



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESKİKARAAĞAÇ KÖYÜ EVSEL ATIKSULARININ
DİP AKIŞLI YAPAY SULAKALAN ARITMA YÖNTEMİYLE ARITILMASI

Serap SARAÇOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA, 2006

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESKİKARAAĞAÇ KÖYÜ EVSEL ATIKSULARININ
DİP AKIŞLI YAPAY SULAKALAN ARITMA YÖNTEMİYLE ARITILMASI

Serap SARAÇOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu Tez tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Feza KARAER
(Danışman)

Doç. Dr. Ufuk ALKAN

Prof. Dr. İsmet ARICI

ÖZET

Doğal sulakalanların su kalitesinin iyileştirilmesi üzerine pek çok araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda, doğal sulakalanlardan esinlenerek atıksuların arıtılması için yapay sulakalan sistemleri tasarlanmış ve uygulanmıştır. Yapay sulakalanlar, akış özelliklerine göre; dip akışlı ve yüzey akışlı olmak üzere iki şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada, arıtma sistemleri olarak yapay sulakalan sistemleri, özellikleri ve yurtdışında yapılmış olan çeşitli sulakalan arıtma uygulama çalışmaları incelenmiştir. Dünyada uygulanan yapay sulakalan arıtma sistemleri uygulamalarının ışığında, bölgemizde uygulamaya alınan pilot ölçekli dip akışlı yapay sulakalan arıtma sisteminin su kalitesini iyileştirme verimliliği araştırılmıştır.

Bu çalışmada uygulama alanı olarak Eskikaraağaç köyü seçilmiştir. Köye ait evsel atıksuların arıtılması için, dip akışlı yapay sulakalan arıtma sistemi seçilerek, sistemin mühendislik tasarımı Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğü'nce yapılmıştır. Uluabat gölü kıyısında yer alan sisteme, inşaatı tamamlandıktan sonra bitki ekimi yapılmıştır. Sisteme ekimi yapılan bitkiler, yöreye ait bitkiler olup sistemin yanındaki Uluabat gölü'nden alınan, saz (*Typha*) cinsi bitkilerdir. Sistemde bitki ekim işleminin tamamlanmasından sonra bir senelik izleme periyodu ile sistem girişinden ve arıtma sonrası, sistem çıkışından numuneler alınmış ve atıksuların analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde; su sıcaklığı, pH, elektriksel iletkenlik ve çözülmüş oksijen değerleri ile askıda katı madde, toplam katı madde, biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, azot, fosfor fraksiyonları ile koliform parametrelerine bakılmıştır. Kirlenici parametrelerine ait giderim verimleri, azot için %30-60, fosfor için %10-40, BOI için %35-85, katı madde için %20-80 ve toplam koliform % 60-70 arası bulunmuştur. Yapılan analizler ve araştırmalar sonrasında evsel atıksulardan kirlenici parametrelerin giderimi için, dip akışlı yapay sulakalan arıtma sistemlerinin güvenilir ve verimli sistemler oldukları gözlenmiştir. Bu sistemlerin yapım maliyetleri ve bakım masrafları, konvensiyonel arıtma sistemlerine göre çok daha düşüktür. Doğal çevreyle bütünlük sağlayan sistemlerdir ve peyzajı artırmaktadırlar. Bu nedenlerle küçük nüfuslu yerleşim yerleri için evsel atıksuların arıtımında güvenle kullanılabilecekleri belirtilebilir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Sulakalanlar, Yapay Sulakalan Arıtımı, Evsel Atıksu Arıtımı, Su Kalitesi, Vejetasyon

ABSTRACT

It is reported that there are so many research completed so far on improving water quality in natural wetland areas, which is resulted in envision and then application of “constructed wetlands systems” in order to clean waste waters. Based on flowing characteristics, the related constructed wetlands are designed as “subsurface flow” ones and “surface flow” ones.

In this study, constructed wetland treatment systems and their characteristics as well as certain studies done abroad on the application of these related systems are examined. Additionally, in the light of constructed wetland treatment system applications all over the world, it is searched how a pilot project on “subsurface flow constructed wetland treatment systems” applied in our region affects the efficiency of water quality improvement.

This pilot project is applied in Eskikaraağaç village. As stated above, subsurface flow constructed wetland treatment system engineered by Village Affairs Regional Directorate is chosen to treat the domestic wastewaters in this village. As soon as completing the establishment of this treatment system near Lake Uluabat, certain kinds of plants as a part of vegetation process of the system are sowed around. The plants are mostly peculiar to the region, called *Typha*. After vegetation completed, samples are taken before and after treatment process throughout 1 year follow up period and then the required waste water analysis are conducted accordingly to check water temperature, pH, electrical conductivity (EC) as well as dissolved oxygen levels, pending solid substance, biological oxygen needs, chemical oxygen needs and nitrogen, phosphorus, coliform parameters. Based on the results, eliminating rates of contaminating parameters in domestic waste waters are reported as 30-60% for nitrogen, 10-40% for phosphorus, 35-85% for BOI, 20-80% for solid substance and 60-70% for total coliform, as indicators of the efficiency of the related treatment system.

As a result of the related research and analysis, it is seen that “subsurface flow constructed wetland treatment systems” are quite efficient and reliable ones to eliminate contaminating parameters from domestic wastewaters. Moreover, it is proved that these systems are much more economical in terms of establishment and maintenance costs than conventional treatment systems. Also, due to their running procedures convenient

with natural environment, “subsurface flow constructed wetland treatment systems” can be used reliably for treatment domestic wastewaters in small settlements.

Key Words: Natural Wetlands, Constructed Wetland Treatment, Domestic Waste Water Treatment, Water Quality, and Vegetation.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Ekosistemler Olarak Doğal Sulakalanlar	2
2.2. Arıtma Sistemleri Olarak Yapay Sulakalanlar	3
2.2.1. Yapay Sulakalanların Sınıflandırılması	4
2.2.1.1. Yüzey Akışlı Yapay Sulakalanlar (YAYS)	4
2.2.1.2. Dip Akışlı Yapay Sulakalanlar (DAYS)	6
2.2.1.3. Hibrid Sistemler	7
2.2.2. Yapay Sulakalanların Avantajları	8
2.2.3. Yapay Sulakalanların Dezavantajları	9
2.2.4. Yapay Sulakalanların Bileşenleri	10
2.2.4.1. Hidroloji	10
2.2.4.2. Dolgu Malzemesi, Sediment ve Ölü Bitki Katmanı.....	11
2.2.4.3. Bitki Toplulukları (Vejetasyon)	12
2.2.4.4. Mikroorganizmalar	12
2.2.5. Yapay Sulakalanların Kullanımında Tehlike Yaratabilecek Unsurlar	13
2.2.6. Yapay Sulakalanlarda Değişim ve Esneklik	14
2.2.7. Yapay Sulakalanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları	14
2.2.8. Yapay Sulakalanların Dünyadaki Uygulama Örnekleri	19
2.3. Yapay Sulakalanların Genel Tasarım Kriterleri	28
2.3.1. Yapay Sulakalanların Planlaması	28
2.3.2. Yapay Sulakalanlarda Alan Seçimi	28
2.3.2.1. Arazi Kullanılabilirliği ve Ulaşım	28
2.3.2.2. Çevresel Kaynaklar	29
2.3.3. Yapay Sulakalanların Tasarım Esasları	29
2.4. Yapay Sulakalan Yapıları	30
2.4.1. Yapay Sulakalan Sistemlerinde Hücre Yapıları	30
2.4.2. Yapay Sulakalanlarda Membran Tabakası	31
2.4.3. Yapay Sulakalan Sistemlerinde Akış Kontrol Yapıları	31
2.4.3.1. Giriş Yapıları	32
2.4.3.2. Çıkış Yapıları	32
2.4.4. Yapay Sulakalanlar İçin Sistem Ömrü	33
2.5. Yapay Sulakalan Sistemlerine Hidrolojinin Etkisi	34

2.5.1.	İklim ve Hava Şartlarının Etkisi	34
2.5.2.	Hidroperiyodun Etkisi	35
2.5.3.	Hidrolik Bekleme Süresinin Etkisi	35
2.5.4.	Hidrolik Yükleme Oranının Etkisi	35
2.5.5.	Tabansuyu Değişiminin Etkisi	35
2.5.6.	Buharlaşma Olayının Etkisi	36
2.5.7.	Su Dengesinin Önemi	36
2.6.	Yapay Sulakalanlarda Dolgu Malzemesi	37
2.6.1.	Toprak Kalitesi	37
2.6.2.	Kum ve Çakıl	38
2.6.3.	Organik Madde	39
2.7.	Yapay Sulakalan Bitkileri	39
2.7.1.	Bitki Seçimi	39
2.7.1.1.	Yüzey Akışlı Yapay Sulakalanlar (YAYS)	39
2.7.1.2.	Dip Akışlı Yapay Sulakalanlar (DAYS)	40
2.7.2.	Bitki Dikim Zamanı	41
2.7.3.	Alan Hazırlama	41
2.7.4.	Bitki Topluluklarının Dikilmesi ve Yürütülmesi	41
2.8.	Yapay Sulakalanların İnşası	42
2.8.1.	Yapım Planları	42
2.8.2.	Ön- Yapım Faaliyetleri	43
2.8.3.	Yapım Faaliyetleri	43
2.8.4.	Kontrol, Başlangıç ve Test Etme	44
2.9.	Yapay Sulakalanların İşletilmesi ve İzlenmesi	45
2.9.1.	Operasyon ve İşletme Planı	45
2.9.1.1.	Hidroloji	46
2.9.1.2.	Yapılar	46
2.9.1.3.	Bitki Toplulukları	46
2.9.1.4.	Kemirici Hayvanlar	47
2.9.1.5.	Sivrisinekler	47
2.9.2.	İzleme	48
2.9.2.1.	İzleme Planı	48
2.9.2.2.	Deşarj Uygunluğu İçin İzleme	49
2.9.2.3.	Sistem Performansı İçin İzleme	49
2.9.2.4.	Sulakalan Sağlığı İçin İzleme	49

3. MATERYAL VE YÖNTEM	50
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	54
4.1. Azot Giderim Verimi	55
4.2. Fosfor Giderim Verimi	58
4.3. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Giderim Verimi	62
4.4. Katı Madde Giderim Verimi	63
4.5. Koliform Giderim Verimi	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
6. KAYNAKLAR	74
7. EKLER	77
7.1. Analiz Sonuçları	78
7.2. Eskikaraağaç Köyü DAYS Sisteminin Fotoğrafları	81
8. TEŞEKKÜR	86
9. ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER DİZİNİ

BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
DAYS	Dip Akışlı Yapay Sulakalan
EPA	Environmental Protection Agency
ET	Evapotranspirasyon
HRT	Hidrolik Bekleme Zamanı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
l	Toplam Yatak Uzunluğu
m	Metre
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
n	(Gözeneklilik) Porozite
N	Azot
NH ₃ -N	Amonyak Azotu
NO ₃ -N	Nitrat Azotu
TKM	Toplam Katı Madde
TN	Toplam Azot
TP	Toplam Fosfor
W	Toplam Yatak Genişliği
YAYS	Yüzey Akışlı Yapay Sulakalan
Q	Debi

TABLolar DİZİNİ**Sayfa No.**

Tablo 2.1. EPA tarafından yapılan çalışmalarda performans değerlendirmesi için bilgi kaynakları	19
Tablo 2.2. Greenleaves Subdivision bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	20
Tablo 2.3. Degussa Corporation bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	20
Tablo 2.4. Phillips High School bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	21
Tablo 2.5. Monterey, Va bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	21
Tablo 2.6. Denham Springs, La bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	22
Tablo 2.7. Benton, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	22
Tablo 2.8. Haughton, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	22
Tablo 2.9. Carville, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	23
Tablo 2.10. Mandeville, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	24
Tablo 2.11. Benton, Ky bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	24
Tablo 2.12. Hardın, KY, Phragmites Side bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	25
Tablo 2.13. Hardın, KY, Scirpus Side bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	25
Tablo 2.14. Utica, MS, Kuzey Sistemi bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	26
Tablo 2.15. Utica, MS, Güney sistemi (Utica, MS) bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları	26

Tablo 3.1. Eskikaraağaç köyü DAYS sistemi tasarım değerleri.....	51
Tablo 3.2. Eskikaraağaç köyü DAYS sistemi giriş ve çıkış atıksularında ölçümü yapılan parametrelerin analiz metodları	53
Tablo 4.1. DAYS sistemi giriş ve çıkış atıksu numunelerinde incelenen parametrelerin aylara göre giderim verimleri (%)	54
Tablo 5.1. Evsel nitelikli atıksular (sınıf 1: kirlilik yükü ham BOI olarak 5-60 kg/gün arasında, nüfus =84-1000) (SKKY, Tablo 21.1, 2004)	69
Tablo 5.2. Evsel nitelikli atıksular (eşdeğer nüfusun ne olduğuna bakılmaksızın doğal arıtma (yapay sulakalan) ve stabilizasyon havuzları sistemiyle biyolojik arıtma yapan kentsel atıksu arıtma tesisleri için) (SKKY,Tablo 21.5, 2004)	69
Tablo 5.3. Kentsel atıksu arıtma tesislerinden alıcı ortama deşarj standartları (EEC, 2001)	70
Tablo 5.4. Kentsel atıksu arıtma tesislerinden Ötrofikasyon tehlikesi olan hassas bölgelere deşarj standartları (EEC, 2001)	70
Tablo 7.1. T, pH, ÇO, AKM, ÇKM, TKM parametreleri analiz sonuçları	78
Tablo 7.2. Tablo 7.2. NH ₄ -N, NO ₃ -N, TN, PO ₄ -P, TP parametreleri analiz sonuçları	79
Tablo 7.3. BOI, KOI, FK, TK parametreleri analiz sonuçları	80

ŞEKİLLER DİZİNİ**Sayfa No.**

Şekil 2.1.	Yüzey akışlı ve dip akışlı sulakalanlar	3
Şekil 2.2.	Yüzey akışlı yapay sulakalan sistemi	5
Şekil 2.3.	Dip akışlı yapay sulakalan sistemi	6
Şekil 2.4.	Dip akışlı yapay sulakalan sisteminin bileşenleri	10
Şekil 4.1.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki $\text{NO}_3\text{-N}$ parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	55
Şekil 4.2.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki $\text{NH}_4\text{-N}$ parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	56
Şekil 4.3.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki TN parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	57
Şekil 4.4.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki $\text{PO}_4\text{-P}$ parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	58
Şekil 4.5.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki TP parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	59
Şekil 4.6.	Fosforun organik ve inorganik çeşitleri arasındaki göreceli değişimleri ve bunların sistemdeki ilişkileri	60
Şekil 4.7.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki BOI parametrelerinin konsantrasyon değişimi	62
Şekil 4.8.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki AKM parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	64
Şekil 4.9.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki ÇKM parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	64
Şekil 4.10.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki TKM parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	65
Şekil 4.11.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki FK parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	66
Şekil 4.12.	DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki TK parametrelerinin konsantrasyonu değişimi	66

1. GİRİŞ

Sanayileşmenin, nüfus artışının ve tüketimin artan bir ivmeyle hızlanması ve bu artışları karşılayacak alt yapı sistemlerinin dünya genelinde yetersiz kalması neticesinde doğal kaynaklar hızla tüketilmeye başlamıştır. Artan çevre kirliliğinin azaltılması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Henüz dünyada pek çok ülke, özellikle gelişmekte olan ülkeler atıksularını sağlıklı bir şekilde toplayıp bertaraf edememektedirler. Ülkemizde atıksuların (evsel, endüstriyel, yağmur suyu, zirai alan suyu, maden suyu vs.) arıtılması için yaygın olarak kullanılan sistemler konvensiyonel arıtma sistemleridir. Bu yolla, Türkiye atıksularının sadece %6'sını arıtılabilmektedir (Uzun ve diğ., 1999).

Çok uzun yıllar süresince sulakalanlar, doğal yapıları nedeniyle alıcı ortam olarak nitelendirilmişlerdir. Zamanla sulakalanların doğal ve ekonomik önemleri ortaya çıktıkça, sulakalanlar koruma altına alınmaya başlamıştır (Ateş ve diğ., 2001). Doğal sulakalanların, tortu ve zehirli maddeleri alıkoyarak yada besin maddelerini (azot, fosfor gibi) kullanarak suyu temizleme özellikleri bir başka deyişle, su kalitesini iyileştirmedeki verimleri yıllardır bilim adamları için araştırma konusu olmuştur. Bu araştırmalar sonucunda atıksuların arıtılması için doğal sulakalan sistemleri taklit edilerek yapay sulakalan arıtma sistemleri tasarlanmış ve uygulanmaya başlanmıştır.

Yapay sulakalan arıtma sistemleri, ilk defa 1960 yılında Almanya'da Dr. K. Seidel tarafından geliştirilmiş ve 1995 yılına kadar başta Almanya, Danimarka ve İngiltere olmak üzere Avrupa'nın çeşitli yerlerinde 200'den fazla tesis yapılmıştır. Ayrıca, ABD'de de 200 civarında tesis çalışmaktadır. Dünyanın diğer ülkelerinde de bu tip tesisler bulunmaktadır (Arceivala, 2002).

Bu çalışma kapsamında, arıtma sistemleri olarak yapay sulakalan sistemlerinin kurulum aşamaları, arıtma sistemleri ve su kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, atıksularını Uluabat gölüne veren Eskikaraağaç köyü evsel atıksularının arıtılması için, Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğü tarafından inşaatı ve kurulumu tamamlanan dip akışlı yapay sulakalan sisteminin, Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında, bir sene boyunca her ay izlemesi yapılarak, su kalitesi üzerindeki değişimler incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Ekosistemler Olarak Doğal Sulakalanlar

Sulakalanlar toprak ve su arasında geçiş ekosistemi olarak tanımlanırlar. Sürekli veya mevsimsel, suları durgun veya akıntılı, tatlı, acı veya tuzlu tüm su kütleleri sulakalan olarak tanımlanmaktadır. Bataklıklar, sazlıklar, turbalıklar, sulak çayırlar ile denizlerin altı metre derinliğe kadar olan kesimleri de sulakalan kapsamı içerisinde yer almaktadır. Sahip oldukları biyolojik çeşitlilikleri, doğal işlevleri ve ekonomik değerleriyle yeryüzünün en önemli ekosistemleridir (Erdem, 2004).

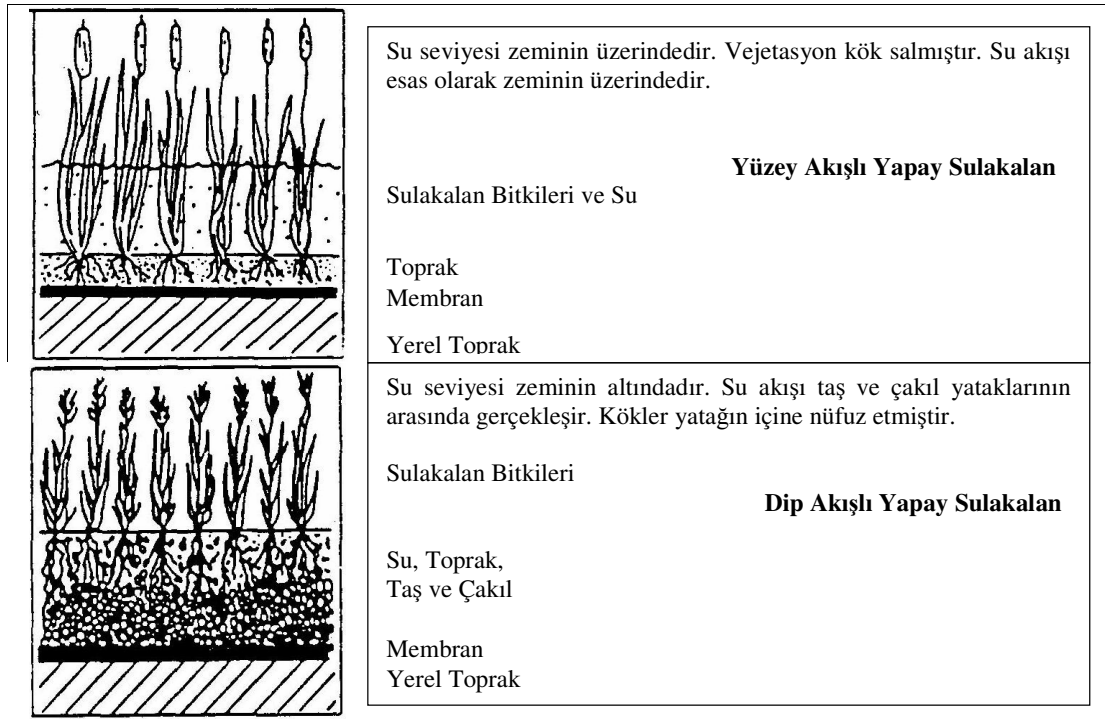
Sulakalanlar, yeraltı sularını besleyerek veya boşaltarak, taban suyunu dengeleyerek, sel sularını depolayarak, taşkınları kontrol ederek, kıyılarda deniz suyunun girişini önleyerek bölgenin su rejimini düzenlerler. Buldukları bölgede nem oranını yükselterek, başta yağış ve sıcaklık olmak üzere yerel iklim elemanları üzerinde olumlu etki yaparlar. Tortu ve zehirli maddeleri alıkoyarak yada besin maddelerini (azot, fosfor gibi) kullanarak suyu temizlerler. Başta balık ve su kuşları olmak üzere gerek ekolojik, gerekse ticari değeri yüksek, zengin bitki ve hayvan çeşitliliği ile birçok türün yaşamasına olanak sağlarlar. Yüksek bir ekonomik değere sahiptirler. Balıkçılık, tarım ve hayvancılık, saz üretimi, turizm olanaklarıyla bölge ve ülke ekonomisine katkı sağlarlar (Erdem, 2004).

Ülkemiz sulakalanlar açısından Avrupa ve orta doğunun en önemli ülkesidir. Türkiye'nin Avrupa, Asya ve Afrika kıtaları arasındaki geçiş bölgesi üzerinde bulunması, üç tarafının farklı ekolojik karakterdeki denizlerle çevrili oluşu, deniz seviyesinden 5000 metreyi aşan yükseklik farklılıkları ve bu özellikleri neticesinde ortaya çıkan iklim çeşitliliği Türkiye'yi sulakalanlar bakımından bulunduğu coğrafyanın en önemli ülkelerinden biri yapmıştır. Doğanın küçük bir taklidi olan sulakalanlar, tarım yada yerleşim amaçlı kurutulmaları, sanayi, tarım ve yerleşim alanlarından kaynaklanan kirlenmeler, içme, kullanma ve sulama suyu temini amacıyla aşırı miktarda su çekilmesi, sulakalanları besleyen suların barajlarda tutulması veya yönlerinin değiştirilmesi turizm ve ikinci konut amaçlı yapılaşmalar, yabancı balık türlerinin göllere aşılması, sazlıkların yakılması, tahribi ve kontrolsüz saz kesimi, kuşların veya diğer canlıların yanlış ve aşırı avlanması gibi nedenlerden dolayı tehdit altındadır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005).

2.2. Arıtma Sistemleri Olarak Yapay Sulakalanlar

Yapay sulakalan arıtma sistemleri, adlarından da anlaşılacağı gibi, seçilen bir arazide atıksu arıtımı amacıyla oluşturulan sulakalanlardır. Yapay sulakalan sistemleri, yerleşim birimlerinde septik tanklardan (veya imhoff tanklarından) gelen atıksuların arıtılması ve yüksek deşarj standartlarını sağlamak amacıyla, havalandırmalı lagünlerde veya konvensiyonel arıtma tesislerinde arıtılmış atıksulara, üçüncü derece arıtma sağlanması amacıyla kullanılırlar. Bu tip arıtmaların hangi büyüklükteki nüfuslara uygulanacağı, mevcut arazi durumu, iklim, zemin şartları ve diğer faktörlere bağlıdır. (Arceivala, 2002).

Yapay sulakalanların çeşitli tipleri; yüzey akışlı, dip akışlı ve dip ve yüzey akışın birleştiği hibrit sistemlerdir. Şekil 2.1.'de bir yüzey akışlı yapay sulakalan ve bir dip akışlı yapay sulakalan sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Arıtma verimlerinin artırılmasının istendiği yerlerde ve özel olarak giderim veriminin yüksek olmasının istendiği kirletici parametreler için, farklı makrofit türlerine dayalı yapay sulakalan atıksu arıtma sistemleri birbirleriyle ve konvensiyonel arıtma teknolojileriyle kombine edilebilir. Yapay sulakalanların tipleri; evsel, endüstriyel, zirai atıksular, kömür madeni atıksularının arıtımı için uygundur.



Şekil 2.1. Yüzey akışlı ve dip akışlı sulakalanlar (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf)

Doğal sulakalanlarda su kalitesinin gelişimi, yıllardır bilim adamları ve mühendisler tarafından gözlenmiştir. Sonuç olarak, doğal sulakalanların habitat yararları ve su kalitesi kopyalanarak yapay sulakalanlar geliştirilmiştir. Bu sistemlerde yürüyen fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonların tümü, sulakalan sistemlerinde su kalitesinin gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Biyolojik reaksiyonlar, mevcut su altında olan en dipteki alt katman yüzeylerine ilave olarak mikroorganizmaların aktiviteleriyle gerçekleşmektedir. Serbest akışlı sulakalanlarda bahsedilen bu alt katman yaşayan bitkiler, ölü bitkilerden oluşan katman, dip toprak katmanının su altında olan bölümüdür. Dip akışlı sulakalanlarda ise, mevcut dolgu malzemesi ve malzeme yüzeylerinde büyüyen bitki köklerini içerir. Dip akışlı sulakalanlarda malzeme yüzeyi, serbest yüzey akışlı sulakalanlardaki mevcut dolgu malzemesinden daha geniştir. Mikrobiyal reaksiyon hızları, daha fazla kirletici olduğu için dip akışlı sulakalanlarda, serbest yüzey akışlı sulakalanlara göre daha hızlı ve fazladır. Sonuç olarak, aynı akış hızı ve daha fazla çıkış suyu kalitesi elde edilmesi için, dip akışlı sulakalanlar, serbest yüzey akışlı sulakalanlara göre daha küçük yapılabilir. Dip akışlı sulakalanlar için tasarım kriterleri özel bir sorumluluk gerektirir. Çünkü, bu sistemlerdeki vahşi yaşam ve halk için rekreasyonel avantajları serbest yüzey akışlı sulakalanlardan daha sınırlıdır (EPA, 2000).

2.2.1. Yapay Sulakalanların Sınıflandırılması

2.2.1.1. Yüzey Akışlı Yapay Sulakalanlar (YAAYS)

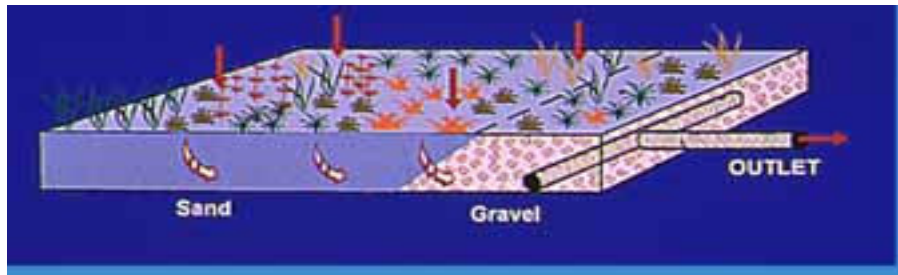
Bu tip sistemlerde, su seviyesi zemin yüzeyinin üzerindedir. Köklü bitki türleri su yüzeyinin üstünde ortaya çıkmıştır, esasen su akışı zeminin üstündedir.

Yüzey akışlı sulakalan sistemi; sığ havuz, toprak veya vejetasyonun köklerinin desteklediği diğer malzemeler ve suyun sığ derinliğini kontrol eden su kontrol yapısına dayanır. Su yüzeyi dolgu malzemesinin üzerindedir. Yüzey akışlı sulakalanlar doğal bataklıklara benzerler ve atıksu arıtmaya ilave olarak estetik faydalar ile habitat için yaşam alanı sağlarlar. Yüzey akışlı sulakalanlarda, daha derin sularda ve dolgu malzemesi genellikle anaerobik iken su yüzeyi aerobiktir.

Yüzey akışlı sulakalanlar serbest yüzey akışlı sulakalanlar olarak da anılırlar. Yüzey akışlı sulakalanların avantajları maliyetlerinin ve işletme masraflarının çok düşük olması ve yapım, operasyon ve bakım maliyetlerinin ucuz olmasıdır. Dezavantajı,

genellikle diğer sistemlere nazaran daha geniş alan gerektirmeleridir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

Bu tür sistemlerde, su yüzeyinde serbest yüzen makrofitler kullanılabilir (Reed, 1991). Bu sistemlerde makrofitler oldukça geniş bir dağılım aralığına sahiptirler. Genel olarak kullanılan türleri, su sümbülü (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotis*, *Hydrocotyle umbellata*) ve su mercimeğidir (*Lemna*, *Spirodela*, *Wolffiella* ve *Wolffia spp.*). Sümbül sistemler, ham atıksuyun birincil ve ikincil arıtım çıkış suyunun iyileştirilmesinde yada ileri arıtma sistemlerinde kullanılabilir. Ekosistemdeki en verimli ve üretken bitkilerden biri olan su sümbülleri, AKM gideriminde, organik maddelerin oksidasyonunda ve nitrifikasyon-denitrifikasyon işleminde oldukça etkili olmasına rağmen fosfor gideriminde çok verimli olamamaktadır. Don olayından etkilenen ve 10°C'nin altında büyüme hızının azalmasından dolayı bu sistemler tropikal ve subtropikal bölgelerde başarıyla uygulanabilir (Brix,1993; Vymazal ve diğ., 1998). Su sümbüllerinden daha geniş bir coğrafi aralıkta ve daha düşük sıcaklıklarda (1-3°C) büyüebilme özelliklerinden dolayı su mercimekleri (*Lemna*, *Spirodella* ve *Wolffi sp.*) atıksu arıtımında daha yaygın olarak kullanılan bitki türleridir. Su yüzeyini yoğun bir şekilde kaplamasından dolayı oksijenin suya transferini engellemekte, zayıf ışık geçirgenliği ile planktonların fotosentetik oksijen üretimini sınırlamaktadır. Bu yüzden su içinde anaerobik koşullar oluşmakta, denitrifikasyon süreci desteklenmektedir. Köklerinin su sümbüllerine göre daha az yüzey alanı olmasından dolayı mikrobiyal büyümede sınırlı olmaktadır (Vymizal,1998; Brix,1998). Kolay hasat edilebilen ve besin değeri oldukça yüksek olan su mercimekleri su sümbüllerine göre en az 2 kat daha protein, yağ, azot ve fosfor içermektedir (Brix,1993). Şekil 2.2'de yüzey akışlı yapay sulakalan sistemlerinin şematik gösterimi verilmiştir.



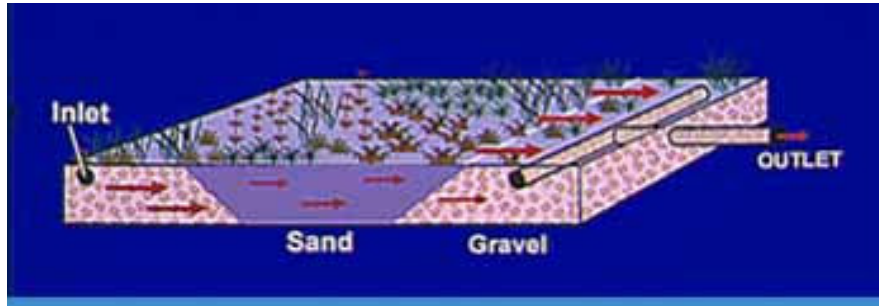
Şekil 2.2. Yüzey akışlı yapay sulakalan sistemi (kaynak: www.waterrecycling.com)

Şekil 2.2.'de şematik olarak gösterilen serbest yüzey akışlı sulakalan sistemi, dip akışlı yapay sulakalan sistemlerine göre daha derin bataklık görünümünde olan sistemlerdir. Şekilde verilen YAYS sisteminde, atıksu yüzeyden sisteme giriş yapar, sistem altında toplanarak çıkış borusundan sistemi terk eder. Bataklık görünümünde olan sistem tabanında yalnızca toprak vardır, atık suyun arıtma sonrası sistemi terk ettiği kısım çakıl taşlarından meydana gelmektedir. Diğer kullanılan sistemler ise sualtı makrofit tabanlı sistemlerdir. 3-5 m. genişliğe 100 m.den fazla uzunluğa ve sığ derinliğe sahip bu tip sulakalanların en yaygın bitki türü saz otudur (*Scirpus lacustris*). Atıksu arıtımı mikrobiyolojik türlerin tutunmasını sağlayan bitkinin sap ve dip kısımları tarafından desteklenir (Reed,1991; Brix,1993; Vymazal ve Diğ.,1998).

2.2.1.2. Dip Akışlı Yapay Sulakalanlar (DAYS)

Su seviyesi, zeminin altında, su akışı kum veya çakıl yatağına doğru, kökler yatağın dibine girmiş, nüfuz etmiştir.

Bu tip sistemlerde, sualtı yüzeyi, bir temel veya vejetasyonunun kök kısmını destekleyen sabit bir ortamdan, gözenekli dolgu malzemesinden (kaya, çakıl, kum, toprak) oluşur. Su seviyesi, dolgu malzemesinin üzerinde kalacak şekilde tasarlanır. Bazı Avrupa ülkelerinde, havuzda atıksuyun dikey akış şeklini kullanmalarına rağmen Amerika'daki sistemlerin çoğunda atıksuyun akış yönü yataydır. Dip akışlı yapay sulakalan (DAYS) sistemleri, "vegetated submerged bed, root zone method, microbial rock reed filter, plant rock filter system"leri gibi çeşitli isimlerle de anılırlar (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf). Şekil 2.3'de dip akışlı sulakalan sistemi verilmiştir.



Şekil 2.3. Dip akışlı yapay sulakalan sistemi (kaynak: www.waterrecycling.com)

Şekil 2.3.'de gösterilen şematik DAYS sisteminde atıksuyun sisteme giriş ve çıkış ağzı çakıl malzeme ile doldurulmuştur. Sistemde dolgu malzemesi olarak kum ve

küçük çaplı çakıl malzemesi kullanılmıştır. Atıksu sisteme dipten verilmiştir ve malzemelerin içinden akmaktadır. Genellikle su altı yüzeyli bu tip sulakalanlarda bitki türü olarak kamış (*Phragmites spp.*) kullanılır (Kadlec, 1995). Her iki sistem tipinde de, sisteme yeraltı suyu girişini önlemek için yatağın altında geçirmez tabaka bulunur. Geçirimsiz tabaka olarak genellikle kil kullanılır. Sistemde su derinliğini sabit tutmak için farklı çıkış yapıları kullanılmaktadır (Reed,1991).

İkincil arıtım için yatay akışlı sulakalan sistemlerinin genelde BOİ ve AKM parametrelerinin standartlarının sağlanması gerektiği yerlerde yeterlidirler. Yatay akışlı sistemlerin üçüncül arıtmada kullanılmasıyla oldukça yüksek azot giderimi elde edilmektedir. Oysa oksijen transfer kapasitesinin sınırlı olmasından dolayı yatay akışlı sistemlerin ikincil arıtmada kullanılmalarında istenildiği gibi azot arıtımı gerçekleştirilememektedir (Ateş, Özesmi, 2001).

Dolgu malzemesi tarafından empoze edilen hidrolik kısıtlama nedeniyle, dip akışlı sulakalanlarda atıksu için en uygun olanı, uniform akış şartlarının ve düşük katı konsantrasyonlarının olduğu atıksudur. Dip akışlı sulakalanların evsel atıksular için avantajları, soğuğa toleranslı olması, haşere ve koku problemlerini minimize etmesi ve mümkün mertebe yüzey akışlı sulakalanlardan daha az kara alanı gerektirmeleridir.

Bu tip sistemlerde bulunan gözenekli malzemeler (dolgu malzemesi), yüzey akışlı sulakalanlara göre arıtma için daha geniş temas alanları sağlarlar (kontakt alanı), bu yüzden dip akışlı sulakalanlar arıtmaya daha hızlı cevap verebilirler. Bu nedenle, atıksuyun eşit hacmi için tasarlanan DAYS sistemleri, YAYS sistemlerine nazaran daha küçük olabilirler. Ayrıca su yüzeyi açık olmadığı için halkın atıksu ile temas etme riski minimumdur.

Dip akışlı sulakalanların dezavantajları, ünite bazında inşaatının maliyetli olmasıdır. Maliyet nedeniyle dip akışlı sulakalanlar sık sık küçük debiler için kullanılır. Dip akışlı sulakalanları kontrol etmek, yüzey akışlı sistemleri kontrol etmekten zor olabilir. Bakım ve tamir masrafları genellikle yüzey akışlı sistemlerden daha pahalıdır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.2.1.3. Hibrid Sistemler

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

aerobik ve anaerobik reaksiyonları iletirmek için farklı sulakalan hücre bölümlerini gerektirebilir. Zira atıksulardan amonyak giderimi için hem yüzey akışlı hem de dip akışlı sistemlerin birlikte kullanılması avantajlı olabilir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.2.2. Yapay Sulakalanların Avantajları

Yapay sulakalanlar, doğal sulakalanların sağladığı pek çok fonksiyonları ve değerlerinin aynısını sağlayabilirler. Tüm yapay sulakalanlar, aşağıda belirtilen bütün fonksiyonları ve faydaları sağlamasalar da, birçoğunu sağlarlar. Uygun koşullar altında yapay sulakalanların sağlayabildikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Su kalitesini iyileştirmeye çok sayıda faydası vardır.
- Selleri ve erozyonu önlerler.
- Nutrient ve diğer malzemelerin döngüsünü sağlarlar.
- Balıklar, vahşi yaşam ve çoğu sulakalan organizmaları için habitat sağlarlar.
- Pasif ve aktif rekreasyon sağlarlar (kuş izleme, fotoğrafçılık, avcılık vb.).
- Eğitim ve araştırma ortamı yaratırlar.
- Çevreye duyarlıdırlar.
- Ortam estetiği ve peyzajını artırırlar (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).
- Dip akışlı sulakalanlar pasif durumda, minimum mekanik ekipman, enerji ve kalifiye operatör bakımı gerektirir.
- Dip akışlı sulakalanlar, mekanik ekipmanlı arıtma prosesleriyle kıyaslandığında aynı çıkış suyu kalitesi için, yapımı daha az maliyetli, bakımı ve onarımı daha az maliyetlidir.
- Operasyon, bakım işlemleri devamlı değil, sadece periyodik bakım gerektirir (laboratuarda).
- Sulakalan akışta dalgalanmalara toleranslıdır.
- Su döngüsünü ve kazanımını kolaylaştırır.
- İkincil arıtma için, bütün soğuk iklimlerde kirletici giderimi sağlamaları mümkündür.
- Dip akışlı sulakalan sisteminin yapısı, serbest yüzey akışlı sulakalan tipinden daha fazla termal koruma sağlar.

- Dip akışlı sulakalan sistemleri, sonradan arıtma veya bertaraf için artık bio katı atıklar veya çamurlar üretmezler.
- Dip akışlı sulakalanlar evsel atıksulardan; BOI, KOI, TKM, metaller ve bazı zor organiklerin giderimi için çok etkilidir ve güvenilirdir. Azot ve fosforun düşük düzeylerde arıtımı da mümkündür fakat uzun bekleme süreleri gerektirirler.
- Düzgün işletilen ve su düzeyi yüzey altında korunan dip akışlı sulakalan sistemlerinde, sivrisinek ve benzer böcek vektörleri problem olmaz. Kısmen arıtılmış atıksuyla çocukların veya hayvanların temas etme riski azaltılmıştır (EPA, 2000).

2.2.3. Yapay Sulakalanların Dezavantajları

Yapay sulakalan sistemlerinin çok sayıdaki avantajına rağmen dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajları aşağıda verilmiştir;

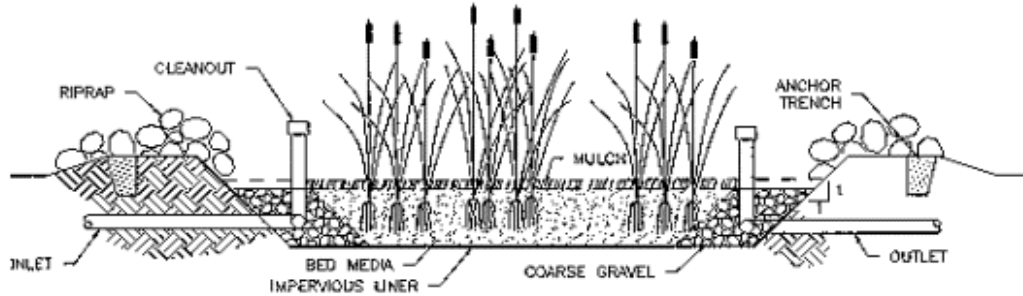
- Dip akışlı bir sulakalan, konvensiyonel mekanik arıtma prosesleriyle kıyaslandığında, geniş bir toprak alanı gerektirir.
- Dip akışlı sulakalanlarda BOI, KOI ve azot giderimi devamlı yenilenebilir proseslerdir. Sistemde fosfor, metaller ve bazı organiklerin giderimi, sulakalanda sedimentler ve birikmelere bağlıdır.
- Soğuk iklimler, kışın düşük sıcaklıklar, BOI, $\text{NH}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ giderim oranlarını düşürür. Bekleme sürelerini artırmak bu oranlardaki azaltımı karşılayabilir fakat sulakalan havuzlarının boyutlarındaki artış maliyet açısından etkili olmaz veya teknik açıdan mümkün olmayabilir.
- Dip akışlı sulakalanda kapsanan suyun çoğu anoksiktir ve bu limitler, atıksu amonyağının nitrifikasyonu için yetersizdir. Sulakalan boyutunun ve bekleme süresinin artışı bu dezavantajı karşılayacaktır fakat bu yöntem maliyeti arttıracığı için etkili olmayacaktır. Başarılı bir nitrifikasyon işlemi için, dip akışlı sulakalanların kombinasyonda alternatif metodlar geliştirmek faydalı olacaktır. Dip akışlı sulakalanlar, organik bileşenler, TKM, azot ve koliformların tamamının giderimi için tasarlanmazlar. Bu sulakalanlarda doğal ekolojik döngüler, sistem çıkışında bu maddelerin konsantrasyonlarının bir miktarının yeniden oluşmasına neden olur.
- Dip akışlı sulakalan sistemleri tipik olarak fekal koliformları giderebilir. Bu, tüm alanlarda, deşarj limitlerini karşılamak için daima yeterli değildir ve son noktada

dezenfeksiyon gerekebilir. UV dezenfeksiyonu birçok uygulamada başarı ile kullanılmıştır (EPA, 2000).

- Birçok bileşenin giderimi için dip akışlı sulakalanlar, serbest yüzey akışlı sulakalanlardan daha küçük olabilmesine rağmen, 227.100 lt/gün'den daha büyük kapasiteli dip akışlı sistemler için, dip akışlı sulakalanlarda çakıl malzemesinin yüksek maliyeti nedeniyle daha yüksek inşaat maliyetlerine neden olabilirler (EPA, 2000).

2.2.4. Yapay Sulakalanların Bileşenleri

Yapay sulakalanlar düzgün olarak tasarlanmış havuzlardır; su, dolgu malzemesi ve yaygın olarak damarlı bitkilerden oluşur. Bu bileşenler yapay sulakalanlarda ustalıkla yönetilebilirler. Sulakalanların diğer önemli bileşenleri, mikroorganizmalar ve doğal olarak gelişen sucul omurgasızlardır. Şekil 2.4.'te bir dip akışlı yapay sulakalan sisteminin bileşenleri verilmiştir. Şekil 2.4.'te gösterilen sulak alan sistemi bileşenleri giriş borusu (inlet), temizleme/ bypass borusu (cleanout), yatak malzemesi (bed media), geçirimsiz Membran (impervious liner), büyük çakıl (coarse gravel), saman ya da kuru yaprak örtüsü (mulch), çıkış borusu (outlet), hendek (anchor trench) olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Dip akışlı yapay sulakalan sisteminin bileşenleri (kaynak: www.cet.nau.edu)

2.2.4.1. Hidroloji

Hidroloji sulakalan sistemlerinde tüm fonksiyonları birbirine bağladığı için, yapay sulakalanların tasarımında çok önemli bir parametredir ve bir yapay sulakalan sisteminin başarı veya başarısızlığındaki en önemli faktördür. Yapay sulakalanların hidrolojisi diğer yüzeyler veya yakın yüzey sularından çok farklı olmamasına rağmen önemli noktalarda bazı farklılıklar gösterir. Hidrolojideki küçük değişiklikler sulakalan sisteminde oldukça önemli etkiler yapabilirler ve arıtma etkinliğinde önemli değişiklikler yapabilirler. Suyun geniş yüzey alanından ve sığ derinliğinden dolayı

sulakalan ve atmosfer, yağmur ve buharlaşma (su yüzeyinden evaporasyon ile su kaybı ve bitkilerden transpirasyon yoluyla su kaybının kombinasyonu) yoluyla, kuvvetli bir şekilde birbirlerini etkiler. Sulakalan vejetasyonunun yoğunluğu da hidrolojiyi önemli derecede etkiler. Köklerin ve yumru köklerin ağlarının kıvrımlı olması birinci derecede su akışını engeller, ikinci derecede rüzgar ve güneşe maruz kalmayı engeller (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

Sulakalan boyutlandırmasında, hidrolik rejime doğrudan etkisi olan, bekleme süresi ve hidrolik yükleme hızı iki önemli değişkendir. Özetleyecek olursak, sulakalanın hidrolojik rejimini belirleyen parametreler, sıklık, zaman, derinlik, akışın sürekliliği, günlük ve/veya mevsimlik su seviyesindeki değişiklikler ve çıkış yapısıdır (Vymazal ve diğ., 1998).

2.2.4.2. Dolgu Malzemesi, Sediment ve Ölü Bitki Katmanı

Dolgu malzemesi, DAYS sistemlerinde; toprak, kaya, çakıl, taş ve organik maddeleri (kompost gibi) içerir. Yüksek verimlilik ve düşük su hızları nedeniyle sulakalanlarda çökelmelerle sediment ve ölü bitki katmanı (litter) oluşur. Dolgu malzemesi, sediment ve ölmüş bitkilerin çökmesi ile oluşan katmanlar çeşitli sebeplerle önemlidirler;

- Sulakalanlarda canlı organizmaların çoğunu desteklerler.
- Dolgu malzemesinin geçirgenliği, sulakalan içinden suyun taşınımını etkiler.
- Dolgu malzemesinin içinde birçok kimyasal ve mikrobiyolojik dönüşümler olmaktadır.
- Dolgu malzemeleri, birçok kirletici için depolama görevi yapar.
- Sistemde çoğunlukla ölü bitkilerin çökmesi ile oluşan tabakanın (litter) birikmesi, sulakalanda organik madde miktarında artışlara neden olur. Organik madde, malzeme değişimi ve mikrobiyal bağlantılar için olanak sağlar ve karbonun kaynağıdır, enerji kaynağı olarak sulakalanda önemli biyolojik reaksiyonları yürütür.

Çok fazla suya doydukları zaman toprakların ve diğer dolgu malzemelerinin fiziksel ve kimyasal karakteristikleri değişir. Dolgu malzemesinin boş gözeneklerinde, su, atmosferik gaz ile yer değiştirir ve mikrobiyal metabolizmalar mevcut oksijeni tüketirler. Oksijen atmosferden difüzyon yoluyla yer değiştirebildiğinden daha hızlı tüketildiği için dolgu malzemesi anoksik olur. Bu değişim olayı, çevrede azot ve metal

gibi kirleticilerin giderilmesinde önemlidir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.2.4.3. Bitki Toplulukları (Vejetasyon)

Yapay sulakalarda hem damarlı bitkiler (yüksek bitkiler) hem de damarsız bitkiler (algler) önemlidir. Algler tarafından yapılan fotosentez, suyun çözülmüş oksijen içeriğini artırır. Ayrıca azot ve metal reaksiyonlarını da etkiler. Damarlı bitkiler atık suyun arıtımına ve su akışına şu yollarla katkıda bulunur;

- Dolgu malzemelerinin yapılarını dengede tutarlar ve kanalize olmuş akışı kısıtladırırlar (sınırladırlar).
- Su hızlarını yavaşlatırlar. Asılı maddelerin tutunmasını sağlarlar.
- Karbon, nutrientler ve iz elementleri tutarlar. Bunları bitki dokularına katarlar.
- Atmosfer ve sediment arasında transferi sağlarlar.
- Dip yüzey bitkilerinden oksijen sızıntısı dolgu malzemesi içerisinde oksijenli mikroalanlar yaratırlar.
- Gövdeleri ve kök sistemleri mikrobiyal yerleşmeler için alan sağlar.
- Öldükleri veya çürüdükleri zaman sistem tabanında bir katman oluştururlar.

Yapay sulakalanlarda genellikle kökleri su altında toprak içinde, gövde kısmı su üzerinde uzayan bitki türleri dikilir (dolgu malzemesi yapısında, kökleriyle birlikte büyüyen odunsu olmayan bitkiler ve gövdeleri). Bu bitki türleri; saz (*Bulrushes*, *Cattail*), kamış (*Phragmites spp.*) ve birkaç geniş yapraklı türler olmak üzere yapay sulakalanlarda yaygın olarak kullanılırlar (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

Su altı makrofitler, su kütlesine doğrudan oksijen sağlarken, su yüzeyindeki ve serbest yüzen makrofitler de su yüzeyini örtmekte ve alg büyümesini önlemektedirler. Her ne kadar algler oksidasyon havuzlarında su arıtma süreçlerine katkıda bulunsalar da, aşırı alg büyümesi, sulakalanların ötrofikasyon tehlikesi ile karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır (Brix,1993; Gopal, 1999).

2.2.4.4. Mikroorganizmalar

Sulakalanların belli başlı karakteristikleri mikroorganizmalar ve onların metabolizmaları tarafından sulakalan sistemlerinin çoğunlukla düzenlenmeleridir. Mikroorganizmalar; bakteriler, mayalar, funguslar, protozoalar, kabuklu alglerdir.

Mikrobiyal biyomas, organik karbon ve çoğu nutrient için ana yerleşim yeridir. Mikrobiyal aktivite:

- Zararsız ve çözünmez madde içerisinde organik ve inorganik malzemenin büyük miktardaki dönüşümüdür.
- Dolgu malzemesinin indirgenme/oksidasyon (redoks) durumlarının değişimini, dolayısıyla sulakalanın proses kapasitesini etkiler.
- Nutrient çevriminde gereklidir.

Bazı mikrobiyal dönüşümler aerobiktir (serbest oksijen gerektirir), bazıları anaerobiktir (oksijensiz koşullarda yürür). Birçok bakteri türleri fakültatif anaerobiktir, değişen çevresel koşullara yanıt vermede, hem aerobik hem de anaerobik koşullar altında yaşamaya yatkın türlerdir.

Mikrobiyal popülasyonlar, su değişikliklerine uyum gösterirler. Mikrobiyolojik popülasyonlar uygun enerji içeren malzemelerle birleştirildiği zaman hızla gelişirler. Çevresel koşullar yeterince uygun olmadığında çoğu mikroorganizma uyku haline geçer ve yıllarca bu şekilde kalabilirler. Bir yapay sulakalanın mikrobiyal topluluklar toksik maddelerden (pestisitler ve ağır metaller vb.) etkilenebilir, önlem olarak zararlı konsantrasyonlara ulaşmadan bu kimyasalların önlenmesi gerekir (EPA, A Handbook Of Constructed Wetland).

2.2.5. Yapay Sulakalanların Kullanımında Tehlike Yaratabilecek Unsurlar

Sulakalanlar, bazı azot türleri ve çoğu kirleticileri giderebilirler veya asimile edebilirler. Atıksudaki sürekli maddeler (örneğin fosforlar ve metaller) için sulakalanlar uygun biçimde yönetilmezlerse, sulakalanlar bir süre sonra bu kirleticiler için kaynak haline gelebilir. Fosforlar ve metaller gibi kirleticilere sahip olan sulakalanlarda miktar bilinmeyen önemli bir faktördür. Bioakümüülasyon ve biotoksisite sulakalanlarda açıkça dökümanite edilmemiş ve anlaşılammıştır.

Atıksu bileşenlerine bağlı olarak sulakalanlarda dirençli bitkiler sorun olabilir. Örneğin, maden drenaj atıksuları metaller içerir veya yağmur suyu çökmüş hidrokarbonlar ile kaldırım yüzeyinden atıklar taşır. Fırtınalar süresince sulakalan sedimentinde ağır metaller sık sık kalır, sulakalanlarda bu yolla toksik maddelerin taşınımı bir sorundur. Fosforun taşınımı yüzey sularının aşırı zenginleşmesinde çok önemli bir faktördür. Periyodik olarak bu atıkların izlenmesi ve yapay sulakalanların

düzenli işletilmesi ve tasarlanması gerekir. Bunlar altı önemle çizilmesi gereken tehlike problemleridir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.2.6. Yapay Sulakalanlarda Değişim ve Esneklik

Bütün ekosistemler zamanla değişirler. Atıksu arıtımı nedeniyle sulakalanlarda değişim, çoğu doğal sulakalanlardan, sediment, ölü bitki katmanı ve kirleticilerin hızlı birikmesi nedeniyle daha hızlıdır.

Ekosistem olgunlaşması olarak türlerde değişim, yerine geçme olarak bilinir. Genelde, ekosistemlerin olgunlaşması ile tür çeşitliliği artar. Tür sayısındaki çeşitlilik genellikle ekosistemlerde esnekliğin bir ölçüsü olarak düşünülür. Tür sayısındaki artış, farklı türlerin birbirleriyle ve çevreleriyle etkileşimlerinin karmaşıklığı, etkileşim sayısının artması bütün olarak sistemde daha fazla esneklik yaratır.

Sulakalanlarda atıksu arıtımı için, yüksek atıksu yüklemesi, saz (*Cattail*) ve yaygın sazlar gibi yüksek derecede toleranslı türlerin, neticede diğer türleri elimine etmesine neden olabilir. Eğer vahşi yaşam değerleri projede önemli değilse, kabul edilebilir düzeylerde su arıtması devam ettiği sürece değişimlerin devamına izin verilebilir.

Doğal veya yapay herhangi bir ekosistemin, değişikliğe tolerans sınırları vardır. Yapay sulakalan sistemlerinin performansı, sulakalanda kirleticilerin birikmesi ve dolgu malzemesinde meydana gelebilecek değişiklikler sonucunda her zaman değişebilir. Yapay sulakalanı tehdit eden unsurun tespiti ve bunların iyileştirilmesi için yapay sulakalanlar periyodik olarak izlenmelidir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.2.7. Yapay Sulakalanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları

Bir sulakalan; su, dolgu malzemesi, bitkiler (damarlı ve alg), birincil olarak ölü bitki maddelerinin yığılmasından oluşan tabakadan, omurgasızlardan (çoğunlukla böcek larvaları ve solucanlar) ve mikroorganizma topluluklarından (en önemlisi bakteriler) oluşur.

Su kalitesini geliştirmek için mekanizmalar mevcuttur. Mekanizmalar şunlardır:

- Askıda maddelerin çökmesi ile,
- Filtrasyon ve kimyasal çökeltme, dolgu malzemesi ve bitkilerin çökmesi ile oluşan tabaka ile suyun teması yoluyla filtrasyon ve kimyasal çökeltme ile,

- Kimyasal transformasyon yoluyla,
- Bitkiler, dolgu malzemesi, sediment ve bitkilerin çökmesi ile oluşan tabakanın yüzeyinde adsorbsiyon ve iyon değişimi işlemleri ile,
- Mikroorganizmalar ve bitkiler yoluyla kirleticilerin çökmesi ve transformasyonu yoluyla,
- Mikroorganizmalar ve bitkiler yoluyla nütrientlerin çökmesi ve transformasyonu yoluyla,

Patojenlerin doğal ölümü yoluyla DAYS sistemleri su kalitesini geliştirir. En etkili arıtma yapacak olan DAYS sistemleri, bu mekanizmaları büyüten ve yürüten sistemlerdir.

DAYS sistemleri, çeşitli özelliklerdeki atıksuların arıtılması için kullanılabilirler. Kirletici gideriminin etkinliği girişi yükleri (giriş debisi ile kirletici konsantrasyonunun çarpımı) ve çıkış yükleri (deşarj debisi ile kirletici konsantrasyonunun çarpımı) arasındaki farktan tanımlanabilir. Bu yönden atıksuyun özelliğine göre incelenmesi gereken parametreler aşağıda verilmiştir;

- Evsel atıksular: BOİ, azot, fosfor, toplam katı madde, ağır metaller, bakteri, toplam koliform ve fekal koliform,
- Zirai atıksular: BOİ, azot, fosfor, toplam katı madde, pestisit, bakteri, toplam koliform ve fekal koliform,
- Maden atıksuları: pH, demir, manganez, alüminyum, toplam katı madde, sülfat
- Yağmur suyu: Toplam katı madde, azot, fosfor, ağır metaller, taşıyıcı emisyon atıkları parametrelerine bakılmalıdır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

Yaygın DAYS sistemlerinde kullanılan bitki türleri, gelişmekte olan bitki topluluğu, saz (*Typha spp.*), saz otu (*Scirpus spp.*) ve saz, kamış (*Phragmites spp.*)'dır. Avrupa'da DAYS sistemler için bu bitkiler tercih edilir. saz (*Phragmites*), hızlı büyümesi, soğuğa dayanıklı bir bitki ve hayvanlar veya kuşlar için yiyecek olmaması nedeniyle tercih edilir. Bununla birlikte, Amerika'nın bazı kısımlarında saz (*Phragmites*) tercih edilmez, çünkü çabuk çoğalabilen bir bitkidir ve doğal sulakalanları sarabilmesi meselesi vardır. Bu nedenlerden dolayı saz (*Typha spp.*) veya saz otu (*Scirpus spp.*) kullanılabilir. Misk sıçanı veya bataklık kunduzu bulunan yerlerde, bu hayvanlar, yiyecek ve yuvalama ihtiyaçları için bu bitkileri kullanırlar. Bu nedenle bu sistemler için risk teşkil ederler, bu hayvanlar, bir yapay sulakalanda saz (*Typha spp.*)

veya saz otu (*Scirpus spp.*) bitkilerinin tamamını yok edebilirler. Bir dip akışlı yapay sulakalanda bitki topluluğu, nutrient taşınmasında majör faktör değildir ve hasat gerektirmez. Soğuk iklimlerde kış ayları boyunca çakıl yataklarının üzerinde, bitkiler yararlı termal izolasyon sağlarlar. Bitki kökleri, mikrobiyal prosesler için alt katman sağlarlar. Çoğu gelişmekte olan makrofitler, köklerine oksijen transfer ederek, köksaplarında ve kök yüzeylerinde aerobik mikroalanlar oluştururlar. Dip akışlı sulakalanda sistem dibinde kalan (bentik) çevrenin geri kalan kısmı oksijenden yoksun kalmaya meyillidir. DAYS sistemlerinde mevcut oksijenin limitli olması nedeniyle genelde, nitrifikasyon yoluyla amonyak azotunun ($\text{NH}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$) biyolojik giderimi kısıtlıdır. Fakat DAYS sistemleri BOİ, TKM, metaller ve bazı birincil kirletici organiklerin giderimi için çok etkilidir (EPA, 1993). Avrupa'da yapılan çalışmalarda, evsel atıksuların yüzey altı sulakalanlardan sızdırılması ile, %80-95 oranında KOİ ve BOİ giderimi, %99 oranında bakteri giderimi elde edilmiş ve %35 oranında azot giderimi elde edilmiştir (Ateş, Özemesi, 2001). Bu arıtmalar, aerobik veya anoksik her iki koşul altında da meydana gelebilir. Nitrat giderimi ($\text{NO}_3\text{-N}$), biyolojik denitrifikasyon yoluyla, gerekli anoksik koşullarda çok etkili olabilir. DAYS sistemlerde dipte oksijenin kısıtlı olması biyolojik nitrifikasyon prosesiyle amonyum azotunun ($\text{NH}_4\text{-N}$) istenen giderimini gerçekleştirmez. Evsel atıksular için, DAYS sistemlerinde çıkış atıksuyunda amonyum azotunun düşük düzeylerde olması için geniş bir sulakalanda uzun bekleme sürelerine ihtiyaç vardır. Mekanik havalandırma için, bu modifikasyonlarda yatağın altında havalandırma sisteminin kurulmasını gerektirirler. Bir diğer alternatif, atıksuda amonyağın nitrifikasyonu için, DAYS sistemine entegre edilmiş çakıllı filtre ve dikey akışlı yapay sulakalan yataklarının kullanımınıdır. Bu yatay akışlı yataklarda genellikle, çakıl veya kaba kum en üst yüzeyde aralıklı olarak yüklenmişlerdir. Aralıklı uygulama ve dikey akış, yataktaki aerobik koşulları düzenler (EPA,1993).

DAYS sistemlerinde fosfor giderimi, kullanılan malzemenin cinsine bağlıdır. Eğer yataklarda çakıl ortam kullanılıyorsa ve akım yataysa, çok az fosfor giderilir. Soğuk iklimlerde azot ve fosfor giderimi konusunda rapor edilen değerler düşüktür ve %25-50 civarındadır. Diğer taraftan zeminde kil içeriğinin yüksek olması durumunda fosfor giderimi daha yüksektir. Fakat hidrolik geçirgenlik azdır (Arceivala, 2002). Fosfor giderimi, evsel atıksularda fosfor düzeyinin çıkış boyunda düşük olması için

uzun bekleme süreleri gerektirir. Fosfor giderimi için, en son kimyasal ilavesi ve son çökelme tankından önce karışması ve fosforun çökeltilmesi gerekebilir (EPA,1993).

Yapılan araştırmalar DAYS sisteminin organik madde giderimindeki aşamalarını şu şekilde sıralamışlardır; sülfat giderimi, denitrifikasyon, havanın havada ve su yüzeyindeki (aerobik respirasyon) difüzyonu, makrofitler aracılığıyla oksijen taşınımı, metanlaşma sürecinin başlaması (methagonesis). Yaz mevsiminde sülfat gideriminin sığ olan sistemlere oranla derin DAYS sistemlerinde daha yüksek organik madde giderimine işaret ettiği gözlenmiştir. Denitrifikasyon, sığ DAYS sistemlerinde organik madde gideriminde çok önemli bir mekanizmadır (Aguirre ve diğ., 2003).

DAYS sistemlerinin derinliğinin kirletici madde giderimi üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan çalışmalarda şu sonuçlara ulaşılmıştır. Yapılan araştırmalarda 2 yıllık bir zaman periyodunda su derinliği 0,27 m. olan sığ DAYS sistemlerin, su derinliği 0,5 m. olan derin DAYS sistemlerine nazaran daha fazla KOİ (%72-85), daha fazla amonyak (%35-56), daha fazla çözünmüş reaktif fosfor (%8-23) giderdiğini göstermiştir. Bu araştırma ile DAYS sistemlerinde, organik maddenin giderimi üzerinde su derinliğinin etkili olduğu görölmektedir (Aguirre ve diğ., 2003). Ortam şartlarına bağlı olmakla beraber, dip akışlı sistemlerde sığ sistemler daha derin sistemlere göre daha verimli giderim sağlamaktadırlar.

DAYS sistemlerinde biyolojik kirleticilerin giderimi için çeşitli mekanizmalar etkindir. Doğal ölümlle, yüksek sıcaklık, ultraviyole ışınlar, çürüme ve sedimentasyon nedeniyle, enterik patojenler azalır. Enterik bakteri ve virüslerin sudan gideriminin bir başka potansiyel kaynağı da, çakıl ve bitki kökleri üzerindeki biyolojik filmlerle yüzeye çekilmedir. Bitkiler aynı zamanda köklerinden toksik antimikrobiyel maddeleri salgılayarak enterik patojenleri etkileyebilirler. DAYS sistemlerinde, mikrobiyolojik su kalitesinin gelişimi için yapılan araştırmalarda fekal koliform gideriminin, toplam koliform giderimiyle benzer olduğu görölmüştür. DAYS sisteminde koliform giderim verimleri %95 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalar, bitki yoğunluğunun koliform ve fekal koliform bakteri giderimini önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir. Arizona Chattanooga bölgesinde kurulan DAYS sistemi %100 bitki yoğunluğuna sahip olmasına karşılık Hassayampa'da bu rakam sifıra yakındır. İki bölgede de aynı şartlar altında yapılan arıtım sonucunda fekal koliform giderim verimleri, Chattanooga bölgesinde %90 olarak bulunmuş, Hassayampa bölgesinde ise verim %95,4 olarak bulunmuştur (Nokes

ve diğ., 2003). Koliform giderimlerinin, deşarj standartlarını karşılamadığı durumlarda son noktada dezenfeksiyon gerekebilir. Birçok bölgede, UV dezenfeksiyonu başarı ile kullanılmıştır (EPA, 2000).

DAYS sistemlerinde, toplam katı madde (TKM) giderimini etkileyen parametreler, hidrolik ve mikrobiyolojik özelliklerdir. Organik katı madde giderimi esas olarak, malzemede veya yüzeyinde sırayla aerobik veya anaerobik mikrobiyal ayrışma devamında meydana gelen filtrasyon yoluyla olur. Askıda organik maddelerin çökmesi, atıksuyun içindeki BOI'nin azalmasına büyük katkıda bulunur. Davies veya Lottingham'a göre atıksuda katı madde konsantrasyonun yaklaşık %75'i DAYS sisteminin ilk çeyreğinde tutulur. Benzer olarak, Zatrutz ve Fuller, TKM'nin %60'ının DAYS sisteminin ilk çeyreğinde giderildiğini savunur. DAYS sistemlerde genellikle ölü bitkilerin oluşturduğu tabakada, bitkilerde, toprak partiküllerinin yüzeyindeki filmlerde veya çamurdaki mikroorganizmalar çözülmüş ve askıda haldeki organik maddeyi ayrıştırırlar. Green ve Upton İngiltere'de üçüncül arıtma için 5 farklı çakıldan oluşan dip akışlı kamış yataklarından TKM giderim verimlerini göstermişlerdir. İki yıl içinde yataklar yoluyla ortalama TKM giderimi çıkış suyunda 5 mg.'dan daha az olmak üzere giderim verimi %82'den fazladır. İngiltere'de deneysel iki çakıl esaslı dip akışlı kamış yatağı, evsel atıksuların ikincil ve üçüncül arıtımı için kullanılmışlardır. İkincil arıtma sistem giriş suyunda 90,6 mg/lit ve çıkış suyunda 20 mg/lit konsantrasyon ile %78 oranında AKM giderim oranı sağlamıştır. Üçüncül arıtma sistem giriş suyunda 25,8 mg/lit ve çıkış suyunda 10 mg/lit konsantrasyon ile %61'in üzerinde giderim verimi elde etmiştir. Kuzey İrlanda'da çakıla dayalı kamış yatağında 20 mg/lit'den az AKM ile çıkış atıksuyunu sağlamak için özel olarak tasarlanmıştır. Yatak ortalama, 41,4 mg/lit çıkış TKM konsantrasyonu, %57 giderim performansı seviyesine ulaşmada başarısız olmuştur.

Sonuçlardaki farklılıklar, hem kullanılan çakıl malzemesinin boyutları hem de dolgu malzemesinin kuruma şekliyle ilgilidir. Yapılan çeşitli araştırmalarda çakıl esaslı yatakların katı madde giderim verimlerinin, diğer bütün dolgu malzemelerinden daha iyi performans sağladığı görülmüştür. Dolgu malzemesi olarak, evsel atıksu çamuru kısa dönemli denemede gelişim sağlamada başarısız olmuştur. Çünkü, çakıl malzemesi daha az tıkaçıcıdır ve daha sabit önceden tahmin edilebilen sonuçlar verir. Literatüre göre daha az dikkatle kullanılabilmeğe izin verir, gözeneklerin tıkanmasının minimum

olması ile daha uzun yaşam ömrü ile sistemler sağlar. Toprak, kum ve kompost ise, birincil büyük boşlukları tıkaçıcı malzemelerdir. İlave basınç yapıldığı zaman kolayca değişirler. Bitkilerin mevcudiyetinin TKM'nin gideriminde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir (Manios ve diğ., 2003).

2.2.8. Yapay Sulakalanların Dünyadaki Uygulama Örnekleri

Çalışmanın bu bölümünde, Amerika'da Environmental Protection Agency (EPA) tarafından yapılan 14 adet çalışma hakkında bilgi verilmiştir. Tablo 2.1'de yapılan 14 çalışmanın bölgesi ve bu çalışmaların değerlendirilmesi için bilgi kaynakları verilmiştir.

Tablo.2.1. EPA tarafından yapılan çalışmalarda performans değerlendirmesi için bilgi kaynakları (EPA, 1993)

Bölge	Atıksu Türü	Tasarım Debisi (m ³ /gün)	Aritma Alanı (m ²)
Greenleaves, LA	Kentsel	564	4400
Degussa Co., MS	Endüstriyel	6737	8900
Bear Creek, AL	Evsel	59	2000
Monterey, VA	Kentsel	83	200
Denham Springs, LA	Kentsel	6548	61500
Benton, LA	Kentsel	378	6100
Haughton, LA	Hastane	380	6100
Carville, LA	Kentsel	465	2600
Mandeville, LA	Kentsel	4633	18500
Benton, LA	Kentsel	685	14600
Hardin, KY ^a	Kentsel	236	3200
Hardin, KY ^b	Kentsel	186	3200
Utica, MS ^c	Kentsel	189	6100
Utica, MS ^d	Kentsel	416	8100
a.Kamış (<i>Phragmites</i>) yatakları b. Saz (<i>Scirpus</i>) yatakları			
c.Güney sistem d.Kuzey sistem			

Greenleaves Subdivision (Mandeville, LA) :

Debi: 564,39 m³/gün, Alan:4453 m², L:139,29 m, W:32 m, L:W: 4,35:1,

Yatak derinliği: 0,6 m, HRT:1 gün, Ön arıtma: 2 hücre havuz, ilk hücrede serbest havalandırma, Atıksu tipi: evsel, Bitki tipi: Saz (*Scirpus spp.*)

Tablo 2.2'de Greenleaves Subdivision bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.2. Greenleaves Subdivision bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA,1993)

	Giriş (mg/l)	Çıkış (mg/l)
BOİ	36	12
TKM	42	10

Degussa Corporation (Mobile, Al) :

Debi: 6737 m³/gün; Alan: 8906 m² ; L = 144,78 m; W = 8,53 m ; L:W = 16,97:1 ;

Yatak derinliği = 0,6096 m; HRT = 1 gün, Ön arıtma: Oksidasyon hendeği ;

Atıksu tipi: Organik endüstriyel; Bitki tipi: Saz (*Scirpus spp.*)

Tablo 2.3'de Degussa Corporation bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.3. Degussa Corporation bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA,1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	5	4
TKM	23	4
KOİ	287	245
Toplam Kjeldahl Azotu	22	18
NH ₃ -N	4,2	2,3

Phillips High School (Bear Creek, Al) :

Debi: 59 m³/gün; Alan: 2032 m²; L = 53,34 m; W = 38,1 m; L:W = 1.4:1;

Yatak derinliği = 0,3048 m; HRT = 3.9 gün, Ön arıtma: Oksidasyon hendeği ;

Atıksu tipi: Organik endüstriyel; Bitki tipi: Saz (*Typha spp.*)

Tablo 2.4'de Phillips High School bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.4. Phillips High School bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA,1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	13	1
TKM	60	3
Toplam Kjeldahl Azotu	22	2.6
NH ₃ -N	10	2
NO ₃ -N	26	6
Toplam Azot	48	9
Toplam Fosfor	5	0.23
Fekal Koliform	80,000/100 ml	10/100 ml

Monterey, Va (Monterey, Va) :

Debi: 83 m³/gün ; Alan: 226,72 m²; L = 22,55 m; W = 10,058 m; L:W = 2.2:1;

Yatak derinliği = 0,9144 m; HRT = 0.9 gün, Ön arıtma: Imhoff tankı;

Atıksu tipi: kentsel (high I & I); Bitki tipi: Saz (*Typha spp.*), Saz otu (*Scirpus spp.*)

Tablo 2.5’de Monterey, Va bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.5. Monterey, Va bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA,1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	39	15
TKM	32	7
NH ₃ -N	9.3	8.7

Denham Springs, La (Denham Springs, LA) :

Debi: 6548 m³/gün; Alan: 61.538 m²; L = 320,04 m; W = 64 m; L:W = 5:1;

Yatak derinliği = 0,6096 m; HRT = 1 gün, Ön arıtma: fakültatif havuz;

Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz otu (*Scirpus spp.*), Hint zambağı (*Canna lillies*)

Tablo 2.6’da Denham Springs, La bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.6. Denham Springs, La bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA,1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	25	10
TKM	48	14
NH ₃ -N	0.7	10
Fekal Koliform	52,000/100 ml	3,800/100 ml

Benton, LA (Benton, LA) :

Debi: 378 m³/gün; Alan: 6072 m²; L = 274,32 m; W = 17,67 m; L:W = 15.5:1;

Yatak derinliği = 0,6096 m; HRT = 21 gün, Ön arıtma: fakültatif havuz, yeniden sirkülasyon; Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz otu (*Scirpus spp.*), Hint zambağı (*Canna lillies*)

Tablo 2.7’de Benton, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.7. Benton, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	18	6
TKM	57	4
NH ₃ -N	0.6	2.8

Haughton, LA (Haughton, LA) :

Debi: 380 m³/gün; Alan: 6072 m²; L = 284,683 m; W = 21,94 m; L:W = 13:1;

Yatak derinliği = 0,762 m; HRT = 4.5 gün, Ön arıtma: fakültatif havuz;

Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz otu (*Scirpus spp.*), Hint zambağı (*Canna lillies*)

Tablo 2.8’de Haughton, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.8. Haughton, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	12.5	2

Tablo 2.8. (Devam). Haughton, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

TKM	47	14
NH ₃ -N	1.1	7.2

Carville, LA (Us Phs Hospital, Carville, LA) :

Debi: 465 m³/gün; Alan: 2591 m²; L = 274,32 m; W = 17,67 m; L:W = 8.5:1;

Yatak derinliği = 0,762 m; HRT = 1.4 gün, Ön arıtma: 3 hücreli havuz, 1 tanesi havalandırmalı;

Atıksu tipi: hastane/evsel; Bitki tipi: Aslan ağızı (*Antirrhinum*)

Tablo 2.9'da Carville, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.9. Carville, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	20	8
TKM	93	17
VSS	65	8
KOİ	107	44
Toplam kjeldahl azotu	8.6	7.1
NH ₃ -N	4.8	5.1
NO ₃ -N	0	0
Toplam Fosfor	2.3	2.3

Mandeville, LA (Mandeville, LA) :

Debi: 4633 m³/gün; Alan: 17743 m²; L = 143,256 m; W = 63,09 m; L:W = 2:1;

Yatak derinliği = 0,6096 m; HRT = 0.7 gün, Ön arıtma: 3 adet havalandırılmış havuz;

Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz otu (*Scirpus spp.*)

Tablo 2.10'da Mandeville, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.10. Mandeville, LA bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	41	10
TKM	59	7
KOİ	79	53
Toplam kjeldahl azotu	5	3
NH ₃ -N	1.4	2.1
NO ₃ -N	4.4	0.8
Toplam Fosfor	3	4

Benton, Ky Cell3 (Benton, KY) :

Debi: 685 m³/gün; Alan: 14574 m²; L = 332,84 m; W = 43,89 m; L:W = 7.6:1;

Yatak derinliği = 0,6096 m; HRT = 5 gün, Ön arıtma: fakültatif havuz;

Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz otu (*Scirpus spp.*)

Tablo 2.11’de Benton, Ky bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.11. Benton, Ky bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	26	9
TKM	56	4
Toplam kjeldahl azotu	14.1	9.5
NH ₃ -N	5.1	7.4
NO ₃ -N	0.3	0.4
Toplam Azot	14.4	9.8
Toplam Fosfor	4.4	0.8

Hardin, KY, Phragmites Side (Hardin, KY) :

Debi: 236 m³/gün; Alan: 3198 m²; L = 144,78 m; W = 21,94 m; L:W = 6.6:1;

Yatak derinliği = 0,6096 m; HRT = 3.3 gün, Ön arıtma: stabilizasyon bitkileriyle kontakt; Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz, Kamış (*Phragmites spp.*)

Tablo 2.12’de Hardın, KY, Phragmites Side bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.12. Hardın, KY, Phragmites Side bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	51	9
TKM	118	17
Toplam kjeldahl azotu	20.7	12.1
NH ₃ -N	10.1	9.9
NO ₃ -N	0.5	0.3
Toplam Azot	21.2	12.5
Toplam Fosfor	4.9	2.2

Hardın, KY, Scirpus Side (Hardin, KY) :

Debi: 186 m³/gün; Alan: 3198 m²; L = 144,78 m; W = 21,94 m; L:W = 6.6:1;

Yatak derinliği = 0,6096 m ; HRT = 4.2 gün, Ön arıtma: stabilizasyon bitkileriyle kontakt;

Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz otu (*Scirpus spp.*)

Tablo 2.13’de Hardın, KY, Scirpus Side bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.13. Hardın, KY, Scirpus Side bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	51	4.1
TKM	118	9.4
Toplam kjeldahl azotu	10.7	9.7
NH ₃ -N	10.1	8.3
NO ₃ -N	0.5	0.3
Toplam Azot	21.2	10
Toplam Fosfor	4.9	2.4

Utica, MS, Kuzey Sistemi (Utica, MS) :

Debi: 189 m³/gün; Alan: 6072 m²; L = 85,34 m; W = 42,672 m; L:W = 2:1;

Yatak derinliği = 0,64 m ; HRT = 5 gün, Ön arıtma: fakültatif havuz;

Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz (*Bulrush&Cattail*)

Tablo 2.14'de Hardın, KY, Scirpus Side bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.14. Utica, MS, Kuzey Sistemi (Utica, MS) bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	33	14
TKM	52	23
NH ₃ -N	6,7	2,9
NO ₃ -N	0,3	0,2
Toplam Fosfor	5,8	2,4
Fekal Koliform	2308	700

Utica, MS, Güney Sistemi (Utica, MS) :

Debi: 416 m³/gün; Alan: 8097m²; L =96,62 m; W = 48,15 m; L:W = 2:1;

Yatak derinliği = 0,64 m ; HRT = 3,7 gün, Ön arıtma: fakültatif havuz;

Atıksu tipi: kentsel; Bitki tipi: Saz (*Bulrush&Cattail*)

Tablo 2.15'de Hardın, KY, Scirpus Side bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.15. Utica, MS, Güney Sistemi (Utica, MS) bölgesinde yapılan yapay sulakalan sistemi arıtma sonuçları (EPA, 1993)

	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)
BOİ	31	11
TKM	32	11
NH ₃ -N	5,6	3,1
NO ₃ -N	0,3	0,2
Toplam Fosfor	4,3	2,6
Fekal Koliform	1272	628

Kuzey Amerika'da toplam 257 bölgede, 367 sistemde ve 831 hücrede sulakalan arıtımı yapılmaktadır. Bu 257 bölgede 160 sistem evsel atıksu, 12 sistem endüstriyel atıksu, 68 sistem çiftlik faaliyetleri atıksuyu, 17 sistemde diğer tiplerdeki atıksular arıtılmaktadır. Sulakalan arıtma sistemlerinin 305 adedi serbest yüzey akışlı, 54 adedi dip akışlı ve 8 adedi hibrit sistemlerdir (Knight ve diğ.,2000).

Avustralya'da yetkililer tarafından kabul edilmiş 293 yapay sulakalan sistemi bulunmakta, 160 adedi çalışmakta, 17 adedi ise inşa halindedir. Bu yapay sulakalanların %57 si tek kademeli, %43'ü çift kademelidir (Haberl ve diğ., 1998).

Çekoslovakya Cumhuriyeti'nde tüm yapay sulakalan arıtma sistemleri, sualtı makrofit tabanlı yatay akışlı sistemlerdir. 1995 yılı itibari ile çoğunlukla evsel atıksuların arıtıldığı 62 adet yapay sulakalan arıtma sistemi bulunmaktadır (Vymazal, 1998).

Danimarka'da genellikle küçük yerleşim bölgelerinin sularının arıtıldığı 134 yapay sulakalan arıtma tesisinden üçte ikisi devlet tarafından yapılmıştır (Brix, 1998).

Küçük yerleşim yerlerinin atıksularının arıtılması için büyük ihtiyaç duyulan Almanya'da son 10 yıldan bu yana farklı türde yapay sulakalan inşa edilmiştir (Börner ve diğ., 1998).

Norveç'te henüz yetkililerden son onayını almış yapay sulakalan arıtma sistemi bulunmamaktadır. Bunlardan birkaç tanesi ticari olarak işletilirken, 15-20 tam boyutlu yapay sulakalan sistemleri deneysel amaçlı olarak çalıştırılmaktadır (Maehlum ve Jessen, 1998).

Bu ülkelerden başka, Avrupa ülkelerinden Polonya'da, Portekiz'de, İsviçre'de, İsveç'te, Avustralya'da, Hindistan'da, Brezilya'da, Japonya'da yapay sulakalan çalışmaları yürütülmekte ve atıksu arıtımında sulakalan sistemleri kullanılmaktadır (Ateş, Özesmi, 2001).

DAYS sistemleri, arıtılmış atıksuları daha fazla arıtmak için iyi bir potansiyele sahiptirler. Bu nedenle, suyun yeniden kullanımı ve yer altı suyunun beslenmesi gibi hususlarda bu sistemlerin kullanımı, gözönünde bulundurulmalıdır. Almanya'da bulunan bir yerleşim kompleksine hizmet eden bu tip bir sistemde kök tabakası yatağında arıtılan atıksu, tuvaletlerin yıkanmasında kullanılmaktadır. Bu suyun korunmasına ve yeniden kullanımına çok iyi bir örnektir (Arceivala, 2002).

2.3. Yapay Sulakalanların Genel Tasarım Kriterleri

2.3.1. Yapay Sulakalanların Planlaması

Yapay sulakalan sisteminin yapımında kavramsal bir planlama aşaması gereklidir. Yerel, gerekli bitki türlerinin çeşitleri seçilmelidir, spesifik atıksu giderim gereksinimlerini karşılamak için alternatif alanlar genellikle mevcuttur. Sulakalanlar, çeşitli şekil ve sistem tiplerinde tasarlanabilirler. Bütün sistemler kendine özgüdür, bu nedenle mutlaka işletmeye alınacak yapay sulakalan sisteminin tasarımı spesifik alan olacaktır.

Arıtılacak atıksuyun miktar ve kalite tanımlamasının oluşması, karşılanacak deşarj standartlarının tanımı, alan seçimi, sistem tipinin seçimi ve konfigürasyonu ile tasarım kriterlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu hususlar detaylı mühendislik çalışmaları ile aşamalı olarak planlanmalıdır. Sistemdeki ekonomik faktörler, gerekli toprak alanı, atıksu içeriğinin tipi, sisteme suyun taşınması ve kontrolü ile bitki topluluklarını içerir. Sulakalan sistemlerinin amaçlarının düzgün belirlenmesi, kurulum ve başarılı bir sistemin inşa edilmesi için anahtar noktalardır. Yerel doğal sulakalanların karakteristikleri, yapay sulakalanlar için model olarak kullanılabilir. Bir yapay sulakalanda, arızaları minimize etmek için bölgenin doğal özelliklerinin avantajlarından faydalanılabilir.

Sulakalan şekli mevcut topografya, jeoloji ve kolay ulaşılabilir olan toprak tarafından belirlenmelidir. Yapay sulakalan sisteminin hücrelerinin sayısı, topografya hidrolojisi ve su kalitesine bağlıdır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.3.2. Yapay Sulakalanlarda Alan Seçimi

2.3.2.1. Arazi Kullanılabilirliği ve Ulaşım

Yapay sulakalan sistemi için uygun alan seçimi, maliyeti önemli oranda düşürebilir. Alan seçimi yapılırken, toprak kullanımı ve ulaşımı, arazi elverişliliği, alan topografyası, arazinin ve çevre arazisinin çevresel kaynakları ve komşu arazilere olası etkileri düşünülmelidir. Alan, atıksu kaynağına mümkün olduğunca yakın olmalıdır ve suyun sisteme cazibesıyla akabilmesi için eğimli olmalıdır. Bir sulakalan hemen hemen her alana yerleştirilebilmesine rağmen, yapım maliyetleri, çok geniş toprak alanı veya pahalı membran katmanı gerekli olursa bunu engelleyebilir. İyi yerleştirilmiş bir yapay sulakalan aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

- Atıksuyun kaynağına yakın yerleşmiş olmalıdır.
- Atıksuyun arıtılması için yeterli alan sağlanmış olmalıdır.
- Suyun cazibesiyle akabilmesi için yumuşak meyilli olmalıdır.
- Zemin suyuna sızıntıyı minimize etmek için yeterli sıklıkta, yoğunlukta toprak içermelidir.
- Su baskınları düşünülerek düz bir ovada olmamalıdır.
- Tehdit edileceği veya tehlikeye sokacağı alanları içermemelidir.
- Arkeolojik veya tarihsel kaynakları içermemelidir.

Ulaşım önemli bir husustur. Eğer koku ve sivrisinek problemi varsa sulakalan sistemi mümkün olduğunca konutlardan uzağa yerleştirilmelidir. Sistemin kurulacağı alan, yapım ve bakım ekipleri, servis araçları için kolay ulaşabilir olmalıdır. Atıksu veya yağmur suyu arıtma işleminde bir yapay sulakalanın etkinliği sulakalanda atıksuyun bekleme süresine bağlıdır. Yeterli bekleme süresi göz önüne alınarak ihtiyaç duyulan sulakalanın boyutları belirlenmelidir. Bu nedenle, alan mevcut gerekliliklere yer sağlayacak büyüklükte ve gelecekte genişleme için yeterli genişlikte olacak şekilde seçilmelidir.

2.3.2.2. Çevresel Kaynaklar

Alanda, önemli kaynaklara gelebilecek zararı engellemek için, mevcut olan önemli çevresel kaynaklar tanımlanmalıdır. Bölgenin coğrafik özellikleri hakkında bilgi veren haritalar kullanılmalıdır.

2.3.3. Yapay Sulakalanların Tasarım Esasları

Araştırmalar ve yayınlanan çoğu bilgilere dayanarak, yapay sulakalanların optimal tasarımı için çeşitli uygulamalarla yeterli tanımlamalar yapılmıştır. Birçok yapay sulakalan sistemleri yeterli izlenmemiş veya analizler için yeterli veri sağlanması için yeterli uzunlukta operasyonlar yapılmamıştır.

Bölge özellikleri, atıksuyun veya deşarjın tipi, sulakalan tasarımı, hava, iklim özellikleri, arızalar ve günlük veya mevsimsel değişiklikler gibi çeşitli faktörlerin sulakalan performansı üzerinde oldukça yoğun etkileri vardır ve izlenen sistemler arasında bu etkenler nedeniyle performans değişkendir. Sulakalan performansını etkileyen bu faktörleri ölçmek zordur. Genelde, yapay sulakalan sistemleri tasarımları, doğal sulakalanlar taklit edilerek yapılır. Mitch (1992), başarılı yapay sulakalan

sistemlerinin tasarlanmasında dikkat edilmesi gereken hususları aşağıda verilen şekilde sıralamıştır;

- Sistem tasarımının basit tutulması gerekir. Çünkü kompleks teknolojik yaklaşımlar çoğunlukla başarısızlığa neden olur.
- Minimum bakım için tasarım yapılmalıdır.
- Cazibeli akım gibi doğal enerjileri kullanarak sistem tasarımı yapılmalıdır.
- En uç iklim ve hava koşulları (fırtınalar, seller ve kuraklık durumlarına göre) için tasarım yapılmalıdır.
- Yapılan tasarım, alanın doğal topografyası ile bütünleşmelidir.
- Dikdörtgen havzalar, sert yapılar, kanallar gibi mühendislik tasarımlarından kaçınılmalıdır, mümkün olduğu kadar doğal sistemler taklit edilmelidir.
- Sistemin kullanım ömrü için zaman belirlenmelidir.
- Sistem tasarımında, biçim değil, fonksiyon (işlev) birinci planda tutulmalıdır.

2.4. Yapay Sulakalan Yapıları

2.4.1. Yapay Sulakalan Sistemlerinde Hücre Yapıları

Sulakalanlar, kazılmış havuzlar, toprak setler ve/veya her ikisinin kombinasyonu ile inşa edilebilir. Setler, toprak ve ince taneli uygun malzeme ile mümkün olduğu kadar stabil, sıkı ve geçirmez olacak şekilde inşa edilmelidir. Uzun süreli sediment ve ölü bitkilerin oluşturduğu tabakanın artmasına ilave olarak zaman zaman da yüksek akışlara yer sağlamak için setler, yeterli yükseklikte olmalıdır. Uzun dönemli stabiliteyi sağlamalıdır. Setlerin meyili dik olmamalıdır ve eğim üzerinde erozyon kontrol yapısı tarafından korunmalıdır. Acil durumlar için dolu savak yapılmalıdır.

Eğer çoklu hücreler kullanılıyorsa, genişlik:uzunluk oranını arzu edilen şekilde yapmak için bölücü setler, hücreleri ayırmak için kullanılabilir. Dik alanlarda, kısa döngüleri (short-circuit) minimize etmek için de taraça hücreleri kullanılabilir. Parmaklıkları setler, genellikle kıvrımlı akış rotaları yaratmak için ve kısa döngüleri azaltmak için operasyonel sistemlere ilave olarak kullanılır. Parmaklıkları setler, topraklar, kum turbaları, kamyş balyaları veya işlenmiş keresteden yapılabilir, inşa edilebilirler.

Fareler yuvalar yaparak setlere zarar verebilirler. Fareler genellikle yuvalamak için, su içinde 1m.'den daha fazla derinliği tercih etmelerine rağmen, sığ sularda problem olabilirler. Yapım boyunca setlerde, elektrikli çitler vb. önlemler alınarak farelerin içeri girmesi önlenabilir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.4.2. Yapay Sulakalanlarda Membran Tabakası

Yapay sulakalanlar, zemin suyunun kontaminasyonunu önlemek için ve infiltrasyonla zemin suyunun yapay sulakalana geçişini önlemek için geçirimsiz olmalıdır. Dolgu malzemelerinin sıkıştırılması sulakalan geçirimsizliği için yeterli olabilir. Toprak alanlarının altındaki, karst, kırılmış ana kaya, çakıllı veya kumlu topraklar ve diğer bazı yöntemler ile bir geçirimsizlik metodu seçmeden önce inşaat malzemelerini laboratuvar analizine tabi tutmak gerekebilir. Alan toprakları, sıkıştırılarak kullanılabilir yalnız geçirgenlik saniyede $30,48 \times 10^7$ m.'den küçük olmalıdır ve %15 daha fazla kil içeren toprakların kullanılması genellikle uygundur. Bentonit, diğer killer kadar iyidir, ortamda adsorbsiyon ve reaksiyon alanları sağlar ve alkaliniteye katkıda bulunur.

Sentetik membran, asfalt, sentetik bütül lastik ve plastik membranları (ör: 0,5-10 ml. yoğunluklu polietilen) içerir. Membran, güçlü, ince yapılı, penetrasyon veya kök bağlantısını önlemek için pürüzsüz olmalıdır. Alan toprakları, açılı, köşeli taşlar içeriyor ise, küçük deliklerin oluşmasını önlemek için membranın altına kum yataklar yerleştirilmelidir.

2.4.3. Yapay Sulakalan Sistemlerinde Akış Kontrol Yapıları

Sistemde, su düzeyleri akış kontrol yapıları tarafından kontrol edilir. Akış kontrol yapıları, su düzeyini ayarlamak için basit ve kolay olmalıdır. Prosesler, başlangıçta sisteme optimize olabilmesi ve sonra sistem değişikliklerine izin verebilmesi için esnek olmalıdır. Yapılar, maksimum tasarım debilerini tutabilecek ve kısa döngüleri minimum tutabilecek şekilde boyutlandırılmalıdır.

Sulakalana zarar vermeden sistem içinde ulaşım için tahta iskeleler yapılmalıdır.

Yapılar, hayvanlar tarafından zarar görme riskine karşı korunmalıdır. Kapakların kurulumu, boşlukların üzerine tel ağlar örtme ve kuşatma kontrolleri ile önlem alınabilir.

2.4.3.1.Giriş Yapıları

Yapay sulakalanlarda giriş yapıları genellikle basit tutulur, bypass, kanal veya vanalı borular sulakalana suyu tahliye edebilecek yapılardır. Daha küçük uzunluk:genişlik oranına sahip sistemlerde eşit akış dağılımı daha zor olacaktır. Küçük uzunluk:genişlik oranlarına sahip olan sistemlerde kolay ulaşılabilen ve kolay ayarlanabilen giriş yapıları mecburidir.

Dip akışlı yapay sulakalan sistemlerinde giriş yapıları; yüzey ve yüzey altı boruları, akışın doğrultusuna dikey hendekler içerir. Yüzey altı borusu alg birikimlerini önler ve buna bağlı olarak tıkanma yüzey burularına yakın oluşabilir fakat ayarlanması ve bakımı zordur. Bir yüzey borusu, ayarlanabilir çıkışlarla gelecekte olabilecek düzenleme, bakım için maksimum esneklik sağlar ve bu yüzden önerilir. Yüzey borusu, geri basınç problemlerini de önler. Mesafe tipik olarak sulakalanın su yüzeyinin genellikle 32-64 cm. üzerindedir. İşlenmemiş kayanın kullanımı (8-16 cm), giriş zonunda, hızlı infiltrasyon sağlar ve algal büyümeyi ve havuz oluşumunu önler. Alg büyümesini engellemek için çıkışın yanında açık su alanlarından sakınılmalıdır. Yazın ya vejetasyonla ya da bir yapıyla gölgeleme, kışın ise bazı termal sıcaklık koruyucu büyük olasılıkla gerekli olacaktır.

Paralel hücreler için bir akış kesici gerekli olacaktır. Genellikle tasarımlar; aynı yükseltilerde, eşit boyutlarda paralel set veya kanallardır. Vanalar, pratik değildir çünkü günlük ayar gerektirirler. Setler kanallara göre nispeten daha ucuzdur, kolayca değiştirilebilir veya modifiye edilebilirler. Kanallar uygulamalarda tıkanmayı minimize ederler fakat setlerden daha pahalıdır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.4.3.2.Çıkış Yapıları

Yüzey akışlı yapay sulakalanlarda, su seviyesi çıkış yapılarıyla kontrol edilir, bunlar setler, dolu savaklar olabilir veya ayarlanabilir basamaklı borular olabilir. Dolu savakların yapımı kolaydır fakat ayarlanabilir değildir, hatalı su seviyeleri, yapay sulakalanda sistem hatalarına neden olabilir ve dolu savak yüksekliğini düzeltmek zor olabilir.

Setler ve dolu savaklar, maksimum muhtemel akış boğazı oluşturmak için tasarlanabilir. Dolu savaklar, dik olmayan yan eğimlerle setlerde geniş kesimlerden meydana gelir ve parçalanmayan erozyon kontrol yapılarıyla geçirimsizleştirilmiştir.

Setler ve dolu savaklar, maden drenajı sulakalanları için demir tortularının birikmeleri ile bunların tıkanma eğilimleri nedeniyle kullanılmalıdır.

Ayarlanabilir ykselebilen borular veya esnek hortumlar su düzeyi kontrolü için önerilir. Su düzeyinin kontrol edilebilmesi, etrafında dönebilmesi için bir PVC dirsek ilave edilebilir. Eğer borular kullanılırsa, genellikle ölü bitkilerin çökmesi ile oluşturduğu tabakada tıkanma yapması nedeniyle küçük çaplı (<12 inç) borulardan kaçınılmalıdır.

Bir dip akışlı yapay sulakalanda, çıkışlar, yüzey altı boruları veya benzer girişli yapılar içerir. Boru, su seviyesi kontrolünü tamamlamak için yatağın üstüne yerleştirilmelidir. Sistem yatağının uygun hidrolik bir eğim ile yapılması tavsiye edilir. Ayarlanabilir bir çıkış yapısının kullanımı, sulakalan bakımı ve işletilmesinde önemli faydalar sağlayabilir.

Yatak yüzeyi, arzu edilmeyen zararlı otların ortadan kaldırılması, su seviyesinin büyük fırtınaların beklenmesinde daha düşük tutulması ve kışın donmaya karşı ilave termal koruma sağlamak için yeni bitki toplulukların gelişmesi için özendirilebilir.

Dip akışlı yataklarının tasarımı, zararlı bitkilerin kontrolü ve arzu edilen bitkilerin büyümesini hızlandırmak için kontrollü sel basmasına izin vermelidir.

Dip akışlı sistemler için çıkış aygıtlarının, güvenilirlik ve maksimum esneklik için delikli bir dip borusunun ayarlanabilir bir çıkışa bağlanması tavsiye edilir. Yapımdan sonra boru ulaşılamaz ve gömülü olacağı için inşaat boyunca borularda dikkatli ayırma ve temel sıkıştırma işlemleri ve seçilmiş basamak yüksekliklerinin yapılması sağlanmalıdır.

En son drenaj noktası, sulakalan sisteminden, sulakalan boyunca suyun akışına mani olmayacak ve bir fırtınadan sonra yükselen su üzerinde yeterli yükseklikte olacak şekilde yerleştirilebilir.

2.4.4. Yapay Sulakalanlar İçin Sistem Ömrü

Atıksu arıtımında kullanılan bir yapay sulakalan, atıksu yüklemeleriyle, kirleticileri ortadan kaldırma ve depolamadaki kapasitesiyle ve atıkların artışıyla belirlenen sınırlı bir ömre sahiptir. Sistemlerin birçoğu, verimlilik kaybı olmasına karşın, en azından 20 yıldan daha uzun bir süre işletilmektedirler. Yapay sulakalanların performansıyla ilgili uzun süreli bilgiler, çoğunlukla sistemlerin uzun zaman periyotları boyunca izlenmesiyle elde edilmektedir. Uzun süreli bilgilerin sağlandığı birkaç yapay

sulakalan sisteminden alınan veriler BOİ, askıda katı madde ve amonyum azotu (NH₄-N) gibi sulakalanlarda analiz edilen kirleticiler için arıtma performansını gösterir.

Bir sulakalanın, içerisinde tutulan fosfor ve metaller gibi kirleticileri ortadan kaldırma ve depolama kapasitesi belli bir zaman sonrasında azalma gösterebilir. Kirleticilerin artışı, sulakalanın performansını tayin etmek için periyodik olarak izlenmelidir. Sulakalanlar tortuların birikimine yetecek şekilde boyutlandırılabilirler. Çöküntülerin ve atıkların içerisindeki kirletici tortularının, genellikle kirleticiler için oldukça uzun süreli bir havuz oluşturduğu kabul edilir. Eğer gerekirse, sulakalan çöküntüleri ve atıkları periyodik olarak yok edilebilir ve sulakalan yeni dolgu malzemesi ile yeniden yapılandırılır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.5. Yapay Sulakalan Sistemlerine Hidrolojinin Etkisi

Yapay sulakalanların hidrolojisi, sistem etkinliğinde belki de en önemli faktördür. Bununla beraber, yapay sulakalan arıtma sistemlerinin tasarımı devamlı değişme durumundadır, bu nedenle devam eden çalışmalar sonuçlanmadıkça ve daha fazla, daha uzun süreli araştırmalar yapılmadıkça belirsizlikler cevaplanamayacaktır. Birçok sulakalan tasarımları, konvensiyonel havuzların arıtma sistemleri için kullanılan tasarım sistemlerine dayanır. Konvensiyonel sistemlerin tasarımı genellikle hidrolik bekleme zamanına dayanırken, bazı sulakalan sistemlerinde hidrolik yükleme oranı, hidrolik bekleme zamanından alanla daha fazla istikrarlı bağlantı gösterir.

Sulakalan tasarımında suyun hacmine, uç değerlere ve alana taşınımı ile ilgilidir. Hidrolik hususlar, mevsim, hava, hidroperiyod, hidrolik bekleme süresi, hidrolik yükleme oranı, taban suyu değişimi (infiltrasyon ve exfiltrasyon), buharlaşma ve toplam su dengesi ile ilgilidir.

2.5.1. İklim ve Hava Şartlarının Etkisi

Sulakalanlar, atmosfere açık sığ su yapıları olduğu için iklim ve hava tarafından güçlü bir şekilde etkilenirler. Yağış miktarı, kar suyu, susuzluk, donma ve sıcaklığın tümü sulakalan arıtmasını etkileyebilir. Şiddetli yağmur ve kısa bekleme zamanında hızlı kar erimeleri yüksek akışlara neden olur. Artan akış hızları ve kısa temas süreleri dolayısı ile kar erimeleri ve yağmurlar, bu süre boyunca sulakalanın etkinliğinin azalmasına neden olabilirler. Yüksek akışlar, sulakalanda sedimentler gibi katı

maddelerin miktarındaki artışa ve ilave sedimentlere rağmen bazı çözünmüş kirleticileri seyreltebilir. Baharda karların erimesiyle kar suyu akışları depolanmış kirleticileri taşıyarak ve bu kirleticileri yeniden asılı hale getirilebilir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.5.2. Hidroperiyodun Etkisi

Hidroperiyod, su seviyesinin mevsimsel gidişatıdır ve yağış/sel yoğunluğu, sıklığı, devam süresi, zamanlaması ile tanımlanır. Sulakalanın hidroperiyodu, sistemde su girişinin, su çıkışının ve su depolanmasının dengesi ile meydana gelir. Hidroperiyod, yıl boyunca suyun kullanılabilirliğini tanımlar, çok ıslak veya kuru şartlar beklenebilir, aşırı depolama ve bunun sonucunda suyu bypass etmek gerekebilir ve bu kriterler su kontrol yapılarının tasarımında kullanılabilir. Hidroperiyod, yüzey akışı kontrol etmek için mühendislikte kullanılabilir ve buharlaşma mevsimsel farklılıklar tarafından güçlü bir şekilde etkilenecektir.

2.5.3. Hidrolik Bekleme Süresinin Etkisi

Bir sulakalan arıtmasının hidrolik bekleme süresi, sulakalanda suyun ortalama kalma (bekleme) zamanıdır. Çıkış hızının aritmetik ortalamasının, ortalama hücre alanına bölünmesi olarak açıklanır. Eğer sistemde kısa döngüler meydana gelirse, etkin bekleme zamanı, hesaplanan bekleme zamanından önemli şekilde farklı olabilir.

2.5.4. Hidrolik Yükleme Oranının Etkisi

Ünite (havuz) alanı başına su hacmi yüklemesi ile ilgilidir. Debinin, yüzey alanına bölünmesiyle ifade edilir.

2.5.5. Tabansuyu Değişiminin Etkisi

Sulakalan ve zemin suyu arasındaki su taşınımı, sulakalanın hidrolojisini etkileyecektir. Evsel atıksular, zirai atıksular ve maden ocağı atıksuları için yapay sulakalanlar, zemin suyunun muhtemel kirlenmesini önlemek için genellikle geçirimsiz olarak inşa edilir. Eğer sulakalan tam anlamıyla geçirimsiz ise, infiltrasyonun önemsiz olduğu düşünülebilir. Çoğu yağmursuyu sulakalanları geçirimsizdir.

2.5.6. Buharlaşma Olayının Etkisi

Buharlaşma, su yüzeyinden buharlaşma ve bitki terlemesi ile su kaybının toplamıdır. Buharlaşma, sulakalanlarda, yüzey alanının miktarı, suyun hacmine ve bitki örtüsüne bağlı olup önemli bir faktördür. Ayrıca, birçok sulakalan bitkileri, birçok karasal bitkiler gibi sıcak, kuru havalar süresince suyu muhafaza etmez ve atmosfere suyu büyük miktarda transfer edebilir. Eğer buharlaşma ile aşırı su kaybı olursa sulakalanı ıslak tutmak ve kirletici konsantrasyonlarının toksik düzeye ulaşmasını engellemek için ilave su gereklidir.

2.5.7. Su Dengesinin Önemi

Yapay sulakalanlar için toplam su dengesi, suyun giriş, çıkış ve depolanan miktarından meydana gelir. Sulakalana su girişi, yüzeysel suyu (atıksu veya yağmur suyu), yer altı suyu infiltrasyonu, yüzey suyu deposu ve dolgu malzemesinin gözenek boşluklarına dolan yağış miktarı ile gerçekleşir. Sulakalandan su çıkışları; buharlaşma, deşarjlarla çıkan ve yer altı suyuna sızıntı ile gerçekleşir. Sulakalan su dengesi, sistem tasarımı ve işletmesi boyunca, hedeflenen limitlerle uygunluğu tanımlamak için önemlidir. Aşağıda, basit bir su dengesi denklemi gösterilmiştir.

$$S = Q + R + I - O - EI$$

S= Depolamadaki net değişim

Q= Yüzey akışı, atıksu girişi veya yağmur suyu girişi

R= Yağış miktarından katılım

I= Net infiltrasyon (infiltrasyon exfiltrasyondan az)

O= Sistemden su çıkışı

EI= Buharlaşma kaybı

Yukarıdaki denklem, günlük, aylık, yıllık aralıklar için su bütçesini hesaplamada kullanılabilir. Detaylı su dengeleri, sulakalanın pilot veya spesifik alan izleme verileri ile hazırlanabilir. Eğer geniş mevsimsel çeşitlilikler bekleniyorsa, aylık veriler gereklidir. Aşağıdaki faktörler; su bütçesi yönetiminde kullanılabilir;

- Sulakalandan çıkan suyun hacmi değişik olabilir.
- Buharlaşma hızları, gölgelikler, rüzgar perdeleri tarafından değiştirilebilirler ve sulakalan etrafındaki vejetasyonun yönetimi ve seçimi tarafından değiştirilebilirler.
- Su depolama kapasitesi, kontrol yapılarıyla ayarlanabilir.

- Dip akışlı sulakalarda, derin kuyular kazılarak veya ilave dolgular azaltılarak depolama kapasitesi artırılabilir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.6. Yapay Sulakalanlarda Dolgu Malzemesi

Sulakalan dolgu malzemeleri, sulakalan vejetasyonuna destek olur, biyokimyasal ve kimyasal dönüşümler için alan sağlar ve taşınan kirleticilerin depolanması için alan sağlar. Dolgu malzemeleri; toprak, taş, çakıl ve organik maddeleri içerirler.

2.6.1. Toprak Kalitesi

Çoğu toprak, yapay sulakalan için uygundur. Toprak özelliklerinin, kation alışverişinin kapasitesi, pH, elektriksel iletkenlik (EI), sertlik ve toprak organik maddesi gibi seçme topraklardan olduğu düşünülmelidir.

Ağır metaller ve nutrientlerin alı konması ve mevcut toprak etkilerinin pH'ı 6,5-8,5 arasında olmalıdır.

Toprağın elektriksel iletkenliği, yapay sulakalana atık materyal akışını, biyolojik organizmalar ve bitkilerin etkinliğini etkiler. Toprak iletkenliği 4 mmho/cm.'den daha düşük olduğunda iyidir.

Amerika'nın kuzeydoğusunda, çoğu topraklar, örneğin, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Al^{+3} ve Mn^{+2} gibi kationik iyonlar taşırlar. Bu yüzden pozitif değişebilen iyonlar için birbirine bağlı elektrostatik alanlar sağlarlar. Toprak yüzeyindeki bu kationlar toprak diğer katmanlarda değişebilir. Bu nedenle kation değişimi olarak adlandırılır.

Toprağın redoks potansiyeli azot ve fosfor giderimi için önemli bir faktördür. İndirgen bir dolgu malzemesi, nitrat ve amonyak giderim verimini artırabilir. Maden ocağı atıksuyundan demir ve mangan giderimi de indirgen bir çevre gerektirir.

Kirleticileri uzaklaştırmak ve tutmak için bir toprağın kapasitesi, su toprak etkileşiminin bir fonksiyonudur. Kumlu ve çakıllı topraklar yüksek gözeneklilik değerlerine sahiptir ve toprağa doğru hızla su taşınımına sahiptir. Buna zıt olarak, daha fazla sert olan siltli veya balçıklı topraklar daha uzun toprak-su teması sağlarlar. İyi dekompoze olmuş organik topraklar ve çok killi topraklara doğru yavaştır.

Toprak özellikle sistem işletmesi boyunca yakıt olarak kullanılacak bitki büyümesi ve mikrobiyal aktivite için yeterli organik madde sağlamalıdır. Sulakalanlar genellikle kurak topraklarda inşa edilirler ve kompost veya foseptik çamuru gibi organik maddeler dolgu malzemesi ile birleştirilebilir.

Toprak sertliği, kirleticilerin tutulmasını ve kök büyümesini etkiler. Kumlu, kaba-sert topraklar kirletici tutulması için düşük potansiyele sahiptirler, bu tür toprakların kök büyümesinde etkinliği hiç yoktur veya azdır. Bu topraklar bitkileri daha iyi tutmalarına rağmen düşük nutrient tutma kapasitesine sahiptir.

Orta sertlikte veya balçıklı topraklar iyi bir seçimdir, bu topraklar yüksek kirletici tutma kapasitesine sahiptirler ve bitki büyümesini biraz sınırlandırır.

Balçıklı topraklar özellikle iyidir, çünkü yumuşaktırlar ve kolay parçalanabilirler. Köklerin birbirine bağlanması ve basit köklenmelere izin verirler. Yoğun, koyu topraklar, örneğin, killi ve tortulu şistlerden sakınılmalıdır, çünkü bitki köklerinin içerilere girmesini engelleyebilirler ve düşük hidrolik iletkenliğe sahiptirler.

Yüksek kil içerikli topraklar, fosfor giderimine yardımcı olurlar fakat düşük nutrient içeriği büyüme ve gelişmeyi sınırlandırabilir yine de bazı sulakalanlar için uygun olabilirler. Daha fazla alüminyum ekstrakte edebilen topraklar, organik topraklardan daha fazla fosfor asimile edebilirler, evsel atıksu arıtımı için uygundur. Yüksek organik topraklar, sülfat indirgeme ve iyon adsorbsiyonunu artırır ve maden suyu sulakalanları için uygundur.

Doğal sulakalanlarda turba (bataklık kömürü) yaygın olmasına rağmen, yapay sulakalanların tasarımı için tercih edilmezler. Turba, organik asitleri serbest bırakabilir ki bunlar sistemde pH'ın düşmesine katkıda bulunurlar. Ayrıca taşkınlar olduğu zaman, turba yumuşaktır, sertliğini kaybeder. Bitkiler için yeterli destek sağlayamayabilir.

Topraklar sulakalan sisteminde kullanımlarından önce analiz edilmelidirler. Alan bilgileri, hidrolik iletkenlik ve alan toprağının geçirgenliği alan verilerinin toplanması açısından önemlidir. Laboratuvar toprak analizleri, kil içeriği, organik madde yüzdesi ve mineral içeriğini kapsmalıdır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.6.2. Kum ve Çakıl

Yapay sulakalanlar, evsel, zirai atıksuları gibi yüksek nutrientli suları alırlar. Kum, toprağa ucuz bir alternatiftir ve bitkilerin tutunması için ideal sertliktedir. Çakıl da kullanılabilir; Amerika'da birçok dip akışlı yapay sulakalan da, evsel atıksu arıtımı için kaba kayalar, orta büyüklükteki çakıllar kullanılmıştır. Ancak kumlar ve çakıllar çabuk kurdukları için bitki ekimi sırasında ana su seviyesinde sulanmalıdırlar.

2.6.3. Organik Madde

Stabilize olmuş organik maddeler, örneğin, mantar kompostu, talaş, kuru ot saman, kamyş balyaları vb. organik dolgu malzemesi olarak kullanılır. Organik madde, mikrobiyal aktiviteyi desteklemek için karbon kaynağı sağlar. Organik materyalde oksijen tüketir ve bazı arıtma prosesleri için gerekli olan anoksik koşulları yaratır.

2.7. Yapay Sulakalan Bitkileri

Sulakalan bitkilerinin fonksiyonu, genellikle büyüme ve ölümdür. Bitki büyümesi sistemde akışı yönlendirir. Bitkiler kütlesiyle ve mikrobiyal gelişmeler için ilave alan yaratırlar. Bitki ölümleri, sistem tabanında katman oluşturur ve mikrobiyal metabolizmalar için yakıt olarak organik karbonu artırır. İlave olarak, bitkiler, gözenekliliği artırırken dolgu malzemesini stabilize ederler ve sulakalanın estetiğini artırır.

2.7.1. Bitki Seçimi

Sulakalanlarda çoğunlukla kullanılan bitkiler, devamlı gelişmekte olan bitkileri, saz (*Scripus, Typha*), kara topalak (*Cyperus*), kamyş (*Efeocharis, Phragmites*), saz otu (*Juncus*) gibi bitkilerdir.

Atıksu arıtan sulakalanlar için bitki topluluklarının yoğunluğu, belirli türlerin seçiminden daha fazla önemlidir. Büyüeyebilen her tür seçilebilir. Yağmursuyu sulakalanları için, doğal sulakalanların yakınındaki devamlı bitki topluluklarına benzer türler seçilebilir. Hem atıksu hem yağmursuyu sulakalanları için yerli türler kullanılabilir çünkü bu bitkiler bölgenin havasına, toprağına, bitki ve hayvan topluluklarına adapte olmuşlardır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.7.1.1. Yüzey Akışlı Yapay Sulakalanlar (YAYS)

Yapay sulakalanlarda, organik maddesi yüksek olan evsel atıksular, organik atıksular ve diğer atıksularda, saz otu (*Scirpus ssp.*) genellikle kullanılır çünkü bu bitki türleri, yüksek nutrient düzeyine toleranslıdır ve dikimleri ve büyümeleri hızlıdır ve sisteme yayılarak diğer türleri yok etmezler.

Zirai sulakalanlarda Aslanağızı (*Antirrhinum*) ve *Pickereel* başarıyla kullanılmıştır. *Blueflag iris*, sulakalan kenarları boyunca dikilebilir sisteme renk sağlayarak estetik görünümüne olumlu etki yapar.

Saz (*Typha ssp.*) ve hasır otu (*Phragmites australis*) sık sık kullanılmışlardır çünkü birçok atıksu tipi için toleranslıdır. Fakat dezavantajları da vardır. Saz (*Typha ssp.*) sisteme hızla yayılan ve diğer bitki türlerine baskın olan bir türdür. Saz (*Typha ssp.*) yumru kökleri, farelerin favori yiyeceğidir. Bu bitki türlerine fareler tarafından kolayca zarar verilebilir. Saz (*Typha ssp.*) türlerinin, solucan topluluğuna benzer böcekler tarafından katledildikleri gözlenmiştir, bu nedenle zirai sulakalanlar için iyi bir seçim olmayabilir. Hasır otu (*Phragmites australis*) türleri yüksek derecede baskın türlerdir, sistemdeki diğer bitkilere yaşam alanı tanımayan türlerdir, bu nedenle diğer türlerle karşılaştırıldığında elimine edilebilirler. Bol miktarda, tohum üretir ve sulakalanlara yayar. Bu nedenle kuzeydoğu Amerika'da problem teşkil etmiştir ve yetkili kurumlardan onay alınmadan kullanılamaz.

Zirai atıksu sulakalanları için, türlerin amonyak toleransları düşünülmelidir. Sulakalan türlerinin amonyak giderim toleransları farklıdır. Eğer bitkiler ortama yavaşça alıştırlırlarsa, amonyağın yüksek konsantrasyonlarını tolere edilebilirler (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.7.1.2. Dip Akışlı Yapay Sulakalanlar (DAYS)

Amerika'da dip akışlı sulakalanların çoğunda saz otu (*Scirpus ssp.*), hasır otu (*Phragmites australis*), saz (*Typha ssp.*) veya bazen üçünün kombinasyonu kullanılmıştır. Operasyonel DAYS sistemlerinin %40'ında yalnızca saz otu (*Scirpus ssp.*) kullanılmıştır. Hasır otu (*Phragmites australis*) yaygın olarak İngiltere ve Avrupa sistemlerinde kullanılmıştır. Bununla beraber, bu bitkiler yüksek kapasitede yayılarak diğer bitki türlerine baskın çıkan türlerdir, başladığında kökünü kurutmak çok zor olabilir ve Amerika'da birçok yerde yasaklanmıştır. Bazı dip akışlı sistemlerde doğal bataklık türlerinin benzer çeşitli bitki türleri dikilmiştir.

Tayade ve ark., 2005 yılında, DAYS sistemlerinde farklı bitki türlerinin arıtma üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada 2 m. uzunluğunda, 1 m. genişliğinde ve 0.3 m. derinliğinde aynı değerlerle tasarlanmış 2 havuzdan birincisine, *Pennisetum purpureum* ve saz (*Typha ssp.*) dikilmiş, ikinci havuza ise *Canna indica* ve *Cyperus ssp.* dikmişlerdir. Aynı şartlar altında birinci havuzda TKM %83, BOİ %85, TN %60, TP %46, Fekal koliform %46 parametreleri için giderim verimleri elde edilmiş, ikinci havuzda ise TKM %75, BOİ %77, TN %53, TP %44, Fekal koliform %82 giderim verimleri elde edilmiştir (Tayade ve diğ., 2005).

2.7.2. Bitki Dikim Zamanı

Genel olarak bitki dikim periyodu, bitkilerin uyku döneminden sonra bahar mevsiminde başlar ve yazın ilk üçüncü haftasından sonra biter. Bitki yumru kökleri ve kök depoları için sonbahar bitkileri tavsiye edilir, saz otu (*Scirpus ssp.*) ve aslan ağzı (*Antirrhinum*) türleri çok başarılıdır. Kara topalak (*Cyperus*) ve saz (*Typha ssp.*) türleri, bitkinin uyku dönemi sona erdikten sonra ilkbaharda çok başarılı büyürler. Büyüme sezonu olan bahar aylarının başında dikim genellikle başarılı olur.

2.7.3. Alan Hazırlama

Dip akışlı sulakalanlar için, sulakalan biçimlendirildiği ve sınıflandırıldığında ayrılmış sıkıştırılmış toprak taranmalı ve çevrilmelidir. Yatak, yatak seviyesi ve toprak seti için sığ olarak sulanmalıdır (kabarmalıdır). Mümkünse, bir yıl veya bir dahaki büyüme sezonuna gibi dikim periyodunun uzatılması sağlanabilmelidir. Yapay sulakalanlar genellikle sonbaharda inşa edilirler ve kış boyunca kabarmaya bırakılırlar. Yatak, yumuşak, nemli bir toprak oluşması için dikimden önce kısa bir süre tamamen susuz değil fakat susuz bırakılır.

2.7.4. Bitki Topluluklarının Dikilmesi ve Yürütülmesi

Dip akışlı yapay sulakalan sistemlerinde dikimden sonra, su seviyesi, ilk yıl boyunca bitkilerin hayatta kalmasının en kritik yönüdür. En yaygın hata, bitkilerin yapay sulakalan bitkisi oldukları için derin sulara toleranslı olduklarının düşünülmesidir. Genellikle, çok fazla su verilmesi, ilk büyüme sezonu boyunca sulakalan bitkileri için daha fazla problem yaratır. Çünkü bitkiler köklerine yeterli oksijen alamazlar. İlk büyüme sezonu boyunca, küçük bitki köklerinin (2,5 cm-5 cm) en iyi şekilde hayatta kalabilmesi ve büyüebilmesi için dolgu malzemesi, aşırı doymuş olmamalıdır sadece doymuş olmalıdır. Bitkiler iyi yerleştikten sonra (2-3 ay) su seviyesi yükselebilir.

Dikilmiş bitkilerin hayvanlar tarafından zarara uğratılmaması için mekanik önlemler alınabilir. Keçiler, bitkileri köklerinden sökerek, genç bitki kökleri ve filizlerinde otlanarak önemli tahribata neden olurlar. Karaca ve siyah kuşlar sadece yeni dikilmiş filizlere zarar verirler. Fareler, saz (*Typha ssp.*) gibi bitkilerin besili kök yumrularını yerler ve saz (*Typha ssp.*) sulak alanlarına hızla zarar verirler. Yumru köklere hayvanların zarar vermesini önlemek için dikim alanının etrafına tel örülebilir.

Bitki toplulukları, atıksu sisteme verilmeden önce iyi yerleştirilmelidir. Su, bitki büyümesini destekleyecek yeterli besin maddesi içermelidir. Eğer atıksu yeterli nutriente sahip değilse, ticari nutrient kaynakları bir çözüm olarak eklenebilir. Atıksuyun konsantrasyonunun aniden verilmesi yerine dereceli olarak artarak sisteme verilmesi uygulaması bitki topluluğuna şiddetli darbeyi azaltır.

Çoğu sulakalan türleri, su seviyesinde günlük veya mevsimsel dalgalanmalara adapte olmuşlardır. Fakat sulakalan bitkileri ne köklerinin kuruluşuna ne de aşırı doyumluğa toleranslı değildir.

Su kalitesi sadece, sulakalan bitkilerinin hayatta kalmasını ve sağlığını etkiler. Yüksek nutrient yüklemeleri, yüksek veya düşük pH değerleri, yüksek çözünmüş katı madde konsantrasyonları ve ağır metaller ve diğer toksik maddelerin artışı sulakalan bitki topluluklarını etkiler.

Bazen arıtma verimini artırmak, azot, karbon giderimi ve sulakalan bitki topluluğunun bakımı için, yüksek biyolojik faaliyet aşamasında, zemin üstündeki bitki topluluğunun hasat edilebilir. Fakat, bu işlem aynı zamanda, bitki topluluğunun olgunlaşmasına ve sulakalanın tahribine de yol açabilir. Hasatın yapıp yapılmayacağı, projenin hedeflerine bağlıdır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.8. Yapay Sulakalanların İnşası

Sulakalanlar, güvenli olmalı ve emniyeti sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Standart mühendislik teknolojileri kullanılabilir. Kalifiye yüklenici veya taşeronlar ile çalışılması, sistemde uygun hidrolik rejimleri sağlamak, infiltrasyon, exfiltrasyon kontrolünü sağlayabilecek gerekli yoğunlaştırma işlemlerini sağlayabilecek ve sed stabilitesini sağlayabilecek değerlendirmelerin dikkatli ve titiz bir şekilde yapılabilmesi için önemlidir. Alanda inşaat süresince, sürekli ortaya çıkabilecek soruları cevaplayabilmek için; bitkiler, bitki toleranslarına ve bütün sulakalan hedeflerine aşına kişilerin olması da önemli bir noktadır.

2.8.1. Yapım Planları

Yapım planları ve teknik özellikler arıtma alanlarının gerekliliklerine göre geliştirilmeli ve inceleme alanı dikkatle gözden geçirilmelidir. İnşaat detayları, sulakalanın ne kadar kompleks olduğuna, boyutlarına, fiziksel karakteristiğine ve yetkili kurumların gerekliliklerine bağlıdır. Yapım planları, minimum inşaat ve hazırlık

teklifini dikkatlice hazırlamak için yeterli derecede detaylandırılmalıdır. Muhtemel yapımcılarla ön teklif görüşmesi, projenin içeriği, hedefleri ve gerekliliklerini görüşmek için gereklidir. Bu toplantılar, kalifiye yüklenicilerden veya taşeronlardan eksiksiz teklif almak için etkili olabilir.

2.8.2. Ön- Yapım Faaliyetleri

Yapım öncesinde mutlaka planın amaçlarını açıklamak ve yorumlamak için görüşme yapılmalıdır. İnşaatların diğer çeşitlerinde tecrübeli olan çoğu taşeron, sulakalan inşaatında da biraz tecrübeye sahip olmalıdır. Yapım planları, teknik özellikler ve alan planları arzulanan çalışma için yapımcıya ve işletmeciye tanımlanmalıdır. Koşullar ve tecrübelerdeki çeşitlilik nedeniyle, planlar çok basit planlardan değiştirilebilir. Ön yapım faaliyetleri, alanın boyutu ve karmaşıklığı ile uyumlu olmalı, hatasız ve etkili yapımı öngörmelidir.

2.8.3. Yapım Faaliyetleri

İnşaat; ulaşım yolları, temizleme, sahaları, toprak duvarlar, kanallar, bentler, boru tesisatı, valfler, ağaç dikme ve tohumlama, gübreleme işlemlerini içerir. Doğru malzemenin kullanımı ve ağır ekipmanların boyutları, inşaatın etkinliği, maliyeti ve uygunluğu için çok önemlidir. Gerekenin altında veya üstünde boyutlandırılmış ekipmanlar, tahmin edilenden fazla zaman ve maliyete katlanılmasına neden olabilir. Planlama süresi boyunca, alan ekipman operatörlerine, ekipmanları göstermek muhtemel problemleri önleyecek ve zamanı verimli kullanmayı sağlayacaktır, ekipmanlar üzerinde operatörlerin fikirlerini almak doğru bir uygulama olacaktır.

Sistem usule uygun yapılmalı ve mühendislik planını kesinlikle izlemelidir. Su tutma kapasitesi teknik özellikleri, atıksu sulakalanına giriş veya çıkış sızıntılarını önlemek için dikkatli bir şekilde izlenmelidir, eğer sentetik membran gerekli ise kurulumda kesinlikle üreticinin talimatları takip edilmelidir.

Dip akışlı yapay sulakalan sistemleri, dolgu malzemesinde, yüksek hidrolik iletkenliğe bağlıdır bu nedenle inşaat boyunca dolgu malzemesinin sıkışmasını önlemek için özel önlemler alınmalıdır. Sulakalanda küçük boyutlu makinelerin kullanımı, taşınım açısından önemlidir. Ekim boyunca, dolgu malzemesinin üzerinde yürümek için yürüme tahtaları yapılmalıdır.

Hem yüzey akışlı hem de dip akışlı sistemlerin hidrolik performansı, uygun olmayan inşaatla önemli ölçüde etkilenebilir ve sık sık akımda kısa döngüleri meydana getirebilir. Çakıl taşları veya kayaların üzerinde gerçekleşen ağır trafik karmaşıklığı nedeniyle özellikle, dip akışlı yapay sulakalan yataklarının yapımında çok dikkatli olunmalıdır. Yapılan bazı çalışmalarda, iyice düzeltilmiş olan yatakların, yağmurlu havalarda kamyonlar yataklara çakıl teslim edeceği zaman ciddi olarak zarar görmüşlerdir. Kamyonların malzemenin üzerinde kullanılmalarının önlenmesi gerekir. Kamyonlar, doldurulmuş olan yatakların kenarında yükleme/boşaltma yapmalıdır. Taban geçirimsiz olması için stabilize edilmiş olmalıdır. Fareler ve kunduzlar kanallarda yuva yapabilirler veya deşarj borularını tıkayabilirler. Farelerin girişi, borulara dikey olarak yerleştirilen metal parmaklıklarla önlenabilir veya minimize edilebilir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.8.4. Kontrol, Başlangıç ve Test Etme

İşletmeye başlanmadan önce sulakalan, pompalar, su kontrol yapıları gibi tüm bileşenler ve derinlik tasarımları açısından kontrol edilmelidir. Uygun işletmeyi sağlaması, su seviyesi kontrolü ve akım dağıtımı açısından beklentileri karşılaması için sulakalan iyice kontrol edilmelidir.

İlk işletme süresince, dolgu malzemesini tarama ve el ile doldurma yoluyla erozyon önlenmelidir. Kanal eğimleri üzerindeki küçük derecikler ve dökülmeler uygun malzeme ile doldurulmalı ve iyice sıkıştırılmalıdır. Bu alanlara ihtiyaç duyuldukça tohum ekilmelidir. Eğer kanallar boyunca sızıntı varsa bir mühendise düzeltici önlem için danışılmalıdır. Sulakalanın yeni işletmeye alınması kritik bir zamandır. Sistemin işletmeye başlaması, sulakalanda hidrolojik koşulları ayarlayan, mikroorganizmalar, bitkiler, dolgu malzemesini içeren bir periyodu ve sulakalanın dikimini ve doldurulmasını kapsar. Tüm yaşayan sistemler gibi sulakalanlar da başlangıçta sistemin yerleşmesi (stabilizasyon periyodu) için yeterli zaman ayrılırsa değişikliklere toleranslıdır. Başlangıç stabilizasyon periyodundan sonra, sisteme atıksu verilmesi dereceli olarak artırılır. Avrupa'da atıksu verilmesinden önce, tüm büyüme sezonu boyunca sistemin yerleşmesi (stabilizasyonu) için sistem bırakılır. Amerika'da stabilizasyon periyodu daha kısadır (birkaç haftadan birkaç aya kadar). Atıksu, bitkilerin büyüdüğü gözlenmeden verilmemelidir. Zirai atıksular gibi yüksek konsantrasyonlu atıksular, sisteme, yağmursuyu ve ön arıtılmış kanalizasyon atıksuyu gibi daha düşük

konsantrasyondaki atıksulara göre daha fazla arıtılarak verilmelidir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.9. Yapay Sulakalanların İşletilmesi ve İzlemesi

Sulakalanlar eğer iyi inşa edilmişlerse bakımları daha kolay olacaktır. Sulakalan işletmesi, arıtma performansı ve birçok faktör üzerinde önemlidir. İyi inşa edilmiş bir sulakalan,

- Sulakalanın tüm bölümlerine suyun ulaşmasını sağlar.
- Vejetasyonun daha etkin büyümesini sağlar.
- Mikroorganizmalar için sağlıklı bir çevre oluşturur.
- Mikrobiyal topluluk, çoğunlukla ölü bitki topluluğunun oluşturduğu katman ve sediment ile suyun teması için önemlidir.

2.9.1. Operasyon ve İşletme Planı

Yapay sulakalanların tasarımı boyunca bakım planı dökümanite edilerek bakım işlemleri tanımlanmalıdır. Plan, mevcut operasyon boyunca öğrenilmiş spesifik sistem karakteristiğini yansıtmak için güncellenebilir. Plan, dağıtım sistemlerinin ve setlerin rutin temizliği, kanalların denetimi ve sistem izlemesinin bir listesini içermelidir. Plan, bakım ve ödemeler için sorumlu kişileri kesin olarak belirtmelidir. Hazırlanan plan asgari olarak aşağıdaki maddeleri içermelidir.

- ♣ Su seviyesi kontrol yapılarının ayarını içermelidir.
- ♣ Giriş ve çıkış yapılarının, valflerin ve izleme aygıtlarının temizlenmesi ve bakımı için bir liste içermelidir.
- ♣ Toprak setler ve yapılardaki zararın kontrolü ve bakımı için bir liste içermelidir.
- ♣ Nakilden önce sediment birikiminin derinliği gereklidir.
- ♣ Dalgalanmaların kabul edilebilir seviyelerini içeren, su seviyesinin düzeyini içermelidir.
- ♣ İnşaat boyunca yeterli su seviyesini sağlamak için kullanılacak ilave su kaynağını belirtmelidir.
- ♣ Eğer sistem tasarımının bir parçası ise, atıksu içeriğini belirten bir liste içermelidir. Uygulama listesi, hem kullanışlı hem de nispeten devamlı olacak şekilde seçilmelidir. Sulakalan sistemlerini, kısa, yüksek akışlı atıksu deşarjları, düşük hızlı

ve devamlı akışlardan daha fazla aşındırır ve bu akışlar yerleşmiş bitki topluluklarına daha fazla zarar verir.

2.9.1.1. Hidroloji

Yüzey akışlı sulakalanlarda su, sulakalan yüzeyinin tüm parçalarına dağılmıştır. Sulakalan sistemin tüm bölümlerine suyun taşınmasını sağlamak için periyodik olarak kontrol edilmelidir. Durgun su, taşınımı azaltır ve sivrisinek olasılığını artırır ve göze hoş görünmeyen koşullar yaratır. Akışlar ve seviyeleri düzenli olarak kontrol edilmelidir. Dip akışlı sulakalanlar yüzey akışı olmadığı için, izlenerek kontrol edilmelidir.

2.9.1.2. Yapılar

Kanallar, taşma olukları ve su kontrol yapıları düzenli olarak kontrol edilmelidir ve özellikle olağandışı akış olaylarından hemen sonra kontrol edilmelidir. Sulakalanlar yüksek akışlardan veya hızlı buz kırılmalarından sonra kontrol edilmelidir, erozyon veya tıkanma olduysa temizlenmelidir. Felaket önlenir önlenmez dolgu malzemesi baştan başa kontrol edilmelidir, özellikle delikler herhangi bir zarar görmemelidir çünkü daha sonra tamir edilmeleri pahalı olabilir (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.9.1.3. Bitki Toplulukları

Su seviyesi yönetimi, bitki topluluğunun sistemdeki arıtmada başarısını belirleyen anahtar unsurdur. Sulakalan bitkileri, suyun çeşitli derinliklerinde sıcaklık değişimlerine toleranslı olabilirler. Bu nedenle, arzulanan türler limitlerini aşmadan bakıma alınmalı, bakım süresi uzatılmış zaman periyotlarında ise (örneğin soğuk aylar boyunca) bekleme zamanını artırmak ve donmayı önlemek için su derinliği artırılabilir. Birbirini izleyen akımlar, organik maddenin oksitlenmesine yardımcı olabilir ve sulakalanda yeni bitkilerin yetişmesini cesaretlendirebilir. Su yollarındaki bitki örtüsünün ihtiyaca göre; biçme, gübreleme veya kireçleme yoluyla bakımı yapılmaktadır. Sık sık biçme, iyi bir zemin örtüsünün gelişmesi için erozyona karşı koruyucu derin ve geniş kök sistemleri ile otları (çimleri) cesaretlendirir. Çalılıkların (fundalıkların) ve ağaçların kökleri kanallar yaratabilir ve banket boyunca sonradan sızıntılara neden olabilirler.

Bitki toplulukları düzenli olarak kontrol edilmeli ve zararlı türler kaldırılmalıdır. Herbisidler, gelişmekte olan bitki topluluklarına çeşitli zararlar verebileceklerinden dolayı zorunlu kalmadıkça kullanılmalıdırlar.

2.9.1.4. Kemirici Hayvanlar

Fareler ve diğer kemirgen hayvanlar su kanallarına zarar verebilirler. Zararlarından sakınmak için su kanallarına tel parmaklıklar yerleştirilmelidir. Eğer zarar devam ederse geçici olarak; tel parmaklıklar yapıncaya kadar bu zararlılar için kapanlar kurulabilir.

2.9.1.5. Sivrisinekler

Sivrisinekler, doğal sulakalanlarda çok yaygındır ve yapay sulakalanlarda da olması beklenebilir. Bununla birlikte, sivrisinekler genellikle yapay sulakalanlarda en büyük problemlerden biri değildir.

Yapay sulakalanlarda sivrisinek probleminden kaçınmanın en iyi yolu, sulakalanlarda sivrisinekler için cazip koşulların yaratılmaması veya larva gelişmeleri için olanak sağlayan koşulların oluşturulmamasıdır. Açık ve durgun su sivrisinekler için mükemmel bir yaşam alanı oluşturur. Durgun, yüksek nutrientli su larva gelişimi için ideal koşulları oluşturur. Akan su ve kapalı su yüzeyi sivrisinek gelişimini minimize eder.

Kontrol metodları, durgun su birikintisini elimine etmeli fakat akışları engellememelidir. Yüzen bitkilerin su yüzeyinde dağılımı ile su yüzeyinin gölgelenmesi dişilerin yumurtlamasını önler. Mor kırlangıçlar, kırlangıçlar, yarasalar her gün yetişkin sivrisineklerin binlerce yumurtasını yer. Bu yüzden kırlangıç yuvaları kurulabilir ve sivrisinek sayısını azaltmak için yarasa kutuları yapılabilir. Sivrisinek balıkları özellikle yeşil güneş balığı (*Lepomis cyanellus*), sivrisinek larvalarını (*Gambusia*) avlayabilir. Böcek larvaları da (*Dragon flies* vb.), sivrisinek larvalarını (*Gambusia*) avlayarak bir kontrol metodu sağlar. İnsektisitler, yağlar vb. bakteri etkenleri ile sivrisineklerin kontrolü sulakalanlarda zordur. Yapay sulakalanlarda büyük miktarda organik madde içeren atıksularda insektisitlerin kullanımı etkili değildir. Çünkü insektisitler organik madde üzerinde adsorblanır ve hızla sulandırılmış olarak veya sulakalan boyunca su ile taşınarak azalır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

2.9.2. İzleme

İzleme önemli bir işletme aşamadır. İzleme ile;

- ♣ Arıtma performansını geliştirmek için veri sağlanır.
- ♣ Problemlerin tanımlanması gerçekleşir.
- ♣ Biyolojik birikmelerinden önce potansiyel toksik malzemelerin birikmesi önlenir.
- ♣ Yasal düzenlemelerle uygunluğun tanımlanması sağlanır.

İzleme, biyolojik bütünlüğü göstermek için ve sulakalan sisteminin hedeflerinin karşılanıp karşılanmadığını ölçmek için gereklidir. Sulakalan izlemesi problemleri erken tanımlar. Dokümantasyon koşullarında fotoğraflar çok değerlidir. Fotoğraflar her defasında aynı yerden ve farklı bakış açılarından alınmalıdır. İzleme detaylarının seviyesi sulakalanın kompleksliğine ve boyutuna bağlıdır ve sistem olgunlaştıkça değişir ve performansı daha iyi bilinir. Minimum olarak az yüklü sistemler, her ay ve her büyük fırtınadan sonra yeterli işleyip işlemediği kontrol edilmelidir. Bu daha yüklü sistemlerde daha sık ve daha detaylı kontrol edilmelidir.

2.9.2.1. İzleme Planı

Proje işletilmesi boyunca yazılı bir izleme planı gereklidir. İzleme planı şunları içermelidir:

- ♣ Projenin açık ve kesin olarak belirtilmiş amaçları
- ♣ İzlemenin spesifik hedefleri
- ♣ İşletimsel ve teknik sorumlular
- ♣ Görevler ve metodlar
- ♣ Kalite güvence, prosedürleri ve veri analizleri
- ♣ Listeler
- ♣ Yasal gereklilikler
- ♣ Yasal gerekliliklerden fazla olarak yapılmasına karar verilen gereklilikler
- ♣ Bütçe

2.9.2.2. Deşarj Uygunluğu İçin İzleme

Deşarj izin limitleri ile sistem uygunluğunun ne kadar örtüştüğünü belirlemek için minimum örnekleme ve gerekli analizleri belirtir. Giriş ve çıkış yapılarındaki sabit su setleri, su örnekleri toplama ve debi ölçümlerinin basitleştirilmesini sağlar. İzlenen parametreler, veri toplama sıklıkları yetkili kurumlar tarafından saptanır.

2.9.2.3. Sistem Performansı İçin İzleme

Sulakalan genellikle, sistem performansını belirleyen kişiler/kuruluşlar tarafından değerlendirilir. Değerlendirme kriterleri aşağıda verilmiştir.

- ♣ Hidrolik yükleme oranları
- ♣ Giriş ve çıkış debileri
- ♣ Giriş ve çıkış arasındaki su kalite değişimleri
- ♣ Normal operasyon koşullarından sapma

Kirletici gideriminin etkinliği girişi yükleri ve çıkış yükleri arasındaki farktan tanımlanabilir. Yüzey suyu örnekleme noktaları, giriş ve çıkışta ulaşılabilir noktalara yerleştirilmelidir. Örnekleme noktalarının yerleri, sistemin kompleksliliğine ve boyutuna bağlıdır. Yüzey su kalitesi istasyonları sürekli izlenmelidir. Örnekleme boyunca vejetasyon ve sedimente zarar vermemek için yürüme tahtaları kurulmalıdır. Eğer atıksu toksik kirleticiler içeriyorsa (örneğin pestisitler veya ağır metaller) yılda bir veya iki kez sulakalan sedimentinde kirletici parametreler izlenmelidir. Çıkış suyu, fırtınalar ve bahar yağmurları boyunca izlenmelidir. Sulakalanın zemin suyunu kirletmemesi için zemin suyu yılda bir veya iki kez izlenmelidir.

2.9.2.4. Sulakalan Sağlığı İçin İzleme

Sulakalan genel alan koşulları, erozyon ve arzu edilmeyen vejetasyonun büyümesi gibi olumsuz değişiklikleri gözlemek için periyodik olarak kontrol edilmelidir. Vejetasyon, sağlık ve miktarlarını değerlendirmek için periyodik olarak izlenmelidir. Genellikle, sulakalanın inşaatından itibaren ilk beş yıl boyunca daha sık izlenmesine ihtiyacı vardır. Türlerin kompozisyonu ve bitki yoğunluğu seçilen bölgelerde, sulakalan içinde incelenen havuzlarda (genellikle 0,9 m * 0,9 m kare bölge) kolaylıkla tanımlanır (EPA, www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmadaki amaç, dip akışlı olarak tasarlanan yapay sulakalan sisteminin bir köyün evsel atıksularının arıtılması üzerindeki etkinliğinin araştırılmasıdır. Bu amaca hizmet etmesi bakımından yapay sulakalan tasarım yöntemleri üzerinde de durulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan sulakalan sistemi, Uluabat gölü kenarında bulunan Eskikaraağaç köyüne ait evsel atıksularının arıtılması için, Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğü'nce tasarlanmıştır. Köyün atıksularını toplayabilmek için öncelikle köyün alt yapı sistemi tamamlanmıştır. Atıksu, 4 birimli foseptik yapısında toplanmaktadır. 200 mm'lik PVC boru ile atıksu dağıtım yapısına geçmektedir. Dağıtım yapısının tabanında 200 mm'lik PVC boru 100 mm. çaplı üç kola ayrılmaktadır. Dip akışlı yapay sulakalan; aynı en-boy oranına sahip ve aynı derinlikte tasarlanan üç hücreden oluşmaktadır. Dağıtım yapısından çıkan atıksu, üç ayrı kol ile dip akışlı yapay sulakalanın hücrelerine tabandan giriş yapmaktadır. Hücre boyunca atıksuyun hücrenin tamamına uniform bir şekilde dağılabilmesi için, havuz boyunca tabanda delikli borular döşenmiştir. Sistemde atıksuyun çıkışa doğru akması, cazibeli akış ile sağlanmaktadır. Sistem çıkışında toplanan atıksu, sistemin giriş ağzında olduğu gibi üç ayrı hücreden 100 mm. çapa sahip PVC borularla alınmakta, 200 mm,'lik boru da birleşerek, toplama yapısında biriktirilmektedir. Atıksuyun sistemde bekleme süresinin ayarlanabilmesi, toplama yapısına yerleştirilen oynar başlıklı dirsek PVC boru ile sağlanmıştır. Toplama yapısından atıksu, iki adet deşarj borusu ile göle verilmektedir. Sistemin hiçbir kısmında atıksuyun kod seviyesini ayarlamak için su pompası kullanılmamıştır veya havalandırma için hava pompası kullanılmamıştır.

Dip akışlı yapay sulakalan sistemi; 2004 yılı için 400 kişilik nüfusa ve 48 m³/gün debiye göre boyutlandırılmıştır. Sistem tasarım değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Boyutlandırmada BOI₅ ve AKM konsantrasyonu giderim oranları esas alınmıştır. Sistem çıkışında BOI₅ konsantrasyonu, Su Kalitesi Korunması Yönetmeliği Tablo 21'de belirtilen 50 mg/lit limit değeri esas alınarak belirlenmiştir. Tablo 3.1'de sistem tasarımında kullanılan değerler verilmiştir.

Tablo 3.1 Eskikaraağaç köyü DAYS sistemi tasarım değerleri (Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğü, 2005)

2004 Yılı İçin Tasarım Parametreleri	
Parametre	Değer
Nüfus (N)	400 kişi
Debi (Q)	48 m ³ /gün
BOİ ₅ Konsantrasyonu (C) (Sistem Girişi)	376 mg/l
BOİ ₅ Konsantrasyonu (C) (Sistem Çıkışı)	50 mg/l
AKM Konsantrasyonu (Sistem Girişi)	669 mg/l
Min. Atıksu Sıcaklığı (T)	8 °C
Eğim (S)	0,01
Foseptik Yapısı BOİ ₅ Giderme Verimi	%35
Foseptik Yapısı AKM Giderme Verimi	%80
Foseptik Çıkışında BOİ ₅ Konsantrasyonu	244 mg/l
Foseptik Çıkışında AKM Konsantrasyonu	133,8 mg/l
Kış Dönemi İçin Sıcaklık (T)	8 °C
Yaz Dönemi İçin Sıcaklık (T)	20 °C
Kış Dönemi Bekleme Süresi (Θ)	3,7 gün
Yaz Dönemi Bekleme Süresi (Θ)	1,4 gün
Havuz Genişliği (Toplam Hücreler) (W)	30 m
Havuz Uzunluğu (Toplam Hücreler) (L)	35 m
Gerekli Yüzey Alanı (A)	1050 m ²
Hidrolik Yükleme Oranı	0,046 m ³ /m ² .gün
2034 Yılı İçin Tasarım Parametreleri	
Nüfus (N)	910 kişi
Debi (Q)	110 m ³ /gün
BOİ ₅ Konsantrasyonu (C)	376 mg/l
AKM Konsantrasyonu (C)	669 mg/l
BOİ ₅ Konsantrasyonu (Sistem Girişi)	87 mg/l
BOİ ₅ Konsantrasyonu (Sistem Çıkışı)	50 mg/l
Kış Dönemi İçin Sıcaklık (T)	8 °C
Yaz Dönemi İçin Sıcaklık (T)	20 °C

Tablo 3.1. (Devam) Eskikaraağaç köyü DAYS sistemi tasarım değerleri

Eğim (S)	0,01
Kış Dönemi Bekleme Süresi (Θ)	1,28 gün
Yaz Dönemi Bekleme Süresi (Θ)	0,41 gün
Havuz Genişliği (Toplam Hücreler) (W)	25 m
Havuz Uzunluğu (Toplam Hücreler) (L)	30 m
Gerekli Yüzey Alanı (A)	750 m ²

Yapay sulakalan sisteminde; havuz tabanı, geçirimsizliği sağlamak ve zemin altından veya zemin altına sızıntıyı önlemek ve yeraltı sularını kirletmemek amacıyla 2 mm kalınlığında 1600 m², alanında membran katman ile kaplanmıştır. Üzerine 30 cm yüksekliğinde, Ø 12 mm elenmiş dere çakılı, üzerine Ø 10 mm elenmiş dere çakılı ve üzerine daha küçük çaplarda dere çakılı yerleştirilmiştir. Üzerleri, bitki köklerinin gelişimine izin verecek şekilde, 30 cm yüksekliğinde küçük çaplı çakıllar (tuvalen dere çakılı, karışık malzeme) yerleştirilmiş ve toprakla kapatılmıştır. Bölgenin yerel bitkisi olması nedeniyle, saz (*Typha*) türündeki kalın kamışlar, sistem yanında bulunan Uluabat gölünden alınarak sisteme ekimleri yapılmıştır. Sistem Ocak 2005’de, yatakların saz (*Typha*) ile bitkilendirilmesinden sonra çalışmaya başlamıştır.

Numuneler, sistem girişi için foseptik yapısından ve çıkış örnekleme için Ø100mm’lik PVC deşarj borularından, 1 lt’lik koyu renkli cam şişelerle alınmıştır. Örneğin aslımı teşkil etmesi amacıyla şişeler doldurulmadan önce atıksu ile çalkalanmış daha sonra örnek şişelere doldurulmuştur. Dip akışlı yapay sulakalan arıtma sistemi performansının genel değerlendirmesi için numuneler, Nisan 2005’den Mayıs 2006’ya kadar her ay, ayda iki kez alınmış ve Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında standart yöntemlere göre analizleri yapılmıştır.

Alınan numuneler üzerinde, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH, çözülmüş oksijen değerleri numune alındığında vakit kaybetmeden ölçülmüş olup, laboratuvarlarda; KOİ, BOİ₅, amonyum azotu, nitrat azotu, kjeldahl azotu, çözülmüş reaktif fosfor, toplam fosfor, katı madde ve koliform analizleri yapılmıştır. Atıksuda ölçüleri yapılan parametrelerin analiz metodları Tablo 3.2.’de verilmiştir. Analitik prosedürler ile ilgili detaylar ‘Standart Metodlar’da bulunabilir.

Tablo 3.2. Eskikaraağaç köyü DAYS sistemi giriş ve çıkış atıksularında ölçümü yapılan parametrelerin analiz metodları

Parametreler	Metodlar
KOİ	Açık reflux metodu, numune şiddetli asidik koşullarda, kuvvetli bir oksitleyici olan $K_2Cr_2P_7$ ile kaynatılarak oksitlenmesini takiben tüketilmeden kalan oksijen miktarı standart indirgen madde çözeltisi ile volümetrik yoldan saptanması
BOİ	Respirometrik metod
Amonyum Azotu	Distilasyon metodu
Kjeldahl Azotu	Kjeldahl metodu
Çözünmüş Reaktif Fosfor	Askorbik asit metodu ile ortofosfatların tayini
Toplam Fosfor	Nitrik asit-sülfürik asit ile parçalama işlemi sonrasında askorbik asit metodunun uygulanması, asit ile hidrolize olan fosfor ve tüm ortofosfatların tayini

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Eskikaraağaç köyü DAYS sisteminde bir sene süresince, giriş ve çıkış atıksu numuneleri üzerinde ölçülen su kalitesi parametrelerinin sonuçları, 7. Bölümde, Tablo 7.1., Tablo 7.2. ve Tablo 7.3.'de verilmiştir. Tablo 4.1.'de, ölçülen parametreler üzerindeki sistemin giderim verimleri % olarak gösterilmiştir. Tablo 4.1.'de askıda katı madde (AKM), çökelen katı madde (ÇKM), toplam katı madde (TKM), amonyum azotu (NH₄-N), nitrat azotu (NO₃-N), toplam azot (TN), orto fosfat (PO₄-P), toplam fosfat (TP), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI), fekal koliform (FK), toplam koliform (TK) parametrelerinin giderim verimleri aylık olarak gösterilmiş, mevsimlere göre gruplandırılmıştır.

Tablo 4.1. DAYS sistemi giriş ve çıkış atıksu numunelerinde incelenen parametrelerin aylara göre giderim verimleri (%)

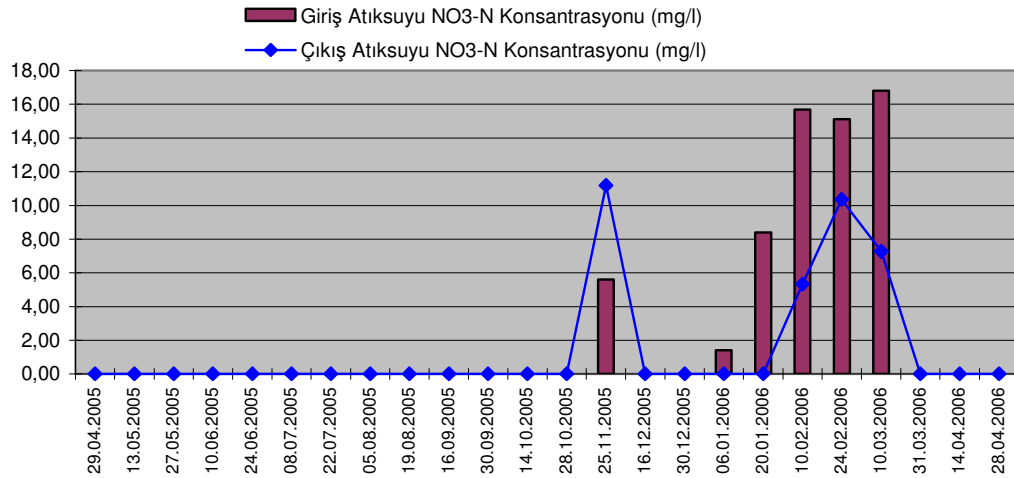
Aylar	AKM	ÇKM	TKM	NH ₄ -N	NO ₃ -N	TN
ŞUBAT 05	-31		23			28
NİSAN 05	15		13	5		-300
MAYIS 05	-131		41	55		46
HAZİRAN 05	85		16	57		63
TEMMUZ 05	70		6	40		44
AĞUSTOS 05	32	13	6	30		32
EYLÜL 05	66	10	8	9		21
EKİM 05	-41	-11	20	27		29
KASIM 05	-167	30	22	39	-100	38
ARALIK 05	-2	9	9	8		22
OCAK 06	-8	-21	-7	-4	100	5
ŞUBAT 06	70	16	17	-33	49	14
MART 06	58	5	2	25	57	49
NİSAN 06	53	3	4	53		63
Aylar	PO ₄ -P	TP	BOI	FK	TK	
ŞUBAT 05		28	40			
NİSAN 05	33	61	42			
MAYIS 05	42	49	-62			
HAZİRAN 05	-82	47	78			
TEMMUZ 05	35	50	35	100	75	
AĞUSTOS 05	-16	12	63	58	32	
EYLÜL 05	-43	41	77	47	85	
EKİM 05	12	24	85	91	95	
KASIM 05	56	48	95	58	80	
ARALIK 05	19	27	88	33	60	
OCAK 06	-5	23	71	8	55	
ŞUBAT 06	94	96	57	41	50	
MART 06	92	78	68	58	48	
NİSAN 06	34	41	33	88	80	

DAYS sistemlerinde doğal ekolojik döngüler, zaman zaman sistem çıkışında bu maddelerin konsantrasyonlarının bir miktarının yeniden oluşmasına neden olur (EPA,

2000). Tablo 4.1.'de sonucu negatif olarak gösterilen değerlerin ölçüldüğü tarihlerde, ölçülen parametre, çıkış atıksuyunda, girişten daha fazla bulunmuştur. Tablo 4.1.'e göre, AKM ve $\text{NH}_4\text{-N}$ parametrelerinde en fazla giderimin elde edildiği mevsim yaz mevsimidir. $\text{PO}_4\text{-P}$ için en fazla giderim ilkbaharda, BOI ve koliform parametrelerinde en fazla giderimin elde edildiği mevsim ise sonbahar mevsimidir.

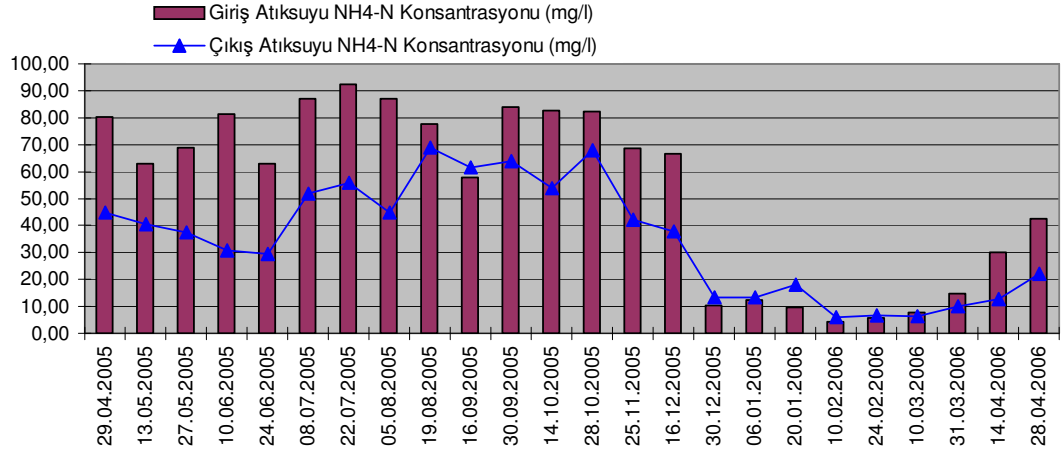
1.1. Azot Giderim Verimi

Araştırmanın başladığı 2005 Nisan ayından 2005 Ekim sonuna kadar hem giriş hem de çıkış atıksuyunda $\text{NO}_3\text{-N}$ (nitrat azotu) parametresine rastlanmamıştır. Şekil 4.1.'de, giriş ve çıkış atıksuyundaki $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyon değerleri verilmiştir. Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, sistem çıkışından alınan atıksu numunelerinde, $\text{NO}_3\text{-N}$ hiç çıkmamış veya çok düşük miktarlarda çıkmıştır. Atıksuda $\text{NO}_3\text{-N}$ gözlemlendiği dönemlerde atıksudan, $\text{NO}_3\text{-N}$ giderim verimi %70 olarak bulunmuştur. Ocak ve Şubat 2006 dönemlerinde, giriş atıksuyunda $\text{NO}_3\text{-N}$ bulunmasına rağmen çıkış atıksuyunda gözlenmemiştir, sonuçlar değerlendirildiğinde, sistemde denitrifikasyon işleminin verimli gerçekleştiği düşünülmektedir. Kasım 2005 döneminde, sistem çıkışında girişten daha fazla $\text{NO}_3\text{-N}$ bulunmuştur. Sistem içerisindeki organik azotların, saprofit ayrıştırıcı bakteriler tarafından parçalanarak anorganik azot formlarına dönüştürüldüğü için çıkış atıksuyunda $\text{NO}_3\text{-N}$ formlarının artmış olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.1. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki $\text{NO}_3\text{-N}$ parametrelerinin konsantrasyonu değişimi

$\text{NH}_4\text{-N}$ (amonyum azotu) giderim verimi, mevsimlere göre değişiklik göstermekle birlikte ortalama %40 olarak bulunmuştur. Şekil 4.2.'de, sistemde $\text{NH}_4\text{-N}$ 'unun, giriş ve çıkış atıksuyundaki konsantrasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Çıkış atıksuyunda, $\text{NH}_4\text{-N}$ 'unun, $\text{NO}_3\text{-N}$ 'dan yüksek çıkmasının nedeni, ortamda nitrifikasyon koşullarının yeterli düzeyde yürütülememesine bağlanabilir.



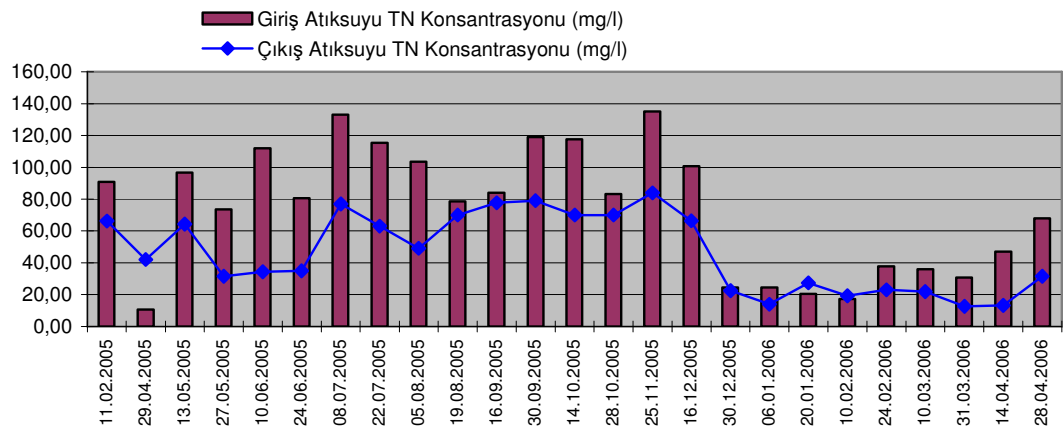
Şekil 4.2 DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki $\text{NH}_4\text{-N}$ parametrelerinin konsantrasyonu değişimi

Nitrifikasyon, yeterli oksijen koşullarının sağlandığı ortamlarda gerçekleşen bir prosestir. Ortamda yeterli oksijenin bulunmamasından dolayı; sistemde, yeterli düzeyde amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) giderilememekte ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'una dönüştürülememektedir. Sonbahar ve kış mevsimlerinin sonlarına doğru $\text{NO}_3\text{-N}$, sistem içinde oksijen konsantrasyonunun artması nedeniyle yükselmiş, bunun haricindeki mevsimlerde, hem giriş hem de çıkış atıksuyunda $\text{NO}_3\text{-N}$ gözlemlenmemiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonlarındaki artış Tablo 7.1'den takip edilebilir. $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimindeki bu yetersizliğin yatak profilindeki oksijen eksikliğinden ve nitrifikasyon reaksiyonlarının tamamlanması için bekleme zamanının kısa olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Oksijen kaynağının etkin kullanımı için, yatak profilinde bitki köklerinin gelişimini tamamlanması ve yeterli bekleme süresi gerekir. Nitrifikasyonun tamamlanması için, yaklaşık altı günlük bekleme süresi, sıcak hava koşulları ve tamamen gelişmiş kök zonlarının olduğu sistem şartları gerekli olacaktır. Ancak bekleme süresini, altı güne çıkartmak fazla alan gerektireceğinden birçok sistem için uygulanamayacaktır. Bu

çalışmada, kış dönemi için yaklaşık dört, yaz dönemi için iki günlük bekleme süreleri esas alınarak sistem tasarımı yapılmıştır. Ayrıca, bitki topluluklarının gelişimlerinin ilk senesi olduğu için kök zonları yeterince gelişmemiştir. Zamanla kök sisteminin gelişmesi ve dolgu malzemesinin stabil hale gelmesi ile daha verimli $\text{NH}_3\text{-N}$ gideriminin gerçekleşebileceği düşünülmektedir.

Toplam azot (TN) için sistem performansı ele alındığında, TN giderim verimi yüzdesi yaz aylarında %40-65 arasında değişmekte olup verim yüksektir. Buna karşın, kış aylarında sistemin azot giderim verimi yüzdesi çok düşüktür (%20-40) hatta bazı dönemlerde (2006 Ocak ayı sonu Şubat ayının başında) sistem çıkışında toplam azot miktarı, giriş atık suyunda olduğundan daha fazla miktarda bulunmuştur. Şekil 4.3.'de TN parametresinin sistem giriş ve çıkış atıksuyundaki konsantrasyon değişimleri verilmiştir.

Toplam azottaki bu giderim mekanizmasını devam ettiren işlemlerde; sistemdeki bitkilerin protein ihtiyacını anorganik azottan karşılamalarının haricinde, sistem içindeki malzemeler üzerinde de bir miktar azot bileşikleri tutulmaktadır. Kış mevsiminde sistem çıkışından alınan atıksu numunelerinde, toplam azot miktarının sistem girişinde olduğundan daha fazla olmasının nedeninin, kış aylarında bitkilerin canlılıklarını kaybederek köklerindeki organik azotun saprofitler tarafından parçalanması ve anorganik azot formlarına dönüştürülmesi olarak düşünülmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde, sıcaklıkların değişken olması nedeniyle azot giderim verimi %20-70 gibi değişken bir aralıkta seyretmiştir.

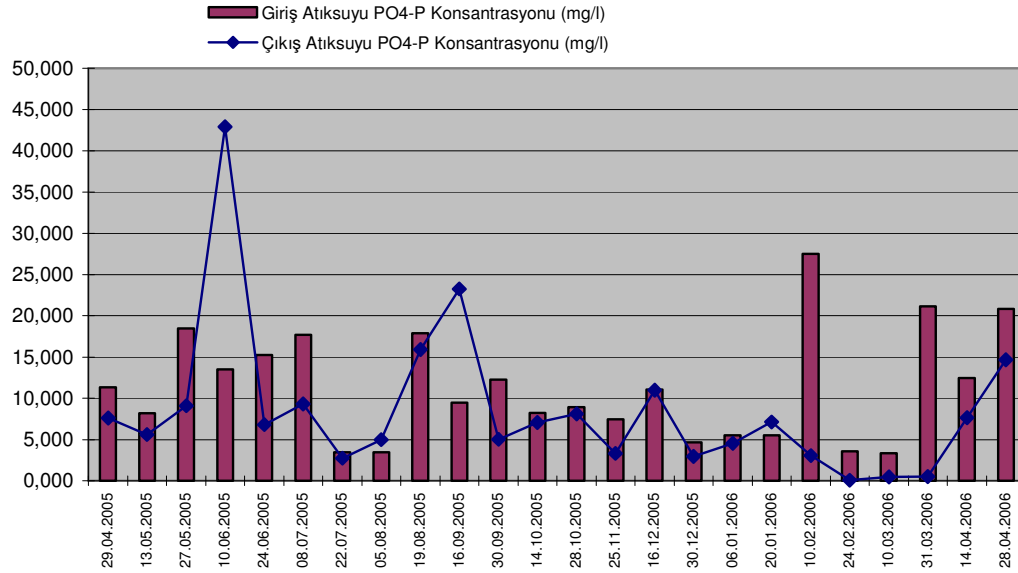


Şekil 4.3. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki TN parametrelerinin konsantrasyonu değişimi

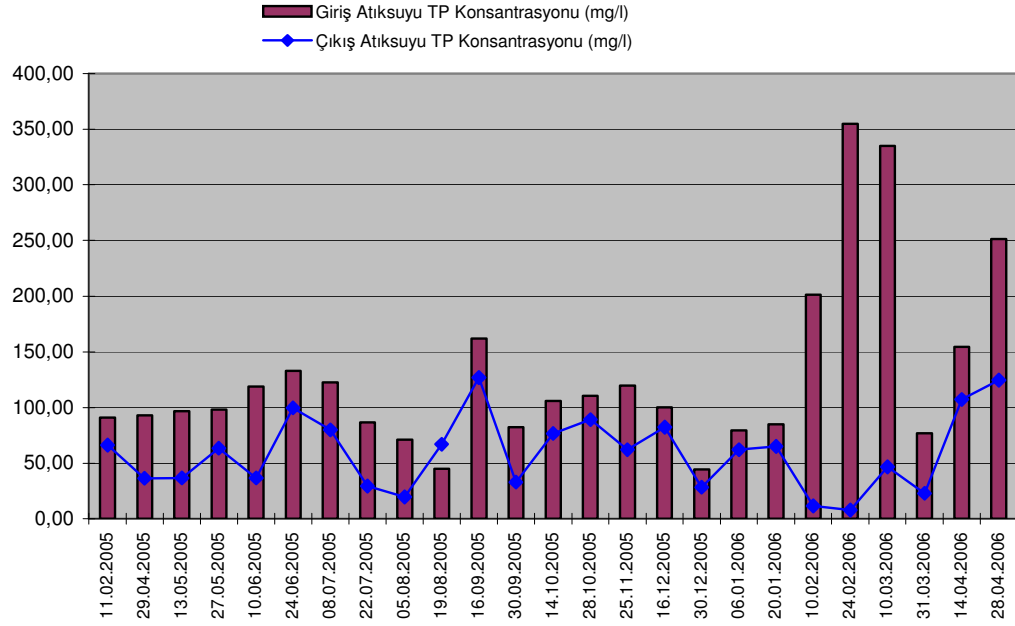
Dip akışlı yapay sulakalan sistemlerinde oksijen transfer kapasitesinin sınırlı olmasından dolayı çok verimli azot giderimi gerçekleştirilememektedir. Dünyada yapılan çeşitli araştırmaların sonuçlarına bakıldığında, yatay dip akışlı sistemlerin üçüncül artımda kullanılmasıyla oldukça yüksek azot giderim verimleri elde edilmiştir (Ateş, Özsesmi, 2001).

1.2. Fosfor Giderim Verimi

Atıksulardaki fosfat seviyelerinin kontrolü, $PO_4\text{-P}$ (orto fosfat) tayinleri ile yapılır. DAYS sisteminde $PO_4\text{-P}$ için en fazla giderim verimi ilkbahar mevsiminde elde edilmiştir. Şekil.4.4'te $PO_4\text{-P}$, Şekil 4.5.'te TP (toplam fosfor) konsantrasyonlarının giriş ve çıkış atıksuyu içerisinde, zamanla değişimi gösterilmiştir. Sistemde, kış mevsiminin son ayları ve ilkbahar mevsiminin ilk aylarında, sisteme giren $PO_4\text{-P}$ ve TP miktarlarında artış gözlenmektedir. Bu artış, Tablo 7.2.'den takip edilebilir. Tablo 4.1.'e göre, bu dönemlerde, fosfor giderim verimi yüzdeleri de yüksek bulunmuştur. $PO_4\text{-P}$ giderim yüzdesi, bu dönemde oldukça fazla iken (%80), diğer aylarda çok daha düşüktür (%40 civarında).

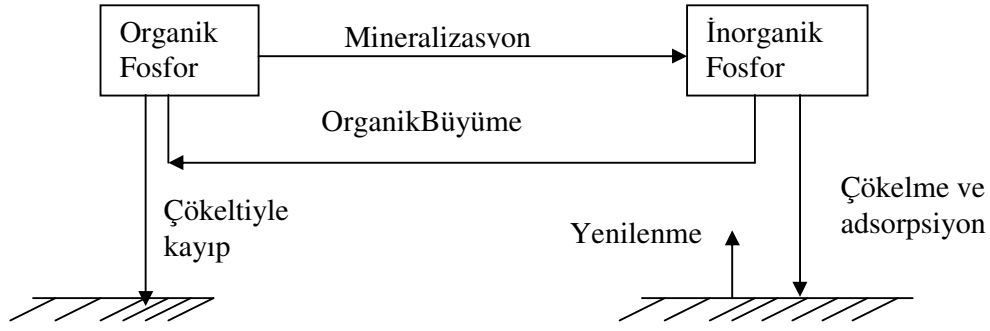


Şekil 4.4. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki $PO_4\text{-P}$ parametrelerinin konsantrasyonu değişimi



Şekil 4.5. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki TP parametrelerinin konsantrasyonu değişimi

Atıksudan fosfor giderimi üzerinde, yatak içindeki dolgu malzemeleri üzerinde fosfor formlarının adsorbsiyon, kompleksleşme ve çökeltme, bitkinin adsorbsiyonu ve biyolojik asimilasyon işlemleri rol oynamaktadırlar (Watson ve diğ., 1989). DAYS sistemlerinde fosfor giderimi, büyük oranda kullanılan malzemenin cinsine bağlıdır. Eğer yataklarda çakıl ortam kullanılıyorsa ve akım yataysa, çok az fosfor giderilir. Soğuk iklimlerde azot ve fosfor giderimi konusunda rapor edilen değerler düşüktür ve %25-50 civarındadır. Diğer taraftan zeminde kil içeriğinin yüksek olması durumunda fosfor giderimi daha yüksektir. Fakat bu durumda, hidrolik geçirgenlik azalır (Arceivala, 2002). Fosfor gideriminde malzemenin cinsi yanında, kalsiyum, alüminyum ve demir içeriği de önemlidir (Pant ve diğ., 2001). Belirli pH aralıklarında, fosfor, kalsiyum, alüminyum ve demir ile bileşikler oluşturarak çökelebilmektedir. İncelenen sistem yatağı, çakıl esaslı malzemenin olduğu için, sistemde fosfor giderimi üzerinde, filtrasyon, biyolojik asimilasyon, bitki alımı ve kum taneciklerine adsorbsiyon mekanizmalarının etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.6. Fosforun organik ve inorganik çeşitleri arasındaki göreceli değişimleri ve bunların sistemdeki ilişkileri (Arceivala, 2002)

Şekil 4.6.'da sistem içerisinde meydana gelen fosfor türlerinin dönüşümleri görülmektedir. Atıksuda pH 8,2 civarında çözünebilir fosfat konsantrasyonu en fazladır. pH değerlerinin yükselmesi durumunda, fosfat formlarının çözünürlüğü düşer. Bu nedenle, atıksu içerisindeki konsantrasyon aniden düşer. Ancak sistem dibine çökelen fosfatlar, uygun şartlarda tekrar çözünerek suya karışır (Arceivala, 2002). İncelediğimiz DAYS sisteminde, atıksuda ölçülen pH değerleri ortalama 6,5 - 7,8 arasında değişmektedir. Bu pH değerleri göz önüne alındığında, sistemde fosfor formlarının giderimi üzerinde, çökmeden daha çok sorblama proseslerinin etkili olduğu düşünülmektedir.

Zamanla, sistem çıkışında fosfor konsantrasyonlarının, sisteme fosfor yükleme hızlarının artması ile, sistemin fosfor tutma kapasitesinin azalması ile veya yağışlardan sonra sulakalan yatağı içerisinde tutulmuş fosfor türlerinin seyrelmesi ve yataktan yıkanması işlemleri ile artabileceği ihtimali de düşünülmektedir.

Yapay sulakalanların tüm tiplerinde atıksudan fosfor giderim veriminin yüksek olması için atıksuyun sistem içindeki bekleme süresinin uzun tutulması gerekir. Fosfor giderimi proje gerekliliği için önemli parametre ise bu durumda serbest yüzey akışlı sistemlerin tercih edilmesi daha doğru olacaktır (Toprak, 1999).

Atıksuyun bir tank içinde kimyasal ilavesi ile karışıma tabi tutulup, son çökeltme havuzunda çökelmeye bırakıldıktan sonra deşarj edilmesi, atıksudan fosfor giderim verimini artıracak bir diğer alternatif yöntemdir (EPA, 1993). Havuza, çözünmez yapıda fosfor çökelekleri oluşturacak metal iyonları (+2 veya +3 değerlikli demir, asit tuzları veya alumünat şeklindeki alüminyum) ilave edilebilir. Bu sayede fosfat, çökelen

biyolojik yumaklarla beraber tutulur. Fakat fosfor giderimi için kimyasal madde kullanımı havuz tabanında çökelen çamur miktarının artmasına neden olacaktır. Diğer taraftan bu gibi uygulamalar sistemin, yapım, bakım ve onarım maliyetlerini arttıracaktır.

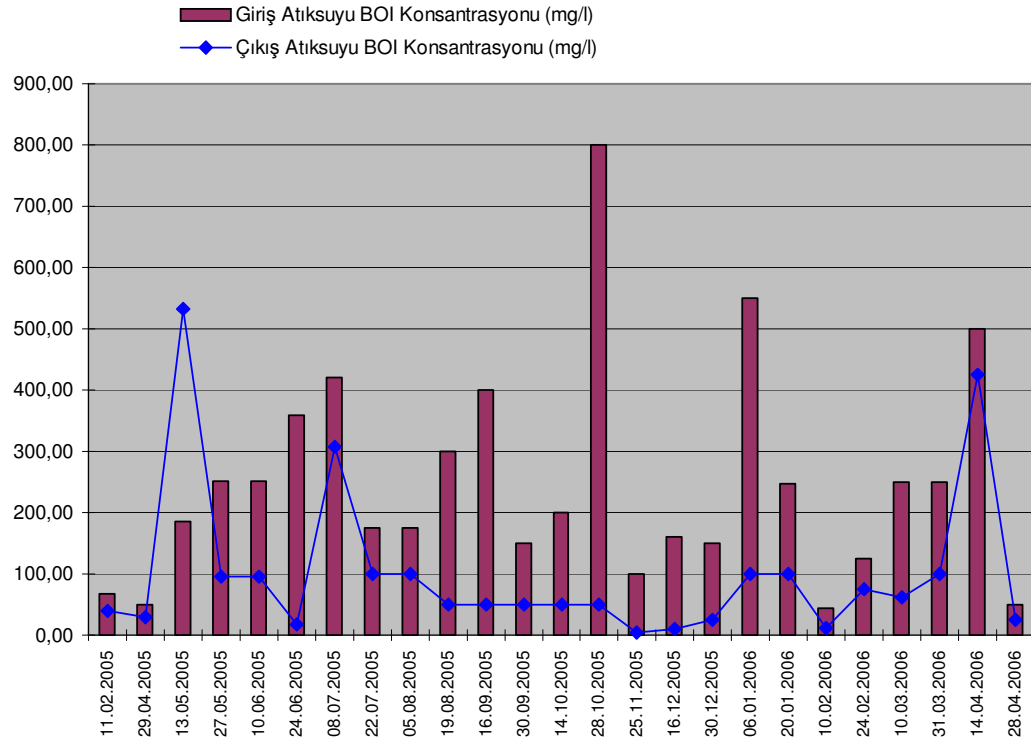
Türkiye’de yürürlükte olan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY, 1988), alıcı ortamlara evsel atıksu deşarjları için yalnızca konvensiyonel parametreler (BOI₅, KOI, AKM) için sınırlamalar getirmiştir. Bu standartlar Tablo 5.1 ve 5.2’de verilmiştir. Oysa yüzeysel sulara deşarj edilen atıksuların içindeki azot, fosfor parametreleri de, yüzeysel sulara ötrofik değerlerin kontrol edilebilmesi için önemlidir. Bu nedenle, SKKY’nin, deşarj edilen atıksularda azot ve fosfor parametreleri için de kısıtlamalar getirmesi gerekmektedir.

OECD’nin indeksinde trofik göllerde, ötrofikasyon kontrolü için aşılmaması gereken sınır değerler; TP için 0,08 mg/l, TN için 1,9 mg/l, klorofil-a parametresi için 14 mg/l, secchi derinliği ise 2,4 m.’den fazla olmaması koşulu getirilmiştir (USEPA, 2000). Avrupa Birliği Çevre Politikasında önemli noktalardan bir tanesi de kentsel atıksu arıtımını da içeren 21 Mayıs 1991 tarihinde yürürlüğe giren Council Direktifidir. Bu direktifte öncelikli olarak, hassas bölgelerin tanımlaması yapılmış ve bu bölgelere deşarj edilen atıksularda, konvensiyonel parametreler haricinde azot ve fosfor parametreleri içinde sınırlamalar getirilmiştir (EEC, 2001). Direktifin deşarj standartları Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’te verilmiştir. Buna göre hassas bölgeler; “Ötrofikasyona maruz kalmış veya koruyucu önlem alınmadığı takdirde yakın gelecekte maruz kalma tehlikesine sahip doğal göller, diğer tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı bölgeleri veya gerekli önlem alınmazsa 50 mg/l’den daha fazla nitrat içeren yüzeysel tatlı su kaynakları veya diğer AB direktiflerine uyulması için ileri derecede iyileştirme gerektiren bölgeler” olarak tanımlanmaktadır.

Türkiye’de de, Uluabat gölü ve bu kapsamdaki ekolojik öneme sahip kesimler için, Avrupa Birliği direktiflerinde olduğu gibi, yasal düzenlemelerle “hassas bölge” tanımı yapılmalıdır. Bu yasal düzenlemeler çerçevesinde, hassas bölge olarak tanımlanan bölgelere, deşarj edilen atıksular içindeki azot ve fosfor parametreleri için sınırlamalar getirilmelidir. Bu sayede yüzeysel sulara ötrofikasyon kontrol edilebilecektir.

1.3. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Giderim Verimi

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), aerobik koşullarda mikroorganizmaların, sudaki organik maddeleri parçalamaları için gerekli oksijen miktarı olarak tanımlanmaktadır. BOİ parametresi biyolojik olarak ayrışabilen organik maddelerin toplamını gösteren kolektif bir parametredir. Organik moleküller, örneğin insan atıklarında bulunan ve diğer maddeler, çürümeleri boyunca büyük miktarda oksijen gerektirirler. BOİ, doğal sular içinde, oksijene ihtiyaç duyan balıkları ve vahşi hayatı olumsuz etkiler. Bir yapay sulakalan içinde toprak, taş, kırılmış kaya parçalarından oluşan malzeme içinden geçerken BOİ'nin çoğu mekanik olarak filtre edilecek, çözülmüş BOİ ise mikroorganizmalar tarafından alınacaktır. Mikroorganizma kolonileri, oksijene gerek duydukları için bitki köklerinin yüzeyinde, bitki fotosenteziyle yaptığı oksijenin mevcut olduğu yerlerde ve köklerinde oksijen transfer edilen yerlerde bulunmaktadır. Şekil.4.7'de BOİ parametresinin giriş ve çıkış konsantrasyon değerleri verilmiştir.



Şekil 4.7. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki BOİ parametrelerinin konsantrasyon değişimi

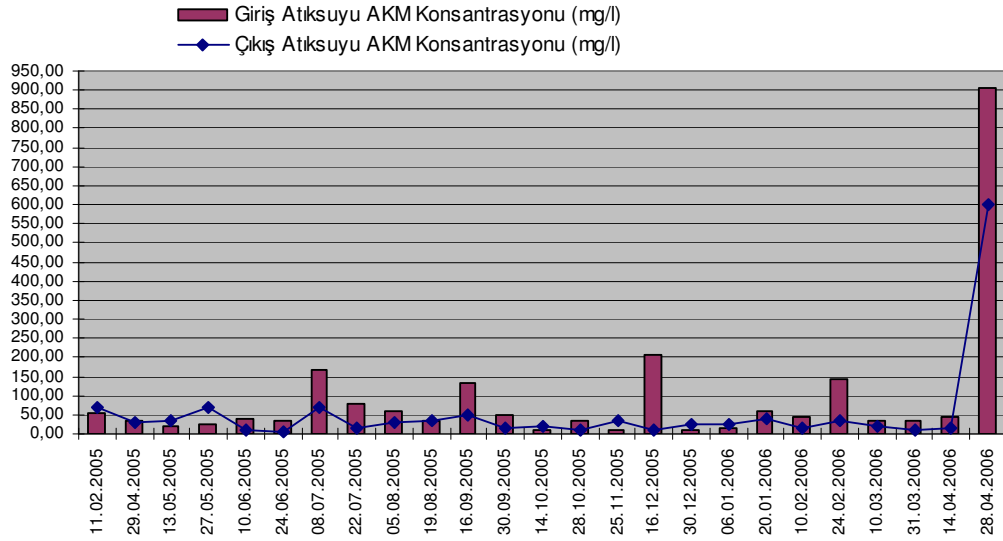
BOI çıkış konsantrasyon değerlerinin, giriş BOI yüklerinden, yağışların atıksuyu seyreltmesinden ve mevsimsel farklılıklardan etkilendiği düşünülmektedir. BOI giderim veriminin en yüksek olduğu mevsim sonbahar mevsimidir. Giderim verimi, bu dönemde %77-95 arasında iken diğer dönemlerde %30-80 arasında değişmektedir. Elde edilen bu sonucun, sonbahar döneminde yağışların artarak sistem içindeki oksijen konsantrasyonunun artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu dönemde, yatakta aerobik parçalanma için gerekli olan oksijen difüzyonu daha rahat sağlanabilmektedir.

Sulakalan sistemlerinde, bitki köklerinin ortamı oksijenlendirmesi, BOI gideriminde rol oynayan önemli bir faktör olup, bitkilerin kendi gelişimleri için kökleri ile aldıkları organik maddelerin miktarı, biyolojik parçalanma ile giderilen organik maddelerin miktarı ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeydedir (Watson ve diğ., 1989). DAYS sisteminde, bitki topluluğunun kök sistemlerinin gelişmeye başlamasının birinci senesi olduğu bir başka deyişle, kök sistemleri yeni gelişmeye başladığı için, sistemde, BOI gideriminin, daha baskın olduğu düşünülen biyolojik parçalanmadan kaynaklandığı düşünülebilir.

1.4. Katı Madde Giderim Verimi

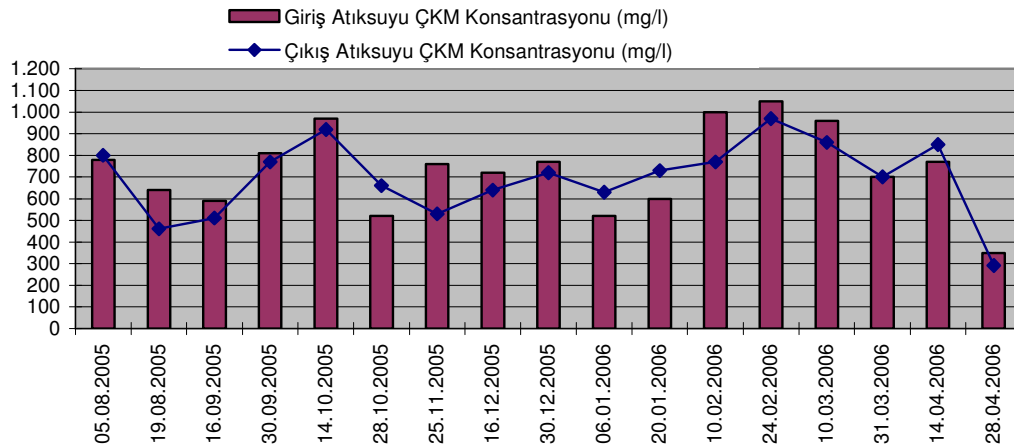
DAYS sistemlerinde, toplam katı madde giderimini etkileyen parametreler, hidrolik ve mikrobiyolojik özelliklerdir. Organik katı madde giderimi esas olarak malzemede veya yüzeyinde sırayla aerobik veya anaerobik mikrobiyal ayrışma devamında meydana gelen filtrasyon yoluyla olmaktadır. Askıda organik maddelerin çökmesi, atıksuyun içindeki BOI'nin azalmasına büyük katkıda bulunmaktadır. Yurtdışında yapılan çalışmalarda atıksuda katı madde konsantrasyonunun yaklaşık %75'inin DAYS sisteminin ilk çeyreğinde tutulduğu gözlenmiştir. DAYS sistemlerde genellikle dipteki çoğunlukla ölü bitki tabakasının oluşturduğu katmanda, bitkilerde, toprak partiküllerinin yüzeyindeki filmlerde veya çamurdaki mikroorganizmalar çözünmüş veya askıda organik maddeyi ayrıştırırlar (Manios ve diğ., 2003).

Katı madde formlarının DAYS sistemi girişi ve çıkışında bulunan konsantrasyonları Tablo 7.1.'de verilmiştir. Şekil.4.8'de AKM, Şekil 4.9.'da ÇKM ve Şekil 4.10.'da ise TKM konsantrasyonlarının giriş ve çıkış atıksuyundaki değişimleri verilmiştir.

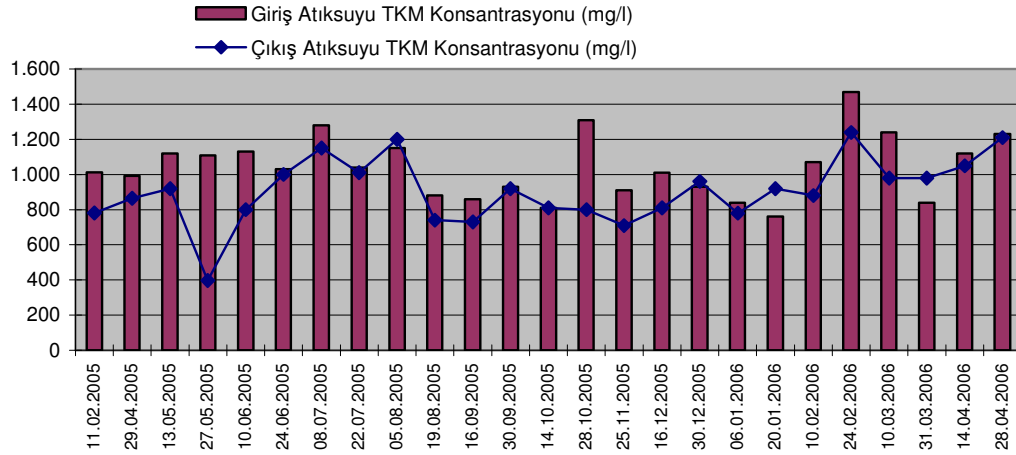


Şekil 4.8. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki AKM parametrelerinin konsantrasyonu değişimi

AKM giderim verimi sene içerisinde mevsimlere göre değişmektedir. En yüksek AKM giderim verimi ilkbahar ve yaz aylarında elde edilmiş olup %50-85 arasında değişmektedir. Sistemde ÇKM ve TKM giderim verimleri ise düşük seyretmekte olup sırasıyla %10-30 ile %10-45 arasında değişmektedir.



Şekil 4.9. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki ÇKM parametrelerinin konsantrasyonu değişimi



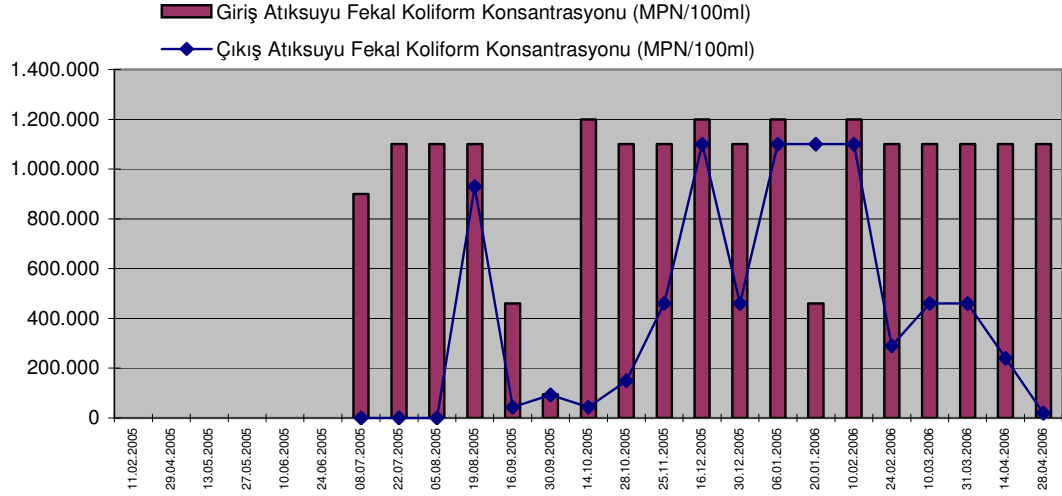
Şekil 4.10. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki TKM parametrelerinin konsantrasyonu değişimi

AKM giderim verimi, özellikle yağışların arttığı sonbahar ve kış dönemlerinde oldukça düşmüştür. Bu dönemlerdeki giderim verimi düşüşünün, yağışlarla beraber gelen katı maddelerin, sistem çıkışında AKM konsantrasyonunu arttırması nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Şiddetli yağışlardan sonra gözlenen, çıkışta AKM konsantrasyonlarının artışları, sulakalan yatakları içerisinde tutulamayan katı maddelerin, yatak yüzeyinde biriken çamur, bitki mineralizasyonundan geriye kalanlar ile yatak içinde bulunan alg, fungi ve bakterilere ait ölü hücrelerin, yağmur ve kar suyunun etkisi nedeni ile yataklardan dışarı atılması ile açıklanabilir (IWA, 2000). Zamanla, sulakalan yatakları içinde tutulan katı maddelerin birikmesi sonucunda, yataklarda tıkanmalar meydana gelebilir. Bu bölgesel tıkanıklıklar hidrolik iletkenliği azalttığından yüzeyaltı sulakalanlarda taşkınlara neden olabilir (Reed ve Brown, 1995). İncelediğimiz DAYS sisteminde, yağışlı dönemlerde üçüncü hücrede meydana gelen taşkınlara, yataktaki dolgu malzemeleri arasındaki gözeneklerde tutulan katı maddelerin birikmesi ile tıkanmasından kaynaklandığı düşünülebilir.

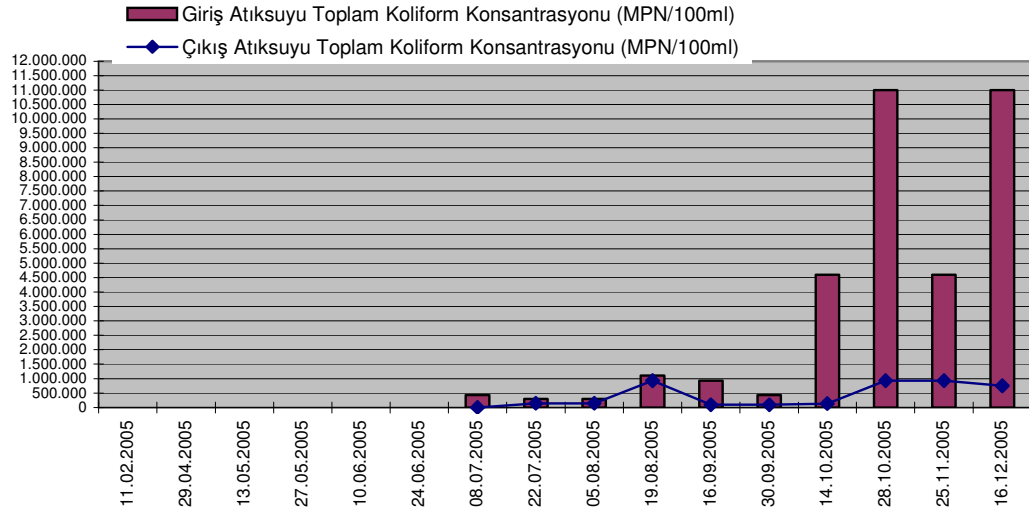
1.5. Koliform Giderim Verimi

Sistemde patojenler, sıcaklık, çürüme, sedimentasyon ve çakıl ve bitki kökleri üzerindeki biyolojik filmlerle yüzeye çekilme yoluyla azalmaktadır. Ayrıca patojenler, sistemde doğal ölümler ve bitki köklerinden salgılanan toksik antimikrobiyal maddeler ile de azalmaktadırlar (Nokes ve diğ., 2003). Sistemde bakteri azalmasının, organik

madde içeriğinin azalmasına bağlı olduğu, aslında bitkilerle doğrudan bir ilişkisinin bulunmadığı bildirilmektedir. Diğer taraftan, su içerisinde bozunan bitkilerin besin sağlaması bakterilerin artmasına ve sistemde devamlılıklarına katkıda bulunmaktadır (Gopal, 1999).



Şekil 4.11. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki FK parametrelerinin konsantrasyonu değişimi



Şekil 4.12. DAYS sisteminde giriş ve çıkış atıksuyundaki TK parametrelerinin konsantrasyonu değişimi

Şekil 4.11.'de fekal koliform (FK), Şekil 4.12'de toplam koliform (TK) parametrelerinin giriş ve çıkış atıksuyundaki konsantrasyonları verilmiştir. Atıksu içerisinde TK ve FK değerleri benzer şekilde hareket etmektedirler. Sistemde fekal ve toplam koliform giderim verimleri arasında çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Koliform giderimi verimi %60-70 olarak bulunmuştur. Koliform gideriminde en fazla giderim verimi ~%85 olarak sonbahar döneminde elde edilmiştir. Sonbahar ve kış döneminde, sıcaklıkların azalması ile birlikte sistemde koliform giderimi de artmış, ilkbahar ve yaz dönemlerinde sıcaklıkların artması ile birlikte koliform giderim veriminin düştüğü düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırma, Eskikararağaç köyü evsel atıksularını arıtan DAYS sisteminin bir sene boyunca su kalitesini iyileştirme verimliliği üzerindeki etkisini belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar, doğru bir şekilde tasarlanan DAYS sistemlerinin Türkiye’de ikincil ve üçüncül atıksu arıtımında başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu uygulama, Bursa bölgesinde uygulanan ilk pilot uygulama olması nedeniyle, bu tip arıtma sistemlerinin bölge koşullarında uygulanabilirliğinin gösterilmesi açısından örnek bir çalışma olmuştur.

DAYS sistemi konvensiyonel arıtma tesislerine göre düşük inşaat, işletme ve bakım masrafları gerektirmektedir. Bu avantajlarının yanında sistemde, BOI ve AKM parametrelerinde sırasıyla, ~%75 ve ~%80 giderim verimleri elde edilmiştir. DAYS sistemi, BOI parametresi için %86 ve AKM parametresi için %70 giderim değerleri için tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre projede hedeflenen değerlere ulaşılmıştır.

İncelenen DAYS sisteminde, yeterli düzeyde amonyak azotu giderilemediği görülmektedir. Bu yetersizliğin yatak profilindeki oksijen eksikliğinden ve nitrifikasyon reaksiyonlarının tamamlanması için bekleme zamanının kısa olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Sistemde bekleme süresini arttırmak, fazla alan gerektireceğinden uygulanabilir bir yöntem olmayacaktır. Bitki topluluklarının gelişimlerinin ilk senesi olduğu için, kök zonları yeterince gelişmemiştir. Zamanla kök sisteminin gelişmesi, dolgu malzemesinin stabil hale gelmesi ve nitriye bakterilerin artması ile daha verimli NH₃-N gideriminin gerçekleşebileceği beklenmektedir.

Sistemde, fosfor giderimi, tasarım parametresi olarak alınmamıştır. Buna rağmen sistemde ortalama, %40-60 oranında fosfor giderim verimi elde edilmiştir. Sistemde, kış mevsiminin son ayları ve ilkbahar mevsiminin ilk aylarında ~%80 giderim verimi elde edilmiştir.

Deşarj alanının ekolojik bir öneme sahip olması nedeniyle, atıksu deşarj standartlarının, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY, 1988) değerlerini sağlaması özenle dikkat edilmesi gereken bir konudur. Tablo.5.1’de SKKY, Tablo 21.1’deki değerler, Tablo.5.2’de SKKY, Tablo 21.5’deki değerler verilmiştir. Bu tablolarda yer alan değerler ile sistem çıkışında atıksu değerleri kıyaslandığında, çıkış suyu pH değeri ve AKM konsantrasyon değeri yönetmelik değerlerini sağladığı, KOİ ve BOI

parametrelerinin çoğu zaman yönetmelikte belirtilen limit değerleri aştıkları görülmektedir.

Tablo 5.1. Evsel nitelikli atıksular (sınıf 1: kirlilik yükü ham BOI olarak 5-60 kg/gün arasında, nüfus =84-1000) (SKKY, Tablo 21.1, 2004)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
BOI ₅	(mg/L)	50	45
KOI	(mg/L)	180	120
AKM	(mg/L)	70	45
pH	-	6-9	6-9

Tablo 5.2. Evsel nitelikli atıksular (eşdeğer nüfusun ne olduğuna bakılmaksızın doğal arıtma (yapay sulakalan) ve stabilizasyon havuzları sistemiyle biyolojik arıtma yapan kentsel atıksu arıtma tesisleri için) (SKKY,Tablo 21.5, 2004)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
BOI ₅	(mg/L)	75	50
KOI	(mg/L)	150	100
AKM	(mg/L)	200	150
pH	-	6-9	6-9

Eskikaraağaç köyü DAYS sisteminde, arıtıma tabi tutulduktan sonra deşarj edilen atıksular, Ramsar sözleşmesi kapsamında ekolojik açıdan önemli bir sulakalan olan, Uluabat gölüne deşarj edilmektedir. Avrupa Birliği'nde 2001 tarihinde yürürlüğe girmiş olan Council Direktifinde, ötrofikasyona maruz kalmış veya kalabilecek yüzeysel sular "Hassas Bölge" olarak tanımlanmış ve bu bölgelere verilen deşarj sularında azot ve fosfor parametreleri için kısıtlama yapmışlardır. Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.'te yüzeysel sulara deşarj standartları verilmiştir. Türkiye'de Uluabat gölü ve bu kapsamda ekolojik öneme sahip kesimler için, Avrupa Birliği direktiflerinde olduğu gibi, yasal düzenlemelerde hassas bölge tanımı yapılmalı ve yasal düzenlemeler çerçevesinde deşarj edilen atıksular içindeki azot ve fosfor parametreleri için sınırlamalar getirilmelidir. Bu sayede yüzeysel sulara ötrofikasyon kontrol altında tutulabilir.

Tablo 5.3. Kentsel atıksu arıtma tesislerinden alıcı ortama deşarj standartları (EEC, 2001)

Parametre	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum Arıtma Verimi (%)
BOI ₅	25	70-90
KOI	125	75
TKM	35 (N>10000)	90
	60 (10000<N<100000)	70

Tablo 5.4. Kentsel atıksu arıtma tesislerinden Ötrofikasyon tehlikesi olan hassas bölgelere deşarj standartları (EEC, 2001)

Parametre	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum Arıtma Verimi (%)
TP	1 (N>10000)	80
	2 (10000<N<100000)	
TN	10 (N>10000)	70-80
	15 (10000<N<100000)	

Tablo 5.3.'de Avrupa Birliği direktifinde yer alan kentsel atıksu arıtma tesisinden deşarj edilebilecek atıksularda konvensiyonel parametrelerin konsantrasyonları, Tablo 5.4.'de ise ötrofikasyon tehlikesi olan hassas bölgelere deşarj edilebilecek atıksular içindeki azot ve fosfor konsantrasyonları ile minimum arıtma verimleri verilmiştir. DAYS sisteminde giderim verimini, Tablo 5.3. ve Tablo 5.4'e göre değerlendirilirse, TN, TP, BOI, KOI ve TKM değerlerinin çoğu zaman deşarj standartlarını aştığı görölmektedir. DAYS sisteminde minimum arıtma veriminin dönemsel olarak değiştii fakat bazı dönemlerde yakalandığı görölmektedir.

DAYS sisteminden fosfor giderim mekanizmalarında, yatakta kullanılan dolgu malzemesinin içeriğindeki kalsiyum, aliminyum ve demir içeriği de önemlidir. Sistemden fosfor giderim mekanizmaları hakkında daha fazla bilgi sahibi olabilmek için, ileride yapılacak çalışmalarda, malzemenin kalsiyum, aliminyum ve demir içeriği de belirlenmelidir.

Arıtma verimliliği üzerindeki etkinliğini değerlendirebilmek için, sistemin inşaat aşamasından önce, bu sistemlerde dolgu malzemesinde kullanılan malzemelerin, hidrolik iletkenliği (ks) ve gözenekliliği (n) laboratuvar koşullarında test edilmelidir.

Sistemde, BOI giderim verimi, sonbahar döneminde %77-95 ile en yüksek değer elde edilmiştir. Bu dönemde, yatakta yağışlarla birlikte oksijen konsantrasyonunun arttığı, aerobik parçalanma için gerekli olan oksijen difüzyonu daha rahat sağlanabildiği düşünülmektedir.

Koliform gideriminde de en fazla giderim verimi ~%85 ile sonbahar döneminde elde edilmiştir. Bu dönemde sıcaklıkların düşmesi, çürüme, sedimentasyon ve dolgu malzemesi ve bitki kökleri üzerindeki biyolojik filmlerle yüzeye çekilme yoluyla koliformların azaldığı düşünülmektedir.

Sağlıklı bir şekilde sisteme verilen ve sistemden çıkan atıksu hacmini belirleyebilmek için; foseptikten çıkış borusuna ve havuzlardan çıkışta arıtılmış atıksuları toplayarak toplama yapısına dökülen boruya debimetre yerleştirilmesi önemlidir. Hatta ilerleyen zamanlarda yapılacak çalışmalarda, bu sistemlere, bahsi geçen borulara ilave olarak, atıksuyu havuzlara dağıtan ve havuzlardan arıtılmış atıksuları toplayan borulara da debimetre takılması daha ayrıntılı bilgi edinilebilmesi ve havuzların performanslarının birbirlerinden bağımsız olarak değerlendirilebilmesi için, havuzların giriş ve çıkış borularından ayrı ayrı numune almaya olanak verecek şekilde boru uçlarının bağımsız yerleştirilmesi önemlidir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, DAYS sisteminin inşasının ve bitki gelişiminin ilk senesi olduğundan bize, sistemin gerçek performansını vermeyebilir. Sistemin su kalitesini iyileştirmedeki verimliliğinin zamanla daha da artması beklenmektedir. Bu nedenle bundan sonraki senelerde de sistemin belirli aralıklarla, görsel ve işlevsel açıdan, yetkili kurumlar ve/veya kişiler tarafından takibinin yapılması sistem performansının gerçek değerlerini elde edebilmek açısından önemlidir.

İyi tasarlanmış, düzgün ve doğru olarak inşa edilmiş bir DAYS sistemi, yataklara eşit atıksu yüklemelerinin dağıtılabilmesi ve bunun sonucunda sistemin su kalitesini iyileştirmesi açısından son derece önemlidir. Sistem inşası sırasında hücrelerin zemin kodu seviyelerinin, giriş borularının zemin kodu seviyelerinin dikkatli inşa edilmesi gerekir. Sistem tabanından zemine sızıntı olmaması ve atıksuyun sistem içerisinde kalabilmesi için geçirimsiz tabakanın özenle yerleştirilmesi gerekmektedir.

Geçirimsiz tabaka üzerine yerleştirilen kaya parçalarının membran tabakasını delmesi ihtimalinin önlenmesi için bu bölgelerde zemin kum ile yumuşak bir hale

getirildikten sonra membran tabakası ile sistem kaplanmalı ve üzerlerine çakıl malzemeleri dökülmelidir.

DAYS sisteminin üç hücresine de aynı zamanda ve eşit büyüklüklerdeki bitkilerin ekilmesine rağmen, üçüncü hücredeki bitkiler düzenli gelişme gösterdikleri halde birinci hücrede bitki gelişimi çok azdır. Zemindeki kod farklılığı nedeniyle hücrelerin, farklı atıksu yüklemesine maruz kaldıkları bunun sonucunda hücrelerde farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerin gerçekleştiği düşünülebilir. Bu durum hücrelerdeki bitki topluluklarının farklı gelişmesine neden olacaktır. Üçüncü hücrede bitki büyümesinin aşırı gelişip, birinci hücrede bu gelişimin çok yavaş olması bu sebeplerle bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Hücrelerdeki bu zemin kodu farklılığı DAYS sisteminde hücrelere dağılan giriş borularının kod seviyelerinin yükseltilip alçaltılması ile hücrelerin dengelenmesi sağlanabilir.

Sistemde, koku ve sinek probleminin olmadığı gözlenmiştir. Bu noktada, numune alımı için sisteme her gidildiğinde aynı zamanda bölgede yaşayan kişilerle de görüşülmüştür. Böyle bir problemle karşılaşmadıklarını belirtmişlerdir.

Sistemde çıkış toplama yapısında bulunan dirsekli, ayarlanabilir kollu borularla yataktaki su seviyesi ve/veya bekleme zamani kontrol edilebilmektedir.

Sistemin etrafının çitlerle çevrilmesi, sisteme hayvanların girişini ve yetkili kişiler dışındaki kişilerin sisteme girişini önleyerek sistemin zarar görmesini engelleyecek ve aynı zamanda sistemin insanlarla da temas etme riskini ortadan kaldıracaktır.

Yurtdışında yapılmış olan çalışmalarda, genelde DAYS sistemlerinin inşası sonbahar döneminde tamamlanmış, bu dönemi izleyen ilkbahar mevsiminde bitki ekimleri yapılmış, sistem inşasını takip eden birkaç ay için sistem stabilize olması ve kök hücrelerin gelişimleri için dinlenmeye bırakılmıştır. Dinlenme döneminden sonra sisteme atıksu kademeli bir şekilde artırılarak verilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada incelenen DAYS sisteminde, atıksu içerisinde izlenen parametrelerde giderim gerçekleşmektedir. Ancak sistem, sürekli ve düzenli olarak izlenmelidir. DAYS sistemi, 2034 yılında Eskikaraağaç köyünün nüfusunun 910 kişiye artacağı tahmin edilerek mevcut sisteme ilave DAYS sistemi tasarlanmıştır. 2034 yılı için tasarım parametreleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Yukarıda belirtilen noksan hususların ileriki dönemlerde yapılacak sistemlerde göz önüne alınması, sistemin etkinliğini artıracak ve bu sistemlerde yapılacak araştırmaların daha etkili bir şekilde takip edilmesi için çok yararlı olacaktır.

Yapay sulakalanlar da, doğal sistemler gibi değişik iklim ve bitki türlerine bağlı olarak buharlaşma ve terleme olayları ile atıklardan su kaybı sağlarlar. Böylece çevrede bulunan, geniş sulakalan arıtma hücreleri bölgeye düşün yağışı da artıracaktır. Bu sistemler, buldukları bölgelerde hidrolojik rejimi ve iklimi düzenlerler. Türkiye, bulunduğu coğrafi konum ile sulakalan yönünden zengin bir ülkedir. Bu nedenle uygun şartların sağlanabildiği yerlerde, atıksuların yapay sulakalanlarda arıtımı oldukça verimli olacaktır. Sulakalanların atıksu arıtımında kullanılmasıyla hem çevresel açıdan koruma sağlanmış olacak hem de ekonomik anlamda yarar elde edilebilecektir.

6. KAYNAKLAR

Aguirre, P., Ojeda, E., Garcia, J., Barragan, J., Mujeriego, J. (2003). "Effect of Water Dept on The Removal of Organic Matter in Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands, sy.1-10

Arceivala, S., J. (2002). "Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Artımı", Türkçe Birinci Baskı, sy.333-344.

Ateş, N., Özesmi, U. (2001). "Atıksu Arıtımında Sulakalan Kullanımı", SKKD Cilt 11, sayı 3, sy.39-54.

Börner, T., von Felde, K., Gschlössl, E., Gschlössl, T., Kunst, S., and Wissing, F.W. (1998). "Germany", Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe, Ed. Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., and Haberl, R., Backhuys Publishers, Netherlands

Brix, H. (1993). Wastewater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removalprocess and Treatment Performance", Constructed Wetlands for Quality İmprovement, Ed. Gerald A. Moshiri, Crc Press, İnc.

Brix, H. (1998). "Denmark". Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe,ed. Vymazal, J, Brix,h,Cooper,P,F ve Haberl, R, Backhuys Publishers, Netherlands.

Brix, H. (1999). "How Green are Aquaculture, Constructed Wetlands and Conventional Wastewater Treatment Systems", Water Science and Technology, 40(3),40-50.

Çevre ve Orman Bakanlığı. (2005). "Sulakalanlar"
(http://stu.inonu.edu.tr/3cevre/sulak_alanlar.htm)

Onsite Waste Water Demonstration Project
(<http://www.cet.nau.edu/Projects/WDP/resources/treatmentsyst/Wetland.htm>)

EEC. (1991). Urban Wastewater Treatment Directive 91/271/EEC, Council Directive of 21 May 1991 Concerning Urban Waste Water Treatment (91/271/EEC), Environment Directorate-General of the European Commission.

Erdem, O. (2004). Sulakalanlar, Önemi, Türkiye'nin Uluslararası Öneme Sahip Sulakalanları, KAD Sulakalan Program Müdürü, Haber Express Gazetesi, 28.02.2004 Tarihli "İzmir Gediz Deltası Ve Kuşları" Eki, sy.1

EPA. "www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf"

EPA. (1993). "Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment"
(<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/sub.pdf>)

EPA. (2000). "Wastewater Teknology Fact Sheet. Wetlands: Subsurface Flow"
(http://www.epa.gov/owm/mtb/wetlands-subsurface_flow.pdf)

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

Haberl, R., Perfler, R., Laber, J. ve Grabher, D. (1998). „Austria“, *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*, Ed. Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., and Haberl, R., Backhuys Publishers, Netherlands

IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, 2000. "Constructed Wetlands for Pollution Control- Processes, Performance, Design and Operation, Scientific and Technical Report." no:8. Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Haberl, R. (eds), International Water Association, London.

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

Maehlum, T. ve Jessen, P.D. (1998). "Norway", *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment Europe*, Ed. Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., and Haberl, R., Backhuys Publishers, Netherlands.

Manios, T., Stentiford, E., Í., Millner, P. (2003). "Removal of Total Suspended Solids from Wastewater in Constructed Horizontal Flows Subsurface Wetlands", *Journal of Environment Science and Health, Part A- Toxic Hazardous Substances & Environmental Engineering*, vol.A 38, no.6, pp.1073-1085.

Mitsch, W.J. (1992). "Landscape Dizayn and the Role of Created, Restored, and Natural Riparian Wetlands in Controlling Nonpoint Sources Pollution". *Ecological Engineering*, 1(1992): 27-47.

Nokes, R., L., Gerba, C.P., Karpiscak, M.M. (2003). "Microbial Water Quality Improvement by Small Scale On-Site Subsurface Wetland Treatment", *Journal of Environment Science and Health, Part A- *pToxic Hazardous Substances & Environmental Engineering*, vol.A38, no.9, pp.1849-4855.

Pant , H.K., Reddy, K.R., Lemon, E. (1995). "Phosphorus Retention Capacity of Root Bed Media of Subsurface Flow Constructed Wetlands". *Ecological Engineering*, Vol: 17(4), 345-355.

Reed, S.C., Brown, D. (1995). "Subsurface Flow Wetlands- A Performans Evaluation". *Water Env. Research*, Vol: 67

Reed, S.C. (1991). "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment", *Biocycle*, v.1,44-49

Tayade, S. T., Ojha, A.R., Kumar, R., Singh, R.N. (2005). "Feasability Study of Constructed Wetland for Treatment of Municipal Wastewater." (www.eco.web.com/editorial/06909.html.)

Toprak, H. (1999). "Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:240, 3. Baskı, Cilt-1, sy. 12.68-12.69

USEPA. (2000). "Nutrient Criteria Technical Guidance Manual. Lakes and Reservoirs", United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

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

Water Recycling. (2006). "<http://www.waterrecycling.com/constwetlands>.

Watson, J.T., Reed, S.C., Kadlec, R.H., Knight, R.L., Whitehouse, A.E. (1989). "Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands". In: Hammer, D.A.(Ed), Constructed Wetlands for Wastewater Treatment Treatment, Michigan.

7. EKLER

Çalışmanın uygulama aşamasında, 29.04.2005 tarihinden 28.04.2006 tarihine kadar Eskikaraağaç köyünün evsel atıksularını arıtan, dip akışlı yapay sulakalan (DAYS) sisteminin atıksu kalitesi üzerindeki verimliliği incelenmiştir. Bu amaçla sistemin giriş ve çıkış noktalarından alınan numunelerde atıksu kalitesini etkileyen parametrelerin analizleri yapılmıştır.

Bu bölümde, ölçülen parametrelerin analiz sonuçları verilmiştir. Alınan numunelerde; sıcaklık (T), pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), çözülmüş oksijen (ÇO), askıda katı madde (AKM), çökelen katı madde (ÇKM), toplam katı madde (TKM), amonyum azotu (NH₄-N), nitrat azotu (NO₃-N), toplam azot (TN), orto fosfat (PO₄-P), toplam fosfat (TP), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), fekal koliform (FK), toplam koliform (TK) parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 7.1. ve Tablo 7.2.'de verilmiştir.

Ayrıca, DAYS sisteminin, inşaatından itibaren farklı dönemlerde çekilmiş birkaç fotoğrafı da bu bölümün sonuna eklenmiştir. Fotoğraf 1.'de DAYS sisteminin inşaatı aşamasında, yeraltı suyuna sızıntıyı önlemek için serilen geçirimsiz malzemenin görünümü, Fotoğraf 2.'de DAYS sistemi giriş atıksuyu toplama haznesinin görünümü, Fotoğraf 3.'de DAYS sisteminin dört bölmeli foseptik haznelerinin görünümü, Fotoğraf 4.'de DAYS sistemi çıkış atıksuyu toplama haznesinin görünümü, Fotoğraf 5.'de DAYS sistemi, çıkış atıksuyu toplama haznesi içerisindeki dirsek borularla hareketlendirilmiş boruların görünümü, Fotoğraf 6.'da DAYS sistemi havuz tabanlarına boydan boya döşenen delikli boruların görünümü, Fotoğraf 7.'de üç bölmeden oluşan DAYS sistemine ekim yapılmadan önceki durumunun görünümü, Fotoğraf 8.'de atıksu verildikten sonra çıkış haznesinin görünümü, Fotoğraf 9.'da DAYS sisteminin ekim yapıldıktan hemen sonraki görünümü, Fotoğraf 10.'da DAYS sisteminin bitkiler büyüdüktan sonraki görünümü verilmiştir.

7.1. Analiz Sonuçları

Tablo 7.1. T, pH, ÇO, AKM, ÇKM, TKM parametreleri analiz sonuçları

Tarih	T (°C)		pH		Eİ (mg/l)		ÇO (mg/l)		AKM (mg/l)		ÇKM (mg/l)		TKM (mg/l)	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
11.02.2005	14,96	14,40	7,33	7,22	1800	1620	1,91	5,04	52,00	68,00			1012	782
29.04.2005	16,70	16,40	7,60	7,63	2100	1976	7,20	8,40	34,00	29,00			992	865
13.05.2005	19,85	21,45	7,56	7,58	2062	2137	0,80	4,00	20,00	36,00			1120	920
27.05.2005	21,10	21,60	7,58	7,57	2020	1847	1,24	3,20	24,00	68,00			1110	396
10.06.2005	21,90	22,70	4,54	7,51	2060	1675	0,32	0,60	40,00	8,00			1130	800
24.06.2005	23,00	23,80	7,23	7,38	2940	2680	0,26	1,62	36,00	4,00			1030	1000
08.07.2005	27,10	27,50	7,28	7,37	3210	2930	0,19	0,33	168,00	68,00			1280	1150
22.07.2005	26,00	26,40	6,66	7,13	3140	2900	0,21	2,98	78,00	16,00			1040	1010
05.08.2005	26,90	27,60	6,85	7,18	3110	3010	1,95	0,12	60,00	28,00	780	800	1150	1200
19.08.2005	24,60	25,90	7,04	7,33	2960	2800	0,86	2,07	36,00	32,00	640	460	880	740
16.09.2005	23,73	23,83	6,74	6,91	2840	2750	1,60	2,86	132,00	48,00	590	510	860	730
30.09.2005	22,76	22,50	7,11	7,13	2850	2840	0,15	3,49	48,00	16,00	810	770	930	920
14.10.2005	21,30	20,53	7,26	7,13	1464	1381	0,17	3,88	8,00	20,00	970	920	810	810
28.10.2005	18,70	19,15	7,38	7,39	1369	1391	0,22	4,04	36,00	12,00	520	660	1310	800
25.11.2005	18,30	17,15	7,21	7,32	1246	936	1,55	4,37	12,00	32,00	760	530	910	710
16.12.2005	13,43	13,25	7,15	7,23	1202	1015	0,35	2,39	208,00	8,00	720	640	1010	810
30.12.2005	15,86	15,30	7,15	7,32	1002	932	2,65	4,61	12,00	24,00	770	720	930	960
06.01.2006	15,40	14,50	7,53	7,54	1058	950	3,90	4,50	16,00	24,00	520	630	840	780
20.01.2006	13,63	11,30	7,15	7,32	708	975	1,90	1,30	60,00	40,00	600	730	760	920
10.02.2006	12,20	11,56	7,20	7,62	970	753	2,56	4,90	44,00	16,00	1000	770	1070	880
24.02.2006	14,35	14,50	7,52	7,48	1231	1191	2,60	4,08	144,00	32,00	1050	970	1470	1240
10.03.2006	14,40	14,54	7,63	7,73	1738	1644	2,70	2,75	33,71	20,00	960	860	1240	980
31.03.2006	15,00	14,90	7,53	7,42	1965	1813	1,83	3,68	32,00	8,00	700	700	840	980
14.04.2006	16,30	17,10	7,25	7,33	2180	1945	0,50	4,00	42,50	12,50	770	850	1120	1050
28.04.2006	17,20	17,40	7,19	7,06	1670	1430	2,45	3,00	908,00	600,00	348	292	1230	1210

Tablo 7.2. NH₄-N, NO₃-N, TN, PO₄-P, TP parametreleri analiz sonuçları

Tarih	NH ₄ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		TN (mg/l)		PO ₄ -P (mg/l)		TP (mg/l)	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
11.02.2005					90,95	0,00			90,95	66,30
29.04.2005	80,36	44,80	0,00	0,00	104,25	0,00	11,30	7,62	92,95	36,56
13.05.2005	62,75	40,32	0,00	0,00	104,77	0,00	8,20	5,59	96,57	36,61
27.05.2005	68,88	37,52	0,00	0,00	116,50	0,00	18,50	9,10	98,00	63,55
10.06.2005	81,20	30,80	0,00	0,00	132,25	0,00	13,50	42,90	118,75	36,75
24.06.2005	63,00	29,40	0,00	0,00	148,01	0,00	15,26	6,82	132,75	99,75
08 .07.2005	86,80	51,80	0,00	0,00	140,20	0,00	17,70	9,30	122,50	80,00
22.07.2005	92,40	56,00	0,00	0,00	90,23	0,00	3,48	2,73	86,75	29,50
05.08.2005	86,80	44,80	0,00	0,00	74,48	0,00	3,48	4,98	71,00	19,60
19.08.2005	77,56	68,80	0,00	0,00	62,70	0,00	17,90	15,90	44,80	67,00
16.09.2005	57,80	61,60	0,00	0,00	171,45	0,00	9,45	23,25	162,00	127,00
30.09.2005	84,00	64,00	0,00	0,00	94,65	0,00	12,25	5,03	82,40	33,00
14.10.2005	82,60	53,76	0,00	0,00	114,03	0,00	8,23	7,08	105,80	76,60
28.10.2005	82,32	67,76	0,00	0,00	119,33	0,00	8,93	8,13	110,40	89,00
25.11.2005	68,60	42,00	5,60	11,20	127,20	0,00	7,45	3,30	119,75	62,25
16.12.2005	66,64	37,80	0,00	0,00	111,33	0,00	11,08	10,98	100,25	82,50
30.12.2005	10,36	13,34	0,00	0,00	48,92	0,00	4,67	2,95	44,25	28,25
06.01.2006	12,32	13,16	1,40	0,00	85,03	0,00	5,53	4,55	79,50	62,00
20.01.2006	9,80	17,92	8,40	0,00	90,28	27,30	5,53	7,15	84,75	65,00
10.02.2006	4,20	6,16	15,68	5,32	228,75	0,00	27,50	3,04	201,25	11,60
24.02.2006	5,60	6,72	15,12	10,36	358,55	22,96	3,55	0,08	355,00	7,86
10.03.2006	7,84	6,44	16,80	7,28	338,35	0,00	3,35	0,47	335,00	46,80
31.03.2006	14,84	10,08	0,00	0,00	98,13	0,00	21,13	0,50	77,00	23,00
14.04.2006	29,96	12,60	0,00	0,00	166,85	0,00	12,45	7,65	154,40	107,20
28.04.2006	42,56	22,12	0,00	0,00	67,90	31,50	20,81	14,67	251,50	124,50

Tablo 7.3. BOI, KOI, FK, TK parametreleri analiz sonuçları

Tarih	BOI (mg/l)		KOI (mg/l)		FK (MPN/100ml)		TK (MPN/100ml)	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
11.02.2005	67,20	40,32	96,00	57,60				
29.04.2005	50,00	29,00	72,00	41,60				
13.05.2005	185,00	532,00	264,00	760,00				
27.05.2005	252,00	95,00	556,00	361,99				
10.06.2005	252,10	95,24	360,00	136,00				
24.06.2005	359,00	17,00	512,00	240,00				
08.07.2005	420,00	308,00	600,00	440,00	900.000	0	430.000	0
22.07.2005	175,00	100,00	704,00	697,00	1.100.000	0	290.000	150.000
05.08.2005	175,00	100,00	304,00	288,00	1.100.000	0	290.000	150.000
19.08.2005	300,00	50,00	384,00	352,00	1.100.000	930.000	1.100.000	930.000
16.09.2005	400,00	50,00	792,00	496,00	460.000	43.000	930.000	90.000
30.09.2005	150,00	50,00	680,00	328,00	95.000	93.000	430.000	90.000
14.10.2005	200,00	50,00	1256,00	240,00	1.200.000	43.000	4.600.000	140.000
28.10.2005	800,00	50,00	664,00	616,00	1.100.000	150.000	11.000.000	930.000
25.11.2005	100,00	5,00	952,00	800,00	1.100.000	460.000	4.600.000	930.000
16.12.2005	160,00	10,00	936,00	840,00	1.200.000	1.100.000	11.000.000	750.000
30.12.2005	150,00	25,00	104,00	64,00	1.100.000	460.000	1.500.000	1.100.000
06.01.2006	550,00	100,00	640,00	528,00	1.200.000	1.100.000	4.600.000	2.400.000
20.01.2006	247,50	100,00	392,00	320,00	460.000	1.100.000	2.400.000	930.000
10.02.2006	44,80	11,20	64,00	16,00	1.200.000	1.100.000	4.600.000	4.600.000
24.02.2006	125,00	75,00	104,00	16,00	1.100.000	290.000	11.000.000	160.000
10.03.2006	250,00	62,00	512,00	50,00	1.100.000	460.000	4.600.000	2.400.000
31.03.2006	250,00	100,00	608,00	240,00	1.100.000	460.000	4.600.000	2.400.000
14.04.2006	500,00	425,00	2336,00	400,00	1.100.000	240.000	2.400.000	930.000
28.04.2006	50,00	25,00	264,00	240,00	1.100.000	19.000	11.000.000	240.000

7.2. Eskikaraağaç Köyü Dip Akışlı Yapay Sulak Sisteminin Fotoğrafları



Fotoğraf 1. DAYS sisteminin inşaatı aşamasında, yeraltı suyuna sızıntıyı önlemek için serilen geçirimsiz malzemenin görünümü



Fotoğraf 2. DAYS sistemi giriş atıksuyu toplama haznesinin görünümü



Fotoğraf 3. DAYS sistemi dört gözlü foseptik haznelerinin görünümü



Fotoğraf 4. DAYS sistemi çıkış atıksuyu toplama haznesinin görünümü



Fotoğraf 5. DAYS sistemi, çıkış atıksuyu toplama haznesi içerisindeki dirsek borularla hareketlendirilmiş boruların görünümü



Fotoğraf 6. DAYS sistemi havuz tabanlarına boydan boya döşenen delikli boruların görünümü



Fotoğraf 7. Üç bölmeden oluşan DAYS sistemine ekim yapılmadan önceki durumunun görünümü



Fotoğraf 8. Atıksu verildikten sonra çıkış haznesinin görünümü



Fotoğraf 9. DAYS sisteminin ekim yapıldıktan hemen sonraki görünümü



Fotoğraf 10. DAYS sisteminin bitkiler büyüdükten sonraki görünümü

8. TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, çalışmalarım boyunca bana yol gösteren danışman hocam Sn. Doç. Dr. Feza Karaer'e, yardımlarından ve verdikleri destekten dolayı başta Sn. Kemal Demirel, Sn. Aslan Sevi olmak üzere, çalışmalarım süresince emeği geçen bütün Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

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

9. ÖZGEÇMİŞ

Serap SARAÇOĞLU, 19.05.1980 tarihinde Eskişehir’de doğdu. İlkokulu Erzurum Kültür Kurumu İlkokulu’nda, ortaokul ve lise öğrenimini Bursa Kız Lisesi’nde tamamladı. 1998 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü’nde başladığı lisans eğitimine, 1999 yılından itibaren Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde devam ederek, lisans eğitimini tamamladı. Yüksek Lisans eğitimini, 2003 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında tamamladı.