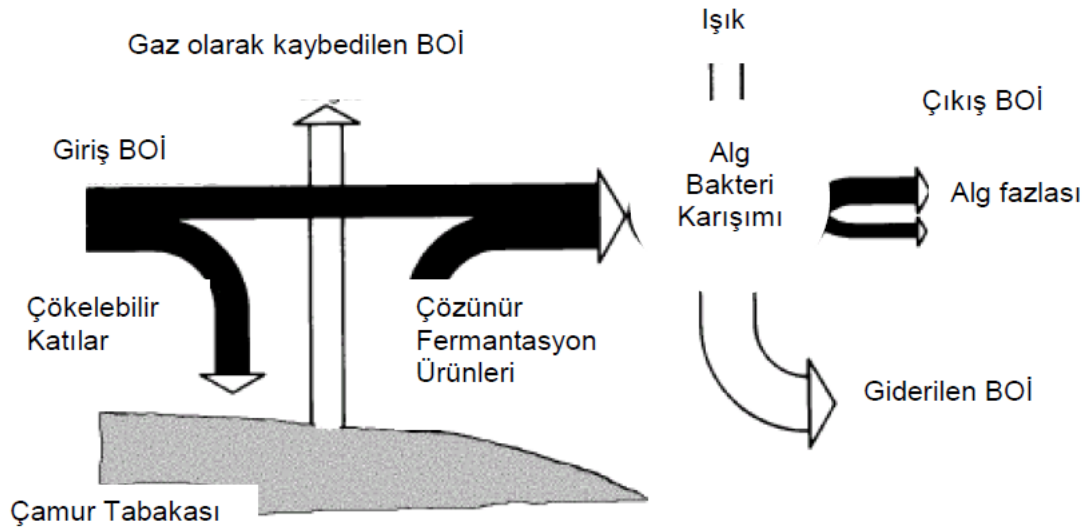
Bu havuzlar, katı madde ve organik madde içeren atıksuların arıtılması için kullanılmaktadır. Havuzlar ısı kaybını engellemek ve anaerobik reaksiyon şartlarını sağlamak amacı ile 6 m derinliğine kadar inşa edilebilirler. Havuz içerisinde gerçekleşen anaerobik reaksiyonlar neticesinde askıda katı maddeler dibe çökerek stabilize olurlar. Anaerobik havuzlarda atıksuların ortalama alıkonma süresi 5 günden az ve hacimsel kirlilik yükü ise 100-400 g BOİ₅/m³.gün civarında olmalıdır (SKKY,1991; Web 1).

Anaerobik havuzlar normalde çözülmüş oksijen veya alg içermez. Anaerobik havuzlarda, BOİ giderimi katıların çökmesi ve bunu takiben ortaya çıkan çamurun anaerobik çürütülmesi ile elde edilir. Anaerobik çürütme süreci 15 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda daha yoğundur. Anaerobik bakteriler pH < 6.2 genellikle duyarlıdır. Böylece, asidik anaerobik havuzlarda arıtım için önce nötralize edilmesi gerekir. Düzgün tasarlanmış anaerobik havuz 10 °C'de %40 BOİ giderilmesi gerçekleştirecektir ve 20 °C'de % 60 daha fazla olacaktır (Web 1).

1.2.2. Fakültatif stabilizasyon havuzu

Fakültatif stabilizasyon havuzları, kısmen havalı kısmende havasızdır. Fakültatif havuzlar aerobik alg ve bakterilerin bulunduğu bir üst tabaka ile anaerobik bakterilerin faaliyet gösterdiği bir anaerobik alt tabakadan oluşur. Bu iki tabaka arasında kısmen anaerobik bir ortam ile her iki ortama da uyum sağlayabilen fakültatif bakteriler bulunur. Fakültatif stabilizasyon havuzlarında atıksuların

alınma süresi 7-20 gün arasındadır. İklim durumuna bağlı olarak bekletme süresi daha fazla da alınabilmektedir. Derinlikleri ise 1-2.5 m olan bu havuzların, BOİ giderme verimi, iklime, bekletme süresi ve karışım şekline bağlı olarak % 70 ile 90 arasında ve koliform giderme verimi % 60 ile 99.9 arasında değişmektedir. Fakültatif havuzlar alg içerdikleri için yeşil renklidirler. Bu yüzden bu havuzlar bulanık görünme eğilimindedirler. Stabilizasyon havuzları içerisinde en yaygın olarak kullanılan fakültatif tip stabilizasyon havuzlarıdır (SKKY,1991 ve ÇOB, 2010).



Şekil 1.4. Fakültatif stabilizasyon havuzlarında BOİ giderim yolları (Marais, 1970)

Birim zamanda birim havuz yüzey alanına uygulanacak BOİ, özgün iklimsel ve coğrafik özelliklere göre değişmektedir. USEPA (United States Environmental Protection Agency) tarafından önerilen yükleme hızları Çizelge 1.4'de verilmiştir (Toprak, 2000).

Çizelge 1.4. Ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak organik yükleme hızları

Hava Sıcaklığı (°C)	Alansal Organik Yükleme Hızı (kg BOİ/m ² .gün)
< 0	11 – 22
< -15	22 – 45
> 15	45 – 90

1.2.3. Aerobik stabilizasyon havuzu

Aerobik stabilizasyon havuzlarda atıksuların arıtılması, bakteri ve alglerin yardımı ile olur. Algler fotosentez işlemi sırasında güneş enerjisini kullanarak anorganik besin maddeleri ve karbondioksitle hücre sentezi yaparken oksijen açığa çıkarır. Açığa çıkan bu oksijen ise heterotrof bakteriler tarafından kullanılır. Atıksu bulanan organik madde bakteriler tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (SKKY,1991).

Aerobik stabilizasyon havuzları genellikle düşük hacimsel organik madde yüküne sahip, 1.5 metreden sığ havuzlardır. Böylece havuzun tüm derinliği boyunca oksijen sağlanması mümkün olur. Bekleme süresi 10-40 gün olup, yüzeysel kirlilik yükü 40-120 kg BOİ₅/hektar. gün kadardır (SKKY,1991).

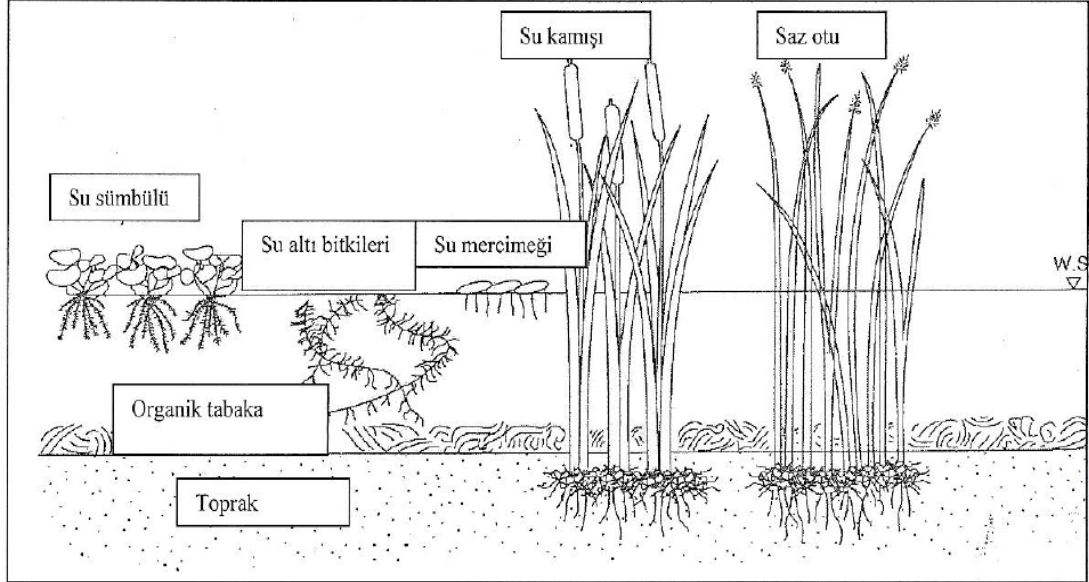
1.2.4. Olgunlaştırma havuzları

Olgunlaştırma havuzlarının amacı, arıtılmış atıksuların kalitesinin daha iyileştirilmesi ve çıkış konsantrasyonunun dengelenmesi ve mevsimsel nitrifikasyonun sağlanması için kullanılırlar. Olgunlaştırma havuzları genelde aerobik stabilizasyon havuz niteliğindedir. Atıksuların bu sistemlerdeki bekleme süreleri 5-20 gün arasında değişebilmektedir. Genellikle atıksuyun verildiği yüzey sularını korumak için inşa edilen bu havuzlar düşük kirlilik yükü ile çalışırlar. Uzun alıkonma süresi patojen organizmaların giderimi için tercih edilir. Bu havuzlar 1-1.5 m arasında sığ havuzlardır (SKKY,1991).

1.3. Sulak Alanlar

Sulak alanlar; sazlık, kamyş, (reed, sedge) gibi mevcut bitkilerin büyümesini destekleyen, tipik olarak 0,6 m'den daha az su derinliği olan suyla kaplı olan (Bakınız, Şekil 1.5) alanlardır. Bitki örtüsü bakteri filmlerinin bağlanması için yüzey sağlar, atıksu oluşturuçularının filtrasyonuna ve adsorpsiyonuna yardımcı olur; oksijeni su sütunlarına transfer eder ve güneş ışığının nüfuz etmesini kısıtlamak

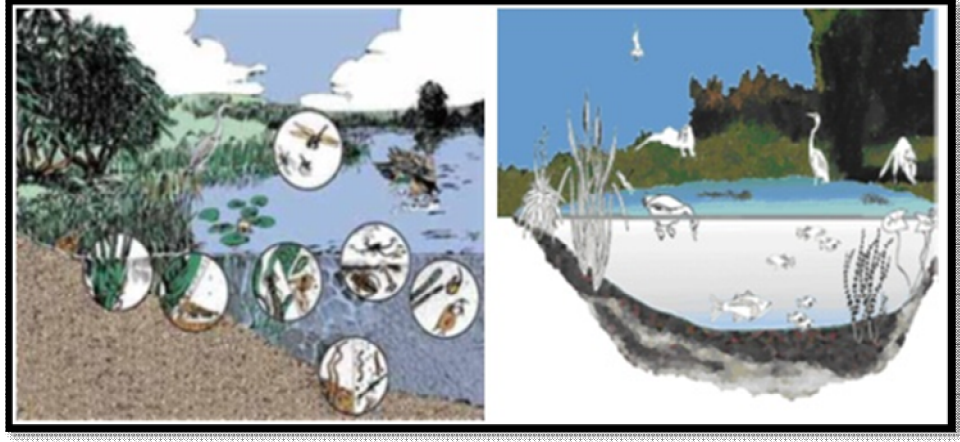
suretiyle; alg büyümesini kontrol eder. Doğal sulakalanlar genellikle, ikincil veya önceden arıtılmış atıksuyun temizlenmesi veya daha fazla arıtılmasıyla sınırlı olmasına rağmen, hem doğal hem de yapay sulakalanlar atıksu arıtılması için kullanılmaktadır (Metcalf and Eddy, 1991).



Şekil 1.5. Yaygın sulu ortam bitkileri (Metcalf and Eddy, 1991)

1.3.1. Doğal sulak alanlar

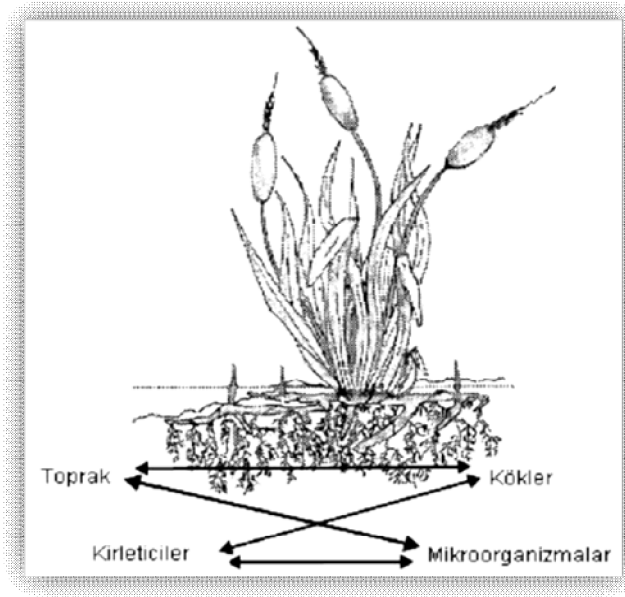
Doğal sulak alanlar (Bakınız, Şekil 1.6), binlerce yılda doğanın kendi iç dengesi içinde oluşturduğu sucul ekosistemler olarak bilinmektedir. Birçok durumda, doğal sulak alanlara deşarjlar, tipik olarak ikincil veya ileri arıtmayı ilgilendiren uygulanabilir düzenleyici gereklilikleri karşılamalıdır. Üstelik doğal sulak alanlara deşarj yapıldığı zamanki temel amacın, mevcut habitatın iyileştirilmesi olması gerekir. Arıtma yeteneğini iyileştirmek için mevcut sulak alanlarda değişiklik yapılması, çoğunlukla doğal ekosistemi bozucu olup, genellikle böyle bir girişimin yapılmaması gerekir (Metcalf and Eddy, 1991).



Şekil 1.6. Doğal sulak alanlar (ÇOB, 2010)

1.3.2. Yapay sulak alanlar

Yapay sulak alanlar, atık suyu işlemek için doğal sulak alanlarda gerçekleşen aynı işlemlerin birçoğundan yararlanırlar. Birçok yapılandırılmış sulak alan, düşük maliyetli arıtma ve deşarjdan önce daha temiz atıksu sağlamak için, diğer ikamet biçimleri ve belediye atık suyuyla bağlantılı şekilde kullanılır. Sözelimi, septik bir tanktan gelen birincil arıtılmış atık su, bitkilerin veya gözenekli malzemelerin kirleticilerin bir kısmının süzülüşü yapay sulak alana uygulanır. Bitki köklerine veya gözenekli ortama bağlanmış mikroorganizmalar, ikincil arıtma sağlamak için organik kirleticilerin çoğunu tüketirler. Sulak alanlardan geçerken akış hızları birçok organik maddenin ve mikroorganizmanın alta çökebilmesi amacıyla düşüktür. Ondan sonra berrak atık su çıkışı sulama suyu olarak topraklara deşarj edilir veya uygulanır (Lesikar ve Lindemann, 2005). Yapay sulak alanlarda bitki kök bölgesinde oluşabilecek etkileşimler Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7. Yapay sulak alanlarda bitki kök bölgesinde oluşabilecek etkileşimler (Çiftçi ve ark., 2007)

Kök ve kök gövdeler, zemini delerken toprağı gevşetirler ve geçirgenliği arttırlar. Kamış yatakları, aynı zamanda büyüme mevsimlerinde terleme ve buharlaşmayı da arttırlar (1,5-1,8 m²/m³/yıl veya 10-15 mm/gün). Tropik iklimlerde bu miktar, daha yüksektir ve yataktan çıkan su da bununla ters orantılı olarak azalır. Aerob ve Anaerob koşulların birlikte bulunması aynı zamanda nitrifikasyon ve denitrifikasyon olaylarının oluşmasını sağlar. Azot bileşiklerinin önemli bir bölümü elementer azot'a kadar parçalanır, geri kalan bölümü bitki tarafından biyomas'a dönüştürülürken bir bölümü de toprakta humus oluşturarak tutulur. Bu reaksiyonlar sonucu amin, thiole, amonyak gibi kötü kokulu gazların çıkışı ve çevreyi rahatsız etmeleri engellenir. İyi çalışan sistemlerde azot bileşiklerinin% 85'i elementer azot'a % 2-3'ü biyomasa dönüşür. Geri kalan kısım ise organik maddelerle birleşerek humus oluştururlar.

Birçok yapay sulak alanın birincil işlevleri, su depolamayı ve su kalitesin iyileştirmeyi içermektedir. Yapay sulak alanların bir kısmı, yeraltı suyunun yeniden doldurulması için bilinçli olarak dizayn edilmektedir. Doğal sulak alanlara atfedilen diğer birçok işlev, yapay sulak alanlarda da mevcuttur. Yardımcı işlemler, bitkiler tarafından birincil organik karbon üretimini; fotosentez aracılığıyla oksijen üretimini;

sulak alan otçul hayvanların üretimini; bunun yanında, sulak alan sınırları boyunca değişen yırtıcı türlerin üretimini; organik madde ve besinlerin alt akım ekosistemlere gönderilmesinde azalmayı ve eğitim ve eğlence kaynakları bakımından kültürel değerlerin yaratılmasını içermektedir. Bu yardımcı işlevlerin biri veya daha fazlası, inşa edilmiş sulak alan projelerinde önemli bir hedef olabilir (EPA, 1999).

Yapay sulak alanlar, filtrasyon, çöktürme, toprak partiküllerine mikrobiyal etkileşim, bitkinin asimilasyonu ve adsorpsiyonu tortulaşma gibi pek çok benzersiz koşulların avantajlarından faydalanmak için tasarlanmıştır.

İnşa edilmiş sulak alan sistemlerinin, atık sudan, BOİ₅'in %50-90'ını, askıdaki katların %40-94'ünü, azotun %30-98'ini ve fosforun %20-90'ını gidermesi beklenebilir. Bu veriler, kirletici yüklemeye, sıcaklık, dizayn ve yönetim için geniş bir koşullar aralığında işletilen sistemler için elde edilmiştir. Doğru bir şekilde dizayn edilip işletildiği zaman, yukarıda adlandırılan atık su oluşturuçularının %80 veya daha fazlasının sürekli giderilmesi uygulanabilirmiş gibi görünmektedir. (Lesikar ve Lindemann, 2005).

Çizelge 1.5. Sulak alanlarda temel kirletici giderim mekanizmaları

Parametre	Giderim mekanizması
AKM	Çökelme, süzülme
BOİ	Biyolojik ayrışma (aerobik, anaerobik)
Azot	Amonyakın açığa çıkması Amonyaklaşmayı mütakiben nitrifikasyon/denitrifikasyon Bitkilerle kullanım
Fosfor	Dolgu malzemesi tarafından tutunma (kil mineralleri, demir, kalsiyum alüminyum ile adsorpsiyon ve çökelme reaksiyonları) Bitkilerle kullanım
Patojenler	Çökelme Ölüm UV Radyasyonu Bitki köklerinden antibiyotiklerin çıkarılması

Yapay sulak alanlarda güneş enerjisi ile sağlanan birkaç basit yararlı özellik vardır, bunlar;

- Kendisini düzeltmek ve zamanla verimli arıtma kapasitesi oluşturmak,
- Hayvanlar için doğal bir alan sağlamak
- Tabii sularda oksijen seviyelerini artırmak
- Karbon dioksit seviyelerini azaltmak

Sulak alanların azot, karbon, kükürt, potasyum ve fosfor gibi çeşitli maddeleri giderme yeteneği vardır ve sonuç olarak su kalitesinde bir artış meydana gelmektedir (Gray 2008).

Araştırmacılar, yapay sulak alanların uygulanabilirliğini genişletmek ve atıksu arıtımını iyileştirmek için bu tür arıtma sistemlerini etkin ve sürdürülebilir bir çevre sağlamak amacıyla bu tür arıtma sistemlerini küçük ve kırsal topluluklarda kullanırlar (Gray 2008).

Yapay sulak alanlar, doğal sulak alanların arıtma kapasitelerinin hepsini, fakat doğal ekosisteme deşarj etmeyle ilgili kısıtlamalar olmaksızın ortaya koyarlar. Atıksu arıtması için iki tip inşa edilmiş sulak alan sistem, geliştirilmiştir.

(1) Serbest Su Yüzeyli Sulakalanlar (SYS)

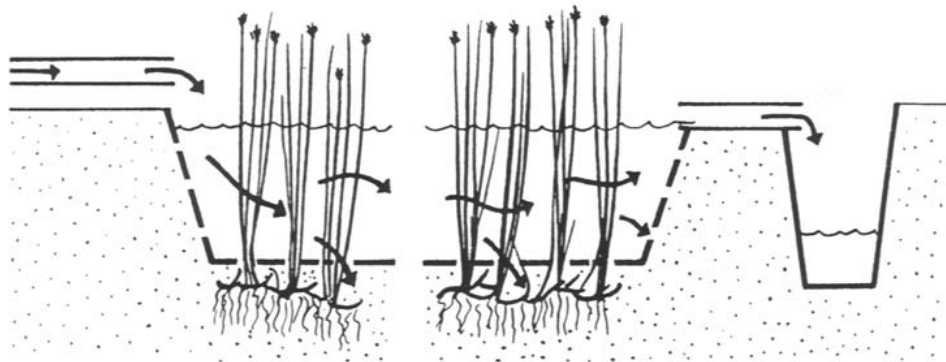
(2) Yüzey Altı Akışlı Sulakalanlar (YAS)

1.3.2.1. Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlar (SYS)

Yeni gelişen makrofitleri olan tipik bir serbest su yüzeyli yapay sulak alan, 20-40 cm su derinliği olan 20-30 cm köklendirme toprağı içeren sığ kapalı bir tekne (havza) veya havzalar dizisidir. Yeni gelen yoğun bitki örtüsü, genellikle % 50'den fazla olmak üzere, yüzeyin önemli bir kısmını kaplar. Bitkiler çoğunlukla hasat edilmezler ve süprüntü, süprüntü tabakası içindeki anerobik ceplerde ilerleyebilen denitrifikasyon için gerekli organik karbonu sağlar.

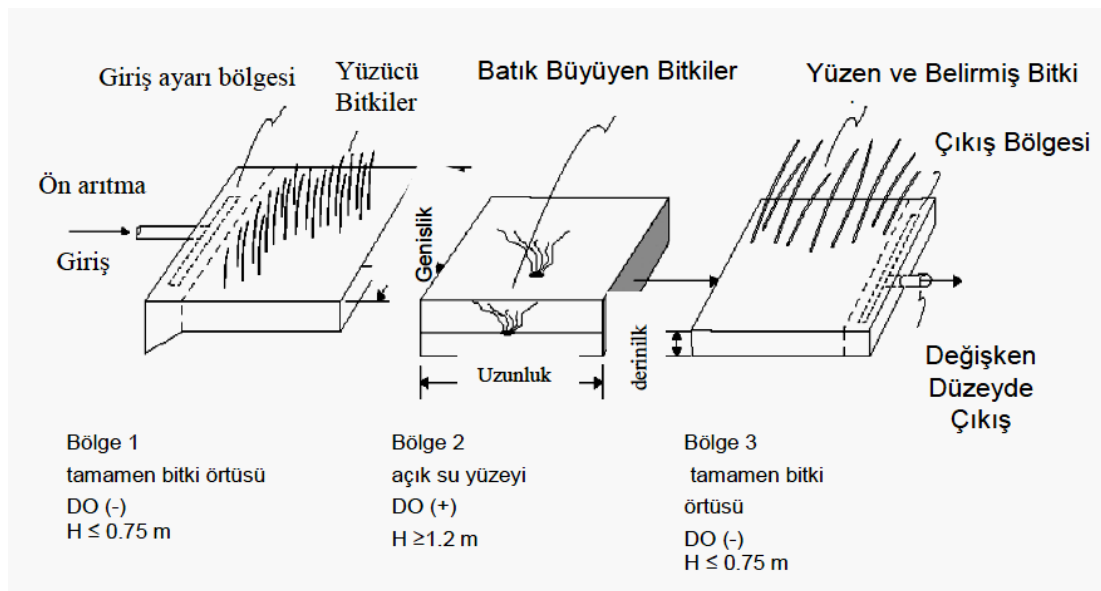
Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlar, mikrobik bozunma ve koloidal partiküllerin çöktürülmesi suretiyle organik maddelerin atılmasında etkilidir. Askıdaki katılar, yoğun bitki örtüsü aracılığıyla çöktürme ve filtrasyon yoluyla etkili bir şekilde giderilirler. Azot, esas olarak, nitrifikasyon (su kolonunda) ve ardından gelen denitrifikasyon (süprüntü tabakası içinde) aracılığıyla ve alg ise fotosentezinin neden olduğu daha yüksek pH değerleri altında amonyağın uçurulmasıyla giderilirler. Fosfor tutma, fosforu adsorbe eden ve/veya çökeltten toprak partikülleriyle suyun sınırlı temasından dolayı, ekseriya düşüktür. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalanların genel görünümü Şekil 1.8’de verilmiştir (Vymazal, 2010).

Arıtmanın ikincil bir seviyesi veya ileri seviyelerini sağlamak için kullanıldığı zaman, Serbest Su Yüzeyli Yapay Sulak Alan (SYS) sistemleri, tipik olarak, oldukça geçirimsiz alt toprak veya alt yüzey engeli, gelişmekte olan bitki örtüsü ve sığ su derinlikleri 0,6 m olan paralel havuzlar veya kanallardan oluşmaktadır. Önceden işlenmiş atıksu, normalinde sürekli olarak bu gibi sistemlere uygulanır ve su geliştirmekte olan bitkinin saplarından ve köklerinden yavaş yavaş akarken arıtma olur. Serbest su yüzeyli sistemleri de yeni yaban hayatı habitatlarını yaratma veya doğal sulak alanların hemen yanında iyileştirmek amacıyla dizayn edilebilir. Bu gibi sistemler, normal olarak, su kuşlarına üreme habitatları sağlamak için, bitkili ve açık su alanlarının ve alan adalarının uygun bitki örtüsüyle kombinasyonunu içermektedir (Vymazal, 2010).



Şekil 1.8. Yüzey akışı ile acil makrofitlerin arıtma sistemi (Brix, 1993)

Bakınız, Şekil 1.9’da, serbest yüzeyli (SYS) sulak alanın ana bileşenlerini gösterilmektedir. Tipik, bir serbest su yüzeyli (SYS) yapay sulak alan, çeşitli uygulamalar sırasında değiştirilebilsede, özellikle aynı özelliklere sahip olan birkaç bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler arıtma hücrelerini çevreleyecek taş sütunlar, optimum arıtma için içeri akan suyu ayarlayan ve düzgün bir şekilde dağıtan giriş yapıları, açık su alanlarının çeşitli kombinasyonlarını çeşitli bitki örtülü yüzey alanlarını, iç yapılar tarafından sağlanan dağıtımı tamamlayan dış yapıları içermekte olup, arıtma hücresi içindeki su seviyelerinin ayarlanmasını mümkün kılmaktadır. Dizaynın, biçimi, büyüklüğü ve karmaşıklığı, önceden düşünülmüş dizayn kriterlerinden daha ziyade, sık sık yer (site) karakteristiklerinin fonksiyonlarıdır.



Şekil 1.9. Serbest su yüzeyli inşa edilmiş bir sulak alanın ana bileşenleri (EPA, 1999)

Serbest su yüzeyli yapay sulak alanların boyutlandırılması, ekseriya ya hacmi ya da alanı esas alır. Hacmi esas alan yöntemler, kirletici ortamı değerlendirmek için hidrolik alıkonma zamanını kullanırlar, alan bazlı yöntemlerse, genel sulak alanı kullanan kirletici azaltmayı değerlendirirler. Çizelge 1.6’da BOİ₅, TSS ve TKN için temel boyutlandırma kriterleri verilmektedir. SYS’lerin genellikle fosfor giderilmesi için etkili olmadığını ve sadece 0.1 g P/m².d’den daha az bir içeri akış (giriş akımı) yüklemesinin düşük bir atıksu çıkış konsantrasyonu vereceğini göstermişlerdir (Vymazal, 2010).

Çizelge 1.6. SYS'lerde hedef atık su çıkış konsantrasyonuna erişmek için tavsiye edilen yükleme oranları

Parametre	Çıkış	Yükleme Oranı	Referans
BOI ₅	30 mg/L	6 g/m ² .d	(Wallace ve Knight, 2006; EPA,2000)
	25 mg/L	3 g/m ² .d	(Wallace ve Knight, 2006)
	20 mg/L	4.5 g/m ² .d	(EPA,2000)
TSS	30 mg/L	7 g/m ² .d	(Wallace ve Knight, 2006)
	30 mg/L	5 g/m ² .d	(EPA,2000)
	25 mg/L	3.5 g/m ² .d	(Wallace ve Knight, 2006)
	20 mg/L	3 g/m ² .d	(EPA,2000)
TKN	10 mg/L	1.5 g/m ² .d	(Wallace ve Knight, 2006)

Bu tip serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar, sık sık Avustralya (Bakınız, Şekil 1.10) ve Kuzey Amerika'da (Bakınız, Şekil 1.11) kullanılmaktadır (QDNR, 2000).



Şekil 1.10. Sydney, NWS, Avustralya yakınındaki orman sahasındaki yağmur suyu akışı için Serbest su yüzeyli bir yapay sulak alan (Vymazal, 2010)

Serbest yüzeyli yapay sulak alanlarda (SYS), bitkilerin önemli birçok rolleri vardır. Yeni gelişen ve yüzen suda yaşayan bitkilerin en önemli işlevi, fito- plankton üretimini ve atmosferik yeniden havalandırmayı sınırlayan serbest yüzen suda yaşayan bitkilerin (örneğin su mercimeği) birikme potansiyelini artıran su sütunu

üzerinde örtü sağlamaktır. Bu koşullar da, serbest yüzeyli yapay sulak alanlar içinde; askıdaki katıların azalmasını sağlar. Yeni gelişen bitkiler, azot ve fosforu bünyelerine almada çok küçük bir rol oynarlar. Önceki büyüme mevsimlerinden gelen süprüntü (litter) düşüşünün etkisi, su sütununun içinden akarken ve nihayet humuslu toprağa ve lignin partiküllerine ayrışırken önemli olabilir (EPA, 1999).

Çizelge 1.7. Serbest yüzeyli yapay sulak alanlarda hedef atık su çıkış konsantrasyonuna erişmek için tavsiye edilen yükleme oranları (Vymazal, 2010)

Parametre	Çıkış	Yükleme Oranı
BOİ ₅	30 mg/L	6 g/m ² d
	25 mg/L	3 g/m ² d
	20 mg/L	4.5 g/m ²
TSS	30 mg/L	7 g/m ² d
	30 mg/L	5 g/m ² d
	25 mg/L	3.5 g/m ² d
	20 mg/L	3 g/m ² d
TKN	10 mg/L	1.5 g/m ² d

Belediye atıksuyunun yanında, yeni gelişen bitki örtülü Serbest yüzeyli sulak alanlar çeşitli tiplerdeki atıksuları arıtmak amacıyla kullanılmaktadır (Bakınız, Çizelge 1.8).



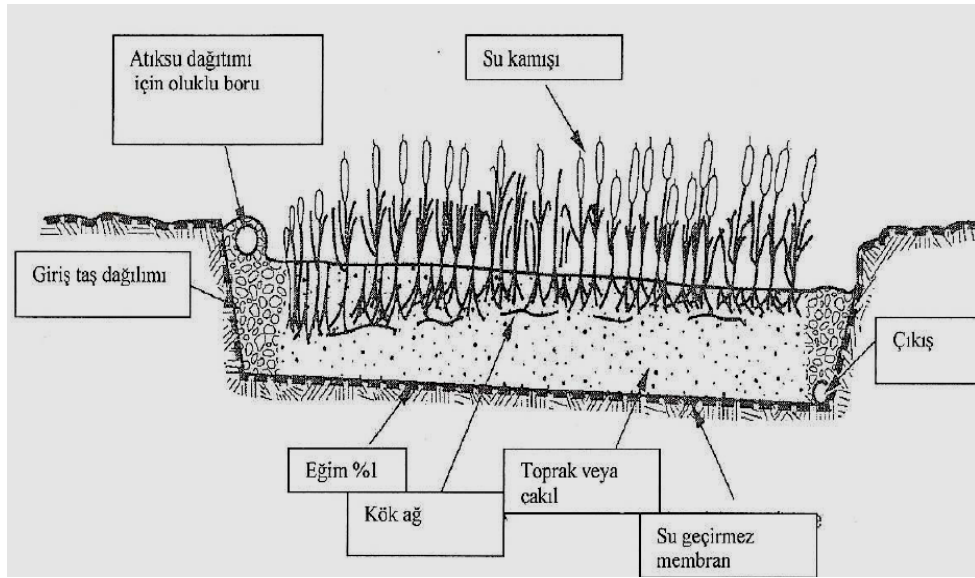
Şekil 1.11. Monastery run, pennsylvania, ABD’de, bazik maden drenajlarının arıtılması için kullanılan serbest yüzeyli yapay sulak alan (SYS) (Vymazal, 2010)

Çizelge 1.8. Çeşitli atıksu tiplerinde serbest yüzeyli yapay sulak alanların kullanım örnekleri (Vymazal, 2010)

Atıksu Tipi	Yer
Hayvansal Atıklar	U.S
Otlakların Mandıra Yüzey Akışı	New Zealand
Tarımsal Drenaj	U.S.
Yağmursuyu Yerleşim Yeri Suları	Australia
Yağmur Suyu Karayolu Akışı	United Kingdom
Yağmursuyu Havaalanı Akışı	Sweden
Asit Maden Kömür Drenajı	U.S., Spain
Metal Cevherleri Maden Drenajı	Germany, Irelan, Canada
Rafineri Proses Suyu	U.S., Hungary
Kâğıt ve kağıt hamuru atık suları	U.S.
Karides Yetiştiriciliği	U.S.
Sızıntı Suyu	Sweden, Norway,U.S.
Şeker Fabrikası	Kenya
Zeytinyağı Fabrikası	Greece
Ahşap Atığı Sızıntı Suyu	Canada
Metalurji Endüstrisi	Argentina

1.3.2.2. Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar (YAYSA)

Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan sistemleri, ikincil veya ileri seviyelerdeki arıtım gerçekleştirmek amacıyla dizayn edilmiştir. Bu sistemlere, “kök bölgesi” veya “kaya kamışı (reed)” filtreleri adı verilmektedir ve bunlar, gelişmekte olan bitki örtüsünü desteklemek için, kum veya çakıl taşı ortamlarıyla doldurulmuş oldukça geçirimsiz tabanları olan kanallar ve çukurlardan oluşmaktadır (Bakınız Şekil 1.12) (Vymazal, 2010).



Şekil 1.12. Tipik bir yüzeyaltı akışlı sisteminin kesit alanı (Metcalf and Eddy, 1991)

Yüzey Altı Akışlı Sulakalanlar akış şekline göre; yatay ve düşey akışlı sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar.

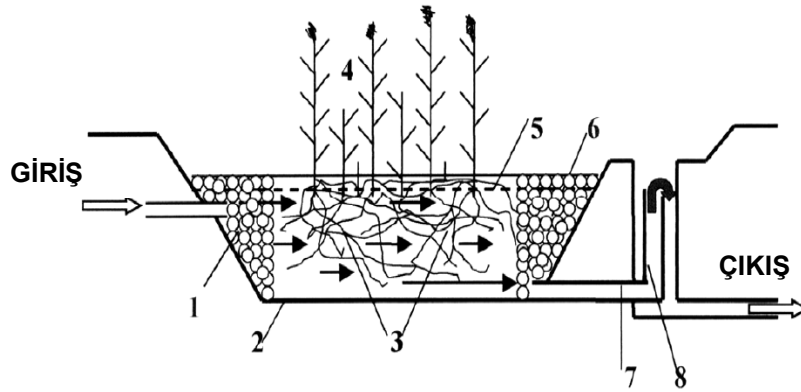
1.3.2.3. Yüzeyaltı yatay akışlı yapay sulak alanlar (YYAYSA)

Yüzeyaltı Yatay Akışlı yapay sulak alanlar, geçirimsiz bir tabaka tarafından kapatılmış çakıl ve kaya yataklardan ve sulak alan bitki örtüsünün ekilmesinden oluşmaktadır (Bakınız, Şekil 1.13). Atıksu girişe beslenir ve az çok yatay bir yolda yatak yüzeyinin altındaki gözenekli bir ortamdan geçerek, toplandığı ve deşarj edildiği çıkış bölgesine ulaşmaya kadar akar. Filtrasyon yataklarında, kirlilik,

oksijenin alt katmana (substrat) sızdığı köklere bitişik alanlarla sınırlanmış olan aerobik bölgeleri olan aerobik, oksijensiz, anerobik bölgelerden oluşan bir ağ içinde mikrobik bozunma ve fiziksel ve kimyasal işlemlerle giderilir (Cooper ve ark., 1996; Vymazal, 2001).

Filtrasyon yataklarındaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu çok sınırlı olduğu için (Vymazal ve Kröpfelová, 2008), organik maddeler, oksijensiz/anerobik koşullar altında, esas olarak mikrobik bozunmayla etkili bir şekilde ayrıştırılır (Vymazal ve Kröpfelová, 2008). Askıdaki katılar, ağırlıklı olarak filtrasyon ve sedimentasyonla tutulur ve giderme verimi ekseriya çok yüksektir (Vymazal ve Kröpfelová, 2008). YYAYSA'lardaki azot için başlıca giderme mekanizması, denitrifikasyondur. Amonyak giderilmesi, kalıcı çok su emmiş koşulların bir sonucu olarak filtrasyondaki oksijen eksikliği nedeniyle sınırlıdır (Vymazal, 2007). Fosfor, esas olarak, fosfatın suyla veya demir ve alüminyum oksitlerin yüzeyinden hidrolizle yer değiştirdiği ligand reaksiyonlarla giderilir. Özel malzemeler kullanılmazsa, YYAYSA'larda, fosforun giderilmesi ekseriya düşüktür (Vymazal, 2007).

YYAYSA'lardaki bitkilerin en önemli rolleri, bağlanmış bakterilerin büyümesi için alt tabakanın temin edilmesi, radyal oksijen kaybı (köklerden rizosfere oksijen yayılması), besin alımı ve soğuk ve sıcak bölgelerde yatak yüzeyinin izolasyonudur (Brix,1994). Son zamanlarda, daha karmaşık, dinamik, kompartımanlı (bölmeli) modeller geliştirilmiştir. Bununla beraber, bu modellerde, birçok parametrenin ölçülmesi zordur ve bu nedenle birçok varsayım yapılmalıdır. Dolayısıyla, daha karmaşık modellerin gerektiği şekilde daha hassas dizayn parametreleri getirmediklerinin farkına varmak önemlidir. Bununla beraber, hangi model kullanılırsa kullanılsın, belediye kanalizasyon sistemi için, Yapay Sulak Alanların alanı ekseriya yaklaşık 5 m²/ (PE) nüfus eşdeğeri'dir (Vymazal ve Kröpfelová, 2008). 30 mg/L BOİ₅ ve TSS konsantrasyonuna erişmek için, US EPA 6 g/m².d ve 20 g/m².d'lik kendi içeri akış yüklerini tavsiye etmektedir (Vymazal, 2010).



Şekil 1.13. Yüzealtı yatay akışlı yapay bir sulak alanın şematik görünümü: (1) büyük taşlarla doldurulmuş içeri akış dağıtım bölgesi; (2) geçirimsiz tabaka; (3) filtrasyon malzemesi; (4) bitki örtüsü; (5) yataktaki su seviyesi; (6) dış akış toplama bölgesi; (7) boşaltma borusu; (8) su seviyesi ayarlanabilen dış akış yapısı (Vymazal, 2001).

Yapay sulakalan, 1960'lerde Almanya'da, kökleştirme ortamı olarak kaba malzemeler kullanmak suretiyle YYAYSA'ları dizayn etmiş olan Käthe Seidel tarafından geliştirilmiştir. Reinhold Kickuth, yüksek kil içeriği olan toprak ortamını önermiş ve sisteme "Kök Bölgesi Yöntemi" adını vermiştir (Kickuth, 1977). 1980'lerin başında, YYAYSA teknolojisi Danimarka'da getirilmiş ve 1987'ye kadar, nerdeyse 100 toprak sistemi devreye alınmıştır (Brix,1989). 1980'lerin sonlarında, YYAYSA'lar Avusturya ve Birleşik Krallık (İngiltere) (Vymazal ve Kröpfelová, 2008) gibi diğer ülkelere de getirilmiş ve ondan sonra, 1980'lerde, birçok Avrupa ülkesine ve aynı zamanda, Kuzey Amerika, Avustralya, Asya ve Afrika'ya yayılmıştır. 1980'lerin sonlarında, toprak malzemenin yerini kaba malzeme almış olup, şimdi ise, yaklaşık 10-20 mm tane büyüklüğüne sahip çakıl ve kaya ekonomik olarak kullanılmaktadır (Vymazal ve Kröpfelová, 2008). Yatay yüzealtı akışlı yapay sulak alana ait akış yönü Şekil 1.14'de gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alan akış yönü (ÇOB, 2010)

YYAYSA'lar, tüm dünyada her zaman evsel ve belediye atık sularını arıtmak amacıyla kullanılmaktadır (Bakınız, Şekil 1.15). Bununla beraber, günümüzde, YYAYSA'lar endüstriyel ve tarımsal, çöp sahası sızıntıları ve akarsuların da içinde bulunduğu birçok tipteki atık suyu arıtmak için kullanılmaktadır (Bakınız, Çizelge 1.9).



Şekil 1.15. *Phalaris arundinacea* ve *Iris pseudacorus*' un ekili olduğu Struhare'deki (Çek Cumhuriyeti) yüzeyaltı yatay akışlı yapay sulak alan (Vymazal, 2010).



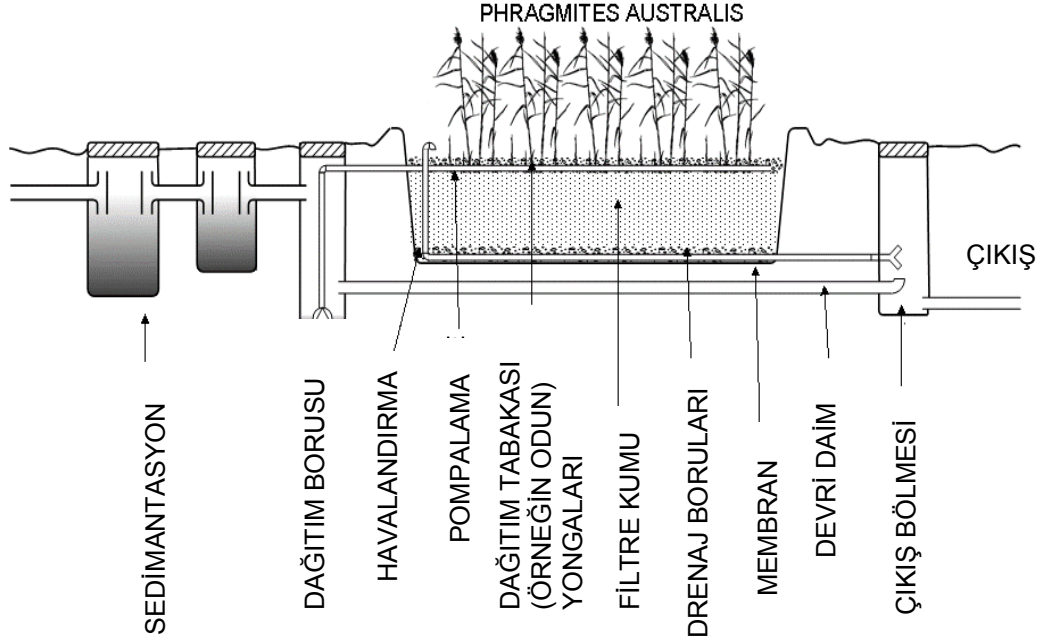
Şekil 1.16. Staverton'daki (İngiltere) yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan (Vymazal, 2010)

Çizelge 1.9. Çeşitli tiplerdeki atık sular için YYAYSA'ların kullanım örnekleri

Atıksu Tipleri	Yer
Petrokimya	U.S., China
Kimya Endüstrisi	United Kingdom
Kağıt ve Kağıt Hamuru Atıksuları	U.S.
Mezbaha	Mexico, Ecuador
Tekstil Endüstrisi	Australia
Tabakhane Endüstrisi	Portugal
Gıda Endüstrisi	Slovenia, Italy
Şarap Endüstrisi	India, Italy
Domuz Çiftliği	Australia, Lithuania
Balık Çiftliği	Canada, Germany
Mandıra	U.S., Germany, Uruguay
Karayolu Akışı	United Kingdom
Havaalanı Akışı	U.S.
Fidanlık Akışı	Australia
Sızıntı Suyu	Poland

1.3.2.4. Yüzeyaltı düşey akışlı yapay sulak alanlar (YDAYSA)

Düşey akışlı yapay sulak alanlar (YDAYSA) (Bakınız, Şekil 1.17), ilk olarak anaerobik septik tank atıksu çıkışlarını oksijenlemek için Sedel tarafından ortaya konulmuştur (Seidel, 1965). Bununla beraber, Düşey akışlı yapay sulakalanlar, muhtemelen atıksuyu sulak alanın üzerindeki yüzeye sürekli olarak pompalamak gerektiği için, daha yüksek işletme ve bakım gerekliliklerinden dolayı, Yüzeyaltı Yatay Akışlı Yapay Sulak Alanlar (YYAYSA) kadar hızlı bir şekilde yayılmamıştır. Su büyük yığınlar içine beslenir ve ondan sonra kum ortamı aracılığıyla aşağıya doğru süzülür. Yeni yığın sadece su süzildikten ve yatak susuz kaldıktan sonra beslenir. Bu, havadan gelen oksijenin yatak içine yayılmasını mümkün kılar. Sonuç olarak YDAYSA'lar YYAYSA'lardan daha fazla aerobiktir ve süzülme için uygun koşullar sağlar. Öte yandan, YDAYSA'lar hiçbir denitrifikasyon sağlamazlar. YDAYSA'lar organik maddelerin ve askıdaki katıların giderilmesinde de çok etkilidirler. Eğer yüksek sorpsiyon kapasitesine sahip ortam kullanılmazsa, fosfat giderilmesi düşüktür (Vymazal ve Kröpfelová, 2008). İlk YDAYSA'lar rotasyondaki ilk kademedeki yatakların olduğu birkaç kademedeki oluşuyordu. Günümüzde, YDAYSA'lar ekseriya tek yataklı inşa edilmektedirler ve sisteme "kompakt" "YDAYSA'lar adı verilmektedir (Cooper, 1999). YDAYSA'lar, özellikle amonyak azotu için deşarj sınırları konulduğu zaman olmak üzere, evsel ve belediye atık sularını işlemek için çok sık kullanılırlar. Bununla beraber, literatürde, rafineri çıkışı (Aslam ve ark., 2007), kompostlama kirletici sızıntısı (Lindenblatt, 2005), hava alanı yüzey akış suyu (McGill, 2000), süt ürünleri (Veenstra, 1998) veya peynir üretimi çıkış atık suyu (Kern, 1999) gibi çeşitli tiplerdeki atık sular için YDAYSA'ların kullanımına ilişkin birçok rapor yayımlanmıştır (Vymazal, 2010).



Şekil 1.17. Tek bir hane halkı için dikey akışlı bir sistemin yerleşimi. Kaba lağım önce sedimantasyon tankında muamele edilir. Çöktürülen lâğım, yatak yüzeyine elle kontrol edilen bir pompa tarafından darbe (pulse) ile yüklenir. İşlenen atıksu bir drenaj boruları sisteminde toplanır ve atık suyun yarısı pompalama duvarına (veya sedimantasyon tankına) tekrar geri sirküle edilir (Brix, 2005).

YAYSA'ların üst akımından atık su, sulak alanın altına doğru beslenir (Bakınız, Şekil 1.18). Su yukarı doğru süzülür ve ondan sonra ya yüzeye yakın ya da sulak alan yatağının yüzeyinde toplanır. Bu sistemler, örneğin Brezilya'da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Salati, 1987). Son zamanlarda, YSA'ların "doldur ve boşalt" veya gelgit geliştirilmiştir. Gelgit akış sistemlerinde, atık su yüzey taşıncaya kadar yukarı doğru süzölmektedir. Yüzey tamamen taşıdığı zaman, besleme durdurulur; ondan sonra, atıksu yatakta tutulur ve daha sonra ayarlanmış bir zamanda, atıksu aşağı doğru drene edilir. Su, filtrasyon yatağından drene edildikten sonra, arıtma devresi tamamlanmıştır ve hava filtrasyon malzemesi içindeki boşluklara yayılabilir (Cooper, 2005).



Şekil 1.18. Yüzeyaltı düşey akışlı yapay sulak alan akış yönü (ÇOB,2010)

1.3.2.5. Hibrit yapay sulak alanlar

Yapay sulak alanlar, ayrı ayrı sistemlerin avantajlarını kullanmak suretiyle, daha yüksek bir arıtma etkisine erişmek amacıyla birleştirilebilir. Birçok hibrit yapay sulak alanda düşey akışlı ve yatay akışlı kademeler birleştirir. Düşey akış – yatay akış sistemi, ilk olarak Seidel tarafından 1950’ler gibi erken bir dönemde keşfedilmiş ve 1960’ların başında dizayn edilmişse de (Karrh, 2002), ondan sonra hibrit sistemin kullanımı sınırlanmıştır. 1980’lerde, Fransa (Boutin, 1987) ve İngiltere’de (Burka, 1990) düşey akış-yatay akış hibrit yapay sulak alanlar dizayn edilmiştir. Günümüzde, hibrit yapay sulak alanlar dünya etrafındaki birçok ülkede işletilmekte olup, özellikle amonyak azotu ve toplam azotun giderilmesi gerektiği zaman kullanılırlar (Vymazal, 2010).

Kanalizasyonun yanında, hibrit yapay sulak alanlar, diğer çeşitli atıksuları, sözgelimi çöp sahası sızıntı suyu (Bulc, 2006; Kinsley ve ark., 2006), kompost çözünmesi (Reeb, 2005), mezbaha (Soroko, 2005), karides ve balık yetiştiriciliği (Lin ve ark., 2002; Lin ve ark., 2003) veya şarapçılık (Strusevičius ve Strusevičiene, 2003) gibi atıksuları arıtmak için kullanılmaktadır (Vymazal, 2010).

1.4. Yapay sulak alanlarda bitki toplulukları

Yapay sulak alanlar baskın yaşam şekline göre üç şekilde sınıflandırılmaktadır;

- a) Batık su bitkiler

- b) Köklü su bitkileri
- c) Su yüzeyinde serbest yüzen bitkiler (Yüzücü bitkiler)

a) Batık su bitkileri: Batık su bitkileri arasında özellikle su kekiği, yelpaze otu, boynuz otu ve binyaprak ile çok karşılaşılır. Bunlar su içinde batık olarak yaşarlar, ya suyun içinde askıda köksüz olarak bulunurlar veya köklü olarak dip çökeltilerine tutunurlar, genel olarak yeşil olan kısımları su içindedir. Genelde soğuk ancak iyi ışık alan sularda yaşarlar. Alglerin su yüzeyini kaplaması durumunda gelişme hızları yavaşlamaktadır. Su mercimeği ile kıyaslandığında nütrient giderme kapasiteleri çok düşüktür. Atıksu arıtımında kullanımları sınırlıdır. En yaygın kullanılan tür binyaprak olarak bilinen *eleocharis*'dir. Binyaprak dünya üzerinde geniş bir alanda dağılım göstermekte olup kumlu topraklarda ve 16-18 °C sıcaklık aralığında çok hızlı bir şekilde gelişir. Yelpaze otu 17- 26 °C sıcaklıkta, humuslu topraklarda ve bol ışıkta çok hızlı bir gelişme göstermektedir.

b) Köklü su bitkileri: Köklü su bitkilerinin en popülerleri su kamışı olarak bilinen *Scirpus* türleri, *Sagittaria* türleri, *Sparganium* türleri ve *Cyperus* türleridir. Bunlara genel bir isim olarak su kamışı denmektedir. Türkiyede bataklık ve su birikintilerinde bol miktarda rastlanmaktadır. Köklü bitkilerin nütrient giderme verimleri oldukça yüksektir.

❖ *Typha latifolia* (su kamışı)

Çok sıcak bölgelerde son derece istilacı olabilir. 1.5 – 3 metre kadar uzarlar. Kökleri 60 cm den daha derine iner. Sucul alanlarda bulunur. Tohum ya da kesilen dalların ekilmesiyle üreme sağlanır. İyi gelişen bir *Typha angustifolia* (su kamışı) günde 5 cm'e kadar uzayabilir. Silindirik koçanlarda üsttekiler erkek, alttakiler dişi koçanlardır. Haziran-Ekim aylarında çiçeklenir. Deniz seviyesinden 1930 m yüksekliğe kadar çıkabilir. Ülkemizin batı ve orta kesimlerinde yayılış gösterir. Rizomlu çok yıllık bitkidir. Göl, havuz, lağım suyunu çekme eğiliminde olan bitkilerdir. Tohumla veya bahar aylarında kısımlara ayrılarak çoğalabilir (Stephenson ve diğ., 1980; ÇOB, 2010).



Şekil 1.19. *Typha latifolia* (su kamışı) Konya-İlgın ilçesi-Kapaklı Köyü dere yatağında çekilmiştir

❖ ***Phragmites australis* (saz otu)**

Poaceae (Buğdaygiller) familyasındandır. Sürünücü rizomlu ve stolonlu çok yıllık bitkilerdir. Boyları 300-350 cm'ye kadar ulaşabilir. Kökleri 75 cm den daha derine iner. Genellikle dallı yaprak kını birbiri üzerine biner. Rizomları yatay olarak bir yılda 100-200 cm kadar uzayabilir. Hafif tuzlu suya toleranslı olan *Phragmites*ler, Typhalardan daha derin köklüdür. Yetiştirme ortamında pH isteği 4.8-8.2 arasında değişir. Yaygın üretim şekli rizomla olan bu bitki 0 - 2000 m aralığındaki rakımlarda yaşayabilir (Stephenson ve diğ., 1980; ÇOB, 2010).



Şekil 1.20. Phragmites australis (Saz Otu) Konya-Ilgın ilçesi Çavuşçu Gölü kıyısında çekilmiştir

❖ Juncus sp (kofa)

Juncaceae familyasındandır. Sık küme oluşturan çok yıllık bir bitkidir. Rizomları yoktur. Gövdeler 15-150 cm boyunda, sağlam yapılı ve taban yaprakları 2-5 adet arasında değişir. Yaprakları yuvarlak ve uçları batıcı, çiçekleri çok ve sıktır. Tuzlu ve tatlı su kenarlarındaki bataklıklarda, 0-100 m yükseltiye kadar yaşayabilir. İlkbaharda ayırma yöntemiyle üretilirler (Stephenson ve diğ., 1980; ÇOB, 2010).

c) Yüzücü su bitkileri: En fazla kullanılan yüzücü su bitkileri su sümbülü (water hyacinth), su mercimeği (duckweed), su marulu ve Su Eğretisi'dir. Yüzücü bitkilerin yaprakları su üzerinde kökleri ise su içerisindedir. Yaprakları ile fotosentez yaparak havadan CO₂'yi ve kökleri ile gerekli besin maddelerini almaktadırlar. Üretilen oksijen kökleri vasıtasıyla atıksu ortamına verildiğinden kök bölgesinde aerobik bakteriler yaşamaktadırlar. Yüzücü su bitkilerinin tamamı Türkiye'de bulunmaktadır.

❖ Su sümbülleri

Su sümbülü (*Eichhornia crassipes*), yuvarlak, dik, parlak yeşil yaprakları ve lavanta çiçeğine benzer olan çok yıllık, tatlı suda yaşayan damarlı bir bitkidir.

Bitkinin yaprak sapları birçoğu hava boşluğu olan süngerimsi bir yapıda olup, su sümbülü bitkisinin canlılığına katkı yapabilir. Atık suda yetiştirildiği zaman, su sümbülünün en tepesinden kök uçlarına kadar boyunun 0,5 – 1,2 m (20-48 inç) arasında değiştiği bilinmektedir. Bitkiler, su yüzeyi örtülünceye kadar yanal olarak yayılırlar ve ondan sonra dikey büyüme artar. Su sümbülü hızlı büyüme yeteneğindedir ve büyüme hızında dünyanın ilk on otu arasında sekizinci sıradadır. Esas olarak bitkisel çoğalmayla çoğalır ve ana bitkiler söküldüğü zaman, tohumlar, tekrar etrafı sarmanın başlıca kaynağı olabilir. Su sümbülünün büyümesi, (1) bitkinin güneş enerjisini kullanma veriminden; (2) suyun besin bileşiminden, (3) kültürel yöntemlerden ve (4) çevresel faktörlerden etkilenir.

Bitki büyümesi iki şekilde açıklanmaktadır: (1) belli bir zaman boyunca örtülen havuzun yüzdesi olarak; (2) birim yüzey alanı başına yaş bitki kütesinin birimindeki bitki yoğunluğu olarak. Normal koşullar altında gevşek bir şekilde doldurulmuş olan su sümbülleri, su yüzeyini oldukça düşük bitki yoğunluklarında, yaklaşık 10 kg/m² yaş ağırlıkta kaplayabilir. 80kg/m² yaş ağırlık kadar yüksek yoğunluklara da ulaşılabilir. Diğer biyolojik süreçlerdeki gibi, su sümbüllerinin büyümesi sıcaklığa bağlıdır. Hem hava hem su sıcaklıkları bitki canlılığını değerlendirmede önemlidir (Metcalf and Eddy, 1991).

❖ Su eğreltisi

Çiçeksiz bir yüzücü su bitkisidir Hassas yapılı olup parazit hastalıklarına yakalanma oranı oldukça yüksektir. Yapraklan arasında boşluk olduğundan su yüzeyini tamamen kaplaması oldukça güçtür Boşluklara sivrisinek girerek hızla üreyebilmektedir. Kökleri su mercimeğinden daha uzundur Su eğreltili yüzücü su bitkileri ile arıtma sistemlerinde yaprak aralıklarındaki boşluklardan giren güneş ışığının etkisiyle alg üremeleri de görülebilir. Bu sistemlerde alg üremeleri arzu edilmez. Genelde su eğreltisi ile su mercimeği birlikte kullanılmaktadır Su eğreltisi sıcaklığa karşı hassas bir bitkidir. Soğuk havalarda yeşil rengini kaybederek solabilmekte hatta canlılığını tamamen kaybedebilmektedir Piston akım şartlan sağlanacak şekilde çok gözlü seri reaktör şeklinde tertip edilmesi halinde genellikle

kademeli olarak beslenmektedir. Azot giderme verimleri % 80 - 90 mertebesindedir. Fosfor giderme verimleri % 30 - 40 mertebesinde olup azot giderme veriminden daha düşüktür (ÇOB,2010).

❖ Su mercimeği

Su mercimekleri (*Lemna spp*, *Spirodela spp*, *Wolffha spp*), “bir” den birkaç mm genişliğe kadar bileşik yaprakları olan tatlı su bitkileridir. *Lemna* ve *Spirodela*'in ekseriya 12 mm'den daha az uzunlukta olan kısa bir kökü vardır. Su mercimekleri çiçek açan bitkilerin en küçük ve en basit olanlarıdır ve en hızlı büyüme hızına sahip olanlardan biridir. Bileşik yapraktaki küçük bir hücre bölünür ve yeni bir bileşik yaprak üretir; her bir yaprak hayat devresi sırasında en az 10-20 kere üreme yeteneğindedir. Atık su içerisinde (27 °C'de) büyümüş olan *Lemna spp.* bileşik yaprak sayılarını ikiye katlar ve bu nedenle her dört günde bir havuz yüzeyini tamamen kaplayabilmektedir. Su mercimeğinin su sümbülünden 30 kat daha hızlı büyüdüğü tahmin edilmektedir. Bitkinin hepsi, esas olarak, çok küçük yapısal lifleri olan aktif hücrelerdir.

Özellikle su mercimeği başta olmak üzere, küçük yüzer bitkiler, rüzgâra karşı hassas olup, tamponlar kullanılmadığı zaman rüzgârın etkisiyle havuzun yanına doğru yığınlar halinde sürüklenir. El emeğiyle bitkilerin yeniden dağıtılması gerekir. Eğer yığınlar tekrar dağıtılmazsa, havuz yüzeyinin tam örtülmemesinden dolayı arıtma verimi azalır. Biriken bitkilerin kalmasına izin verilir ve anaerobik ayrışmaya maruz bırakılırsa, kokular da ortaya çıkmaktadır (Metcalf and Eddy, 1991).

❖ Saksıgüzeli

Saksı Güzeli (*Hydrocotyle umbellata*, *H.rununculoides*, *H.spp*), genellikle köklü bir bitkidir. Bununla beraber, yüksek besin koşulları altında, su kütleleri boyunca uzanan hidrofonik sallar oluşabilir. Saksı Güzeli iç içe geçme eğilimindedir ve yatay olarak büyür; yüksek yoğunluklarda bitkiler dikey olarak büyüme eğilimindedirler. Su sümbülünden farklı olarak, saksıgüzelinin fotosentetik yaprak

alanı küçük olup, yoğun bitki stantlarında, kendi kendini gölgelemenin bir sonucu olarak verim önemli derecede azalır. Saksıgüzeli, Orta Florida'da ortalama 0,010 kg/m²'den çok daha büyük hızlarda büyüme sergilemektedir. Su sümbülü tarafından azot ve fosfor alım hızları kışın şiddetli bir şekilde düşmesine rağmen, saksıgüzeli tarafından besin alımı hem sıcak hem de soğuk mevsimlerde yaklaşık olarak aynıdır. Saksıgüzelinin yıllık biyokütle verimi su sümbülününkinden daha düşük olmasına rağmen, su sümbülü/su marulu biyokütle üretim sistemine entegre edilebilen bir soğuk mevsim bitkisidir (Metcalf and Eddy, 1991).

❖ Pennwort

Genellikle köklü bir bitkidir; bununla birlikte bol besi maddesi bulunan ortamlarda havuz boyunca hidrofonic yığınlar şeklinde gelişebilmektedir. Pennywortlar birbirine sarılma ve yatay olarak büyüme eğilimindedir. Su sümbülünün aksine pennywortun fotosentetik yaprak alanı küçüktür ve belirli bir yoğunluktan sonra kendi gölgesinden dolayı verimi önemli ölçüde azalmaktadır. Florida'da pennywortun ortalama büyüme hızının 0,010 kg/m²-gün'den büyük olduğu tespit edilmiştir (Metcalf and Eddy, 1991).

Bitkinin hasat edilmesi ve işlenmesi

Bitkinin hasat edilmesi ihtiyacı, suya, kalite amaçlarına, bitkilerin büyüme oranlarına ve buğday bitleri gibi zararlı hayvanların etkilerine bağlıdır. Suda yaşayan bitkilerin hasat edilmesine, besinlerin yüksek bir metabolik ürünün alınımının devam ettirilmesi için gerek duyulmaktadır. Sözelimi, su sümbüllerinin sık sık hasat edilmesi (üç dört haftada bir) besin giderilmesini gerçekleştirmek için uygulanır. Sadece sık yapılan bir hasat etme ile önemli derecede fosfor giderilmesi gerçekleştirilir. Buğday bitlerinin sağlıklı sümbüllere bir tehdit ortaya koyduğu alanlarda, bitkilerin enfekte edilmekten korunması için sık sık seçici hasat etme işlemi kullanılır. Besin giderme için su mercimeğinin hasat edilmesine sıcak dönemlerde haftada bir gerek duyulabilir.

Hasat edilmiş su sümbülü bitkileri genel olarak kurutulur ve araziye dökülür, arazi üzerine yayılır ve toprakla birlikte sürülür. Su sümbülü kolaylıkla kompost edilebilir. Bununla beraber, bitkiler önceden kurutulmaz ve sıkıştırılmazsa, yüksek nem içeriği kompost işleminin verimini azaltma eğiliminde olduğundan ve atılması gereken bir sıvı akımının üretilmesine neden olur. Öğütülmüş su mercimeği, havayla kurutulmaksızın hayvan yemi olarak kullanılabilir. Sulu bitki sistemlerinin kullanımını daha uygun hale getirmek için, hasat edilmiş su sümbüllerinin ve diğer bitkilerin atılmasına ilişkin çalışmaların sürdürülmesine gerek duyulmaktadır (Metcalf and Eddy, 1991).

1.5. Abiyotik Faktörler ve Sulak Alanlar Üzerindeki Etkileri

Kimyasal ve biyolojik prosesler, sıcaklık, oksijen ve pH'ın içinde bulunduğu çevresel faktörlere bağlı bir hızda meydana gelir. Metabolik faaliyetler, biyolojik faaliyete dayanan kirletici alım proseslerinin etkinliğini azaltmak suretiyle, sıcaklıkla azalır. Düşük oksijen konsantrasyonları su sütunu içinde aerobik solunumu içeren prosesleri sınırlar ve su kalitesinin daha fazla bozulmasına neden olabilen anaerobik prosesleri artırabilirler. Birçok metabolik faaliyet, eğer pH çok yüksek veya düşükse, daha az aktif olmak suretiyle, pH'a bağlı olarak gerçekleşir (Web 2).

Sulak alanların su işleme kapasitesi, hem suyun miktarıyla, hem de kirleticilerin toplam miktarıyla sınırlıdır. Su akışı, kirleticinin giderilme oranını etkileyen su tutmaya neden olacak şekilde, dizayn kapasitesini aştığı zaman, hidrolik aşırı yükleme meydana gelir. Kirletici girişi, sulak alan içindeki proses giderim oranlarını aştığı zaman, kirletici aşırı yüklemesi olur (White ve ark., 1996). Hidrolik aşırı yükleme, fazla yükleme mekanizmalarıyla telafi edilebilir veya dizayn, sel suyu arıtması için kullanıldığı zaman, büyük su akışlarının sulak alanı bypass ettiği flaş ilkesine dayanabilir (White ve ark. 1993). İçeri akış değişimleri, aynı zamanda daha belirli ve üniforma biçimde olan giren kirlilik yükleri olan, belediye sularını arıtmak için tipik olarak daha az ekstremdir (Web 2).

Oksijen

Sulak alan sistemlerindeki oksijen heterotrofik bakteri yükseltgenmesi ve büyümesi için önemlidir. Özellikle, nitrifikasyon, organik maddenin ayrışması ve diğer biyolojik faaliyetlere aracılık edilen prosesler olmak üzere, birçok sulak alan kirlenici giderme prosesi için çok önemli bir bileşendir. Oksijen fotosentez yoluyla alglar tarafından da üretilir, bitkiler oksijeni kök sızıntısı aracılığıyla suya salarlar, tortul tabakaların kök bölgesine salarlar. Birçok yeni gelişen bitkinin, oksijenin kök dokularına geçişini sağlamak için oyuk sapları vardır. Sulak alanlardaki oksijen talebi prosesleri, tortu tabakası süprüntü talebini, çözülmüş karbonatlı BOİ'yi ve nitrifikasyon prosesleri aracılığıyla oksijenden yararlanan çözülmüş azotu içerir (Kadlec ve Knight, 1996). Oksijen konsantrasyonu, su girişinden itibaren sulak alana kadar derinlik ve mesafeyle azalır. Tortu tabakası - su ara yüzeyinde çok düşük bir derecede olacak şekilde, genel olarak yüzeyde yüksektir (Web 2)

pH

Sulak alanların pH'sı suyun Ca içeriğiyle korelasyon halindedir ($\text{pH} = 7 = 20 \text{ mg Ca/L}$). Sulak alan suları ekseriya 6-8 civarında bir pH'a sahiptirler (Kadlec ve Knight, 1996). Sulak alanların biyotası, özellikle pH'taki ani değişikliklerden etkilenebilir (Web 2).

Sıcaklık

Sıcaklık hem günlük olarak hem de mevsimsel olarak değişebilen geniş bir şekilde değişim gösteren abiyotik bir faktördür. Sıcaklık, BOİ ayrışmasının, nitrifikasyonun ve denitrifikasyonun da içinde bulunduğu kimyasal ve biyolojik proseslerin hızı üzerinde güçlü bir etki yapar (Web 2).

1.6. Yapay Sulak Alanlarda Kirlilik Giderim Mekanizmaları

a) Biyolojik prosesler

Yapay sulak alanların performansı ile ilgili genel olarak, fotosentez, solunum, fermantasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve mikrobik fosfor gideriminin de içinde bulunduğu başlıca altı reaksiyon vardır. Fotosentez, sulak alana karbon ve oksijen ekleme işlemi, sulak alan bitkileri ve algler tarafından yapılır. Hem karbon hem de oksijen nitrifikasyon prosesini harekete geçirir. Bitkiler, oksijeni, kök bölgelerine (rizosfer) geçtiği köklerine transfer ederler. Solunum, organik karbonun yükseltgenmesidir ve karbondioksit ve su oluşumuna neden olacak şekilde tüm canlı organizmalar tarafından yapılır. Yapay Sulak Alan içindeki ortak mikroorganizmalar, bakteriler, mantarlar, algler ve protozoalardır. Sulak alan organizmalarının işlevlerini uygun şekilde yerine getirmesi için, sistemde optimum koşulların sürdürülmesi gereklidir. Fermantasyon, oksijenin olmadığı ortamda, enerji bakımından zengin bileşikler (metan, alkol, uçucu yağ asitleri) üretmek suretiyle organik karbonun ayrışmasıdır.

Proses sık sık mikrobik faaliyetle yürütülür. Nitrifikasyon/denitrifikasyonla azot giderilmesi mikroorganizmalar tarafından aracılık edilen prosestir. Uçucu hale getirme ile ilgili fiziksel proses azot gidermede önemlidir. Bitkiler onları ek biyokütle üretmek amacıyla kullanmak suretiyle, sudan, çözülmüş besinleri ve diğer kirleticileri alırlar. Ondan sonra kirleticiler ve besinler bitki gövdesinden geçerek, bitkiler öldüğü zaman süprüntü ve turba birikmesi aracılığıyla alttaki tabakalarda depolanmak suretiyle, bitkilerin olgunlaştığı yer altındaki depolama organlarına giderler (Web 2).

Sulak alan mikroorganizmaları, bakteri ve mantarlarında içinde bulunduğu çözünebilir organik maddeyi giderirler, koloidal maddeyi pıhtılaştırırlar, organik maddeyi stabil hale getirirler ve organik maddeyi çeşitli gazlara ve yeni dokuya dönüştürürler. Mikroorganizmaların birçoğu, geleneksel atıksu arıtma sisteminde olanlarla aynıdır. Bununla beraber, farklı tipteki organizmaların, çözülmüş oksijen,

sıcaklık aralıkları ve besinler için spesifik toleransları ve gereklilikleri vardır (Web 2).

b) Kimyasal prosesler

Metaller, çözünmeyen bileşikler olarak su sütunundan çökebilir. Işığa ve atmosferik gazlara maruz kalma organik partikülleri bozabilir veya hastalık üreten organizmaları öldürebilir (EPA, 1995). Sulak alanlardaki suyun ve toprağın pH'ı birçok reaksiyonun ve prosesin yönünde, biyolojik dönüşüm, asitlerin ve bazların iyonlaşmış ve iyonlaşmamış biçimlerinin bölünmesi, katyon değiştirme, katı ve gaz çözünmesinin de içinde bulunduğu güçlü bir etki yapar (Web 2).

c) Fiziksel prosesler

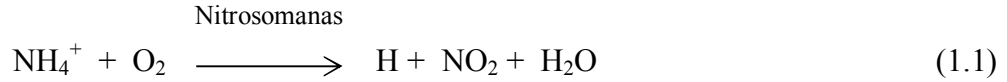
Sedimentasyon ve filtrasyon atıksu kirleticilerinin giderilmesine yol açan ana fiziksel proseslerdir. Proseslerin (biyolojik, kimyasal, fiziksel) etkinliği suyun arazide kalma zamanıyla (yani, suyun sulak arazide durduğu günün uzunluğu) değişir. Çok uzun zaman tutmanın bozucu etkileri olabilmesine rağmen, alıkonma zamanının uzun olması, daha fazla kirleticinin giderilmesini hızlandırır (Web 2).

1.6.1. Sulak alan azot prosesleri

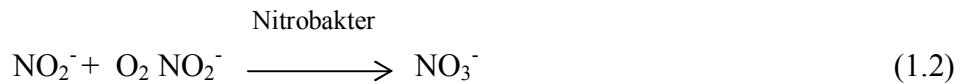
Sulak alanlardaki en önemli azot türleri, çözülmüş amonyak (NH_4^+), nitrit (NO_2^-) ve nitrattır (NO_3^-). Diğer biçimler, azot oksit gazlarını (N_2O), gaz haldeki azotu (N_2), üreyi, aminoasitleri ve aminleri içermektedir (Kadlec ve Knight, 1996). Herhangi bir sistemdeki toplam oksijen, organik azot, nitrat ve azotlu gazlarına toplamına karşılık gelmektedir ($\text{Organik azot} + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{N}_2\text{O}$). Çeşitli azot biçimleri sürekli olarak inorganik maddeden organik maddelere dönüşümlere vb. katılır. Bu dönüşümlerin çoğu nitro bakteri ve nitozomonas tarafından yürütülmekte olan biyotik dönüşümlerdir (Kadlec ve Knight, 1996). Çeşitli dönüşümlere maruz kaldığı için, azot sulak bitkiler ve mikroflora (tercihen, $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) tarafından alınır, bir kısmı toprağa geçer, bir kısmı gaz olarak atmosfere gider, bir kısmı da normal olarak çözülmüş biçimlerde sulak alanın dışına akar. Organik azot, sulak

alan biyotasının, kaya döküntüsünün (detritus), toprakların, tortul tabakaların (sediment) ve çözülmüş katıların önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Kadlec ve Knight, 1996). Azot, suda yaşayan bitkiler tarafından kolayca emilmekle kalmayıp, aynı zamanda, uzun reaksiyon süresi gerektiren birçok dönüşüm aracılığıyla NH_4^+ + NO_3^- 'e dönüştürülmelidir (Kadlec ve Knight, 1996). Biyolojik azot giderme prosesi birkaç adım takip eder. Genellikle rizosfer ve biyofilmlerde olmak üzere, önce nitrifikasyon (aerobik proses) olur. Anaerobik proseste olduğu gibi, topraklar içinde ve toprak-su ara yüzeyinde oksitlenmiş olan mikronun altında meydana gelecek şekilde, onun ardından denitrifikasyon gelebilir (Broderick ve ark., 1989).

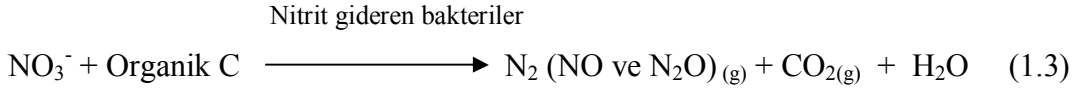
Nitrifikasyon, Nitrozomonas ve nitrobakter bakterileri tarafından katalizlenen iki adımlı bir prosestir. Birinci adımda, amonyak, Denklem 1.1'de gösterildiği gibi Nitrozomonas bakterileri tarafından katalizlenen aerobik bir reaksiyonda nitrite yükseltgenir.



Üretilen nitrit, nitrobakter bakteriler tarafından aşağıdaki gibi nitrat oluşturarak (denklem 1.2) üretilir.



İlk reaksiyon bazikliği azaltmak için doğal karbonatla reaksiyona giren hidronyum iyonları üretmektedir. Nitrifikasyonu yapmak amacıyla, nitrozomonas oksijen için heterotfik bakterilerle rekabet etmelidir. Suyun BOİ'si önemli nitrifikasyonun ortaya çıkabilmesinden önce, 20 mg/l'den daha az olmalıdır (Reed ve ark.,1995). Sıcaklık ve su tutma zamanları da sulak alanlardaki nitrifikasyon hızını etkileyebilir. Denitrifikasyon, bir gaz biçimi oluşturmak üzere, nitratın anaerobik koşullarda dip canlıları tarafından indirgendiği bir prosestir. Reaksiyon, aşağıdaki gibi Pseudomonas spp ve diğer bakteriler nitrit giderici (denitrifying) bakteriler tarafından aşağıdaki gibi katalizlenir.



Denitrifikasyon nitrat anoksik koşulları ve karbon kaynaklarını (kolaylıkla biyobozunabilir olan) gerektirir. Nitrat ön gerekliliklerden birisi olduğu için nitrifikasyon denitrifikasyondan önce gelmelidir. Denitrifikasyon prosesi, asidik koşullar altında daha yavaştır. 5 - 6 arasındaki bir pH'ta, N₂O üretilir. 5'in altındaki bir pH için, N₂ ana azotlu üründür (Nottall ve ark., 1995). NH₄⁺, 7'lik bir pH'ta amonyak azotunun baskın olan biçimidir, NH₃ (çözünmüş gaz olarak mevcut olan) ise, 12'lik bir pH'da önem kazanır. Sulak alan içinde dolanan ve giderilen azot, genellikle sedimentasyon (resüspanسیون), çözünmüş formun yayılması, süprüntü düşmesi, çözünmüş oksijenin toprak partiküllerine adsorpsiyonu/desorpsiyonu, organizma göçü, sulak alan biotası tarafından asimile edilme, tohumun açığa çıkması, amonyaklama (mineralizasyon) (organik N - NH₄⁺), amonyak uçurma (NH₄⁺ - NH₃(gaz)), bakteriyel olarak aracılık edilen denitrifikasyon - nitrifikasyon reaksiyonları, azot sabitleme (N₂, N₂O (gazlar-organik azot)) ve sulak alan biotası tarafından azot asimilasyonunu (NH₄⁺, ekseriya NO_x'le NO₃⁻ olarak, NO_x organik-azot) içerecek şekilde, sulak alanlardaki azotun hem yer değiştirmesini hem de dönüşümünü gerektirir. Çökelme, organik biçimde bile azotun yüksek çözünürlüğünden dolayı, önemli bir proses değildir. Organik azot, sulak alan biotası, ufalanmış kayalar, topraklar, tortul tabakaları ve çözünmüş katılardan oluşmaktadır (Kadlec ve Knight, 1996).

1.6.2. Fosfor giderimi

Fosfor, biyolojik büyümenin önemli bir gerekliliğidir. Fosforun fazlasının sulak alanda ötrofikasyonu tetiklemek ve alg ortaya çıkmalarına ve diğer su kalitesi problemlerine yol açmak suretiyle, ikincil etkileri olabilir. Fosfor sulak alana çözünmüş olarak ve partikül biçimlerde girebilir. Toprağın içine nüfuz etmek (çözünerek toprağa girmek) ve bitki ve hayvanlar tarafından giderilmek suretiyle dış akışlarda sulak alanlardan çıkar. Sulak alanlardaki fosforun giderimi, fosfor

döngüsüne dayanır ve çok sayıda prosesi içerebilir. Birincil fosfor giderme mekanizmaları adsorpsiyon, filtrasyon ve sedimantasyonu içermektedir.

Diğer prosesler, kompleksleştirme, çöktürme ve asimilasyon/bünyesine almayı içermektedir. Partikül haldeki fosforlar, askıdaki katılarla birlikte, sedimantasyonla atılır. apay sulak alanların konfigurasyonunun biyofilm ve bitki büyümesinin yanında askıdaki maddelerin sedimantasyonu ve filtrasyonu ile yoğun alım sağlaması gerekmektedir. Fosfor, tortul tabakalar, biota (bitkiler, biyofilm, fauna), ufalanmış kaya parçaları ve suda depolanır. Kompartımanlar (bölmeler) arasındaki etkileşimler, redoks kimyası pH ve sıcaklık gibi çevre koşullarına bağlıdır. Tortu tabakalarının redoks durumu (oksijen içeriğiyle bağlantılı) ve süprüntü/turba kompartımanı, fosfor döndürme proseslerinin meydana geleceğini belirlemede başlıca faktördür. Düşük oksijen koşulları altında (düşük redoks potansiyeli), fosfor tortul tabakalardan ve topraklardan su sütununa serbest bırakılır ve eğer anaerobik koşullar tersine çevrilmezse, sulak araziye terk edebilir (Web 2).

1.6.3. Askıdaki katılar

Katılar bir sulak alanın (örneğin içeri akışlar ve atmosferik girdiler) dışarısından ve sulak alanın içerisinden, plankton (zooplankton ve fitoplankton) ve bitki ev hayvan kırıntılarından çıkarılabilir. Düşük sulak alan su hızları ve giren katıların uygun bileşimiyle, askıdaki katılar su sütunundan sulak alan içine çökeceklerdir. Tortu tabakasının resüspansiyonu sadece kirleticilerden açığa çıkmaz, bulanıklığı artırır ve ışık penetrasyonunu azaltır. Askıdaki katıların giderilmesinden sorumlu olan fiziksel prosesler, sedimantasyonu, filtrasyonu, biyofilme adsorpsiyonu ve flokülasyon/çöktürmeyi içerir. Sulak alan bitkileri, biyofilmin geliştirilmesi için var olan alt tabakanın alanını artırır. Bitki saplarının yüzey alanı da, kaba yapısı içinde ince malzemeleri tutar (Web 2).

1.6.4. Patojen giderimi

Patojenler hastalığa neden olan organizmalardır (örneğin, bakteriler, virüsler, mantarlar, protozoa). Sulak alanlar, genel olarak patojen sayısını, sulak alan içeri

akışlarından, beş derece büyüklüğe kadar azaltmak suretiyle patojenlerin giderilmesinde çok etkilidirler (Reed ve ark., 1995). Sulak alanlardaki patojenleri giderebilen prosesler doğal ölümü, sedimentasyonu, filtrasyonu, ultraviyole ışık iyonizasyonunu, istenmeyen su kimyasını, sıcaklık etkilerini, diğer organizmalar ve pH tarafından yemeyi içermektedir (Kadlec ve Knight 1996). Kadlec ve Knight (1996), patojenlere karşı yiyici olabilen çeşitli mikroorganizmaların büyümesini sağladıkları için, bitki etkili sulak alanların daha etkili olduklarını göstermişlerdir (Web 2).

1.6.5. Ağır metal giderimi

Ağır metaller, periyodik tabloda kalsiyumun yukarısında olan, bir hayli zehirli olabilen ve 5 g/cm^3 'ten daha fazla yoğunluğa sahip olan tüm metallere verilen ortak bir isimdir (Skidmore ve Firth, 1983). Tatlı suda söz konusu olan temel ağır metaller; kurşun, bakır, çinko, krom, cıva, kadmiyum ve arseniği içermektedir. Ağır metalleri gideren üç temel sulak alan prosesi vardır; yani, toprağa bağlama, sedimentasyon ve partikül haldeki madde, çözünmeyen tuzlar olarak çöktürme ve bakteriler, alglar ve bitkiler tarafından alınma (Kadlec ve Knight,1996). Sulak alanlar içinde mevcut olan çeşitli ağır metaller, patojenler ve organik bileşikler biyotaya karşı zehirli olabilir. Biotanın tepkisi, zehir konsantrasyonuna ve organizmaların belli bir toksine karşı toleransına bağlıdır. Sulak alanların zehirler (toksinler) için tamponlama kapasitesi vardır ve çeşitli prosesler toksinleri bir dereceye kadar seyreltirler (Web 2).

1.7. Yapay Sulak Alanların Bölgeleri, Bileşenleri ve Tasarım Kriterleri

Birçok yapay sulak alanın aşağıdaki bölgeleri vardır.

- Giriş Bölgesi,
- Makrofit Bölgesi,
- Kıyı Bölgesi
- Dış Bölgeler

Su akışı, yatak yüzeyinin yaklaşık 15-30 cm altında tutulur. Atıksu sistemlerindeki bitkiler, besin alımının bitki büyümesi ve iletimiyle ilişkili olduğu bitki depolama kompartımanları olarak görülmüştür. Aşırı olgunlaşma öncesi hasat etme sistemlerden besinleri giderir. Su sütunu içinde, sulak alan bitkilerinin sapları ve kökleri mikrobik topluluğun bağlanması için önemli derecede yüzey alanı sağlarlar. Sulak alan bitkilerinin, atmosferik oksijeni kökün aşağısına ve su sütununa doğru taşıma yeteneği vardır. Kullanılan birçok ortam kırılmış taşları, çakıl taşlarını veya tek başına ya da bir arada olan farklı toprakları içermektedir. Birçok yatağın altına su sızıntısını önlemek ve su seviyesi kontrolünü güvenceye almak için geçirimsiz malzeme konulur.

1.7.1. Hidroloji

Esas olarak, su akışlarına önemli derecede katkı yapabilecekleri için, atmosferle su değişikliklerini yok saymak güvenli değildir. Yağmur, (1) madde konsantrasyonunu azaltmak suretiyle, suların seyreltilmesinin ve (2) bir ıslak içindeki su tutma zamanını artırmak suretiyle, su hızının artırılmasının içinde bulunduğu birbirine zıt iki etkiye neden olur. Bitki örtüsünün varlığı, sulak alan terleme ve buharlaşması bitişik bir açık sitede konulan A sınıfı bir tabiatın genellikle 0,8 katı olmasına rağmen, terleme ve buharlaşmayı geciktirebilir. Yapay bir sulak alanı uygun bir şekilde dizayn etmek için, doğru bir hidrolojik bütçenin hazırlanması gerekmektedir. Sulak alana yönelik su dengesi şöyle hesaplanabilir:

$$\frac{dV}{dt} = Q_i + Q_e + P - ET \quad (1.4)$$

Burada, Q_i , giriş atık suyunun debisi (hacim/zaman), Q_e , çıkış atık suyunun debisidir (hacim/zaman). P çökme, ET (hacim/zaman) ise terleme ve buharlaşmadır (hacim/zaman). V hacim, t ise zamandır. (YAS) Yüzealtı akışlı sulak alanlarının kaplanması (astarlanması) gerektiği için, eşitlik yer altı suyundan ve yeraltı suyuna olan akışı göz önüne almamaktadır (Web 2).

1.7.2. Topoğrafya

Sulak alan yerleri için, biraz eğimliden düze kadar olan tek tip bir topoğrafya tercih edilir; çünkü serbest su sistemleri (SYS) genellikle düz havzalarla veya kanallarla dizayn edilirken yüzeyaltı akışlı sistemler (YAS), genelde % 1'lik veya biraz daha fazla eğimli bir şekilde dizayn edilir ve inşa edilir. Havzalar daha dik ve düzgün olmayan yerlerde yapılabilmelerine rağmen, gerekli toprak işi miktarı sistemin maliyetini etkileyecektir. Böylece, sulak alan yerlerinin eğim dereceleri, normal olarak % 5'ten daha azdır (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.3. Toprak

Yavaş bir şekilde geçirgen ($< 0,20$ in/h) yüzeyleri olan yerler veya alt yüzey tabakaları sulak alan sistemleri için çok istenilen özelliklerdir; çünkü amaç, toprak profilinin üzerindeki su tabakasındaki atık suyu arıtmaktır. Böylece, toprak profili aracılığıyla süzülme kayıplarının en aza indirilmesi gerekmektedir. Toprak üzerindeki akış sistemlerinde olduğu gibi, katıların birikmesi ve bakteri şlamalarının (balçıklarının) büyümesi nedeniyle yüzey toprağı zamanla sızdırmaz olma (kapama) eğiliminde olacaktır. Doğal toprakların geçirgenlikleri yapım sırasında sıkıştırmak suretiyle kasıtlı olarak azaltılabilir. Oldukça hızlı bir şekilde geçirimli olan yerler, havzaları kil veya yapay kaplamalarla (astarlarla) yapmak suretiyle kullanılabilir. Yeraltı suyu veya ana kayaya kadar olan toprak derinliği için yer kriterleri, arazi üstü akış sistemleri için daha önce tartışılanla aynıdır (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.4. Sel riski

Genellikle, sulak alan yerlerin taşma ovalarının dış kısmına kurulmaları veya taşkından korunmaları gerekir. Sadece kışın, sistem çalışmadığı zaman; taşkınların olduğu durumlarda, sulak alan yerleri için nadir taşma (sel) sistemlerinden korumaya, düzenleyici gerekliliklere bağlı olarak gerek duyulmayabilir (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.5. Mevcut arazi kullanımı

Sulak alan yerleri için özellikle, mevcut doğal sulak alanlara yakın olanlar olmak üzere, açık alan veya tarım arazileri tercih edilir. İnşa edilmiş sulak alanlar, ek yaban hayatı habitatı sağlamak suretiyle ve bazı durumlarda daha uygun bir su temini sağlamak suretiyle iyileştirilebilir (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.6. İklim

Soğuk iklimlerde sulak alan sistemlerinin kullanımı mümkündür. Linowel, Ontario'daki SYS sistemi, nerdeyse bütün yıla 3°C kadar düşük atıksu sıcaklıklarında çalışmaktadır. Bununla beraber, kış boyunca bir sistemi çalıştırmının uygulanabilirliği, havzadaki suyun sıcaklığına ve arıtma amaçlarına bağlıdır. Başlıca arıtma mekanizmaları biyolojik olduğu için, işletme performansı güçlü bir şekilde sıcaklığa duyarlıdır. Düşük sıcaklıklardan dolayı arıtma amaçlarının karşılanamadığı yerde, depolama gerekecektir (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.7. Uygulanan ön arıtma

Sulak alan sistemleri için minimum düzeydeki uygulanan ön arıtmanın, birincil arıtma, kısa dinlendirme zamanlı havalandırılmalı havuzlar veya eşdeğeri olması gerekir. Bu seviyenin ötesindeki arıtma, atıksu gerekliklerine ve atık alan sistemlerinin giderme yeteneğine bağlıdır. Daha sıkı düzenleyici gereklilikleri karşılamak amacıyla, ikincil arıtma sistemlerinden gelen atığı temizlemek amacıyla, bazı yerlerde inşa edilmiş sulak alanlar kullanılmaktadır. Sulak alanlar arıtmasından önce, yüksek alg konsantrasyonları üreten yükseltgenme havuzlarının veya gölcüklerin kullanımından kaçınılması gerekmektedir, çünkü arazi üstü akış sistemleri gibi, sulak alanlar aracılığıyla alg giderilmesi tutarsızdır. Ön uygulama işleminde fosfor giderme, fosforla ilgili sınırlamalarının olduğu yerde tavsiye edilir, çünkü sulak alanlarda fosfor giderimi çok azdır (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.8. Bitki örtüsü seçimi ve yönetimi

Bitki örtüsü, kökleri ve rizom sistemleri aracılığıyla, oksijeni arıtma havzalarının altına transfer etmek ve biyolojik arıtmanın çoğunu yapan mikroorganizmaların bağlanması için su yüzeyinin altında ortam sağlamak suretiyle ıslak alanlar arıtmasında önemli bir rol oynar. Toprakta veya ortaya çıkan ortamı destekleyen veya su yüzeyine nüfuz eden granülde kök salmış olan, gelişmekte olan bitkiler, sulak alan sistemlerinde kullanılır. İnşa edilmiş sulak alanlarda çok sık bir şekilde kullanılan bitkiler, kamışları, sazları (reed), sazları (rushes), sazlıkları ve kamışları (sedges) içermektedir. Kamışlar (cattails), 0,15 m üzerindeki su derinliklerinde bol bulunma eğilimindedirler. Sazlıklar 0,05 - 0,25 m derinliklerde büyürler. Sazlar (reeds) kıyı çizgisi boyunca ve 1,5 m kadar derinlikte sularda büyürler. Sedges normal olarak kıyı çizgisi boyunca ve sazlıklardan (bulrush) daha sığ sularda olur. Cattail (kamış) rizomlar ve kökler yaklaşık 0,3 m derinliğe kadar uzanırlar; oysa kamışlar 0,6 m'den daha fazlasına kadar uzanırlar ve sazlıklar (bulrush) 0,76 m'den daha fazla derinliğe uzanırlar (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.9. Dizayn parametreleri

Yapay sulak alan sistemleri için başlıca dizayn parametreleri hidrolik bekletme (tutma) zamanını, havza derinliğini, havza geometrisini (genişlik ve uzunluk) içermektedir. BO₅ yükleme oranı ve hidrolik yükleme oranı. Dizayn için önerilen tipik alanlar Çizelge 1.10'da verilmektedir.

Çizelge 1.10. Yapay sulakalanlar için tipik boyutlandırma değerleri (Metcalf and Eddy, 1991)

Boyutlandırma Parametresi	Birimi	Sistemin Tipi	
		Serbest Yüzeyle Akışlı Sistem (SYS)	Yüzeyaltı Akışlı Sistem (YAS)
Hidrolik Bekletme Süresi	Gün	4-15	4-15
Su Derinliği	Metre	0,1- 0,6	0,3-0,75
BO ₅ Yükleme Hızı	Kg/ha. Gün	<67	<67
Hidrolik Yükleme Hızı	m ³ /m ² .gün	0,014- 0,05	0,014- 0,05
Spesifik Alan	ha/1000m ³ .gün	7-12	7-12

1.7.9.1. Hidrolik bekletme zamanı

BOİ giderilmesini gerçekleştirmek için, gerekli bekletme zamanı, aşağıdaki birinci dereceden giderme modelini kullanarak tahmin edilebilir;

$$C_e/C_0 = A \exp(-0,7 K_T (A_v)^{1,75} t) \quad \boxed{1.5}$$

Burada,

C_e = Dışarı akan BOİ₅ konsantrasyonu, mg/L

C_0 = İçeri giren BOİ₅ konsantrasyonu, mg/L

A = Sistemin başında ayarlamak suretiyle giderilmeyen BOİ₅ fraksiyonunu temsil eden deneysel olarak belirlenmiş katsayı

0,7 = Deneysel sabit

K_T = Sıcaklığa bağlı birinci dereceden oran (hız) sabiti

A_v = Mikrobiyolojik faaliyet için spesifik yüzey alanı ft²ft³

T = Hidrolik bekletme zamanı

Not: ft³/ft².d x 0.3048 = m³/m².d

Hidrolik bekletme zamanı, aşağıdaki eşitlikle ifade edildiği gibi, dizayn debisinin ve sistem geometrisinin bir fonksiyonudur.

$$t = LWnd/Q \quad \boxed{1.6}$$

Burada,

L = Havza uzunluğu, ft

W = Havza genişliği, ft

n = Bitkiler tarafından işgal edilmeyen kesit alanının fraksiyonu

d = havza derinliği

Q = sistemden geçen ortalama debi [(Q giriş + Q çıkış / 2)], ft³/dak

Eşitlik 1.5 ve 1.6'daki katsayılar için aşağıdaki değerler tahmin edilmiştir. Bununla beraber, onların geliştirilmesinde kullanılan sınırlı veri tabanından dolayı bu değerlerin kullanılmasında dikkatli olunması tavsiye edilmektedir.

$$A = 0,52$$

$$KT = K_{20}(1,1)^{(T-20)}, T, \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K_{20} = 0,0057 \text{ d}^{-1}$$

$$A_v = 4,8 \text{ ft}^2/\text{ft}^3 (15,7 \text{ m}^2/\text{m}^3)$$

$$n = 0,75$$

BOİ gidermek için kullanılan YAS sulak alan sistemleri için gerekli bekleme zamanını belirlemek amacıyla benzer bir model önerilmiştir;

$$C_t/C_o = \exp(-K_T t^t) \quad \boxed{1.7}$$

Eşitlik 1.7'de, t^t bekleme zamanı, ortamın porozitesine (gözenekliliğine) veya gözenek – boşluk bekleme zamanına dayanan teorik bekleme zamanı olarak tanımlanır.

$$t^t = LW\alpha d/Q \quad \boxed{1.8}$$

Burada,

$$t^t = \text{Gözenek - boşluk bekleme zamanı, d}$$

$$L = \text{Havza uzunluğu, ft}$$

$$W = \text{Havza genişliği, ft}$$

$$\alpha = \text{Havza ortamının porozitesi}$$

$$d = \text{Havza derinliği, ft}$$

Fiili bekleme zamanı t , aşağıdaki ilişkiyle verilen ortamın hidrolik iletkenliğinin ve havza uzunluğunun bir fonksiyonudur.

$$T = L/k_s S \quad \boxed{1.9}$$

Burada,

- L = Havza uzunluğu, ft
k_s = Hidrolik iletkenlik, ft³/ft²·d
α = Havza ortamının porozitesi
S = Havzanın eğimi

Sulak alan sistemlerinde azot giderilmesi direkt olarak bekletme zamanı ile bağlantılı olsa da, giderme oranları, BOİ giderilmesini önceden bilmek için kullanılan birinci derece modeller tarafından kestirilemez. Mevcut azotun biçimleri, C:N oranları, sistem geometrisi ve bitki örtüsü modelleri gibi diğer faktörler de azot giderilmesini güçlü bir şekilde etkiler. Sulak alan sistemlerinde azot giderilmesi için gerek duyulan dizayn bekletme zamanları hâlihazırda pilot çalışma verilerine veya benzer atık su karakteristikleri ve yer koşulları olan mevcut sistemin performansına dayanmaktadır. SYS sistemleri için, bitki örtülü ve açık su bölgelerinin değiştirilmesiyle ilgili bir konfigürasyonun, azot giderilmesini optimize etmek için gerekli çevre koşullarının uygun kombinasyonunu sağlayabileceği ortaya çıkmaktadır. Böyle bir konfigürasyonun sürdürülmesi, açık-su bölgelerinde gelişen bitki örtüsünün periyodik (en azından yıllık) hasat edilmesini gerektirecektir.

1.7.9.2. Su derinliği

SYS sistemleri için dizayn su derinliği seçilen bitki örtüsü için optimum derinliğe bağlıdır. Soğuk iklimlerde, çalışma derinliği yüzeyde buz oluşumunu ve daha soğuklarda gerekli bekleme zamanının artırılmasını sağlayacak şekilde normal olarak artırılır. Sistemlerin çeşitli çalışma derinliklerine izin veren bir çıktı yapısıyla dizayn edilmeleri gereklidir. Listowel, Ontario'daki sistem, yazın 0,1 m, kışın 0,3 m derinlikte çalıştırılmaktadır. YAS sistemlerinin dizayn derinliği, bitki rizomlarının ve köklerinin penetrasyon derinliğiyle kontrol edilir; çünkü, bitkiler rizom/kök sistemi aracılığıyla suya oksijen temin ederler (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.9.3. Havza alanı ve geometri

Havza geometrisi, sistemin SYS veya YAS olup olmadığına bağlı olacaktır. Bu iki sistemle ilgili hususlar aşağıda değerlendirilmektedir:

Çizelge 1.11. Yüzey altı akış sistemleri için tipik ortam karakteristikleri

Ortamın Türü	Maksimum Tane Boyutu, mm	Gözeneklilik, A	Hidrolik iletkenlik, Ks,ft ³ /ft ² .d	K ₂₀
Orta kum	1	0.42	1,380	1,84
Kaba kum	2	0.39	1,575	1,35
Çakıllı kum	8	0.35	1,640	0,86

Not: ft³/ft².d x 0.3048 = m³/m².d

SYS Sistemleri

SYS sistemleri için yüzey alanı (L x W), Eşitlik 1.6'ya göre dizayn bekletme zamanı ve derinliğe göre ayarlanır. Bir çalışma, uzun dar havzalar için üstün performans rapor etmiş olmasına ve en az 10/1'e kadar bir uzunluk genişlik oranı tavsiye etmesine rağmen, optimum uzunluk için genişlik oranlarına kadar yönergeler sıkı bir şekilde belirlenmemiştir. Uzun, dar havzaların kullanılması, kısa devre yapma potansiyelini azaltmakla birlikte, eğer yükleme kriterleri aşılsa, girişte aşırı yüklenmiş koşullara yol açabilen havza girişindeki yükleme konsantrasyonuna neden olabilir. Tipik olarak, mevcut sistemlerin, yaklaşık olarak havzaların uzunluğuna eşit olan bir toplam genişliği vardır. Sistemin genişliği, daha iyi bir hidrolik kontrol ve işletme esnekliği sağlamak için sekilerle ayrılmış birçok paralel (en azından ikisi) havzaya ayrılır. Birçok havzada sistemin bir kısmı bitki örtüsü yönetimi veya havza yenilenmesi için devreden çıkarılabilir.

YAS sistemleri

Yüzeyaltı sistemlerinin kesit alanı, aşağıdaki eşitliğe göre gerekli hidrolik kapasite ile belirlenir.

$$A_c = Q/k_s S$$

1.10

Burada, Q, k ve S yukarıda tanımlandığı gibidir. (k,s) ile tanımlanan akış hızının bakteri filmlerin lokalize olmuş kesmesini en aza indirmek için 22 kat bir

değere sınırlanması gerekmektedir. Sistemin gerekli genişliği kesit alanının ve dizayn derinliğinin bir fonksiyonu olup, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$W=Ac/d$$

1.11

Ondan sonra gerekli uzunluk Eşitlik 1.8 kullanılarak hesaplanabilir. Tipik olarak, YAS sistemlerinin uzunluğu genişlikten önemli derecede daha az olabilir.

1.7.9.4. BOİ₅ yükleme oranı

Arazi üstü akış sistemlerinde olduğu gibi, BOİ₅ yüklemesinin, uygulanan (sisteme beslenen) atık suyun oksijen talebinin, sulak alan bitki örtüsünün oksijen transfer kapasitesini aşmayacak şekilde sınırlanması gerekmektedir. Alan yüklem kriterlerinin kullanılmasında, oksijen yüzey boyunca üniform bir şekilde dağılırken, gerçek yükleme üniform bir şekilde uygulanmamakla girişlerde yoğunlaştırdığı için, alan yükleme kriterlerinde dikkatli olunması gerekmektedir. Gelişmekte olan bitkiler için tahmin edilen oksijen transfer hızları, birçok sistem için tipik olduğu düşünülen ortalama 20 g/m².d ile 45 g/m².d'ye kadar değişmektedir. Bu oksijen transfer hızı, damlatmalı filtreler için tahmin edilen 28,5 g/m².d bir oksijen transferi ile karşılaştırılabilir. Oksijen, etkilenen yapraklar ve dallar aracılığıyla rizomlara ve köklere transfer edilir. Köklerin akan sus sistemleriyle temas ettiği SFS sistemleri için, kök sistemine transfer edilen oksijen su sütunundaki çözünebilir BOİ'yi parçalayan bağlanmış organizmalar için kullanıma hazır olacaktır (Metcalf and Eddy, 1991).

Oksijen gerekliliği nihaî oksijen talebi bazında değerlendirilmelidir. 1/5'lik BOİ_n/BOİ₅ oranına dayanılarak belirlenmelidir; YAS sistemleri için maksimum BOİ₅ yükleme oranınının 133 kg/ha.d ile sınırlanması gerekir. Genel olarak, 110 kg/ha.d'lık bir üst limit tavsiye edilmektedir. BOİ yükü sistem girişinde yoğunlaştığı için, daha sonra, nihaî dizayn BOİ yükleme hızının, oksijen transfer hızının yarısını aşmaması gerektiği tavsiye edilmektedir. Bu kritere ve 1,5'lik BOİ_n/BOİ₅ oranına dayanılarak, maksimum BOİ₅ yükleme hızınının 66,5 kg/ha.d ile sınırlandırılması gerekir.

Çöktürülebilir katıların önemli bir fraksiyonuna sahip olan atık suları arıtan sistemler için, yüklemenin daha bile yapılması veya havzaların başındaki anaerobik koşullardan kaçınmak için kademeli beslemeyle havza uzunluğu boyunca dağıtılması gerekir (Metcalf and Eddy, 1991).

SYS sistemleri için su sütununa oksijen temini, YAS sistemleriyle kıyaslandığında olduğu gibi sınırlıdır. Çünkü kök bölgesi su sütunu altındaki toprak profil içinde değildir ve kök bölgesine taşınan herhangi bir oksijen, muhtemelen, normal olarak sulak alanlarda mevcut olan büyük oksijen talepleriyle tüketilecektir. Üstelik rüzgârın neden olduğu yeniden havalandırma ve fotosentez tarafından su yüzeyi aracılığıyla oksijen transferi yoğun bitki örtüsü mevcut olduğu zaman en aza indirilir. Böylece, tam bitki örtülü SYS sistemleri sadece orta düzeyde BOİ yükleme hızları için uygundur. Hâlihazırdaki literatürde spesifik tavsiyelerin olmamasında, bu gibi sistemler için dizayn yüklemelerinin, YAS sistemleri için tavsiye edilen 66.5 kg/ha.d'lik değeri aşmaması gerekmektedir. Tam bitki örtülü bir sistem kullanılarak, yükseltgeme (oksidasyon) havuzu atık suyunun başarılı bir şekilde arıtılması, 60 kg/ha.d'ye kadar BOİ₅ yükleme oranlarında rapor edilmiştir. Tüm sistem bazında oksijen transferinin artırılması, muhtemelen, daha önceden azot giderilmesini iyileştirmek için önerildiği gibi, bitki örtülü ve açık su hücrelerini münavebeli olarak kullanmak suretiyle gerçekleştirilebilir (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.9.5. Hidrolik yükleme hızı

Sulak alan sistemleri için hidrolik yükleme oranı, L_w , ekseriya birincil dizayn parametresi olsa da, farklı sistemler arasında karşılaştırma yapmakta kullanılacak uygun bir parametredir. Pratikte kullanılan hidrolik yükleme hızları 150 - 500 m³/ha.d'ye kadar değişmektedir. Hidrolik yükleme hızının karşılığı olan spesifik alan gerekliliği (A_{sp}), sistem tasarımlarını karşılaştırmak ve arazi alanı gerekliliklerinin hızlı ön hazırlık belirlemelerini yapmak içinde kullanılır. Pratikte kullanılan spesifik alan gereklilikleri 2,1 – 6,9 10³m³.d arasında değişmektedir. İkincil veya ileri derecede arıtılmış atığı temizlemek ve yaban hayatı sağlamak için dizayn edilmiş sulak alanlar ve California'nın merkez kıyı vadilerindeki sulu bir habitat için,

optimum fayda sağlamak amacıyla $2,1\text{ha}/10^3\text{m}^3\cdot\text{d}$ 'lik spesifik bir alan bulunmuştur (Metcalf and Eddy, 1991).

1.7.9.6. Vektör kontrol

Özellikle SYS sistemleri olmak üzere sulak alanlar, sivrisinekler için ideal bir yavrulama habitatı sağlamaktadır. Vektör kontrolü konusu, inşa edilmiş sulak alan sistemlerini kullanmanın uygulanabilirliğini belirlemede kritik faktör olabilir. Sivrisinek balığı kullanımını artı kimyasal maddelerin gerektiği gibi uygulanması aracılığıyla sivrisineklerin biyolojik kontrolü için yapılan plânların dizayna dâhil edilmesi gerekmektedir. Balık popülasyonları 1 mg/L üzerindeki çözünmeyen oksijen seviyelerinin korunmasına gerek vardır. Balığın erişemediği su ceplerini ortadan kaldırmak için, bitki örtüsünün inceltilmesi de gerekli olabilir. Sistem alt yüzey su bölgesine sivrisinek erişimini önlemek için dizayn edildiği takdirde, sivrisineğin yavrulamasının YAS sistemlerinde bir problem olmaması gerekir. Yüzey, bu amaca ulaşmak için çakıl veya kaba kumla kaplanır (Metcalf and Eddy, 1991).

1.8. Yapay Sulak Alan Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Yapay sulak alanların,

- (1) Yapılmaları ve işletilmeleri pahalı değildir,
- (2) Bakımları kolaydır,
- (3) Etkili ve güvenilir bir atıksu arıtmı sağlarlar,
- (4) Hidrolojik ve kirletici yükleme oranlarının değişim göstermesine toleranslıdır,
- (5) Yeşil alanlar, yaban hayatı habitatları ve eğlence ve eğitim alanları gibi dolaylı faydalar sağlarlar.

Dezavantajlar ise şunlardır:

- (1) Arazi gereklilikleri (uygun arazinin maliyeti ve bulunabilirliği),
- (2) Hâlihazırda kesin olmayan dizayn ve işletme kriterleri,

- (3) Biyolojik ve hidrolojik karmaşıklık ve önemli proses dinamikleriyle ilgili anlayış eksikliği,
- (4) Çakıl ve diğer dolguların ve yapı dönemi sırasında site derecelendirmenin maliyetleri,
- (5) Muhtemel zararlı böcek problemleri

Sivrisinekler ve diğer zararlı böcekler uygun olmayan bir şekilde dizayn edilen ve yönetilen SYS'ler için bir problem olabilir. Sistem küçük topluluklar için kullanılabilir ve bu nedenle kullanıcılara yakın kurulabilir. Sulak alan topluluğunun hidrolojik modellere bağımlılığı, su derinliklerindeki ve akışlarındaki değişikliklerden kaynaklanan türlerdeki değişikliklerde çok açıktır (Web 2).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Runying Wang ve ark. (2009), Fransa'nın güneyinde Marsilya çevresinde yaptıkları çalışmada yüksek konsantrasyonda organik madde içeren aktif çamur atıklarının arıtımında düşey akışlı yapay sulak alan sisteminde bitkilerin mikrobiyal aktiviteye etkisini incelemişlerdir. Çalışma alanı özellikle ilkbahar ve yaz aylarında meydana gelen sıcak ve kurak iklim özellikleri ile, sonbaharda ise düşük yıllık yağış miktarına sahip tipik bir Akdeniz iklimine sahiptir. Yapılan çalışmanın amacı (i) bitkilerin varlığı (ii) bitki türleri (*Phragmites australis* Cav. *Typha latifolia* L., *İris pseudacorus* L.), ve (iii) bitki büyüme evresi ve toplam yüzey solunum hızının mikrobiyal aktivite üzerine olan etkilerinin incelenmesiydi. Çalışma neticesinde bitki varlığı, yüksek organik madde konsantrasyonları ile atık aktif çamur arıtılmasında dikey (aşağı) akışlı sulak mikrobiyal aktivite üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ortaya çıkarıldı. Bitkilerin mikrobiyal aktiviteye yararlı etkileri, sulak alan arıtma sistemlerinin daha kaliteli su çıkışı ve yüksek oranda organik madde ve besin kaldırma verimliliği olduğu söylenebilir. Bu göstergelerin yanı sıra seçkin *Phragmites* bitkisinin gelişimi toprak parçaları üzerinde özgüllük işlevine bağlı olabilirken diğer iki bitki türü *Typha* ve *İris* ise önemli ölçüde daha etkili olarak kullanılır. Sonuç olarak denebilir ki mikrobiyal aktiviteyi etkileyen ana faktör bitkilerin varlığıdır. İkinci faktör ise bitkinin gelişimidir. Mikrobiyal aktivite atıksu ve çamur arıtımında kilit bir süreç olduğu gibi, bu çalışmanın sonuçları bu tip arıtma sistemleri arasında gözlenen farklılıklara açıklamalar getirmiştir.

Tsalkatidou ve ark. (2009), Atina'da yaptıkları çalışmada, stabilizasyon havuzları ile sulak alanların birlikte oluşturduğu sistemin operasyon ve verimliliğine bakmışlardır. Çalışılmış sistem 3 stabilizasyon havuzundan (fakültatif havuz, arkasından 2 tane olgunlaştırma havuzu) ve 8 tane dikey akışlı sulak alandan (substrat ve ekilen bitkiler açısından farklıdır) oluşmaktadır. Sulak alanın giriş suyu ilk olgunlaştırma havuzundan gelmektedir. 2 yıl boyunca sürdürülen çalışmalarda BOİ5, pH, iletkenlik ve TKM parametreleri izlenmiştir. Sistemde, son çıkış suyundaki TKM konsantrasyonu USEPA'nın koyduğu değerin üstünde çıkmıştır.

BOİ₅ konsantrasyonu ise her ne kadar sulama için koyulan limiti sağlasa da, bazı noktalarda bu değeri aşmaktadır. pH değeri verilen sınır değerler içerisinde. İletkenlik sadece yazın kamışla ekili olan sulak alanlarda yüksektir. Tüm parametrelerin analizinde sistemin çıkış suyu, sulama veya ziraatta kullanım için verilen kriterleri sağlayamadığından ileri bir arıtım olmadan tekrar kullanılamayacağına karar verilmiştir.

Mashauri ve ark. (2000), Tanzanya’da yaptıkları çalışmada, yapay sulak alanlar ile stabilizasyon havuzundan çıkan suyun kalitesini yükseltmeye çalışmışlardır. Daha verimli olduğu ve daha sağlıklı bir çevre sunduğu için yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alan seçilmiştir. Bununla beraber sistemde 7 tane stabilizasyon havuzu (biri fakültatif, diğerleri olgunlaştırma havuzu) vardır. Farklı filtrasyon hızları (0.27m/h – 2.3 m/h) için; sıcaklık, renk, bulanıklık, iletkenlik, katı madde, pH, KOİ, toplam koliform ve fekal koliforma bakılmıştır. Düşük filtrasyon hızında, bulanıklık, renk, katı madde, çözülmüş oksijen, KOİ, toplam koliform ve fekal koliformun daha iyi giderildiği görülmüştür (%80 askıda katı madde , %66 KOİ, %91 fekal koliform ve % 90 toplam koliform), bu nedenle dizaynların düşük filtrasyon hızlarında yapılmasının daha verimli olduğu belirlenmiştir. Tüm sisteme bakıldığında, sulakalanlar stabilizasyon havuzundan gelen suların kalitesini kabul edilen kriterleri sağlayacak kadar iyileştirmişlerdir. Ancak koliform giderimi istenen değerde olmamıştır. Eğer sulak alanlar iyi dizayn edilir, yüksek hidrolik bekleme zamanı ile işletilir ve bakımı yapılırsa stabilizasyon havuzundan gelen suların tekrar kullanılabilir kadar (örn; sulama) etkili ve ekonomik açıdan ucuz bir yol olduğu sonucuna varılmıştır. Tsalkatidou ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışma ile bu çalışma sonuçları birbiriyle çelişmektedir. Bunun nedeni ise Mashauri ve ark. (2000) tarafından kullanılan sistemin yatay akışlı olması veya düşük filtrasyon hızlarının uygulanması olabilir.

Steinmann ve ark. (2003), Almanya’da yaptıkları çalışmada, lâgün ve yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alan aynı sahada birleştirilerek alg giderimi için ileri arıtım denemileridir. Sistemin birincil amacı çıkış suyundaki alg yoğunluğunun azaltılmasıdır. Bu sebeple klorofil a konsantrasyonu incelenmiştir. Çalışma 3 yıl

sürmekle beraber klorofil-a'ya ilave olarak çıkış sularındaki pH, KOİ, BOİ₅, azot ve fosfor konsantrasyonlarına da bakılmıştır. Ayrıca değişen hava koşullarının (yağmurlu, kuru) ve mevsimsel değişikliklerinin sistem üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Sonuçlar doğrultusunda sistemin alg açısından yüksek (%41.6 klorofil a giderimi) ve sürekli giderim sağladığı, pH'ın dengelendiği ve diğer kirletici parametrelerinde yüksek derecede (%64.7 BOİ₅, %37.6 KOİ, %51.1 azot, %39.6 fosfor) azaltıldığı görülmüştür. Farklı iklimsel koşullarda verime bakıldığında ise, pH ve klorofil için değişmemekle birlikte, BOİ₅ ve KOİ giderim veriminde kışın düşüş gözlenmiştir. Toplam azot ve fosfor gideriminde verim sonbahar/kışın daha fazladır.

Gschlössl ve ark. (1998), Almanya'da bulunan farklı sulakalanlara sahip iki arıtma tesisini temel alarak; lâgün çıkış sularını iyileştirmek için farklı filtrasyon proseslerinden en uygununu belirlemeye ve optimum dizayn ve işletim parametrelerini bulmaya çalışmışlardır. Arıtımı değerlendirmek için KOİ, azot, fosfor, koliform ve toplam bakteri, klorofil, pH analiz edilmiştir. Ayrıca sonuçlarda farklı iklimsel koşulların ve yağmurlu-kuru havaların etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen değerlere göre kamış yataklarında alg, KOİ, katı madde giderimi fazla olmakla beraber, hijyenik açıdan da kaliteli çıkış suyu sağlanmıştır. Fakat istenilen derecede azot ve fosfor giderimi olmamıştır.

Melian ve ark. (2009), İspanya'da bulunan bir üniversite kampüsündeki stabilizasyon ve sulak alanı birleştirerek stabilizasyon havuz çıkış sularındaki alg giderimini sağlamaya ve arıtılmış suyun sulamada tekrar kullanılabilirliğini belirlemeye çalışmışlardır. Bu kapsamda fakültatif havuz ve 3 ayrı özellikteki (yatay akışlı taş filtreler, serbest akışlı sulak alan ve yüzey altı akışlı sulak alan) sulak alanlar kullanılmıştır. 5 yıl süren çalışmalar sonucunda farklı sulak alanlardaki ve fakültatif havuzdaki BOİ, TOK (toplam organik karbon) ve NH₄-N konsantrasyonlarını test etmişler ve hangi sistemin performansının daha iyi olduğuna karar vermişlerdir. Ayrıca sistemlerin giderim hızları da (g/d ve g/d/m² olarak) hesaplanmıştır.

Torrens ve ark. (2009), stabilizasyon havuzu çıkış sularını düşey-akışlı yapay sulak alanlara ve kum filtrelerine besleyerek stabilizasyon havuzu çıkışından alg giderimi, ilâve organik madde giderimi ve nitrifikasyon çalışmışlardır. Çalışma iki yıl kadar sürmüş olup, işletme koşullarının sistem üzerindeki verimi incelenmiştir. Hem bitki ekimi yapılan hem de yapılmayan sistemler denenmiştir. Her iki sistemde etkili bir şekilde alg giderimi gerçekleştirmekle beraber bitki ekiminin yapıldığı sistemde nitrifikasyon veriminin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bunun nedenin ise, özellikle sıcaklığın düşük olduğu zamanlarda bitkilerin yüzeyi kaplaması nedeniyle sistem içindeki su sıcaklığının daha yüksek olmasıdır. Ayrıca, sistemin sürekli aerobik olması ve tutulan alglerin giderilmesi için sistemin fasıllı olarak beslenmiş olması (3-4 günlük işletim/ 7 günlük beslemeden bekleme) etkili olabileceği belirtilmiştir. Hidrolik besleme ise 80 cm/gün'e kadar çıkarılması durumunda her iki sisteminde etkili bir şekilde işlediği belirtilmiştir. Ayrıca, kullanılacak malzemenin çapı, filtre derinliği ve dozlama şeklinin sistem performansını etkilediği belirtilmiştir. Kullanılan sisteme bağlı olarak stabilizasyon havuzu çıkış suyundan ilave KOİ giderimi %58–80 arasında, BOİ5 giderim verimi %76–89 arasında, askıda katı madde giderim verimi %63–78 arasında ve amonyum giderim verimi %82–93 arasında değişmiştir.

Kimwaga ve ark. (2004), stabilizasyon havuzu çıkış sularının kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla çakıl filtre ve yatay akışlı yapay sulak alanların kullanımını araştırmışlardır. Çakıl filtrenin kullanım amacı sulak alandan önce AKM giderimi sağlamak, kendisinden sonra gelecek olan sisteme verilecek olan yükü azaltmaktır ve böylece yapay sulak alanın tıkanma problemini azaltmaktır. Bu amaçla, stabilizasyon havuzu çıkış sularının temizlenmesinde iki kademeli bir yaklaşım kullanılmıştır. İlk kademe olan çakıl filtresinde 8 mm ile 32 mm arasında çapları değişen üç kademeli bir filtre kullanılmıştır. İkinci kademe olan yapay sulak alanda *Phragmites mauritianus* kullanılmıştır. Kullanılan sistem ile stabilizasyon havuzu çıkışından %90 civarında AKM, %85 civarında BOİ5 ve %99.99 fekal koliform giderimi gözlenmiştir. Sistem çıkışında AKM ve BOİ5 konsantrasyonları sırasıyla 12 ve 14 mg/L seviyesine düşmüştür. Dolayısıyla önerilen sistem ile çıkış suyu kalitesi önemli derecede iyileştirilmiştir. Çakıl filtresinin kullanılmadığı yapay sulak alanda da

önemli derecede AKM ve BOİ₅ giderimi gözlenmiştir. Çakıl filtrenin kullanılmayıp tek başına yapay sulak alanın kullanıldığı sistemde stabilizasyon havuzu çıkış suyundan %70 civarında AKM ve BOİ₅ giderimi gözlenmiştir. Böylece stabilizasyon havuzu çıkışındaki AKM konsantrasyonunu 120 mg/L'den 36 mg/L'ye benzer olarak BOİ₅ konsantrasyonunu da yaklaşık 100 mg/L'den 29 mg/L'ye düşürmüştür. Dolayısıyla, çakıl filtrenin bir ön arıtım olarak kullanıldığı yapay sulak alanının daha iyi sonuç vermesine rağmen, tek başına yapay sulak alan da stabilizasyon havuzu çıkış sularının kalitesinin arttırılmasında kullanılabilir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, ilk olarak kısaca Harran Üniversitesi Kampüsü Osmanbey Atıksu Arıtma Tesisi tanıtılacak olup, sonra da çalışma kapsamında kurulmuş olan pilot ölçekli yapay sulak alan sistemi hakkında bilgi verilecektir. Ayrıca ölçümlerde kullanılan metotlar hakkında da detaylı bilgi sunulacaktır.

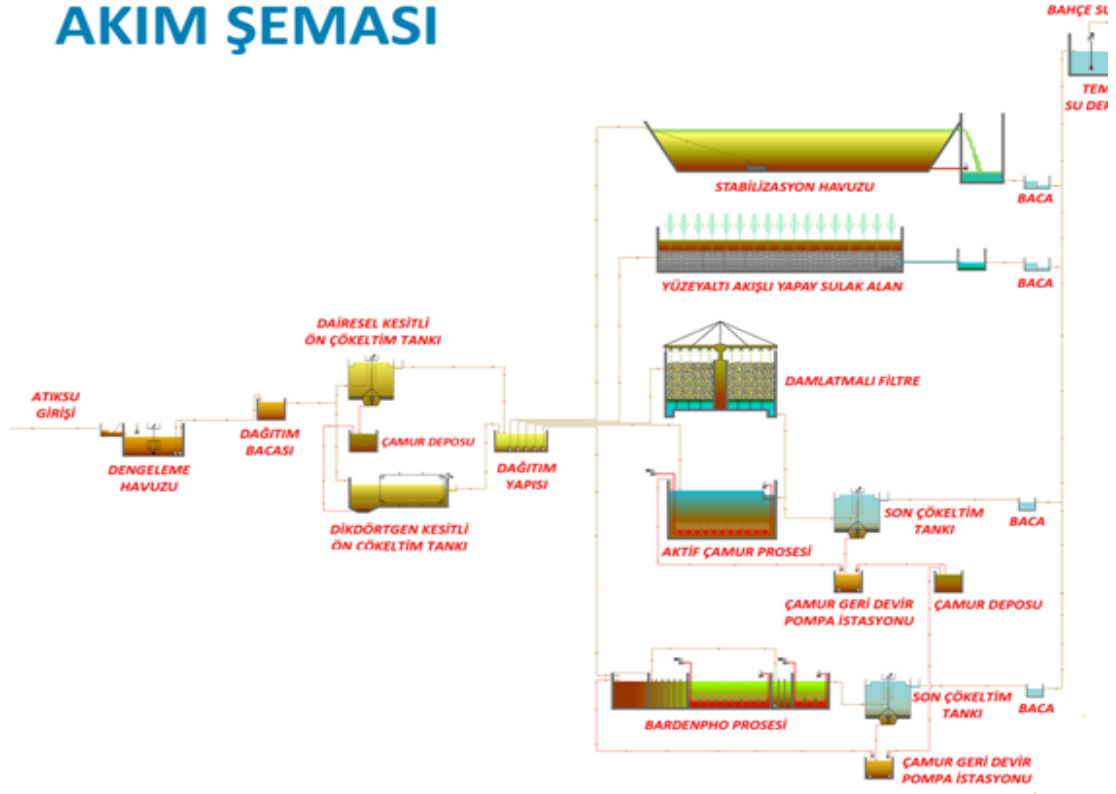
3.1.Osmanbey Atıksu Arıtma Tesisi ve Gerçek Ölçekli Stabilizasyon Havuzunun Tanıtılması

Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsünde oluşan evsel nitelikli atıksuların arıtılması amacıyla DPT tarafından (Proje No: 2007K120960) sağlanan bütçe ile klasik ve modern arıtma alternatiflerinden 5 farklı arıtma yöntemini içeren bir entegre arıtma tesisi inşa edilmiştir (Bakınız, Şekil 3.1).

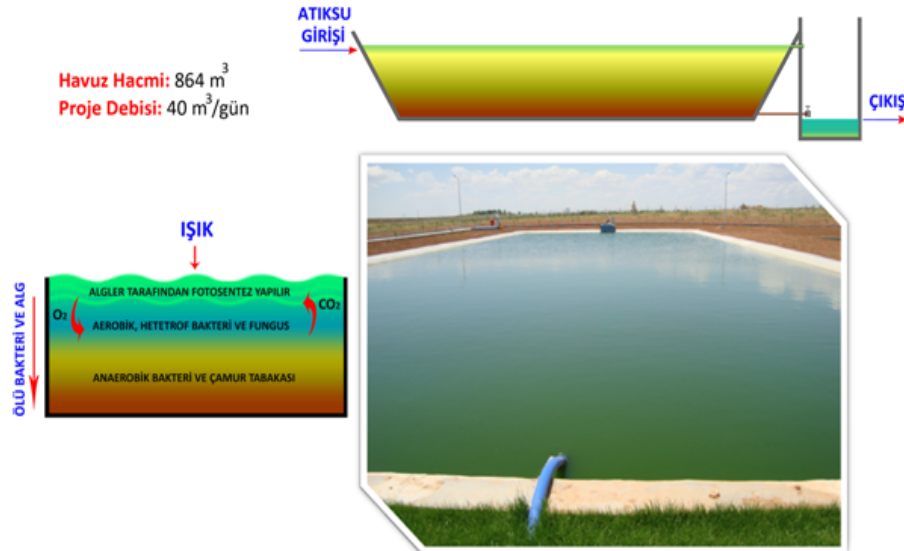
Kampüsümüzdeki arıtma tesisinde yer alan prosesler;

- 1- Beş basamaklı, azot ve fosfor arıtımı yapabilen modifiye Bardenfo prosesi
- 2- Klasik tam karışimli aktif çamur prosesi
- 3- Az yüklü geri devirsiz damlatmalı filtre
- 4- Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alan
- 5- Fakültatif stabilizasyon havuzu

AKIM ŞEMASI



Şekil 3.1. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü'nde Bulunan Atıksu Arıtma Tesisinin Şematik Görünümü (Uyanık, 2008)



Şekil 3.2. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü'nde bulunan Stabilizasyon havuzunun tanıtılması (Uyanık, 2008)

Tesiste birçok noktada debi, pH, çözünmüş oksijen ve bulanıklık gibi verimi belirleyen önemli parametrelerin on-line olarak ölçülüp, tek bir noktadan görülen bir otomatik kontrol sistemi kurulmuştur. Tesis boyutlandırılmasında, Osmanbey kampüsünün 2010 yılında sahip olacağı nüfus (7150 kişi) esas alınarak yapılmıştır. 2002 yılında açılan, öğrenci ve personel nüfusuyla birlikte sosyal aktivite merkezlerinin sayısının hızlı bir şekilde arttığı Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü'nün 2010 yılındaki nüfus tahminleri Çizelge 3.1'de verilmiştir (Naz, 2008). Bunun yanı sıra, kampüste yaz ve güz nüfus miktarlarında farklılıklar olduğu için, yaz ve güz debileri ayrı ayrı belirlenmiştir. Toplamda proje debisi 200 m³/gün olarak alınmıştır.

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

	YAZ ₂₀₁₀	GÜZ ₂₀₁₀
Öğrenci	500	5.000
Personel	750	1.000
Lojmanlar	100	150
Öğrenci Yurdu	200	1.000
TOPLAM	1550	7150

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

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

	Kişi Başına Oluşan Atıksu Miktarı (L/kişi/gün)	Debi (m ³ /gün)
Öğrenci (5000 kişi)	10	50
Personel (1000 kişi)	10	10
Personel Lojman (150 kişi)	100	15
Öğrenci Yurdu (1000 kişi)	75	75
Yüzme Havuzu (günde 50 kişi)	50	2,5
Yemekhane (Öğr.+Pers. = 6.000 kişi)	2,5	15
Sosyal Tesisler (Günde 100 kişi)	20	2
Sanayi Debisi	Laboratuarlar	5
Sızma Debisi	Sızma Yok	0
PROJE DEBİSİ TOPLAM	Q_{EV}+Q_{SAN}-Q_{SIZMA}	174,5

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

	Kişi Başına Oluşan Atıksu Miktarı (L/kişi/gün)	Debi (m ³ /gün)
Öğrenci (500 kişi)	10	5
Personel (750 kişi)	10	7,5
Personel Lojman (100 kişi)	100	10
Öğrenci Yurdu (200 kişi)	75	15
Yüzme Havuzu (günde 50 kişi)	50	2,5
Yemekhane (Öğr.+Pers. =1250 kişi)	2,5	3,5
Sosyal Tesisler (Günde 50 kişi)	20	1
Sanayi Debisi	Laboratuvarlar	5
Sızma Debisi	Sızma Yok	0
PROJE DEBİSİ TOPLAM	$Q_{EV}+Q_{SAN}-Q_{SIZMA}$	49,5

Teorik olarak kampüs atıksuları için alınabilecek kirlilik parametre ve seviyeleri Çizelge 3.4.'te verilmiştir (Naz, 2008).

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

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

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

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

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

Kampüs alanlarından gelen atıksuların kompozisyonunun yaklaşık olarak belirlenmesi amacıyla, Osmanbey Kampüsü kanalizasyon boruları çıkışından alınan numunelerde yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.6’da verilmiştir (Naz, 2008). Öğrenci yoğunluğunun fazla olmadığı bir dönemde yapılan analiz sonuçlarına göre, Osmanbey Kampüsü atıksularının zayıf dereceli olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 3.6. Osmanbey Kampüsü atıksularının özellikleri

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon
BOİ ₅ (20 ° C)	mg/L	80
KOİ	mg/L	160
AKM	mg/L	50
Toplam Azot (TN)	mg/L	40
Toplam Fosfor (P)	mg/L	4,1
pH	-	7,45

Osman Bey Atıksu Arıtma Tesisinde inşa edilen stabilizasyon havuzu fakültatif bir havuzdur. Proje debisi 35 m³/gün’dür. Yüksekliği 1 m olup, uzunluğu 48 m ve genişliği 18 m’dir. BOİ yükü 83,22 kg/ha.gün, bekletme süresi ise yaklaşık 20 gündür. Hidrolik ve biyolojik yükleme hızları sistem için standartlarda verilen sınırlar dâhilindedir. Sistem BOİ, AKM, mikroorganizma giderimi için tasarlanmıştır (Bakınız, Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Osmanbey atıksu arıtma tesisi stabilizasyon havuzu

3.2. Çalışma Bünyesinde Kullanılan Pilot Ölçekli YYAYSA Sisteminin Tanıtılması

Yürütülen projede kullanılan pilot ölçekli reaktör daha önceden bölümümüz yüksek lisans öğrencilerinden Muhsin NAZ'ın tezinde kullandığı reaktördür (Bakınız, Şekil 3.4). Bahsi geçen pilot ölçekli reaktör (YYAYSA), Harran Üniversitesi, Osmanbey Kampüsü Atıksu Arıtma Tesisi'ne taşınarak çalışmada kullanılmaya başlanmıştır. Reaktör taşınmadan önce, reaktörün yerden belirli bir yükseklikte olabilmesi için beton dökülmüştür (Bakınız, Şekil 3.5). Kurulan pilot ölçekli yapay sulak alan, kampüsümüzdeki tesiste bulunan gerçek ölçekli stabilizasyon havuzuna yakın bir yerde inşa edilmiş olup direk olarak stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenmiştir. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu Watson Marlow peristaltik pompa ile YYAYSA sistemine verilmiştir (Bakınız, Şekil 3.6). Pompanın çalışabilmesi için gerekli olan elektrik aksamı Osmanbey Atıksu Arıtma tesisinden sağlanmıştır.



Şekil 3.4. Yüzeyaltı akışlı sistem giriş (a) ve çıkış (b) yapısı (Naz, 2008)



Şekil 3.5. Pilot ölçekli YYAYSA kuruluşu



Şekil 3.6. Watson Marlow peristaltik pompa ile sistemin beslenmesi

Mevcut pilot ölçekli sistem 2 m uzunluk, 2 m genişlik ve 1 m de derinliğe sahiptir. Toplam yüzey alanı 4 m²'dir. Sistem için 50 cm doğal çakıl kullanılmış olup çapı 8-12 mm arasındadır. 50 cm çakıl üzerine 20 cm bitki büyümesini destekleyecek toprak serilmiştir. Sistem yüzey altı akışlı olup ve su derinliği 50 cm de tutulmuştur.

Sisteme *Phragmites australis* (kamuş) bitkisi ekilmiştir. Ekilen *Phragmites australis* (kamuş) bitkisi Osman Bey Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan gerçek ölçekli yapay sulak sisteminden temin edilmiştir. Her m²'ye 4 kök olacak şekilde ekim yapılmıştır. Çalışmaya 2010 Temmuz ayında başlanılmış olup, temmuz ayının ilk iki haftası süresince pilot ölçekli tesisin kuruluşu tamamlanmıştır. Temmuz ayının ikinci haftası ise bitki ekimi gerçekleştirilmiştir. Bitki ekiminden sonraki iki hafta boyunca bitkiler sulanarak bitkilerin büyümesi sağlanmıştır. Sistem 26.07.2010 tarihi itibari ile 40 L/m²*gün debi ile işletilmeye başlanılmış olup, düzenli olarak giriş debileri ölçülmüştür. 4 gün sonrasında YYAYSA'dan çıkış suyu ve bu sayede analizler için de veriler alınmaya başlanmıştır (Bakınız, Şekil 3.6).



Şekil 3.7. YAYSA'dan çıkış suyu alınması

Sistem yaklaşık 1 yıl süresince işletilmiş olup, hidrolik yüklemenin etkisi incelemiştir. Çizelge 3.7'de sulak alana ait hidrolik yüklemeler sunulmuştur.

Çizelge 3.7. YYAYSA sistemi hidrolik yükleme hızları

Gün	Debi (L/gün)	Hidrolik yükleme (L/m ² .gün)
0-211	160	40
211-247	120	30
247-280	160	40
280-308	240	60
308-320	400	100

YYAYSA'ya giriş ve YYAYSA'dan alınan çıkış suları ile analizler düzenli olarak yapılmıştır (Bakınız, Şekil 3.8). Haftada 3 kez; pH, çözünmüş oksijen, sıcaklık, debi, askıda katı madde (AKM), UAKM, çözünmüş ve toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) parametrelerine bakılmıştır. Haftada bir kez toplam azot (TN), amonyum azotu (NH₄-N), nitrit azotu (NO₂-N) ve nitrat azotu (NO₃-N) parametrelerine bakılmıştır. Sulak alanın işletilmesinde ilk 130 gün toplam azot

analizleri yapılmış, fakat kullanılan cihazdaki bir arıza nedeniyle sonraki günler için analiz imkânı bulunamamıştır.



Şekil 3.8. YYAYSA Sistemine ait giriş ve çıkış su örnekleri

01.12.2010 tarihi yapılan ölçümde bitki boyu 140 cm olarak ölçülmüş olup, aynı tarihte bitkiler hasat edilmiştir (Bakınız, Şekil 3.9).

Bitkilerin hasat edilmesinden sonra sistem durdurulmuştur. Böylece sistemdeki oksijen konsantrasyonu artarak ve filtrasyon malzemesi tarafından tutulan alglerin çürümesi için sisteme zaman tanınmıştır.



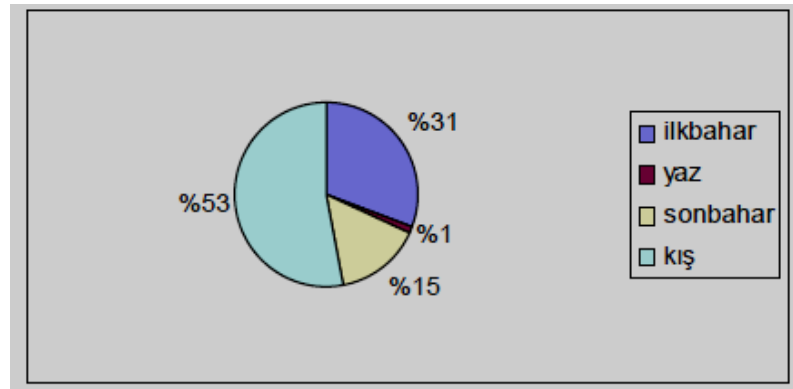
Şekil 3.9. Bitkilerin hasat öncesi ve sonrası görünümü

Çalışmanın yürütüldüğü Şanlıurfa ili Güneydoğu Anadolu bölgesinin güneyinde olup, batısında G.Antep, kuzeybatısında Adıyaman, kuzeydoğusunda Diyarbakır, batısında Mardin ili yer almaktadır. İlin Güneyinde ise Suriye bulunmaktadır.

Şanlıurfa'da karasal iklim hüküm sürmektedir. Yazları çok kurak ve sıcak, kışları yağışlı, nispeten ılıman geçmektedir. Şanlıurfa ilinde yıllık ortalama sıcaklık 18.3°C iken en sıcak gün 46.8°C (30.07.2000) olarak, en soğuk gün -6.8 (22.02.1985) ölçülmüştür. Karlı ve don olan günlerin sayısı oldukça azdır. Şanlıurfa'da hâkim rüzgârlar kuzeybatı ve batı yönlerinden eserler. Şanlıurfa'da yıllık (1929-2009 yılları arası) toplam yağış ortalaması 453.2 mm., sıcaklık ortalama 18.3°C , rüzgar hızı 2.2 m/sn, ortalama buhar basıncı 10,1 hPa olarak hesaplanmıştır.

Şanlıurfa ilinin son yıllara (80 yıl) ait nem verileri incelendiğinde en yüksek nem oranı Ocak ayında, en düşük nem oranı ise Temmuz ayında olduğu görülmüştür.

Şanlıurfa'da uzun yıllar (son 80 yıllık) itibarı ile ortalama toplam yağış miktarı 453.2 mm'dir. En yüksek yıllık yağış toplamı 1996 yılında 854,7 kg/m² olarak gerçekleşmiştir. Yaşanmış en az yıllık yağış toplamı 1932 yılında 157,6 kg/m² olarak ölçülmüştür. Yaşanmış günlük en çok yağış miktarı ise 2 Ocak 1960 yılında 119,5kg/m 'dir. Yağışların mevsimlere göre dağılımına bakıldığında Şekil 3.10' da görüldüğü üzere % 50' den fazlası kışın, % 31'i ise ilkbaharda düşmektedir. (Yeşilnacar, 1999). Yaz aylarında ise mevsim genel olarak kurak geçmektedir. (Şanlıurfa Çevre Durum Raporu, 2010)



Şekil 3.10. Şanlıurfa'da yağışların mevsimlere göre dağılımı

Çizelge 3.8. Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Sıcaklık Değerleri (1970 - 2011)

SANLIURFA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.7	7.0	11.1	16.2	22.3	28.2	32.0	31.2	26.8	20.3	12.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.2	11.9	16.7	22.3	28.7	34.7	38.7	38.2	33.9	26.9	18.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2.3	3.0	6.3	10.7	15.8	21.0	24.5	24.1	20.3	14.9	8.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.0	4.5	6.1	7.3	10.6	12.1	12.1	11.2	10.6	7.4	5.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.9	11.1	10.7	10.0	6.5	1.6	0.3	0.3	0.9	5.2	8.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m ²)	72.6	68.1	64.5	49.1	25.7	3.6	0.7	1.1	3.2	25.3	46.3

Şanlıurfa ili, yıllar itibarıyla güneşlenme süresi göz önünde tutulduğunda, yaklaşık olarak yılda 3000 saat güneş görmektedir. Güneşleme süresi güneş enerjisinden istifade bakımından büyük önem arz etmektedir. Şanlıurfa ait uzun yıllar güneşlenme süresi Çizelge 3.9'da verilmiştir (Şanlıurfa Çevre Durum Raporu, 2010).

Çizelge 3.9. Şanlıurfa iline ait uzun yıllar güneşlenme süresi

Yıllar	Aylar												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2002	5.8	6.9	5.6	6.5	10.5	12.1	11.8	11.3	9.7	6.4	6.8	3.9	8.1
2003	3.1	3.5	4.7	6.0	9.4	12.1	12.5	11.4	9.8	7.2	5.9	3.4	7.4
2004	2.1	3.3	6.9	8.0	10.2	12.5	12.1	11.2	9.5	6.9	4.9	5.1	7.7
2005	3.6	4.2	6.4	7.2	10.3	11.3	12.1	10.8	9.4	7.1	4.8	4.1	7.6
2006	3.8	4.5	6.3	5.8	10.5	12.4	12.2	10.3	9.4	6.2	6.0	4.9	7.7
2007	4.7	4.0	6.4	6.6	7.5	11.7	11.5	8.2	9.9	7.4	4.5	3.8	7.2
2008	4.6	5.0	6.0	7.3	9.8	12.4	12.3	9.6	8.3	7.3	5.0	4.1	7.6
2009	3.6	3.2	4.9	7.7	10.0	10.4	11.8	11.2	9.6	6.9	4.8	2.2	7.2
2010	2.3	2.4	5.1	8.0	10.2	11.8	21.2	11.1	8.9	7.0	6.4	2.3	8.1
Rasat Srs. (1929 - 2010)	4.1	5.0	6.2	7.9	10.1	12.2	12.5	11.4	10.1	8.0	6.0	4.1	8.1

3.3. Atıksu Analiz Yöntemleri

Yüzeyaltı akışlı sistemin giriş ve çıkış sularında KOİ, AKM, UAKM, TN, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N analizleri yapılmıştır. pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklık prob ile ölçülmüştür. Düzenli olarak debi ölçümü yapılmıştır.

pH: pH ölçümü, Hach Sension marka pH metre ile yapılmıştır.

KOİ: KOİ analizleri “Standard Methods–5220 C. Closed Reflux, Titrimetric Method” yöntemine göre yürütülmüştür (Standard Methods, 1999). Toplam KOİ için tamamen karıştırılmış sıvıdan, çözünmüş KOİ için ise filtre edilmiş (0,45 µm) sıvıdan alınan numuneler kullanılmıştır.

AKM ve UAKM: AKM ve UAKM ölçümleri, Whatman GF/C 40 filtre kâğıdı kullanılarak Standart Metotlara uygun olarak yapılmıştır. Gravimetrik ölçümlerde Presica marka 205 A SCS model analitik terazi, Elektromag marka M 5040P model etüv, ThermoIyne Furnace marka 48000 model kül fırını kullanılmıştır.

TN: Toplam Azot analizleri, Schimadzu TOC-V CPH total organic carbon analyzer cihazı kullanılarak yapılmıştır.

NH₄-N: Amonyum ölçümleri Schimadzu UV-1601 spektrofotometresi ile Merck marka kit kullanılarak yapılmıştır.

NO₃-N: Nitrat Ölçümleri Schimadzu marka SCL-10A VP model ion chromatography kullanılarak yapılmıştır.

NO₂-N: Nitrit Ölçümleri Schimadzu marka SCL-10A VP model ion chromatography kullanılarak yapılmıştır.

Çözünmüş oksijen: Çözünmüş Oksijen Hach Sension marka cihaz kullanılarak yapılmıştır.

3.4. Sistem İşletim Koşulları

Debi, sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH, KOİ, AKM, UAKM, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N ve TN analizleri hem sistem girişinde hem de sistem çıkışında düzenli olarak yapılmıştır. Bitkiler ekiminden yaklaşık 4 ay sonra hasat edilmiştir. Pompanın bakımı ve temizliği her ay düzenli olarak yapılmıştır. NH₄-N, NO₂-N ve NO₃-N analizleri 15.10.2010 tarihinden itibaren haftada bir yapılmıştır.

Düzenli olarak giriş debileri ölçülmüş olup, ilk altı aylık periyotta tek hidrolik yükleme (40 L/m².gün) ile çalışılmış olup, bu evrede sıcaklığın sistem performansı üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Ocak ayından itibaren (ikinci evrede) ise havanın soğumasıyla beraber debi azaltılmış ve daha sonra havanın ısınmasına paralel olarak debi kademeli arttırılarak 100L/m².gün'e kadar hidrolik yükleme çıkarılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bilindiği üzere stabilizasyon havuzlarının en önemli problemi, yoğun alg üremesi ve üreyen alglerin çökmemesi nedeniyle çıkış suyunun yeşil renkli, bulanık, askıda katı madde ve toplam KOİ değerlerinin yüksek olmasıdır. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinin iklim koşullarının (sıcak ve güneşli) uygun olması nedeniyle, stabilizasyon havuzları bu bölgede yoğun olarak kullanılmaktadır. Şanlıurfa iline bağlı bir çok ilçede stabilizasyon havuzu kullanılmakta olup, ortak sorun yoğun alg içeriğine sahip çıkış suyudur.

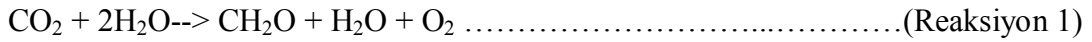
Sonuçlandırılan bu çalışmada, Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesinde bulunan stabilizasyon havuzu çıkış suları pilot ölçekli bir yüzeyaltı yatay akışlı yapay sulak alan sistemine verilerek, stabilizasyon havuzu çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen bulgular, yerel idarelerle paylaşılarak, mevcut stabilizasyon havuzu proses performanslarının arttırılmasına çalışılacaktır.

Yürütülen çalışmanın sonuçları oldukça olumlu olup, aşağıda özetlenmiştir. Ayrıca YYAYSA verilerinin istatistiksel analiz ve yorumu EK 1’de verilmiştir.

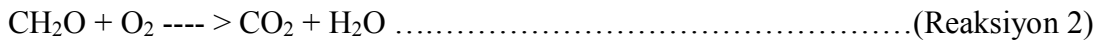
4.1. Yapay Sulak Alan Giriş ve Çıkışında pH, Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijen Değişimleri

Bilindiği üzere çevresel koşullar mikroorganizmaların büyüme ve besin kullanım hızlarını önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle; çalışma süresince, yapay sulak alan giriş ve çıkışında arazide taşınabilir cihazlarla pH, sıcaklık ve çözünmüş oksijen değişimleri ölçülerek Şekil 4.1.’de sunulmuştur. Çalışmaya Ağustos 2010’de başlanmış olup, yaz mevsiminde stabilizasyon havuzu çıkış suyu (veya yapay sulak alan giriş suyu) sıcaklığı 40 °C’yi aşmıştır. Yaz mevsiminin bitmesiyle beraber, sıcaklık zamanla düşmüş ve sonbaharda 30 °C civarına, kış mevsiminde ise 15 °C civarına düşmüştür. Kasım ve Aralık aylarında yapay sulak giriş ve çıkışında sıcaklık önemli derecede değişmemekle birlikte, yaz aylarında

yapay sulak alan çıkış suyu sıcaklığı, stabilizasyon havuzu çıkış suyuna göre önemli derecede düşüktür. Bir yıllık işletme süresinde sulak alana beslenen suda en düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklıklar sırasıyla; 6.0 °C, 41,5 °C ve 25,9±8,5 °C'dir. Zamana bağlı olarak stabilizasyon havuzunda düşen sıcaklıkla beraber, alg faaliyetinde bir düşüş ve bu düşüşe bağlı olarak da, stabilizasyon havuzunda alg, askıda katı madde (SS) ve uçucu askıda katı madde konsantrasyonunda düşme beklenmelidir. Ayrıca, azalan alg faaliyeti nedeniyle stabilizasyon havuzu suyunda pH ve çözülmüş oksijen seviyesinde düşme muhtemeldir. Bilindiği üzere, algler, sudaki CO₂'i aldığından (Reaksiyon 1), alg faaliyetiyle beraber pH da artmaktadır. Dolayısıyla sıcaklık düşmesiyle beraber stabilizasyon havuzunda pH seviyelerinin de düşmesi muhtemeldir. Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere, yaz aylarında stabilizasyon havuzu çıkış suyunda (yapay sulak alan giriş suyu) pH seviyesi 10,5 civarında iken, sıcaklığın düşmesiyle beraber pH değerleri de 9-9,5 civarına düşmüş, haziran 2011'den sonra sıcaklıkların 35°C civarına yükselmesiyle beraber pH tekrar 10 üzerine çıkmıştır.

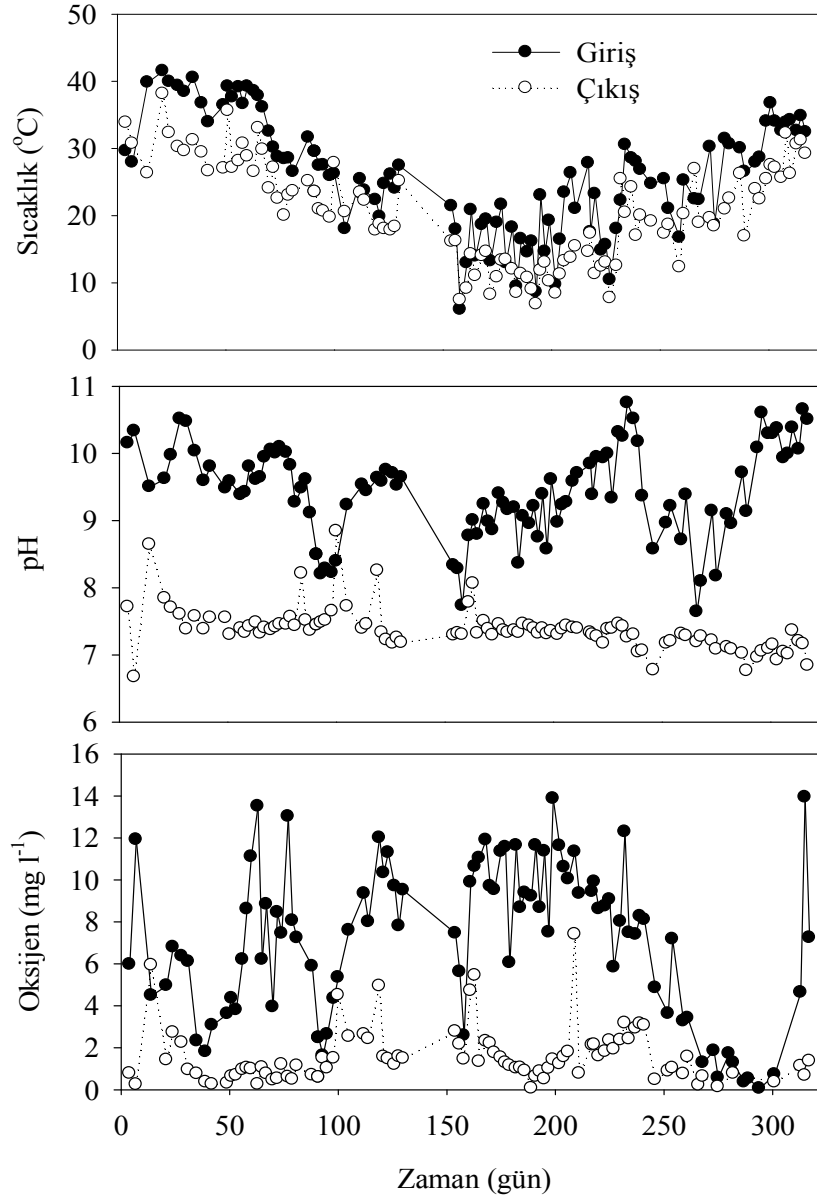


Yapay sulak alanda ise, algler ve partikül halindeki organik maddeler ilk olarak fiziksel olarak süzülmekte, daha sonra biyolojik parçalanmaya uğramaktadır. Ayrıca bir kısım çözülmüş organik maddeler de bakteriyel faaliyet nedeniyle mikroorganizmalar tarafından enerji ve hücre sentezi amacıyla tüketilmektedir. Bilindiği üzere, organik maddelerin aerobik biyolojik aktiviteleri nedeniyle CO₂ üretilmekte ve bu durum pH değerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durum Reaksiyon 2'de de gösterilmektedir.



DeneySEL sonuçlarda beklentiler ışığında olup, Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere, yapay sulak alan girişinde (stabilizasyon havuzu çıkışı) pH değerleri 9-10,5 arasında iken, yapay sulak alan çıkışında pH değerleri genellikle 7.2-7.4 arasındadır.

Stabilizasyon havuzunda alg faaliyetiyle oksijen üretilmekte ve üretilen biokütlenin bir kısmı dibe çökerek fakültatif ve anaerobik bölgede çürümektedir. Dolayısıyla, stabilizasyon havuzundaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu bu iki olay arasındaki dengenin bir fonksiyonudur. Yani tabana çöken organik madde fazla ve çürüme yoğun ise, önemli derecede bir oksijen tüketimi, sıcaklık ve güneş ışığının artmasıyla da artan bir oksijen konsantrasyonu beklenmelidir. Yapılan çalışmada, stabilizasyon havuzu çıkış suyunda, çözülmüş oksijen konsantrasyonu değişkenlik göstermiş olup, bir yıllık çalışma sonucunda yapay sulak alan giriş ve çıkışında ortalama oksijen konsantrasyonu, sırasıyla, $7,20\pm3,60$ mg/L ve $1,60\pm1,3$ mg/L değerlerinde kalmıştır. Yapay sulak alan çıkışında oksijen konsantrasyonunun düşme nedeni, Reaksiyon 2’de de görüldüğü üzere organik maddelerin biyolojik olarak oksitlenmesi sırasında oksijen kullanımını nedeniyledir.



Şekil 4.1. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında sıcaklık, pH ve oksijen konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi

4.2. Yapay Sulak Alan Sisteminde Toplam KOİ ve Çözünmüş KOİ Giderim Verimleri

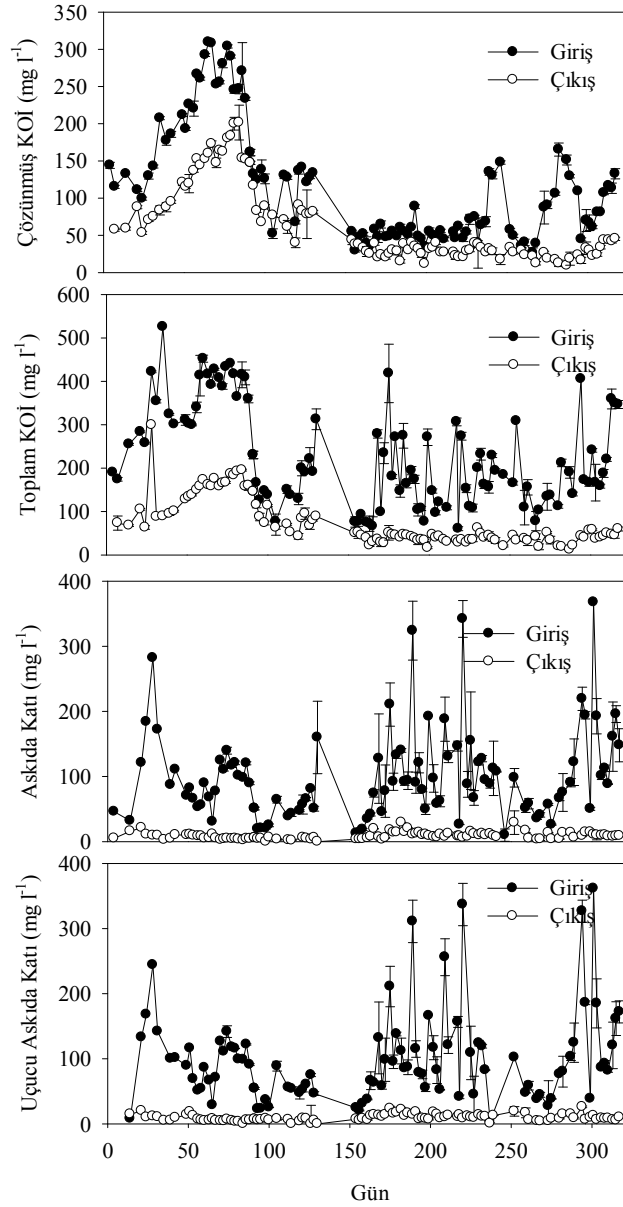
Şekil 4.2.'de yapay sulak alan giriş ve çıkışına ait toplam KOİ (TKOİ), çözünmüş KOİ (ÇKOİ), askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri sunulmuştur. Yürütülen bu projenin asıl amacı stabilizasyon havuzu çıkışında çökmeyen alglerden dolayı oluşan yüksek TKOİ, AKM ve UAKM konsantrasyonlarının azaltılmasıdır. Bahsedildiği üzere, yapay sulak alanda algler ve diğer partikül halindeki organikler ilk olarak fiziksel bir süzme ile giderilecek ve daha sonra tutulan bu organikler biyolojik parçalanmaya uğrayacaktır. Böylece, yapay sulak alan kullanarak stabilizasyon havuzu çıkış sularından alg (AKM ve UAKM) ve TKOİ giderimi mümkün olacaktır. Şekil 4.2. ve 4.3'de görüldüğü üzere, ilk 90 günde giriş TKOİ değerlerinde çok önemli bir değişiklik olmayıp 400 mg/L civarında seyrederken, stabilizasyon havuzundaki ÇKOİ değerleri sürekli olarak artmış ve 70. günlerde 300 mg/L seviyelerine ulaşmıştır. Yaz dönemlerinde üniversitenin kapalı olmasından dolayı stabilizasyon havuzuna çok düşük debilerde atıksu gelmiş olmakla birlikte, sıcak hava ve güneşli günlerin fazla olması nedeniyle alg üretimi sürekli artmıştır. Oluşan algler içsel solunum fazına girerek parçalanmış ve ÇKOİ değerlerinin sürekli artmasına neden olmuştur. Üniversitenin eğitim-öğretime açılması ile beraber Ekim ayından itibaren (80. Günden sonra), stabilizasyon havuzuna atıksu verilmeye başlamış olup, hem TKOİ ve hem de ÇKOİ değerlerinde önemli azalmalar gözlenmiştir. Bu azalmaların diğer bir nedeni, mevsime bağlı olarak atıksu sıcaklığının Ekim ayından itibaren düşmesiyle beraber alg üretiminin ve çürüme hızının düşmesidir. Çözünmüş KOİ değerleri 300 mg/L civarına yükselse dahi, yapay sulak alan sisteminde önemli derecede bir ÇKOİ giderimi elde edilmiş olup, gözlenen en yüksek değer 200 mg/L'nin altındadır. Toplam KOİ değerlerin de yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı, yükselerek 500 mg/L değerlerinin üzerine çıkmasına rağmen, yapay sulak alan çıkış TKOİ değerleri çıkış ÇKOİ değerlerine benzer sonuçlar vermiş ve çıkıştaki en yüksek TKOİ konsantrasyonu 200 mg/L olarak belirlenmiştir. Yapay sulak alan çıkışında TKOİ ve ÇKOİ değerlerinin oldukça benzer olması, çıkış suyunda partikül madde konsantrasyonunun çok az

olduğuna bir işarettir. Şekil 4.2.'den de görüldüğü üzere stabilizasyon havuzu çıkışından TKOİ giderim verimleri %65 civarında seyrederken, ÇKOİ giderimleri %48 civarında seyretmektedir. Yaklaşık bir yıllık çalışma sonucunda ortalama TKOİ ve ÇKOİ giderim verimleri, sırasıyla, %66±17 ve %48±18 olarak bulunmuştur.

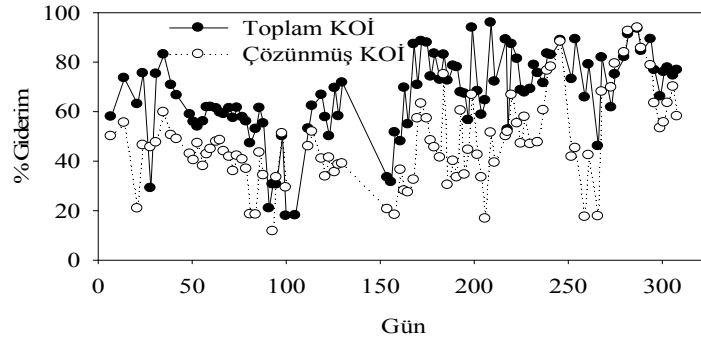
Tsalkatidou ve ark. (2009), Atina'da yaptıkları çalışmada, stabilizasyon havuzları ile sulak alanların birlikte oluşturduğu sistemin operasyon ve verimliliğine bakmışlardır. alışılmış sistem 3 stabilizasyon havuzundan (fakültatif havuz, arkasından 2 tane olgunlaştırma havuzu) ve 8 tane dikey akışlı sulak alandan (substrat ve ekilen bitkiler açısından farklıdır) oluşmaktadır. Sulak alanın giriş suyu ilk olgunlaştırma havuzundan gelmektedir. 2 yıl boyunca sürdürülen çalışmalarda BOİ₅, pH, iletkenlik ve TKM parametreleri izlenmiştir. Sistemde, son çıkış suyundaki TKM konsantrasyonu USEPA'nın koyduğu değerin üstünde çıkmıştır.

Torrens ve ark. (2009) stabilizasyon havuzu çıkış sularını düşey-akışlı yapay sulak alanlara ve kum filtrelerine besleyerek stabilizasyon havuzu çıkışından alg giderimi, ilâve organik madde giderimi ve nitrifikasyon çalışmışlardır. Çalışma iki yıl kadar sürmüş olup, işletme koşullarının sistem üzerindeki verimi incelenmiştir. Hem bitki ekimi yapılan hem de yapılmayan sistemler denenmiştir. Her iki sistemde etkili bir Şekilde alg giderimi gerçekleştirmekle beraber bitki ekiminin yapıldığı sistemde nitrifikasyon veriminin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bunun nedenin ise, özellikle sıcaklığın düşük olduğu zamanlarda bitkilerin yüzeyi kaplaması nedeniyle sistem içindeki su sıcaklığının daha yüksek olmasıdır. Ayrıca, sistemin sürekli aerobik olması ve tutulan alğlerin giderilmesi için sistemin fasılalı olarak beslenmiş olması (3-4 günlük işletim/7 günlük beslemeden bekleme) etkili olabileceği belirtilmiştir. Hidrolik besleme ise 80 cm/gün'e kadar çıkarılması durumunda her iki sisteminde etkili bir Şekilde işlediği belirtilmiştir. Ayrıca, kullanılacak malzemenin çapı, filtre derinliği ve dozlama Şeklinin sistem performansını etkilediği belirtilmiştir. Kullanılan sisteme bağlı olarak stabilizasyon havuzu çıkış suyundan ilave KOİ giderimi %58–80 arasında, değişmiştir.

Çizelge 4.1’de çalışma boyunca giriş ve çıkış suyu KOİ değerlerine ait ortalama sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlardan görüldüğü üzere, yapay sulak alan sistemleri stabilizasyon havuzu çıkış sularını iyileştirmede oldukça etkili olup, hem TKOİ hem de ÇKOİ değerleri Çizelge 4.2’de verilen Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerinin altında kalmıştır.



Şekil 4.2. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında toplam KOİ, çözülmüş KOİ, askıda katı madde ve uçucu toplam katı madde konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.3. Toplam KOİ ve çözülmüş KOİ giderim verimlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.1. Yapay sulak alan sistemine ait ortalama performans verileri

Parametre	Giriş (mg/L)			Çıkış (mg/L)			% Giderim
	max.	min.	ort.	max.	min.	ort.	
Toplam KOİ	850	61	233±130	300	12,5	73±54	66±17
Çözülmüş KOİ	310.0	26,5	116±78	202	9,5	62±51	48±18
AKM	368	10	100±68	30	0	9±5	88±9
Uçucu AKM	362	4,0	106±83	26	0	10±5	88±8
Toplam Azot	15.0	4.0	8.2±3	7.0	1.0	3.4±1,8	57±22

Çizelge 4.2. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre sınır değerler (Tablo 21.5. Evsel nitelikli atıksular* (Eşdeğer nüfusun ne olduğuna bakılmaksızın doğal arıtma (yapay sulak alan) ve stabilizasyon havuzları sistemiyle biyolojik arıtma yapan kentsel atıksu arıtma tesisleri için))

Parametre	Birim	Kompozit numune 2 saatlik	Kompozit numune 24 saatlik
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) (çözünmüş)	(mg/l)	75	50
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg/l)	180	120
Askıda katı madde (AKM)	(mg/l)	200	150
pH	-	6-9	6-9

4.3. Yapay Sulak Alan Sisteminde Askıda Katı Madde ve Uçucu Askıda Giderim Verimleri

Yapay sulak alan sisteminin giriş ve çıkışına ait askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonları Şekil 4.2.'de verilmiştir. Görüldüğü üzere, giriş AKM ve UAKM konsantrasyonları sırasıyla 368 ve 362 mg/L değerlerine kadar yükselmiş olsa da, çıkış AKM ve UAKM değerleri her zaman 30 mg/L değerinin altında kalmıştır. Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, giriş AKM ve UAKM ortalama konsantrasyonları yaklaşık 100 mg/L iken, çıkış suyunda ortalama AKM ve UAKM konsantrasyonları 9-10 mg/L olup, ortalama giderim verimi %90 civarında seyretmiştir. Çizelge 4.2'de Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne ait sınır değerler verilmiştir. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu KOİ değerleri, standartlarda verilen sınır değerlerini zaman zaman aşsa da, yapay sulak alan sisteminden çıkan suda AKM ve UAKM değerleri her zaman sınır değerlerin çok altında seyretmiştir.

Kimwaga ve ark. (2004) stabilizasyon havuzu çıkış sularının kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla çakıl filtre ve yatay akışlı yapay sulak alanların kullanımını araştırmışlardır. Çakıl filtrenin kullanım amacı sulak alandan önce AKM giderimi sağlamak, kendisinden sonra gelecek olan sisteme verilecek olan yükü azaltmaktır ve

böylece yapay sulak alanın tıkanma problemini azaltmaktır. Bu amaçla, stabilizasyon havuzu çıkış sularının temizlenmesinde iki kademeli bir yaklaşım kullanılmıştır. İlk kademe olan çakıl filtresinde 8 mm ile 32 mm arasında çapları değişen üç kademeli bir filtre kullanılmıştır. İkinci kademe olan yapay sulak alanda *Phragmites mauritianus* kullanılmıştır. Kullanılan sistem ile stabilizasyon havuzu çıkışından %90 civarında AKM, %85 civarında BOI_5 ve %99.99 fekal koliform giderimi gözlenmiştir. Sistem çıkışında AKM ve BOI_5 konsantrasyonları sırasıyla 12 ve 14 mg/L seviyesine düşmüştür. Dolayısıyla önerilen sistem ile çıkış suyu kalitesi önemli derecede iyileştirilmiştir. Çakıl filtresinin kullanılmadığı yapay sulak alanda da önemli derecede AKM ve BOI_5 giderimi gözlenmiştir. Çakıl filtrenin kullanılmayıp tek başına yapay sulak alanın kullanıldığı sistemde stabilizasyon havuzu çıkış suyundan %70 civarında AKM ve BOI_5 giderimi gözlenmiştir. Böylece stabilizasyon havuzu çıkışındaki AKM konsantrasyonunu 120 mg/L'den 36 mg/L'ye benzer olarak BOI_5 konsantrasyonunu da yaklaşık 100 mg/L'den 29 mg/L'ye düşürmüştür. Dolayısıyla, çakıl filtrenin bir ön arıtım olarak kullanıldığı yapay sulak alanının daha iyi sonuç vermesine rağmen, tek başına yapay sulak alan da stabilizasyon havuzu çıkış sularının kalitesinin arttırılmasında kullanılabilir.

Sonuç olarak, yapay sulak alan sistemlerinin stabilizasyon havuzu çıkış sularının kalitesinin iyileştirilmesi için oldukça etkili bir yöntem olduğu sonuçlarla da gösterilmiştir.

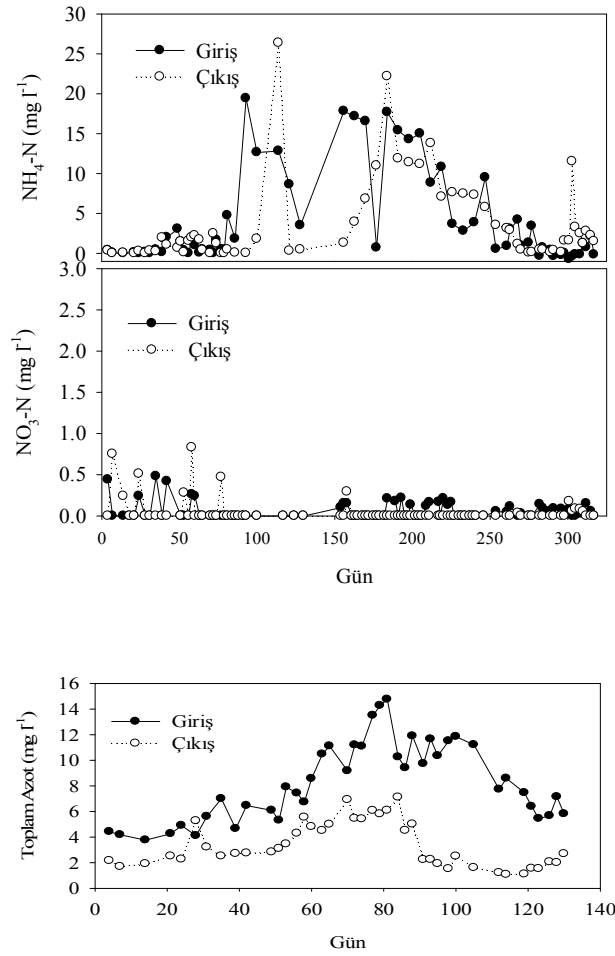
4.4. Yapay Sulak Alan Sisteminde Azot Giderim Verimleri

Şekil 4.4.'de yapay sulak alan giriş ve çıkış suyuna ait amonyum, nitrat ve toplam azot konsantrasyonları sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere, 90. güne kadar yapay sulak sistemi giriş ve çıkışında amonyuma rastlanmamıştır. Bunun nedeni ise, Üniversitenin ekim ayna kadar kapalı olması nedeniyle stabilizasyon havuzuna çok az su gelmesi ve giren atıksudaki tüm azotun alg büyümesi amacıyla hücre içine alınmış olmasıdır. Araştırmanın 90. gününden sonra, stabilizasyon havuzuna atıksu verilmeye başlamış olup stabilizasyon havuzu çıkışında (ve yapay sulak alan sistemi girişinde) 15 mg/L'nin üzerinde NH_4-N değerleri gözlenmiştir.

Yapay sulak alan sistemine 90. günden sonra yüksek konsantrasyonlarda amonyum gelmesine rağmen, çıkış suyunda amonyum konsantrasyonu 2 mg/L'nin altında kalmış ve giderim verimleri %90'nın üzerinde kalmıştır. Yapay sulak alan sistemi giriş ve çıkışında önemli derecede nitrata rastlanmamıştır (Şekil 4.4). Fakat 180. Günden sonra Amonyum giriş ve çıkış değerleri arasında önemli bir değişiklik gözlenmemiş olup, bunun en önemli nedeni artan hidrolik yük olduğu düşünülmektedir.

Steinmann ve ark. (2003), Almanya'da yaptıkları çalışmada, lagün ve yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alan aynı sahada birleştirerek alg giderimi için ileri arıtım denemişlerdir. Sistemin birincil amacı çıkış suyundaki alg yoğunluğunun azaltılmasıdır. Bu sebeple klorofil a konsantrasyonu incelenmiştir. Çalışma 3 yıl sürmekle beraber klorofil-a'ya ilave olarak çıkış sularındaki pH, KOİ, BOİ₅, azot ve fosfor konsantrasyonlarına da bakılmıştır. Ayrıca değişen hava koşullarının (yağmurlu, kuru) ve mevsimsel değişikliklerinin sistem üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Sonuçlar doğrultusunda sistemin alg açısından yüksek (%41.6 klorofil a giderimi) ve sürekli giderim sağladığı, pH'ın dengelendiği ve yüksek derecede azot (%51.1) azaltıldığı görülmüştür. Toplam azot gideriminde verim sonbahar/kışın daha fazladır.

Stabilizasyon havuzu çıkışında ve dolayısıyla yapay sulak alan girişinde, toplam azot konsantrasyonu sürekli olarak artmıştır. Atıksuda 90. güne kadar amonyum ve nitrat konsantrasyonları çok düşük olduğundan; toplam azotun önemli bir miktarı organik azottan oluşmaktadır. Ekim ayna kadar, stabilizasyon havuzu çıkışında organik azot konsantrasyonunun artma nedeni düşük atıksu debisi ve yüksek sıcaklık nedeniyle alglerin içsel solunuma girmesi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. İçsel solunum nedeniyle organik azota benzer olarak TKOİ değeri de (Şekil 4.2) zamanla artmıştır.

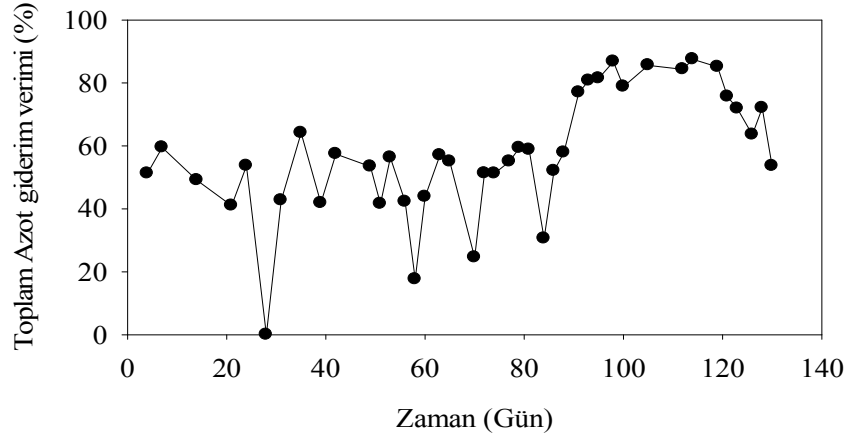


Şekil 4.4. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında amonyum, nitrat ve toplam azot konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

Ekim ayından sonra stabilizasyon havuzuna gelen atıksu debisinin artmasıyla alg konsantrasyonunun seyrelmesi ve düşük sıcaklık nedeniyle hem alg üreme hem de içsel solunum hızlarının düşmesi nedeniyle stabilizasyon havuzu çıkış suyunda organik azot konsantrasyonları düşmeye başlamıştır.

Toplam azot konsantrasyonlarının 15 mg/L'ye ulaşmasına rağmen yapay sulak alan sistemlerinde önemli derecede toplam azot giderimi gözlenmiş olup sistemin ortalama performansı Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, yapay sulak alan sisteminde toplam azot konsantrasyonu her zaman 7 mg/L değerinin

altında kalmış olup, ortalama toplam azot giderim verimi 57 ± 22 'dir. Ayrıca zamana bağlı olarak toplam azot giderim verimleri Şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Yapay sulak alan sisteminde toplam azot giderim veriminin zamana bağlı değişimi

Yapay sulak alan sistemlerinin en bilinen dezavantajları tıkanma problemi dir. Projenin plânlama aşamasında herhangi bir tıkanıklık olması halinde sistemin döngülü olarak işletileceği yani belirli aralıklarla sistemi beslemeyerek dinlendirilmesi düşünülmüştü. Fakat bir yıl boyunca, sistemin yüksek askıda katı madde içeren atıksu ile beslenmesine rağmen, herhangi bir tıkanıklık belirtisi gözlenmemiş olup, sistem sürekli olarak işletilmiş ve fasıllı işleme gerek kalmamıştır. Bu oldukça önemli bir noktadır. Çünkü Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde benzer sistemlerin kurulması durumunda, bu sistemleri işletmek için uzman eleman bulunmaya bilir. Fasıllı (veya döngülü) işletim uzman eleman gerektirmekte olduğundan, tıkanma olmadan sistemin sürekli işleme izin vermesi işletimi kolaylaştıracak ve sistem başarısını arttıracaktır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma, stabilizasyon havuzu çıkış sularının kalitesini iyileştirmek için yüzeyaltı yapay sulakalanların kullanımının tatmin edici sonuçlar vereceğini göstermiştir. Yapay sulakalanların, stabilizasyon havuzlarında oluşan algleri yaz ve kış dönemlerinde tutarak, çıkış suyu kalitesini Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde istenilen değerlerin çok altına sorunsuz düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Yüksek alg ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) nedeniyle stabilizasyon havuzu çıkış sularının sulamada kullanılamaması veya sadece bazı ürünlerin sulanmasına izin verilmesi bu sistemin iyileştirmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda pilot ölçekli olarak işletilen YYAYSA sisteminin gerçek ölçekli uygulanmasına ışık tutulmuştur.

1. Bu çalışmada sistem işletilmeye 40 L/m².gün hidrolik yük ile başlanılmış olup havaların soğumasıyla 30 L/m².gün'e düşürülmüştür, sıcaklıkların artmasıyla beraber kademeli olarak 100 L/m².gün hidrolik yüke kadar çıkarılmasına rağmen sistemde herhangi bir tıkanma problemi ile karşılaşılmemiştir.
2. YYAYSA Sistemine giriş Toplam KOİ ve Çözünmüş KOİ sırasıyla ortalama 233±130 mg/L ve 116±78 mg/L olarak ölçülmekte iken, çıkışta sırasıyla 73±54 mg/L ve 62±51 mg/L olarak ölçülmüştür. YYAYSA sistemi çıkış Toplam KOİ ve Çözünmüş KOİ değerleri "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlere (Tablo 21.5. Evsel Nitelikli Atıksular* (Eşdeğer Nüfusun Ne Olduğuna Bakılmaksızın Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan) ve Stabilizasyon Havuzları Sistemiyle Biyolojik Arıtma Yapan Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri İçin))" göre altında kaldığı gözlemlenmiştir.
3. Toplam azot miktarı ise giriş ve çıkışta sırasıyla 8.2±3 mg/L ve 3.4±1,8 mg/L olarak gözlemlenmiştir.

4. Çalışmanın asıl amacını teşkil eden olan AKM ve UAKM analiz sonuçları ise sırasıyla giriş değerleri ortalama 100 ± 68 ve 106 ± 83 mg/L iken çıkış değerleri ise ortalama 9 ± 5 ve 10 ± 5 mg/L olarak tespit edilmiştir. Diyebiliriz ki bu çalışma kuruluş amacına ulaşmış olup Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi arıtılmış suyun tarımsal amaçlı kullanımına ihtiyaç duyulan bölgelerde kullanılabilmesi mümkündür.
5. Askıda katı madde, organik madde ve nütrient gideriminde yüzeyaltı yapay sulakalanların etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde gideriminde %90'nın üzerinde verim elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

1. YYAYSA sistemi işletimi ve kurulumu açısından ucuz bir sistemdir fakat en önemli dezavantajı olası tıkanma problemi olarak bilinmektedir. Tıkanma probleminin olmaması için sistem fasıllı olarak işletilebilir ya da iki adet YYAYSA sistemi inşa edilip, havuzlar dönüşümlü olarak kullanılarak tıkanma problemi ortadan kaldırılabilir.
2. Düzenli olarak bitki hasatı gerçekleştirilmesi halinde fosfor değerlerinde de düşme olacağı düşünülmektedir.
3. Hidrolik yük değerinin $40 \text{ L/m}^2.\text{gün}$ ile $100 \text{ L/m}^2.\text{gün}$ hidrolik yük aralığında seçilmesinin uygun olacağı bu çalışma ile açıkça ortaya konulmuştur.
4. Sıcaklık parametresinin YYAYSA sistemi için önemli bir faktör olduğu gözlemlenmiştir, özellikle de Güneydoğu Anadolu gibi karasal iklime sahip olan yerler için öncelikle olarak önerilen bir sistem olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- ASLAM, M.M., MALIK, M., BAIG, M.A., QAZI, I.A. and IQBAL, J., 2007. Treatment performance of compost-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for refinery wastewater treatment in Pakistan. *Ecol. Eng*, 30: 34 -42.
- BRIX H.,1993 Macrophyte-mediated oxygen transfer in wetlands:transport mechanism and rates.In G.A. Moshiri(ed) ,*Constructed Wetlands for Water Quality Improvement* .Lewis Publishers,Boca Raton ,FL,pp.391-398
- BRIX, H., 1994. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech*, 29: 71-78.
- BRIX, H. and SCHIERUP, H., 1989. Sewage treatment in constructed wetlands Danish experience. *Wat. Sci. Tech*, 21: 1665-1668
- BRIX, H., 2005. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic waste water: New Danish guidelines. *Ecol. Eng*, 25: 491-500.
- BOUTIN, C., 1987. Domestic wastewater treatment in tanks planted with rooted macrophytes: case study, description of the system, design criteria, and efficiency. *Wat. Sci. Tech*, 19: 29-40.
- BURKA, U. and LAWRENCE, P., 1990. A New Community Approach to Wastewater treatment with Higher Water Plants. In *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*; Cooper, P.F.; Findlater, B.C., Eds.; Pergamon Press: Oxford, UK, s. 359-371.
- BULC, T.G., 2006. Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment. *Ecol. Eng*, 26: 365-374.
- COOPER, P.F., 1999. A review of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems. *Wat. Sci. Tech*, 40: 1-9.
- COOPER, P.F., 2005. The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates. *Wat. Sci. Tech*, 51: 81-90.
- ÇAKMAK, B., and APAYDIN H., 2010. Review. Advances in the management of the wastewater in Turkey: Natural treatment or constructed wetlands. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8 (1):188-201.
- ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI., 2010. Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği sayı: 27527.
- ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI.,1991.Su kirliliği kontrolü yönetmeliği teknik usüller tebliği sayı: 20748.
- ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI.,2010. Türkiye çevre sorunları ve öncelikleri envanteri değerlendirme raporu yayın no:9
- ÇİFTÇİ, H., KAPLAN, Ş. Ş., KÖSEOĞLU, H., KARAKAYA, E. and KİTİŞ, M., 2007. “Yapay Sulak Alanlarda Atıksu Arıtımı ve Ekolojik Yaşam. *Erciyes Üniversitesi F. B. Enstitüsü Dergisi*, 23 (1-2) : 149-160
- DOGRUSÖZ E., 1997. *Sular Hukuku.Yetkin Yayınları*. Ankara.
- EPA, 1999. *Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters. Manual (EPA/625/R-99/010)*. EPA, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.

- GSCHLÖSSL, T., STEINMANN, C., SCHLEYPEN, P.İ. and MELZER, A., 1998. Constructed wetlands for effluent polishing of lagoons. *Wat. Res.*, 32 (9): 2639-2645.
- IWA., 2011. Specialist group on use of macrophytes in water pollution control. Newsletter No. 39.
- KALAVROUZOTIS I.K. and APOSTOLOPOULOS C.A., 2007. An integrated environmental plan for the reuse of treated wastewater effluents from WWTP in urban areas. *Build Environ*, 42: 1862-1868.
- KARRH, J.D., MORIARTY, J., KORNUE, J.J. and KNIGHT, R.L., 2002. Sustainable management of aircraft anti/de-icing process effluents using a subsurface-flow treatment wetland. In *wetlands and remediation II*; Nehring, W., Brauning, S.E., Eds.; Battelle Press: Columbus, OH, USA, s. 187-195.
- KERN, J. and IDLER, C., 1999. Treatment of domestic and agricultural wastewater by reed bed systems. *Ecol. Eng.*, 12: 13-25.
- KICKUTH, R., 1977. Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewater by plant hydrosphere under limnic conditions. In *utilization of manure by land spreading*; Comm. Europ. Commun, EUR 5672e: London, U.K., s. 335-343.
- KINSLEY, C.B., CROLLA, A.M., KUYUCAK, N., ZIMMER, M. and LAFLECHE, A., 2006. Nitrogen dynamics in a constructed wetland system treating landfill leachate. in *proceedings of the 10th International conference on wetland systems for water pollution control*; MAOTDR: Lisbon, Portugal, s. 295-305.
- KIMWAGA, R.J., MASHAURI, D.A., MBWETTE, T.S.A., KATIMA, J.H.Y. and JØRGENSEN, S.E., 2004. Use of coupled dynamic roughing filters and subsurface horizontal flow constructed wetland system as appropriate technology for upgrading waste stabilisation ponds effluents in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29 (15-18): 1243-1251.
- LINDENBLATT, C., 2005. Planted soil filters with activated pretreatment for composting-place wastewater treatment. in *proceedings of the workshop wastewater treatment in wetlands. theoretical and practical aspects*; Toczyłowska, I., Guzowska, G., Eds.; Gdańsk University of Technology Printing Office: Gdansk, Poland, s. 87-93.
- LIN, Y.F.; JING, S.R.; LEE, D.Y. and WANG, T.W., 2002. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. *Aquaculture*, 209: 169-184.
- LIN, Y.F.; JING, S.R. and LEE, D.Y., 2003. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. *Environ. Poll.*, 123: 107-113.
- LESIKAR B. and LINDEMANN G., 2005. Wetlands in Texas. Available in <http://enrp.tamu.edu/hot/wetlands/part-2.html> [10 Feb 2007].
- MARAIS, G.V.R., (1970). Dynamic behaviour of oxidation ponds. In *proceedings of the second international symposium on waste treatment lagoons* (ed. R.E. McKinney) Laurence, KS: University of Kansas, s. 15-46.
- METCALF and EDDY, 1991. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*.
- MELIAN, H.J.A., ARANA, GONZALEZ DIAZ, J., O., AGUIAR BUJALANCE, M.E. and DONA RODRIGUEZ, J.M., 2009. Effect of stone filters in a pond–

- wetland system treating raw wastewater from a university campus. *Desalination*, 237(1-3): 277-284.
- MASHAURI, D. A., MULUNGU, D. M. M. and ABDULHUSSEIN, B. S., 2000. Constructed wetland at the university of dar es salaam. *water research*, 34(4): 1135-1144.
- MCGILL, R., BASRAN, D., FLINDALL, R. and PRIES, J., 2000. Vertical-flow constructed wetland for the treatment of glycol-laden stormwater runoff at Lester B. Pearson international airport. in proceedings of the 7th international conference on wetland systems for water pollution control; university of florida and IWA: Lake Buena Vista, FL, USA, s. 1080-1081.
- NAZ, M., 2008. Kampüs atıksularının yapay sulakalanlarla arıtımı, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- OFFICIAL GAZETTE OF THE TURKISH GOVERNMENT, 1991. Technical methods for water quality control regulations. No. 20748, 7 Jan. Ankara, Turkey.
- REEB, G.; WERCKMANN, M., 2005. First performance data on the use of two pilot-constructed wetlands for highly loaded non-domestic sewage. In natural and constructed wetlands: nutrients, metals and management; Vymazal, J., Ed.; Backhuys Publishers: Leiden, The Netherlands, s. 43-51
- SALATI, E., 1987. Edaphic-phytodepuration: a new approach to wastewater treatment. in aquatic plants for water treatment and resource recovery; Reddy, K.R., Smith, W.H., Eds.; Magnolia Publishing: Orlando, FL, USA, s. 199-208.
- SEIDEL, K., 1965. Neue wege zur grund was seranreicherung in krefeld, hydrobotanische reinigungsmethode. *GWF Wasser/Abwasser* , 2 (30): 831-833.
- SOROKO, M., 2005. Treatment of wastewater from small slaughterhouse in hybrid constructed wetlands system. in proceedings of the workshop wastewater treatment in wetlands. Theoretical and practical aspects; Toczyłowska, I., Guzowska, G., Eds.; Gdańsk University of Technology Printing Office: Gdansk, Poland, s. 171-176.
- STRUSEVICIUS, Z. and STRUSEVICIENE, S.M., 2003. Investigations of wastewater produced on cattle-breeding farms and its treatment in constructed wetlands. In proceedings of the international conference on constructed and riverine wetlands for optimal control of wastewater at catchment scale; Mander, Ü., Vohla, C., Poom, A., Eds.; University of Tartu, Institute of Geography: Tartu, Estonia, s. 317-324.
- STEINMANN, R.C., WEINHART, S. and MELZER, A., 2003. A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment. *Water Research*, 37(9): 2035-2042.
- TOPRAK, H., 2000, “Atıksu arıtma sistemlerinin tasarım esasları”, DEÜ Müh. Fak. yayınları, İzmir, s. 16-1.
- TSALKATİDOU, M., GRATZİOU, M. and KOTSOVİNOS, N., 2009. Combined stabilization ponds–constructed wetland system. *Desalination*, 248 (1-3): 988-997.
- TORRENS, A., MOLLE, P., BOUTİN C. and SALGOT, M., 2009. Impact of design and operation variables on the performance of vertical-flow constructed

- wetlands and intermittent sand filters treating pond effluent. *Water Research*, 43 (7): 1851-1858.
- WEB1: http://rivercenter.uga.edu/education/practicum/documents/design_manual.pdf
- WEB2: [http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Water_Sanitation/ponds_and_wetlands/Design_Manual.pdf], viewed in:2011-02-13.
- VEENSTRA, S., 1998. The Netherlands. In *constructed wetlands for wastewater treatment in europe*; Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R., Eds.; Backhuys Publishers: Leiden, The Netherlands, s. 289- 314.
- VYMAZAL, J. and KROPFELOVA, L., 2008. Is concentration of dissolved oxygen a good indicator of processes in filtration beds of horizontal-flow constructed wetlands in wastewater treatment, plant dynamics and management; Vymazal, J., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, s.311-317.
- VYMAZAL, J. and KROPFELOVÁ, L., 2008. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*; Springer: Dordrecht, The Netherlands,
- VYMAZAL J., 2010. *Constructed wetlands for wastewater treatment*. ISSN 2073-4441 www.mdpi.com/journal/water cited 27.03.2012.
- VYMAZAL, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Sci. Tot. Environ*, 380: 48-65.
- VYMAZAL, J., 2001. Types of constructed wetlands for wastewater treatment: their potential for nutrient removal. In *transformations of nutrients in natural and constructed wetlands*; Vymazal, J., Ed.; Backhuys Publishers: Leiden, The Netherlands, s. 1-93
- ZAIMOGLU Z. and BAGATUR C., 2001. Türkiye’de varolan yasalarla yapay sulak alan oluşturulması olanaklarının incelenmesi ve öneriler. *Ulusal Sanayi-Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Mersin, s. 575-580.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Hale URUŞ
Uyruğu :T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi :İlgin
Telefon :0554 411 11 15
Faks : -
E-mail :hale.urus@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:Cumhuriyet Lisesi, Selçuklu, KONYA	2002
Üniversite	:Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2007
Üniversite	:Harran Üniversitesi, OsmanBey, Ş.URFA	2010
Yüksek Lisans	:Harran Üniversitesi, OsmanBey, Ş.URFA	Devam Ediyor
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012	Gökşen Mühendislik	Çevre Görevlisi
2013	Unilever A.Ş.-Algida	SHE Administrator

UZMANLIK ALANI

: Atıksu

YABANCI DİLLER

: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

: -

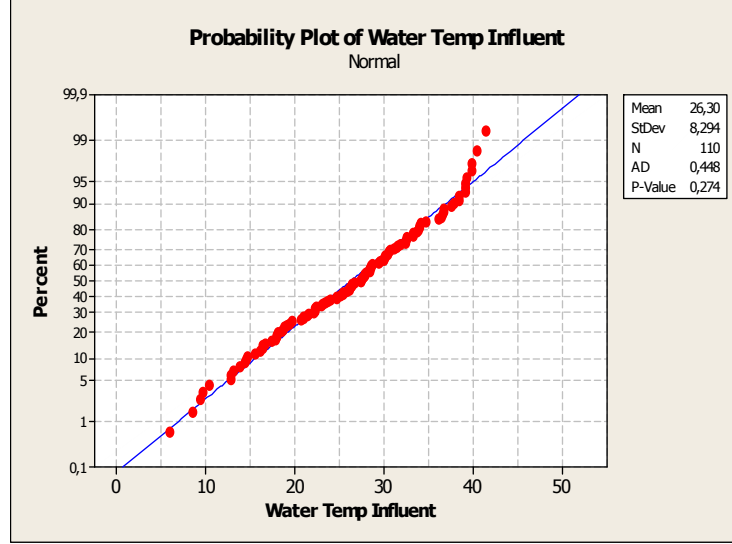
YAYINLAR

: G.Yılmaz, H.

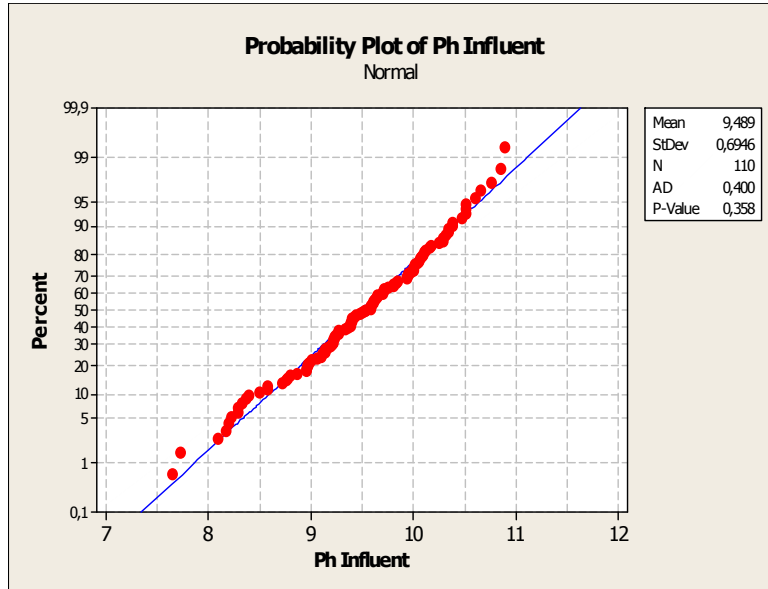
Urus, "Treatment of stabilization pond effluents using horizotal subsurface flow constructed wetlands precess," fresenius environmental bulletin, 21 (9a) 2805- 2809 (2012).

EKLER

EK 1 YYAYSA verileri İstatistiksel Analiz Raporu

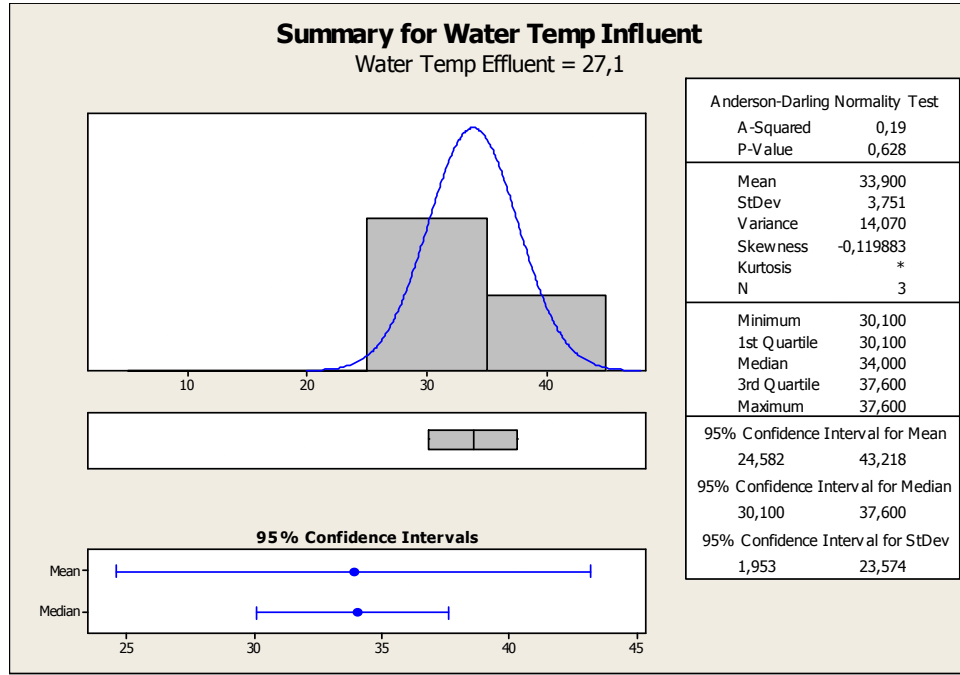


Grafikten görüldüğü üzere P-value değeri $0,274 > 0,05$ olduğundan, veriler normal dağılışıdır denilir. Aynı şekilde bir diğer verimiz olan pH Girişi için Normalite analizi yaptığımızda sonuçlar aşağıdaki gibi çıkmıştır.



Benzer şekilde P-value değeri $0,358 > 0,05$ olduğundan, veriler normal dağılışıdır denilir.

Giren su sıcaklıklarına ilişkin verilerden elde edilen temel bilgiler aşağıdaki gibi özetlenebilir;



Buradan;

Giren suyun sıcaklığının ortalamasının 33.90

Standart Sapmasının 3.751

Varyansının 14.070 olduğu gibi bilgilere ulaşabiliriz.

Bundan sonra test istatistiklerinden Bağımlı iki örnek T – testi analizini uygulayacağız. Bu testin uygulanmasındaki temel amaç; bir grupta yer alan n birimden farklı zamanlarda elde edilmiş verilerin farklarının 0 ortalamalı toplumdan gelip gelmediğini test etmeyi amaçlamaktır.

Kurulacak Hipotez;

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0 =$ YYAYSA sistemine girerken ki suyun pH değeri ile YYAYSA sisteminden çıkarken ki pH değerleri arasında fark yoktur.

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0 =$ pH değerleri arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Paired T-Testi ve CI: Giriş pH; Çıkış pH

Paired T for pH Influent - pH Effluent

	N	Mean	StDev	SE Mean	
pH Influent	110	9,4889	0,6946	0,0662	
pH Effluent	110	7,3226	0,3367	0,0321	
Difference	110	2,1663	0,8464	0,0807	

95% CI for mean difference: (2,0063; 2,3262)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 26,84 P-Value = 0,000

P-Value = 0,000 < 0.005 olduğundan dolayı H0 hipotezi red edilir. Bu durumda denilebilir ki pH değerleri arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Aynı Şekilde bu hipotezi Oxygen girişi ve çıkışında elde edilen veriler için Kurarsak;

H0 : $\mu_1 - \mu_2 = 0$ = YYAYSA sistemine girerken ki suyun Oxygen değeri ile YYAYSA sisteminden çıkarken ki Oxygen değerleri arasında fark yoktur

H1 : $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ = Oxygen değerleri arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Paired T-Test and CI: Oxygen Influent; Oxygen Effluent

Paired T for Oxygen Influent - Oxygen Effluent

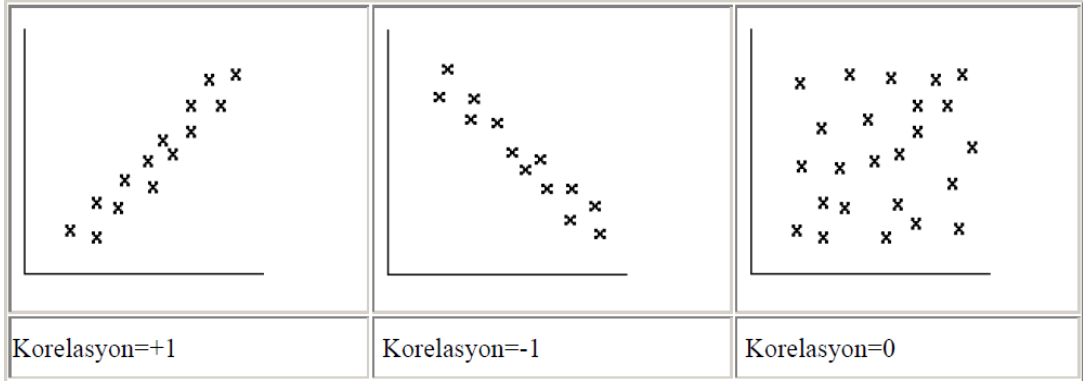
	N	Mean	StDev	SE Mean
Oxygen Influent	110	6,761	3,678	0,351
Oxygen Effluent	110	1,450	1,241	0,118
Difference	110	5,312	3,484	0,332

95% CI for mean difference: (4,653; 5,970)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 15,99 P-Value = 0,000

P-Value = 0,000 < 0.005 olduğundan H0 hipotezi red edilir. Yani Oxygen değerleri arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Bundan sonra iki değişken arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek adına Korelasyon testini yapacağız. Bu testin amacı iki değişken arasındaki ilişkinin büyüklüğünü, yönünü ve önemliliğini ortaya koyan yöntemdir. Bir değişkenin değeri artarken diğer değişkenin değeri düzenli artıyor veya eksiliyorsa iki değişken arasındaki ilişki doğrusaldır. İlişki grafik üzerinden de incelenebilir.



Doğrusal korelasyonun hesaplanmasında Pearson Momentler arpımı korelasyonu kullanılır. Bu formülün uygulanabilmesi için veriler en az aralıklı ölçekle toplanmalı ve süreklilik gösteren nicel bir değişken olmalıdır.

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}}$$

Korelasyon katsayısının değeri -1 ile +1 arasında değişir. Sonucun +1 çıkması iki değişken arasında kuvvetli olumlu ilişkinin bulunduğunu, -1 ise kuvvetli olumsuz ilişkinin bulunduğunu gösterir.

Korelasyon katsayısı 0'a yaklaştıkça ilişkinin kuvveti zayıflar, sıfır ise iki değişken arasında ilişkinin olmadığını gösterir.

Bu durumda Giren Nitrat Azotu miktarıyla çıkan Nitrat Azotu (NO₃-N) arasında nasıl bir ilişki olduğunu öğrenmek için aşağıdaki testi gerçekleştirdik.

Correlations: Giriş NO₃-N; Çıkış NO₃-N

Pearson correlation of Giriş NO₃-N and Çıkış NO₃-N = -0,024

P-Value = 0,820

Yukarıdaki açıklamalarda da belirttiğimiz gibi P-Value değerinin 0,820 çıkması bu iki değişken arasında pozitif yönlü kuvvetli bir ilişkin olduğunu göstermektedir.

Bundan sonra gene bu iki değişkenin kovaryansına bakalım, bu da iki değişken arasındaki birlikte değişimi belirten kavramdır.

Covariances: Giriş NO₃-N; Çıkış NO₃-N

	Giriş NO ₃ -N	Çıkış NO ₃ -N
Giriş NO ₃ -N =	4,4117646	
Çıkış NO ₃ -N =	-0,0070360	0,0198702

Aynı şekilde Askıda Katı maddede giriş ve çıkış verilerini incelediğimizde

Pearson correlation of Influent (SS) askıda katı madde and Effluent (SS) askıda katı madde = 0,226

P-Value = 0,018

P- Value değerinin 0,018 çıkması bu iki değişken arasında pozitif yönlü zayıf bir ilişkin olduğunu göstermektedir.

Covaryans sonuçları da aşağıdadır.

Covariances: Influent (SS) askıda katı madde; Effluent (SS) askıda katı madde

	Influent SS	Effluent SS
Influent SS askıda katı madde	2123,9580	
Effluent SS askıda katı madde	49,2247	22,3243

Şimdi de uçucu askıda katı madde için giriş ve çıkış değerleri arasındaki ilişkiyi inceleyelim.

Correlations: Influent (VSS) uçucu askıda katı madde Effluent (VSS) uçucu askıda katı

Pearson correlation of Influent (VSS) uçucu askıda katı madde and Effluent (VSS) uçucu askıda katı = 0,221
P-Value = 0,020

Covariances: Influent (VSS) uçucu askıda katı madde Effluent (VSS) uçucu askıda katı

	Influent VSS	Effluent VSS
Influent (VSS) uçucu askıda katı madde	3109,5335	
Effluent (VSS) uçucu askıda katı madde	59,0916	23,0362

P- Value değerinin 0,020 çıkması bu iki değişken arasında pozitif yönlü zayıf bir ilişkin olduğunu göstermektedir

Bundan sonra uygulayacağımız Test istatistiği Basit doğrusal Regresyon analizi bu analiz yöntemidir.

Y bağımlı değişken, X bağımsız değişken olmak üzere iki değişken arasındaki sebep-sonuç ilişkisini matematiksel model olarak ortaya koyan yönteme regresyon analizi denir.

$$Y = a + b X$$

Eşitliğinde a sabit (constant), b ise regresyon katsayısı olup regresyon doğrusunun eğimidir.

Aşağıda bulacağımız istatistiksel sonuçta yer alan terimlerin açıklamaları şöyledir.

Predictor	: Açıklayıcı Değişken
Coefficient	: Katsayı
R-sq	: R kare

Constant	: Sabit (a)
Stdev	: Standart Sapma
R-Sq(Adj)	: Düzeltilmiş R2
Analysis of variance	: Varyans Analizi
df	: Serbestlik Derecesi
SS	: Kareler Toplamı
MS	: Kareler Ortalaması
Error	: Hata

Burada test etmek istediğimiz Giren suyun Sıcaklığının pH değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olup olmadığı ve bunun düzeyini belirleyebilmek.

Regression Analysis: pH Influent versus Water Temp Influent

The regression equation is

$$\text{pH Influent} = 8,35 + 0,0434 \text{ Water Temp Influent}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,3468	0,1899	43,94	0,000
Water Temp Influent	0,043423	0,006890	6,30	0,000

$$S = 0,596631 \quad R\text{-Sq} = \% 26,9 \quad R\text{-Sq(Adj)} = \% 26,2$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	14,138	14,138	39,72	0,000
Residual Error	108	38,445	0,356		
Total	109	52,583			

Yukarıda Minitab test sonuçlarından da görüleceği gibi matematiksel modelimiz;

$\text{pH Influent} = 8,35 + 0,0434 \text{ Water Temp Influent}$ ve $p = 0,000 < 0,05$ olduğundan suyun giriş sıcaklığının pH üzerinde önemli bir etkisi vardır. Suyun

sıcaklığının 1 brim artması pH değerinin $8,35 + 0,0434*1$ oranında arttıracaktır. pH değerinin % 26,9 luk kısmı suyun sıcaklığıyla açıklanacaktır.

Bir sonraki adımda Bağımlı değişkenimiz pH değerinin birden fazla bağımsız değişken tarafından etkisini incelemek, çünkü yukarıda bulduğumuz pH değerinin % 26,9'luk kısmı suyun sıcaklığıyla açıklanacaktır bu oranın daha fazla hangi değişkenlerce açıklanabileceğini incelemek adına Çoklu regresyon analizi yapılabilir.

Burada bir de Suyun giriş sıcaklığının Askıda katı madde üzerindeki etkisini araştırıyoruz.

Regression Analysis: Influent SS versus Water Temp Influent

The regression equation is

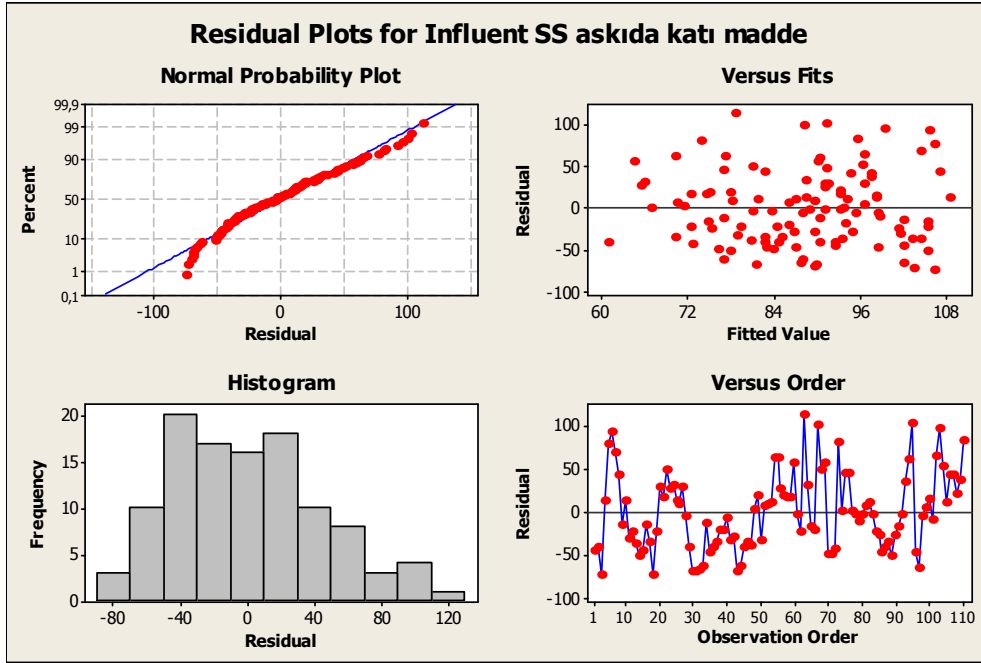
Influent SS askıda katı madde = $53,0 + 1,34$ Water Temp Influent

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	52,99	14,31	3,70	0,000	
Water Temp Influent	1,3374	0,5189	2,58	0,011	1,000

S = 44,9380 R-Sq = 5,8% R-Sq(adj) = 4,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	13414	13414	6,64	0,011
Residual Error	108	218098	2019		
Total	109	231511			



$p = 0,011 < 0,05$ olduğundan suyun giriş sıcaklığının askıda katı madde üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucu çıkmaktadır. Suyun sıcaklığının 1 birim artması Askıda Katı Madde değerinin $53,0 + 1,34 * 1$ oranında arttıracaktır. Askıda katı madde değerinin % 5,8 lik kısmı suyun sıcaklığıyla açıklanacaktır.

Birde suyun sıcaklığının uçucu askıda katı madde üzerindeki etkisini inceleyeceğiz;

Regression Analysis: Influent VSS versus Water Temp Influent

The regression equation is

$$\text{Influent VSS} = 49,3 + 1,71 \text{ Water Temp Influent}$$

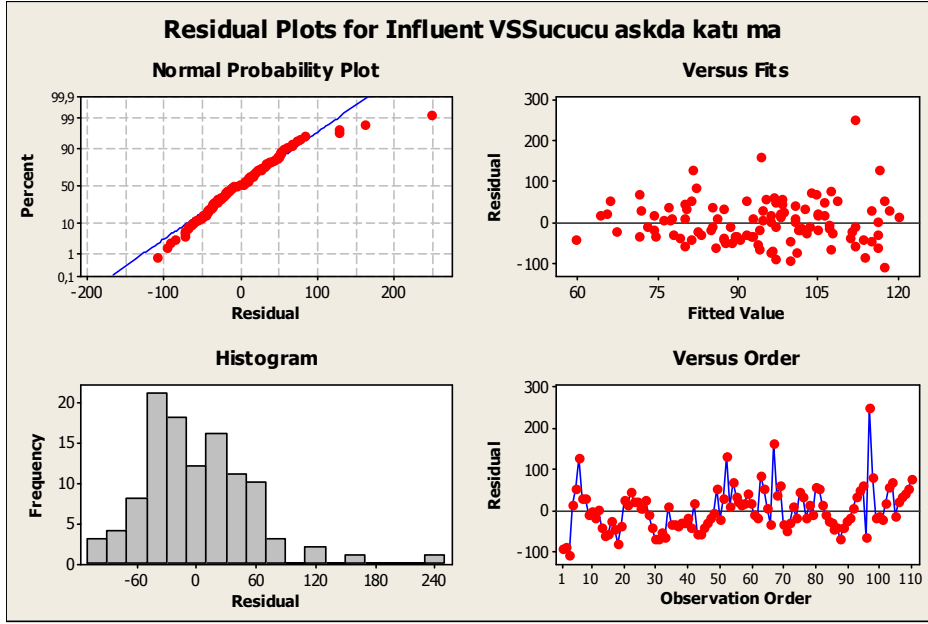
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	49,27	17,25	2,86	0,005	
Water Temp Influent	1,7098	0,6256	2,73	0,007	1,000

$$S = 54,1787 \quad \mathbf{R-Sq = 6,5\%} \quad R-Sq(adj) = 5,6\%$$

$$PRESS = 329364 \quad R-Sq(pred) = 2,83\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	21924	21924	7,47	0,007
Residual Error	108	317016	2935		
Total	109	338939			



$P = 0,007 < 0,05$ olduğundan suyun giriş sıcaklığının Ucucu Askıda Katı Madde üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucu çıkmaktadır. Suyun sıcaklığının 1 birim artması Uçucu Askıda Katı Madde değerinin $49,3 + 1,71 * 1$ oranında arttıracaktır. Askıda katı madde değerinin % 6,5 luk kısmı suyun sıcaklığıyla açıklanacaktır.

Aşağıda yaptığımız çoklu regresyon analizinde pH değeri üzerinde suyun sıcaklığı ve Oxygen miktarının etkisini inceleyeceğiz.

Regression Analysis: pH Influent versus Water Temp I; Oxygen Influ

The regression equation is

$$\text{pH Influent} = 7,69 + 0,0528 \text{ Water Temp Influent} + 0,0612 \text{ Oxygen Influent}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7,6869	0,2447	31,42	0,000

Water Temp Influent	0,052773	0,006891	7,66	0,000
Oxygen Influent	0,06121	0,01554	3,94	0,000

S = 0,560175 R-Sq = % 36,1 R-Sq (adj) = %35,0

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	19,0069	9,5035	30,29	0,000
Residual Error	107	33,5761	0,3138		
Total	109	52,5831			

Source	DF	Seq SS
Water Temp Influent	1	14,1384
Oxygen Influent	1	4,8685

Yeni Matematiksel modelimizde;

$$\text{pH Influent} = 7,69 + 0,0528 \text{ Water Temp Influent} + 0,0612 \text{ Oxygen Influent}$$

Burada görüleceği üzere $p=0,00 < 0,05$ olduğundan suyun giriş sıcaklığının ve barındırdığı Oxygen miktarının pH üzerinde önemli bir etkisi vardır. Suyun sıcaklığının 1 derece artması ve Oxygen miktarındaki 1 birim artış pH değerinin $7,69 + 0,0528*1 + 0,0612*1$ oranında arttıracaktır.

pH değerinin % 36,1 luk kısmı suyun sıcaklığıyla ve Oxygen miktarıyla açıklanacaktır.