

**ATIKSULARIN ARITIMINDA
YAPAY SULAKALAN KULLANIMI**

Esin Hande BAYRAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2008
SİVAS**

**ATIKSULARIN ARITIMINDA
YAPAY SÜLAKALAN KULLANIMI**

**Esin Hande BAYRAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Doç. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBECİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Doç. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBECİ

Üye Yrd. Doç. Dr. Bünyamin KARAGÖZOĞLU

Üye Yrd. Doç. Dr. Bülent ÜNVER



ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen üyelerine ait olduğunu onaylarım.

01...10/2008



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. H.Hüseyin BAŞIBÜYÜK

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa NO
ÖZET.....	i
SUMMARY.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. DOĞAL ARITMA SİSTEMLERİ.....	3
2.1. Doğal Arıtma Metodu.....	3
2.1.1. Stabilizasyon Havuzları.....	4
2.1.2. Arazide Arıtma Sistemleri.....	4
2.1.3. Yapay Sulakalan Sistemi.....	6
2.2. Bitkilerin Atıksu Arıtımında Kullanılması.....	12
2.2.1. Arazi Uygulama Sistemi.....	12
2.2.2. Kök Bölgesi Arıtma Sistemleri.....	13
2.3. Yapay Sulakalanların Ekolojisi.....	14
2.3.1. Bitkiler.....	14
2.3.2. Mikroorganizmalar.....	18
2.3.3. Fauna.....	19
2.4. Yapay Sulakalanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları.....	20
2.4.1. Asidik Maden Drenajının Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler.....	21
2.5. Sulakalanlarda Giderilen Kirlilikler.....	26
2.6. Yapay Sulakalanların Projelendirilmesinde Dikkat Edilmesi Gereken Parametreler.....	27
2.7. Yapay Sulakalanların Maliyeti.....	29
2.8. İşletim Detayları.....	30
3. ATIKSU ARITIMINDA BİTKİLERİN KULLANILMASI VE SUCUL YABANCI OTLAR..	32
3.1. Su Yabancı Otları ve Türleri.....	33
3.1.1. Sualtı (Batık) Yabancı Otları.....	33
3.1.2. Suüstü (Yarı Batık) Yabancı Otları.....	34
3.1.3. Yüzen Yabancı Otlar.....	34
3.2. Yapay Sulakalanlarda Yaygın Olarak Kullanılan Sucul Yabancı Otlar.....	36
3.3. Transgenik Bitki Kalıntılarının Toprak Ekolojisi Üzerine Etkileri ve Transgenik Bitkilerin Çevresel Yönetimi.....	39
3.3.1. Transgenik Bitkilerin Çevresel Etkileri.....	39
3.4. Transgenik Bitkilerin Çevresel Yönetimi.....	42
4. DÜNYA'DA ve TÜRKİYE'DE ATIKSU ARITIMI İÇİN YAPAY SULAKALAN UYGULAMALARI.....	43
4.1. Dünya'da Yapay Sulakalanlar.....	44
4.1.1. Kore, Damyang'da Yüzey Akışlı Yapay Sulakalanlarda Organik Madde, Anyon ve Metal İçeren Atıksu Arıtımı.....	45
4.1.2. Tayland'da Melas Atıksuyu Arıtımı İçin İnşa Edilmiş Sulakalan Sistemi Kullanımının Fizibilitesi.....	46
4.1.3. Tayvan'da Endüstriyel Atıksu Arıtımı İçin Pilot Ölçekli Bir Yapay Sulakalan Uygulaması.....	48
4.1.4. İspanya'da İkincil Atıksu Arıtan Gerçek Ölçekli Yüzey Akımlı İnşa Edilmiş Sulakalan Beslemesinde Organik Mikro-Kirleticilerin Arıtımı.....	48

4.1.5. Akdeniz Ülkelerinde Atıksu Arıtımı ve Gerikazanımı Amacıyla Kullanılan Yapay Sulakalanlar.....	50
4.2. Türkiye’de Yapay Sulakalanlar.....	52
4.2.1. İstanbul Teknik Üniversitesi.....	54
4.2.1.1. Biyolojik Azot Giderimi İçin Tahmini Çıkış Konsantrasyonlarının Kinetik Modellerle Açıklanması.....	56
4.2.2. ODTÜ’de Evsel Atıksu Arıtmak Üzere İşletilen Düşey Akışlı Pilot-Ölçekli Yapay Sulakalanların Arıtım Verimliliği.....	59
4.2.3. Viranşehir Yapay Sulakalan Projesi.....	61
4.2.4. Ankara-Haymana-Dikilitaş Köyü Yapay Sulakalanı.....	62
4.2.5. Paşaköy Arıtma Tesisi İçinde İnşa Edilmiş Yapay Sulakalan.....	63
4.2.6. İzmir-Torbalı-Çakırbeyli Köyü Yapay Sulakalan Tesisi.....	63
4.2.7. Ömerli’deki Baraj Suyunu Koruma Amaçlı İnşa Edilen Pilot-Ölçekli Yapay Sulakalan.....	63
4.2.8. Manisa-Akhisar-Sakarya Köyü Yapay Sulakalan Tesisi.....	64
4.2.9. Manisa-Saruhanlı-Yeni Osmaniye Köyü Yapay Sulakalan Tesisi.....	64
4.2.10. Tokat-Turhal-Kat Kasabası ve Yeniceler Köyü’ne İnşa Edilen Yapay Sulakalan Tesisi.....	64
4.2.11. Kızılırmak Deltası.....	66
4.3. Suyun Yeniden Kullanımı İçin İnşa Edilmiş Sulakalanlar.....	68
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	73
6. KAYNAKLAR.....	79
7. ÖZGEÇMİŞ.....	89

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****ATIKSULARIN ARITIMINDA
YAPAY SULAKALANLARIN KULLANIMI****Esin Hande BAYRAK****Cumhuriyet Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Çevre Müh. Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBECİ**

Günümüzde atıksular, potansiyel su kaynakları olarak görülmeye ve bu atıksular arıtılarak, elde edilen çıkış suyu kalitesine göre çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle iyi derecede arıtılmış bir çıkış suyu elde edilmek istendiğinde, klasik arıtma yöntemlerinin yanı sıra, ileri arıtım yöntemleri de kullanılmaktadır. İleri arıtım gerek yüksek yatırım ve işletme maliyetleri ve gerekse de işletim zorluğu nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir. İleri arıtımın bu dezavantajlarına karşılık su bitkileriyle oluşturulan ileri arıtım sistemleri, doğal sistemler olduğundan arazinin bol, ucuz ve işletme için kalifiye teknik personelin az olabileceği kırsal bölgelerde, fizibil bir arıtma sistemi olarak önerilmektedir. Basit bir arıtma sistemi olarak gözüke de yapay sulakalanlarda mikroorganizmalar, hayvanlar, bitkiler ve sucul ortamı çevreleyen ekolojik fazlar arasında kompleks ve bütünlüklü ilişkiler mevcuttur. Başarılı bir tasarım ve işletim için bu ekolojik ilişkilerin iyi kavranması gereklidir.

Bu çalışmada doğal arıtma, kullanılan bitkilerin özellikleri ve ayrıca Dünya’da ve Türkiye’deki bazı yapay sulakalanlarla ilgili yapılan araştırmalar incelenmiştir. Literatüre göre sulakalanlardaki arıtma verimlerinin atıksuyun karakterizasyonu, sıcaklık, sulakalan konfigürasyonu, besleme yöntemleri ve akım özelliklerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Sulakalanların arıtma mekanizmaları üzerine etkili olan en önemli kısımları dolgu malzemesi, mikroorganizmalar ve bitkilerdir. Bitkilerin atıksuların arıtılmasında kullanılmasını amaçlayan araştırmalar göstermiştir ki; bu sistemlerde arıtma verimleri oldukça yüksektir. Örneğin; bu sistemlerde arıtma verimleri %80-90 BOİ₅, KOİ ve bakteri giderimi, %92-95 AKM, %30-80 toplam azot, %20-70 toplam fosfor giderimi ve koliformların %90’ından fazlası ve fekal streptokokların %80’inden fazlasının giderildiği tespit edilmiştir. Kuruluş masraflarının da teknik sistemlere göre % 15-40, işletme masraflarının da % 20-30 daha ucuz olduğunu göstermiştir.

Anahtar Sözcükler : Yapay Sulakalanlar, Atıksular, Sucul Bitkiler, Mikroorganizmalar

SUMMARY
MSc Thesis
DOU USE OF CONSTRUCTED WETLANDS FOR
WASTEWATER TREATMENT

Esin Hande BAYRAK
Cumhuriyet University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBECI

Nowadays wastewater is viewed as potential water resource and after a treatment process, the treated water has been used in various fields regarding its influent quality. Particularly when the aim is to obtain an influent treated to a considerable degree, some advanced wastewater treatment techniques are used as well as conventional wastewater treatment methods. These advanced systems are not much preferred due to both their high investment and operational costs and operational difficulties. Despite the disadvantages the advanced wastewater treatment systems have, these treatment systems constructed with wetland plants are recommended as feasible treatment systems in rural areas where the land is abundant and cheap, and there are not much qualified staffs for running the plant. Although they may be seen as simple treatment systems, there are complex and integrated relations among micro-organisms, animals, plants and the ecological phases surrounding the wetlands. It is necessary that these ecological relations should be comprehended well for a successful design and operation.

In this study, constructed wetland treatment, the features of plants used in the systems and studies conducted on constructed wetlands in Turkey and in the World were examined. The literature findings suggest that the influent quality in wetlands vary depending on the characterization of wastewater, temperature, the configuration of wetland, effluent feeding methods and flow features. The most influential parts of the wetlands on treatment mechanisms are wetland bed-filling material, microorganisms and plants. The studies aiming at plant use in wastewater treatment have shown that the influent quality in these systems is considerably high. For example, the following removal values have been found in these systems: 80-90 % BOI₅, KOI and bacterial removal, 92-95 % AKM, 30-80 % total nitrogen and 20-70 % total phosphorus removal, more than 90 % coliform and 80 % fekal streptokok removal. The establishment costs of these systems are 15-40 % cheaper than those of technical systems and also their operational costs are 20-30 % cheaper than those of the technical systems.

Key words: Constructed wetlands, Wastewater, Wetland plants, Micro-organisms

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBECİ ve eşi Prof. Dr. Yakup CEBECİ'ye ayrıca değerli hocam Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ'ye yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmalarında büyük yardımlarını gördüğüm Öğr. Gör. Semire YOKUŞ'a, ve eşi İbrahim YOKUŞ'a, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Leyla BAYRAK ve babam Doğan BAYRAK'a ve tezin tüm aşamalarında emeği geçen herkese teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa NO
Şekil 2.1.	Yavaş Süzülme Sistemi..... 5
Şekil 2.2.	Hızlı Süzülme Sistemi..... 5
Şekil 2.3.	Arazi Üzerinden Akıtma..... 5
Şekil 2.4.	Yapay Sulakalan Örneği..... 6
Şekil 2.5.	Serbest Yüzey Akışlı Sulakalanlar..... 8
Şekil 2.6.	SYS Sistemlerinde Gerçekleşen Etkin Arıtım Mekanizmaları..... 8
Şekil 2.7.	Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulakalan..... 9
Şekil 2.8.	Yapay Sulakalanlarda Bitki Kök Bölgesinde Oluşabilecek Etkileşimler.... 15
Şekil 2.9.	Yapay Sulakalanlarda Organik ve İnorganik Maddelerin Dönüşümleri ve Giderimleri..... 18
Şekil 2.10.	Bir Aerobik (yüzey akışlı) Sulakalanın Görünümü..... 24
Şekil 2.11.	Anaerobik (yüzeyaltı akışlı) Sulakalanın Görünümü..... 25
Şekil 3.1.	Su Mercimeğiyle Oluşturulan Sistemin Şematik Gösterimi..... 38
Şekil 3.2.	Transgenik Bitkilerin Topraktaki Mikrobiyal Besin Döngüleri Üzerine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri..... 42
Şekil 4.1.	Türkiye’deki Sulakalanların Gösterimi..... 44
Şekil 4.2.	İTÜ’deki Deneysel Çalışma Düzeninin Şematik Görünümü..... 55
Şekil 4.3.	ODTÜ’de Yapılmış Olan Yüzeyaltı Düşey Akışlı Ekilmiş Sulakalan Sistemi..... 60
Şekil 4.4.	Viranşehir Sulakalan Projesindeki İki Adet Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan Modeli..... 62

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa NO
Çizelge 2.1.	Bazı Doğal Arıtma Sistemlerinin Özellikleri.....	10
Çizelge 2.2.	Türkiye’de Kurulu İşletilmekte Olan Yapay Sulakalanlar ve Özellikleri... 11	11
Çizelge 2.3.	Liebenburg Kök Bölgesi Arıtma Tesisinde Elde Edilen Arıtma Sonuçları. 14	14
Çizelge 2.4.	Sulakalanlardaki Bazı Bitki Türleri İçin Nütrient (N ve P kullanım) Depolama ve Kullanım Kapasiteleri.....	15
Çizelge 2.5.	Değişik Amaçlarla Kullanılan Ekilmiş Sulakalanlar.....	16
Çizelge 2.6.	Yapay Sulakalanlarda Bulunan Bitki Tipleri ve Arıtma Prosesindeki Fonksiyonları.....	17
Çizelge 2.7.	Sulakalandaki Giderim Mekanizmaları.....	21
Çizelge 2.8.	ABD’de Farklı Amaçlarla Kullanılan Sulakalanların Uygulama Masrafları.....	29
Çizelge 3.1.	Sualtı Yabancı Otları.....	33
Çizelge 3.2.	Suüstü Yabancı Otları	34
Çizelge 3.3.	Serbest Yüzen Yabancı Otlar.....	35
Çizelge 3.4.	Köklü Yüzen Yabancı Otlar.....	35
Çizelge 3.5.	Atıksuda Gelişen Su Mercimeği ve Su Sümbülü Dokularının Bileşenleri.. 39	39
Çizelge 3.6.	Uluslararası Yasal Düzenlemeler.....	42
Çizelge 4.1.	Değişik Tarihlerde Sulakalan Çıkışlarından Alınan Numuneler.....	53
Çizelge 4.2.	Sulakalanların Konvensiyonel Parametreler İçin Giderim Mekanizmaları. 54	54
Çizelge 4.3.	Giriş Suyu Özellikleri.....	56
Çizelge 4.4.	Hız Sabitleri ve Sıcaklık Düzeltme Katsayıları.....	57
Çizelge 4.5.	ODTÜKENT’e ait Ham Eysel Atıksuyun Karakterizasyonu.....	60
Çizelge 4.6.	Viranşehir Yapay Sulakalan Sisteminin Giriş ve Çıkış Değerleri.....	62
Çizelge 4.7.	İzmir-Torbalı-Çakırbeyli Köyü Yapay Sulakalan Sisteminin Giriş ve Çıkış Değerleri.....	63
Çizelge 4.8.	Manisa-Akhisar-Sakarya Köyü Yapay Sulakalan Sisteminin Giriş ve Çıkış Değerleri.....	64
Çizelge 4.9.	Manisa-Saruhanlı-Yeni Osmaniye Köyü Yapay Sulakalan Sisteminin Giriş ve Çıkış Değerleri.....	64
Çizelge 4.10.	Çalışmanın Yapıldığı Aylara Ait Turhal İlçesi Meteorolojik Değerleri.....	65
Çizelge 4.11.	Turhal-Yeniceler Köyü Yapay Sulakalan Giriş ve Çıkış Değerleri.....	65
Çizelge 4.12.	Turhal-Kat Kasabası Yapay Sulakalan Giriş ve Çıkış Değerleri.....	66
Çizelge 5.1.	Farklı Bölgelerde İnşa Edilmiş Sulakalan Tiplerinin Karşılaştırılması.....	76

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

		Birim
ABD	Amerika Birleşik Devletleri	[-]
AKM	Askıda Katı Madde	[mg/l]
AMD	Asidik Maden Drenajı	[-]
BM	Birleşmiş Milletler	[-]
BOİ₅	Biyolojik Oksijen İhtiyacı	[mg/l]
ÇO	Çözünmüş Oksijen	[mg/l]
ÇOK	Çözünmüş Organik Karbon	[-]
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü	[-]
Fe⁺³	Ferrik Demir	[-]
Fe⁺²	Ferros Demir	[-]
FeS	Pirotit	[-]
FeS₂	Pirit	[-]
Fe(OH)₃	Ferrik Hidroksit	[-]
HAS	Hidrolik Alıkonma Süresi	[t]
HYH	Hidrolik Yükleme Hızı	[-]
HYO	Hidrolik Yükleme Oranı	[-]
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi	[-]
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi	[-]
KHGM	Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü	[-]
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı	[mg/l]
NH₃	Amonyak	[-]
NH₃-N	Amonyak Azotu	[-]
NH₄	Amonyum	[-]
NH₄-N	Amonyum Azotu	[-]
NO₃⁻	Nitrat	[-]
NO₃-N	Nitrat Azotu	[-]
ODTÜ	Ortadoğu Teknik Üniversitesi	[-]
OYH	Organik Yükleme Hızı	[g BOİ ₅ .m ⁻² .d ⁻¹]
pH	Atıksu İçerisindeki Hidrojen İyonu Konsantrasyonu	[-]
PO₄-P	Fosfat Fosforu	[-]
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği	[-]
SYS	Serbest Yüzey Akışlı Sulakalan	[-]
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde	[-]
TMMOB-ÇMO	Türkiye Mimar ve Mühendisler Odası Birliği Çevre Mühendisleri Odası	[-]
TN	Toplam Azot	[-]
TP	Toplam Fosfor	[-]
TÜBİTAK-MAM	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi	[-]
YAS	Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan	[-]
YADS	Yüzeyaltı Düşey Akışlı Sulakalan	[-]
YAYS	Yüzeyaltı Yatay Akışlı Sulakalan	[-]
WHO	Dünya Sağlık Örgütü	[-]

1. GİRİŞ

Günümüzde hızlı sanayileşmenin bir sonucu olarak çevre kirlenmesi de büyümektedir. Atık miktarları, toplumların gelişmişlik seviyesine ve şehirlerde yoğunlaşmasına bağlı olarak hızla artmaktadır. Özellikle, sanayilerin yoğun olarak bulunduğu bölgelerde doğanın kendi kendini yenileyebilme kapasitesi aşıldığında, yoğun bir kirlilik ortaya çıkmaktadır. Bu yoğun kirlilik neticesinde mevcut ekolojik denge de hızla bozulmaktadır. İnsan, çevresiyle beraber ekolojik döngünün bir parçası olduğundan, son yıllarda dengesini bozduğu ekolojik çevrimin korunması için emek ve para sarfetmek zorunda kalmıştır. Bu nedenle uygun bir çevre korunması temin edebilmek için mühendisler tarafından minimum tüketim ve maksimum geri kazanma metodları üzerinde çalışılmaktadır (Kanat, 2007).

Çevre kirlenmesi problemleri içerisinde su ve atıksu arıtımı önemli bir kısmı oluşturmaktadır. Özellikle endüstrileşme ile birlikte bu çevre sorunları artış göstermiştir. Dünya'nın değişik yerlerinde evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımı için çok değişik teknolojiler kullanılmaktadır. Atıksu arıtımında fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal proseslerin yanı sıra biyolojik prosesler de arıtma tesisine giren giriş karakterizasyonuna ve maliyet aralığına bağlı olarak tercihen seçilmektedir.

Ülkemizde Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) 2003 yılı verilerine göre 3215 adet belediyeden, arıtma tesisi olan belediye sayısı 210'dur. Atıksuları arıtma verimlerinde %22 kadardır.

Atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan prosesler aşağıda belirtilmiştir (İspirli, 2006a):

1. Fiziksel Arıtma: Izgara, Kum Tutucu, Yağ Tutucu, Ön Çökeltme, Dengeleme Havuzu ve diğer ön arıtma prosesleri.
2. Biyolojik Arıtma: Aktif Çamur, Damlatmalı Filtre, Stabilizasyon Havuzları, Biyodisk, Doğal Arıtma ve diğer biyolojik arıtma sistemleri.
3. Kimyasal Arıtma: Kimyasal Oksidasyon, Koagülasyon, Flokülasyon ve diğer kimyasal arıtma sistemleri.
4. İleri Arıtma: Nitrifikasyon, Denitrifikasyon, Adsorpsiyon, İyon Değiştirme, Ters Osmoz, Filtrasyon ve diğer ileri arıtma sistemleridir.

Günümüzde, çeşitli yollarla kirlenmiş suları arıtmak için birçok alternatif bulunmaktadır. Bu alternatif yöntemler en basit teknolojiye kadar değişmektedir. Mühendisin amacı, arıtma sistemini seçerken maliyet ve diğer şartlar açısından en uygun teknolojiyi kullanmak ve doğal ortama en az kirlenme vermektir (Ayaz ve diğ., 2002). Özellikle düşük nüfus yoğunluğuna sahip yerleşim birimlerinde atıksuları arıtırken basit işletim koşullarına duyulan ihtiyacın ve doğal

proseslere olan ilginin artmasıyla beraber, sulakalanlar dünyanın pek çok yerinde atıksu yönetiminde ve su kirliliği kontrolünde yaygın hale gelmiştir. İnşaat, işletme ve bakım masraflarının oldukça düşük, besin tutma kapasitesinin yüksek, enerji ihtiyacının az ve çamur üretiminin düşük olduğu sulakalan teknolojileri, özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygun bir arıtma alternatifi olarak görülmektedir (Ayaz ve Akça, 2000). Alışlagelmiş arıtma sistemleri ile kıyaslandığında 1950’li yıllardan bu yana farklı tip ve büyüklükte değişik bölgelerdeki evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksuların arıtımı için yapay sulakalan (ekilmiş sulakalan) etkin olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yapay sulakalan kullanımı günümüzde kabul görmüş ekoteknoloji olarak bilinmektedir.

Yapay sulakalanda yaygın olarak kullanılan 2 tip sulakalan çeşiti bulunmaktadır. Bunlardan birisi suyun serbest bir yüzeye sahip olduğu, diğeri ise filtre yataklarına benzer şekilde yapılmış atıksuyun serbest bir yüzeye sahip olmadığı yüzeyaltı akışlı sulakalanlardır (Korkusuz ve diğ., 2005). Bu tür sulakalanlar evsel atıksuların arıtımında genel olarak; %80-90 biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), bakteri giderimi, %92-95 askıda katı madde giderimi (AKM), %30-80 toplam azot (TN), %20-70 toplam fosfor (TP) giderimi sağlamaktadır. Dünya’da ve Türkiye’de yapay sulakalanlar yukarıda belirtilen avantajları nedeniyle tercih edilmektedirler. Bu çalışmanın amacı Dünya’da ve Türkiye’de farklı atıksu karakterizasyonuna sahip olan atıksuların yapay sulakalanların konfigürasyonları ile kullanım durumunu ortaya koymak, yaygın olarak kullanılan yapay sulakalan tiplerini belirleyip avantaj ve dezavantajlarıyla okuyucuya sunmaktır.

Doğal Arıtma yöntemiyle, 2004 yılından bugüne kadar 43 köyde çalışmalar yapılmış, 174 köyde de çalışmalar devam etmektedir. Türkiye’de bugüne kadar uygulanan yapay sulakalanlara örnek verecek olursak, Kızılırmak Deltası Türkiye’nin başlıca doğal sulakalanlarından biridir. T.C Tarım Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) tarafından yapılan ilk yapay sulakalan projesi de Ankara-Haymana-Dikilitaş Köyü yapay sulakalanıdır. Türkiye’de yapılan diğer sulakalanlardan bazıları da (Eremektar ve diğ., 2005);

- Ortadoğu Teknik Üniversitesin’deki (ODTÜ) pilot uygulama çalışması,
- Şanlıurfa-Viranşehir’deki yapay sulakalan,
- İstanbul-Paşaköy arıtma tesisi içinde yapılan yapay sulakalan,
- Ömerli’deki baraj suyunu koruma amaçlı yapılan pilot ölçekli yapay sulakalan,
- İzmir-Torbalı-Korucuk Köyü yapay sulakalan,
- İzmir-Torbalı-Çakırbeyli Köyü yapay sulakalan,
- Manisa-Akhisar-Sakarya Köyü yapay sulakalan,
- Manisa-Saruhanlı-Yeni Osmaniye Köyü yapay sulakalanıdır.

2. DOĞAL ARITMA SİSTEMLERİ

2.1. Doğal Arıtma Metodu

Dünyada ve ülkemizde gelişmekte olan çevre bilinci, giderek artan çevre kirliliği ve yasal düzenlemelere rağmen, evsel ve endüstriyel atıksular birçok ülkede arıtılmadan, doğrudan en yakında bulunan bir alıcı ortama deşarj edilmektedir. Henüz kentsel yerleşim alanlarının arıtma tesisleri tamamlanmadığı için başlangıçta köylerimiz için lüks yatırım olarak görülen kanalizasyon sistemleri gibi atıksu arıtma tesisleri de lüks tesisler olarak görülmüştür. Kirli suların arıtımı için kullanılan gelişmiş sistemlerin maliyeti ve işletme giderlerinin yüksek oluşu yanında, nitelikli insan işgücüne gereksinim duyulması nedeniyle, özellikle küçük yerleşim merkezlerinde yukarıda sözü edilen arıtma sistemleri işletilememektedir. Bu nedenle alternatif bir çözüm olarak, doğal arıtma sistemleri gündeme gelmiştir. Ülkemiz koşulları dikkate alındığında kırsal bölgelerde doğal arıtma sistemleri, atıksu sorunlarının ucuz ve sürdürülebilir çözümü için büyük bir önem taşımaktadır.

Güneş (2004)'e göre doğal arıtma sistemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerin doğal ortamlarda oluşturulduğu basit ve ucuz metotlardır. Bu etkileşimler doğal ortamda su, toprak, bitki, mikroorganizmalar ve atmosfer arasında gerçekleşmektedir. Doğal arıtma sistemi tanımlamasına lagünler, stabilizasyon havuzları, basit filtreler, doğal veya yapay (ekilmiş) sulakalanlar, yüzen veya batık bitkiler ile teşkil edilen sistemler gibi pek çok doğal veya mühendislik hizmeti görmüş sistemler dahil edilebilir. Biyolojik arıtmanın bir parçası olan doğal arıtma sistemlerinin Türkiye'de en çok bilineni sulakalanlardır.

Doğal arıtma sistemlerinde meydana gelen faaliyetler mekaniksel arıtma yöntemlerindeki benzer şekilde olup bunlar çökeltim, filtrasyon, gaz transferi, adsorpsiyon, kimyasal oksidasyon, biyolojik parçalanma gibi işlemlerdir. Bu sistemlerde kullanılan bitki türleri *Medicago sativa* L. (yonca), *Bromus inermis* Leyss. (kılçıksız brom), *Lolium perenne* L. (İngiliz çimi), *Melilotus officinalis* (L.) Desr. (sarıtaş yoncası) ve *Festuca* spp. (yumak otu)'dur (İspirli, 2006a).

Doğal Arıtma Sistemlerinin genel bir sınıflandırılması aşağıda yapılmıştır (İspirli, 2006a). Bunlar:

a) Stabilizasyon Havuzları

- Aerobik Havuzlar
- Anaerobik Havuzlar
- Fakültatif Havuzlar
- Olgunlaştırma Havuzları

b) Arazide Arıtma Sistemleri

- Yavaş İnfiltrasyon
- Hızlı İnfiltrasyon
- Arazi Üzerinden Akıtma

c) Yapay Sulakalan Sistemleri

- Yüzealtı Akışlı (Yatay Akışlı-Düşey Akışlı)
- Serbest Yüze Akışlı (Köklü Bitkiler-Yüzücü Bitkiler)

2.1.1. Stabilizasyon Havuzları

Atıksuların içindeki organik maddelerin ayrıştırılıp, zararsız hale getirildiği, topraktan yapılmış nispeten sığ havuzlardır. Stabilizasyon havuzları, küçük yerlerde genellikle çok kullanılır. İnşaa ve işletme masraflarının düşüklüğü önemli ekonomik avantajlar sağlar. Bu havuzlarda hiç arıtılmamış atıksular arıtılabileceği gibi, önceden bir arıtma tesisinden geçirilmiş atıksularda temizlenebilir. Stabilizasyon havuzlarını, atıksuyun bileşimine, meydana gelen biyokimyasal olayların cinsine, inşaa şekline ve gördükleri işe göre, çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Stabilizasyon havuzlarının; Aerobik Havuzlar, Anaerobik Havuzlar, Fakültatif Havuzlar, Olgunlaştırma Havuzları olmak üzere dört türü vardır (Muslu, 1994).

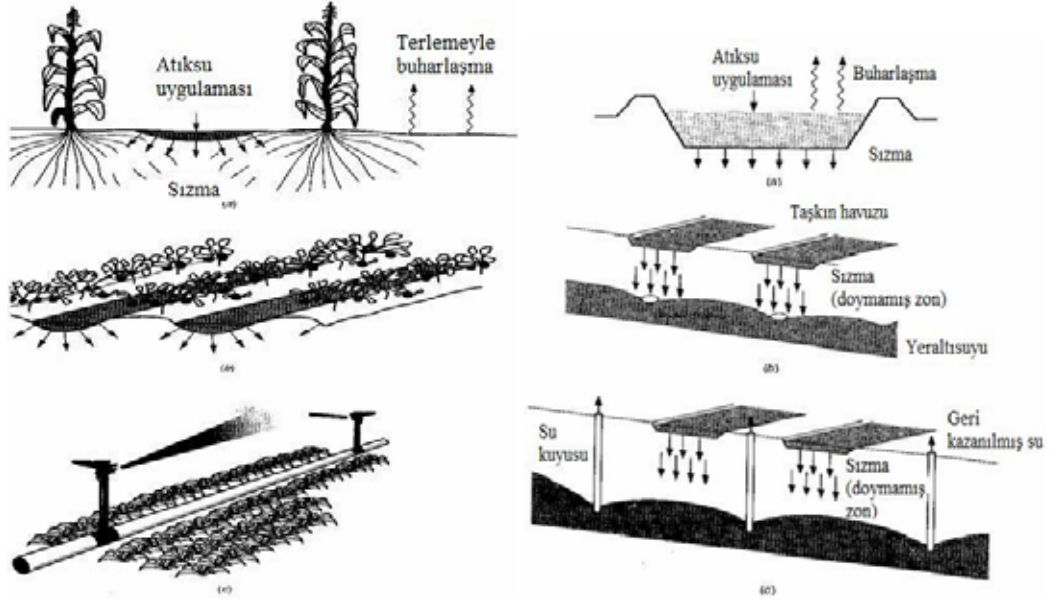
2.1.2. Arazide Arıtma Sistemleri

Arazide arıtma sistemleri olarak;

- Yavaş İnfiltrasyon
- Hızlı İnfiltrasyon
- Arazi Üzerinden Akıtma bilinmektedir.

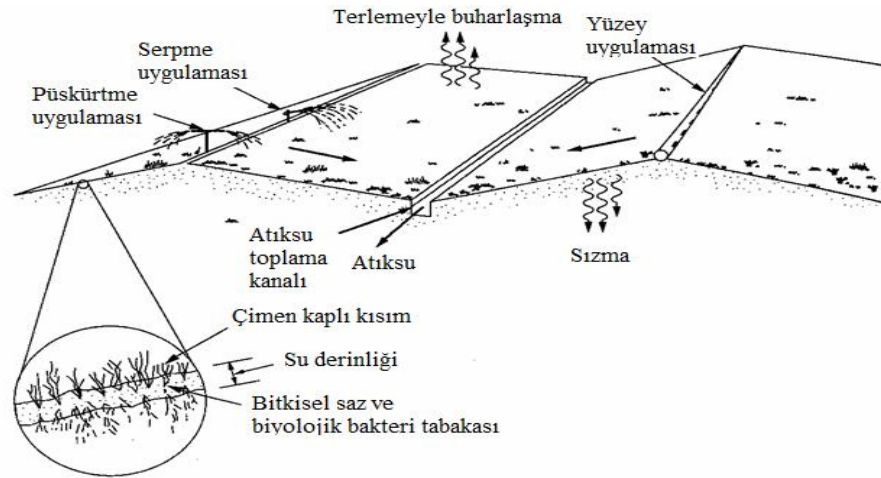
Yavaş İnfiltrasyon: Yavaş infiltrasyonda atıksu, bitkilerinin bulunduğu araziye arıtma amaçlı olarak uygulanır. Uygulanan su buharlaşır veya toprak gövdesinden yatay veya düşey şekilde taşınarak uzaklaşır ve bu su topraktan aşağı doğru hareket ederken arıtılır. Çoğu durumlarda sızan su, yeraltı suyuna karışır. Bu sistemlerde ön arıtım ve zemin özellikleri önemlidir. Sistem Şekil 2.1'de gösterilmiştir (İspirli, 2006a).

Hızlı İnfiltrasyon: Kum gibi çok geçirimli zeminlerden, atıksuları yeraltına sızdırma prensibine dayanan sistemlerdir. Genel olarak bitki yetiştirilmesi söz konusu olamaz. Sızan sular kuyu ve galerilerle tekrar alınabileceği gibi, tabii suları beslemeye de terk edilebilir. Yeraltı tabakaları ve su yüzeyi hakkında bilgi sahibi olmadan sızdırma işlemi yapılmamalıdır. AKM'lerin giderilmesi, en başta istenilen bir durumdur. Aksi halde zemin tıkanır ve su sızdırmak imkansız olur. Bitki yetiştirilmesi söz konusu olmadığından, soğuk iklimler için çok elverişlidir. Şekil 2.2'de hızlı süzülme sistemi görülmektedir (Muslu, 1994).



Şekil 2.1. Yavaş Süzülme Sistemi (İspirli, 2006a). Şekil 2.2. Hızlı Süzülme Sistemi (Muslu, 1994).

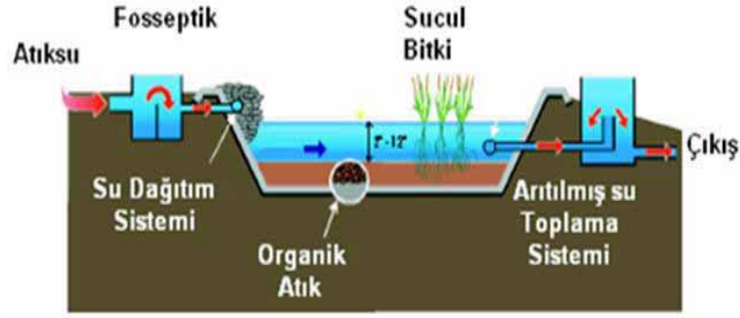
Arazi Üzerinden Akıtma: Eğimli bir arazinin üst tarafından bırakılan atıksular, bitki örtüsü üzerinden akarak aşağıdaki toplama hendeklerine ulaşır. Atıksular, geçirimsiz olan arazi üzerinde ince bir tabaka halinde akarken, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak arıtılarak temiz hale gelir (Muslu, 1994). Şekil 2.3’de arazide üzerinden akıtma sistemi görülmektedir (İspirli, 2006a).



Şekil 2.3. Arazi Üzerinden Akıtma (İspirli, 2006a).

2.1.3. Yapay Sulakalan Sistemleri

Yapay sulakalanlar doğal arıtmanın bir türü olarak bilinirler. Yapay sulakalan arıtma sistemleri birçok sucul canlının görev yaptığı havuzlardan oluşur. Sulakalanların ana bileşenleri; bitki (yıllık, mevsimlik, sualtı veya su yüzündeki bitkiler), toprak (mineraller veya organik sedimentler) ve sudur. Şekil 2.4’te bir yapay sulakalan örneği verilmiştir (KHGM, 2007).



Şekil 2.4. Yapay Sulakalan Örneği (KHGM, 2007).

Yapay sulakalan sistemleri “doğal sistemler” tanımını hak eden “ekilmiş sulakalanlar” olarak bilinen proseslerdir. Doğal sulakalanlarda kendiliğinden meydana gelen bazı proseslerin daha kontrollü bir çerçevede gerçekleştirilmesi için tasarlanmış olan yapay sulakalanların geleneksel arıtma yöntemlerine göre başlıca avantajları şöyle sıralanabilir:

- İleri teknoloji ve pahalı ekipmanlara gereksinim olmaması,
- Kolay uygulanabilirlik,
- Düşük enerji ihtiyacı,
- Düşük maliyet,
- Basit işletim ve işletim kararlılığı,
- Düşük miktarda çamur oluşumu,
- Flora ve fauna habitatlarını destekleyen biyoçeşitlilikte artış sağlamak,
- Hasat edilen sucul bitkilerin çeşitli amaçlarla kullanılması (biogaz, hayvan yemi ve gübre üretimi, bitki gövdesinin çatı, çit, mat yapımında kullanımı, vb.) (Yıldız ve diğ., 2003).

Yapay sulakalanlar bir ya da birden fazla arıtma bölümlerinin tek bir yapıda birleştiği atıksu arıtma sistemleridir (Anonymous, 1999). Sistem özel olarak tasarlanan yataklarda, yetiştirilen bitkiler vasıtasıyla atıksuyun arıtılması esasına dayanmaktadır. Bu sistemler bazı durumlarda tek başına bir arıtma sistemi olarak görev yaparken, bazen de diğer bir arıtma teknolojisiyle kombinasyon olarak kullanılırlar. Yapay sulakalanlarla atıksuların arıtılmasında doğal sulakalanlardaki ekolojik sistemler esas alınır.

Atıksuyun bir havuzda toplanarak değişik türdeki sucul bitkilerle arıtılması gibi alternatif uygulamaları da olan yapay sulakalanların küçük yerleşim birimlerinden, büyük şehirlere, hatta endüstriyel atıksuların arıtılmasına kadar birçok uygulama alanı vardır. Sistemin çalışmasında en önemli faktör bitkilerin arıtma kapasitesidir. Havadan aldıkları oksijeni, kökleri vasıtasıyla atıksuya ileten bitkiler, aynı zamanda kökleri vasıtasıyla suda istenmeyen kirletici maddeleri besin olarak kullanarak suyun arıtılmasını sağlamaktadır. Bitkiler kendi hayatlarını devam ettirebilmek için atıksuda bulunan ve içme suları için kirletici bir tehdit olarak görülen azot, fosfor, karbon gibi besin elementlerini tüketmektedir. Bitkiler aynı zamanda bir kısım ağır metalleri de tüketme özelliğine sahiptir. Ayrıca bitkilerin yetiştirildiği yatak ortamının filtre edici özelliği suyun arıtılmasına katkıda bulunmaktadır (İspirli, 2006a).

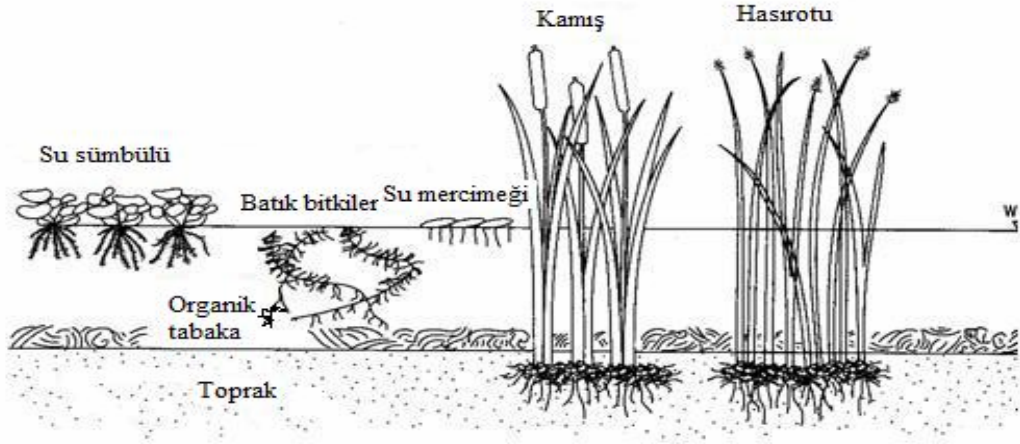
Yapay sulakalanlar içinde birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik proses gerçekleşmektedir. Bu sistemler atıksuda BOI_5 , AKM, amonyak azotu (NH_3-N) ve toplam fosfor (TP) gibi parametreleri yüksek verimle giderirler. Kimyasal proseslerin başlıcaları adsorpsiyon ve çökeltme olup, bunlar fosfor ve ağır metal gideriminde rol oynayan önemli mekanizmalardır. Biyolojik prosesler içerisinde en önemli prosesler mikroorganizmalar tarafından yürütülen proseslerdir. Bütün bu prosesler, oksijenin varlığına bağlı olarak karbon, azot ve sülfürün yükseltgenmesini ya da indirgenmesini içermektedir. Genel olarak, yüksek konsantrasyonlarda organik yük içeren deşarj sularında indirgenme reaksiyonları hakim olmaktadır. Azotun büyük bir kısmı ise denitrifikasyon prosesi ile çevrilmektedir. Su yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma, absorpsiyon ve desorpsiyon gibi prosesler ile güneş ışınları tarafından tetiklenen kimyasal reaksiyonlar, sulakalanlarda yer alan diğer bozunma prosesleridir (Korkusuz ve diğ., 2001).

Sulakalanlar suyun akış modeline göre iki tiptir:

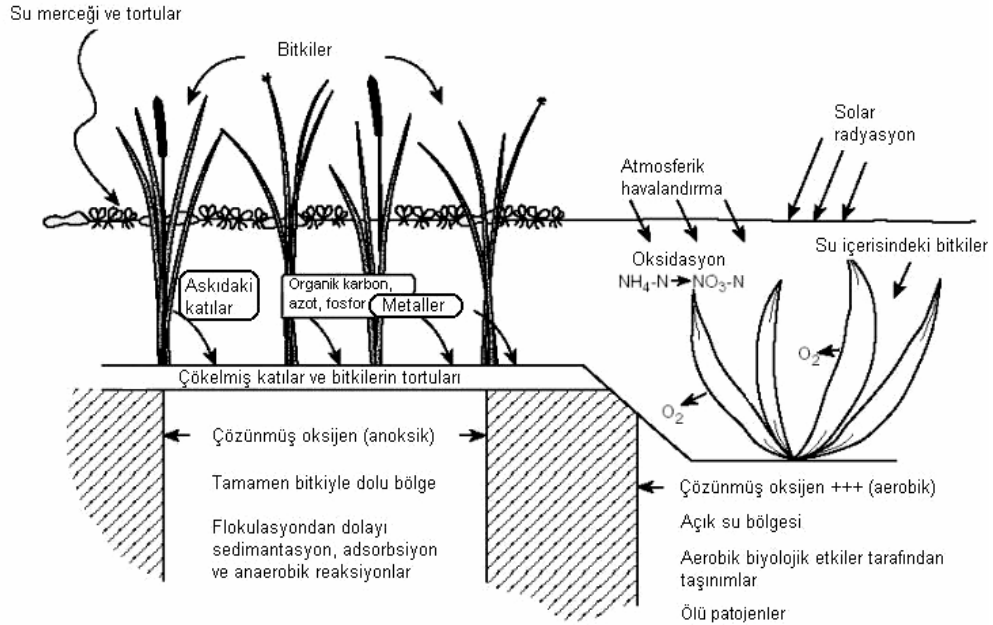
- Serbest Yüzeysel Akışlı Yapay Sulakalanlar (SYS)
- Yüzeysel Akışlı Yapay Sulakalanlar (YAS)
 - Yatay Akışlı
 - Düşey Akışlı

• Serbest Yüzeysel Akışlı Yapay Sulakalan Sistemi (SYS)

Bu sistemlerde su yüzeyi atmosfere açıktır. İki tip su bitkisi kullanılır. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi bunlar köklü ve yüzücü su bitkileridir (Korkusuz, 2004). Genelde *Scirpus lacustris* L. bitki tipi kullanılmıştır. Bu tür sulakalanlarda, sulakalanın kullanımına bağlı olarak su derinliği birkaç cm’den 0.8m’ye kadar değişebilir. Normal bir kullanım derinliği 0.3m’dir (Crites ve diğ., 1995). Bu sistemlerin atıksu arıtımı için farklı konfigürasyonları vardır. Bazı su yatakları hem yarıbatık, hem de yüzen bitkileri ihtiva eder. Bu sistemler Hollanda’da 30 yıldır kullanılmaktadır (Kreissl ve Brown, 2000). SYS sistemlerinde gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları Şekil 2.6’da gösterilmiştir (Çiftçi ve diğ., 2007).



Şekil 2.5. Serbest Yüzey Akışlı Sulakalanlar (Korkusuz, 2004).

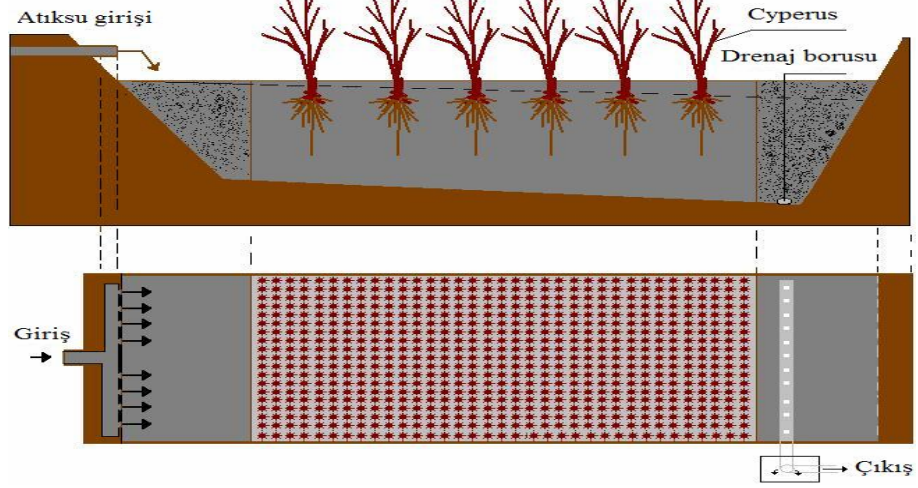


Şekil 2.6. SYS Sistemlerinde Gerçekleşen Etkin Arıtım Mekanizmaları (Çiftçi ve diğ., 2007).

• Yüzealtı Akışlı Yapay Sulakalanlar (YAS)

Bu tiplerde kazılan havuz, genelde çakıldan oluşan gözenekli bir yapıyla doldurulur. Su seviyesi çakıl yüzeyinin alt kısmında muhafaza edilir. Yarıbatık sucul bitkiler bu ortamın en üst yüzeyine ekilir. Bu ortamın derinliği 0.3-0.6m'dir (Crites ve diğ., 1995). Bu tip sistemlerin var oluşu atıksu arıtmada küçük yerleşimlerden büyük ölçekli kentsel yerleşimlere doğru uygulanmasına olanak sağlar. Son günlerde yapay sulakalanlar Avrupa'nın kırsal kesimlerinde

yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sulakalanların %95'i YAS'dır. YAS sistemlerine genel bir bakış Şekil 2.7'de verilmiştir (Platzer, 2000).



Şekil 2.7. Yüzealtı Akışlı Yapay Sulakalan (Platzer, 2000).

-Yüzealtı Yatay Akışlı Sulakalan Sistemi (YAYS)

Yüzealtı akışlı sistemler ilk olarak 1970'li yıllarda Almanya'da kullanılmaya başlanmıştır. Genelde bu tip sistemlerde kullanılan bitki *Phragmites australis*'tir. Oluşturulan yataktaki ortam toprak veya taş olabilir. Düşük maliyetli, yapısal ve işlevsel özellikler içeren bu sistemler soğuk mevsimlerde de çalışabilmekte ve %40-60 besin maddelerini ayrıştırabilmektedir (Harbel ve diğ., 1998).

Danimarka, Almanya ve Rusya'da bu tür bitki sistemlerinin değişik şekilleri bulunmaktadır. Sistemlerde yapılan araştırmalar sonucunda AKM ve BOİ₅'in genellikle yüksek verimle arıtıldığı, azot ve fosfor giderim veriminin ise yükleme hızına, substratın tipine ve atıksu bileşenlerine bağlı olarak değiştiği görülmektedir (İspirli, 2006a).

-Yüzealtı Düşey Akışlı Sulakalan Sistemi (YADS)

Korkusuz (2004), yaptığı çalışmasında bu sistemleri şöyle anlatmıştır. 20 yıldan uzun süredir Almanya, Hollanda ve İngiltere'de kullanılan bu sistemler, birkaç paralel yataktan oluşmaktadır. Su, delikli borularla aralıklı olarak alınır. Bu yüzden toprağın oksitlenmesi YYS'a göre daha fazladır. Bu sistemlerde AKM, BOİ₅, Amonyak (NH₃) ve fosfor giderimi oldukça yüksektir (İspirli, 2006a).

Atıksu arıtımı için tek tip bitkinin kullanıldığı sistemler olduğu gibi çeşitli özellikteki bitkilerin birarada kullanıldığı birleşik sistemlerde kullanılmaktadır. Bu sistemlerden biri; Marsh-Bond-Meadow sistemidir. Bu sistem; çubuk filtre, havalandırma hücresi, kum ortamında köklü su

bitkili havuz, yüzen su bitkili havuz, *Reed* tipi bitkili havuz ve klorlama havuzu içermektedir. Bu sistemde yapılan çalışmalar sonucu $\text{NH}_3\text{-N}$ 'in % 77, TP'un % 82 giderildiği ortaya çıkmıştır.

Diğer bir bileşik sistem de Fransa'da yapılmıştır. Bu sistemin adı Max-Planck Institute Proses şeklindedir. Bu sistemde beş tane paralel havuz vardır ve bu havuzlarda çeşitli köklü su bitkileri bulunmaktadır. İlk iki havuzda akış düşey, son basamaktaki havuzun akışı ise yataydır. Bu sistemin BOI_5 ve AKM gideriminde başarılı, azot ve fosfor gideriminde oldukça zayıf olduğu belirlenmiştir. Doğal arıtma sistemlerinin özellikleri ve atıksu arıtmadaki verimlilikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir (Reed ve diğ., 1995). Türkiye'de kurulu işletilmekte olan yapay sulakalanlar ve özellikleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir (İskender ve diğ., 2005).

Çizelge 2.1. Bazı Doğal Arıtma Sistemlerinin Özellikleri (Reed ve diğ., 1995).

SİSTEMLER	Arıtma Hedefi	Bekletme Süresi (gün)	Derinlik (m)	Organik Yük kg/ha.gün	Çıkış Kalitesi
Anaerobik Stabilizasyon Havuzu	İkincil	10-40	1-1.5	40-120	BOI_5 : 20-40 AKM: 80
Fakültatif Havuz	İkincil	25-180	1.5-2.5	22-67	BOI_5 : 30-40 AKM: 40
Bitkili Stab. Havuz	İkincil	30-50	1.5	<30	BOI_5 : <30 AKM: <40
Bitkili Stab.Havuz	İleri Arıtma	>6	<1	50	BOI_5 : <10 AKM: <10 TP: <5 TN: <5
Doğal Sulakalan	İleri Arıtma	10	0.2-1	100	BOI_5 : 5-10 AKM: 5-15 TN: 5-10
Yapay Sulakalan (Serbest su yüzeyi)	İkincil	7-15	0.1-0.6	200	BOI_5 : 5-10 AKM: 5-15 TN: 5-10
Yapay Sulakalan (Yüzeyaltı akışlı)	İkincil	3-14	0.3-0.6	600	BOI_5 : 5-40 AKM: 5-25 TN: 5-10

BOI_5 : Biyolojik Oksijen İhtiyacı **AKM**: Askıda Katı Madde
TP: Toplam Fosfor **TN**: Toplam Azot

Çizelge 2.2. Türkiye’de Kurulu İşletilmekte Olan Yapay Sulakalanlar ve Özellikleri (İskender ve diğ., 2005).

Yapay Sulakalanlar	Nüfus	Tipi	Sayısı	Bitki Türü	Filtre Malzemesi	Mevcut Durum	Kaynak
Ankara -Haymana Dikilitaş Köyü	455	YA	2 paralel	<i>Pragmites</i>	Kum, bitkisel toprak	2 F	(KHGM, 2005)
ODTÜ Pilot Uygulama	-	YAD YAY	2 paralel	<i>Pragmites australis</i>	Kum-çakıl, ponza,demir Cüruf	Lojman rogar ÇKY	(Kokusuz ve ark., 2003)
Şanlıurfa Viranşehir	300	YAD YAY	3	<i>Pragmites australis</i>	Volkanik curuf	Kanalizasyon şebekesi	(Yıldız ve ark., 2003)
Paşaköy Arıtma Tesisi	-	YA Y Y	3	<i>Cyperus</i> (Japon şemsiyesi)	Çakıl taşı	-	(Paşaköy, 2005)
Ömerli	-	YA	-	<i>Cana cyperus,</i> <i>Typhia Juncus</i> (köklü bitkiler)	-	-	(Ayaz ve ark., 2005)
İzmir –Torbalı Korucak Köyü	1095	YAY	-	<i>Pragmites australis</i>	-	K,F	(Menemen, 2005) (Korucuk, 2005)
İzmir –Torbalı Çakırbeyli Köyü	1000	YAY	-	<i>Vetiverglas</i> (<i>Chysopan zizanioides</i>)	-	K,F	(Çakırbeyli, 2005)
Manisa- Akhisar Sakarya Köyü	724	YAY	-	<i>Pragmites australis</i>	Bitkisel toprak ve çakıl	-	(Menemen, 2005)
Manisa- Saruhanlı Yeni Osmaniye Köyü	246	YAY	-	<i>Pragmites australis</i>	-	K,F	(Menemen, 2005)
Muğla-Bodrum Güvercinlik Köyü	1500	YAY	-	<i>Pragmites australis</i>	Bitkisel toprak ve çakıl	K,F	(Menemen, 2005)

Y:Yüzeyakışı- YA:Yüzeyaltı akışı- SY:Serbest yüzey akışı- YAD:Yüzeyaltı düşey akışı- YAY:Yüzeyaltı yatay akışı- ÇKY:Çamur kurutma yatağı- F:Fosseptik
K:Kanalizasyon

2.2. Bitkilerin Atıksu Arıtımında Kullanılması

Doğal arıtma sistemlerinin esasını, çeşitli bitkilerin arıtma gücüne dayanmaktadır. Bitki çeşidi ve atıksu ile bitkinin bir araya getirilme şekillerine göre, çok değişik sistemler ortaya çıkmıştır (Soran, 1992). Bunlar aşağıdaki paragraflarda özetlenmiştir.

2.2.1. Arazi Uygulama Sistemi

Bu sistemin esasını; çayır, mera ve tarla gibi doğal alanlara kirli suların yağmurlama veya salma şeklinde gönderilmesi ve arıtılmış olarak tekrar toplanması teşkil etmektedir. Bölgenin doğal koşullarına göre dört değişik şekilde arazi uygulaması yapılabilmektedir.

a) Kültür Bitkilerinin atıksu ile salma ve yağmurlama şeklinde sulanması

Özellikle sıcak ve sulama suyu sıkıntısı çekilen bölgelerde çok sık kullanılan bir sistemdir. Türkiye’de atıksular genellikle dere ve ırmaklara verildiğinden ve bu sular da, sulamada kullanıldığından, dolaylı olarak çok sık bir biçimde kullanılır.

Özellikle evsel atıksuların bu amaçla kullanılması halinde kültür bitkilerinin su ihtiyacı karşılandığı gibi azot ve fosfor gibi kirlilik maddeleri de besin maddeleri olarak değerlendirilmektedir. Ancak böyle durumlarda atıksu içerisindeki kimyasal ve diğer yabancı maddelerin dikkatle izlenmesi gerekir.

b) Geçirgenliği fazla olan bitki kaplı alanlarda atıksu infiltrasyonu

Bu sistemde atıksu, bitki kökleri ve geçirgen tabakanın oluşturduğu bir sistem içerisinde hızla geçerek taban suyuna ulaşır. Çok tehlikeli maddelerin bulunmadığı atıksuların arıtılmasında kullanılmaktadır. Özellikle gıda sanayi atıklarının arıtılmasında bu yola başvurulur (Soran, 1992).

c) Az geçirgen, eğimli alanlara atıksu salınması

Bir önceki uygulamadan farklı olarak, taban suyunun biraz daha korunması esas alınmıştır. Su akışı ve geçişi daha çok yatay olmaktadır. Atıksu, bitki kökleri ve toprak içerisinde süzülerek geçer; arıtılmış olarak tekrar toplanır.

d) Sulakalan oluşturulması

Arıtma sistemleri içerisinde bilinen en eski sistemdir. Bu sistemde, kanalizasyon ağı aracılığı ile toplanan atıksu arazinin uygun bir yerinde göl haline getirilir. Göl içerisinde, kendiliğinden gelişen her çeşit bitki ve mikroorganizmanın arıtma gücünden yararlanır.

Bu sistemde değişik bitkiler kullanılarak uygulanan farklı şekillerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. *Phragmites* türlerinin kullanıldığı bir sistemde 11.800m³ su ile 146kg azotun bitki örtüsü tarafından biyomasa çevrilebildiği gösterilmiştir (Seidel, 1966).

Sulakalanlarda alglerin arıtma gücünden de yararlanır. Alglerin uygun koşullarda çok hızlı gelişme göstermesi ve kirlilik maddesi olarak bilinen azot ve fosfor bileşikleri ile pek çok ağır metali bünyelerine almaları arıtma esasını oluşturmaktadır. Alglerin ortamdaki alınmasıyla da arıtma işlemi tamamlanmaktadır. Bu konudaki ilk çalışmalar, insan ve hayvan beslenmesinde kullanılmak üzere ucuz protein sağlamak amacıyla yapılmış, ancak daha sonra bu proteinin, bu amaçla kullanılmasının mümkün olmayacağı görüldükten sonra kirli suların arıtılması amacına gidilmiştir. Alg havuzları sistemi pek çok ülkede kullanılmaya başlanmıştır. Bir gelişmiş örneği, İsrail-Alman işbirliği çerçevesinde Haifa yakınlarında, 100.000 nüfuslu yerleşim alanının atıksularının arıtılması amacıyla 1973 yılında kurulmuştur (Soran, 1992).

19. yüzyıl içerisinde gelişen teknoloji ile atıksu arıtma çabaları teknik düzeyde yürütülmüş ve bu dönemde pek çok doğal arıtma sistemi yerini teknik arıtma tesislerine bırakmıştır. Ancak küçük yerleşim alanlarında bu sistemin kullanılmasına devam edilmiştir.

2.2.2. Kök Bölgesi Arıtma Sistemleri

Bitki arıtma sistemlerinden şimdiki kadar sözü edilen sistemler genellikle doğal yapıya fazla müdahale edilmeden oluşturulan sistemlerdir. Geniş alana ihtiyaç duymaları ve taban suyunu kirlenme sakıncaları bulunmaktadır. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak daha küçük alanlarda daha iyi bir arıtma elde etmek amacıyla son yıllarda kök bölgesi arıtma sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemde, doğal sisteme müdahale edilerek taban su geçirmez hale getirilmekte ve yöre koşullarına uygun bitkiler seçilerek yerleştirilmektedir.

Bu arıtma sisteminde kullanılan bitkiler, "Aerenchym" adı verilen bir doku yardımıyla atmosferden aldıkları oksijeni 120cm kadar derine inen köklerine iletmekte ve toprak içinde oksijen zengin bölgeler oluşturmaktadır. Böylece su içerisinde mozaik biçiminde bol oksijenli ve oksijensiz bölgeler oluşmaktadır. Bu farklı bölgeler değişik kimyasal olayların meydana gelmesini sağlayarak kirlilik maddelerinin hızlı bir biçimde parçalanmasını sağlarlar.

Meydana gelen aerob (oksijenli) ve anaerob (oksijensiz) koşullar aynı zamanda nitrifikasyon ve denitrifikasyonun oluşmasını sağlar. İyi çalışan sistemlerde azot bileşiklerinin %85'i elementer azota, %2-3'ü biyomasa dönüşür. Geri kalan kısım ise organik maddelerle birleşerek humus oluşturur. Bu reaksiyonlar sonucu Amin, Thiolo, NH₃ gibi kötü kokulu gazların çıkışı ve çevreyi rahatsız etmeleri engellenir.

Azot yanında önemli bir kirlilik maddesi olan fosfor da kök bölgesi uygulamalarında önemli değişikliğe uğrayarak zararsız hale geçer. Atıksu içerisindeki fosforun bir bölümü bitki tarafından alınarak biyomasa dönüşür. Ancak bu miktar beklenenin çok altında bulunmuştur. Yapılan araştırmalarda, TP'nin ancak %2 kadarının biyomasa dönüştüğü görülmüştür.

Kök bölgesi sistemleri 1974 yılından beri başta Almanya olmak üzere uygulanmaya başlanmıştır. Liebenburg'da 2.500 kişilik bir yerleşim alanının atıksularının arıtılması amacıyla, 5400m²'lik bir alanda kurulan bir sistemde yapılan araştırmalar, böyle bir tesisin teknik sistemlere

göre yapım maliyetinin %40, işletme masraflarının da %30 daha ucuz olduğunu göstermiştir. Bu tesisteki temizleme kapasite değerleri Çizelge 2.3’de verilmiştir (Soran, 1992).

Çizelge 2.3. Liebenburg Kök Bölgesi Arıtma Tesisinde Elde Edilen Arıtma Sonuçları (Soran, 1992).

	Giriş Değerleri (mg/l)	Çıkış Değerleri (mg/l)	10.000m ² İçin Temizleme Kapasitesi (ton)
BOİ₅	400-500	7-17	140
TP	16-22	0.08-1.1	15
TN	75-115	3-14	3.8

2.3. Yapay Sulakalanların Ekolojisi

Yapay sulakalanlardan yüksek arıtma verimi sağlanabilmesi için sistemi oluşturan birimlerin ve bu birimlerin bütünleşmiş ekolojilerinin iyi kavranması gerekir. Sulakalanların ekolojisini ve karakterini; iklim, akış hidroloji, proses, bitki türleri ve atıksu karakteristikleri (substrat türü ve konsantrasyonu gibi) belirler (Mandi ve diğ., 1998; Mitsch ve Cronk, 1992). Yapay sulakalanlarda ve doğal sulakalanlarda uygulanan arıtma mekanizmaları doğal sucul sistemlerde zaten gerçekleşen mekanizmalardır. Doğal sulakalanlar ile yapay sulakalanlar arasındaki temel fark; mühendislik tasarımları sonucu oluşan yapay sulakalanlarda, sistem kontrolünün daha fazla olmasıdır. Örneğin, yapay sulakalanlarda su akışı daha kararlı ve kontrollüdür. Buna karşın doğal sulakalanlardaki akış genellikle değişkendir.

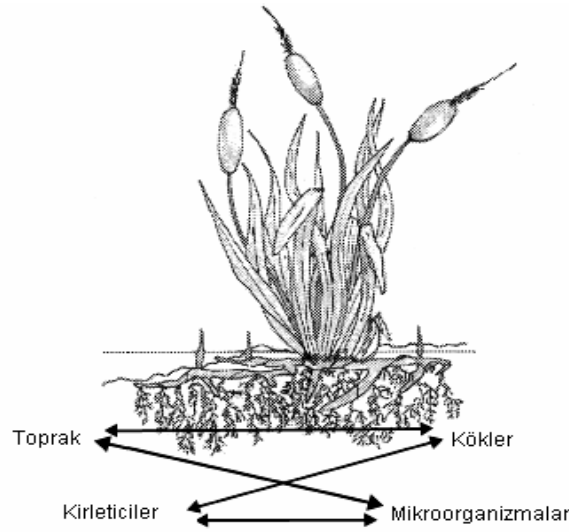
Ayrıştırıcılar, mineralizasyon ve gazlaştırma, yapay sulakalanlardaki organik madde gideriminde en önemli rolü oynamaktadırlar. Ayrıca, biyokütle sentezinde ve organik metabolik son ürünlerin üretilmesinden de sorumludurlar. Gerçekleştirdikleri reaksiyon tipine bağlı olarak bu organizmalar genellikle, aerobik, anaerobik veya fakültatif şeklinde sınıflandırılırlar.

2.3.1. Bitkiler

Sulakalan bitkileri filizlenme, büyüme ve beslenme gibi hayatlarının her aşamasında optimum çevre koşullarına ihtiyaç duyarlar. Bitkiler sulakalanlara, ılıman iklimlerde büyüme mevsiminin başında dikilir ve vejetatif üreyle çoğalırlar. Bütün bitkiler gibi sulakalan bitkileri de sağlıklı bir büyüme için birçok makro ve mikro besin elementlerine ihtiyaç duyarlar. Evsel atıksular ise bu besinleri belli miktarda içerirler. Sulakalanlarda kirleticilerin giderimi özellikle bitkilerin batık bölgelerinde (kök bölgesinde) olmaktadır (Anonymous, 1999). Şekil 2.8’de yapay sulakalanlarda bitki kök bölgesinde oluşabilecek etkileşimler görülmektedir (U.S. EPA, 2000).

Reedy ve De Busk (1987)’a göre bitkilerin atıksu arıtımındaki en önemli özellikleri özetle şu şekilde sıralanabilir; nutrientlerin asimilasyonu, oksijen temini, ekstra karbon kaynağı, estetik

özellikleri, koku kontrolü, insekt kontrolü, hidrolik akımın düzenlenmesi, don etkisinden korunma ve arıtıma katkıda bulunan canlılar için birer yaşam ortamı temin etmek. Çizelge 2.4’de sulakalan bitki tipleri ve arıtma fonksiyonları verilmiştir (Reddy ve De Busk, 1987). Çizelge 2.5’de değişik amaçlarla kullanılan yapay sulakalan örnekleri verilmiştir (Bastian ve Hammer, 1993; Vymazal ve diğ., 1998). Çizelge 2.6’da yapay sulakalanlarda bulunan bitki tipleri ve arıtma prosesindeki fonksiyonları gösterilmiştir (Çiftçi ve diğ., 2007).



Şekil 2.8. Yapay Sulakalanlarda Bitki Kök Bölgesinde Oluşabilecek Etkileşimler (U.S. EPA, 2000).

Çizelge 2.4. Sulakalanlardaki Bazı Bitki Türleri İçin Nutrient (azot ve fosfor kullanımı) Depolama ve Kullanım Kapasiteleri (Reddy ve De Busk, 1987).

Türler	Biyomass		Azot		Fosfor	
	Depolama (kg/ha)	Büyüme (kg/ha/yıl)	Depolama (kg/ha)	Büyüme (kg/ha/yıl)	Depolama (kg/ha)	Büyüme (kg/ha/yıl)
<i>Typha</i>	4.300-22.500	8.000-61.000	250-1.560	600-2.630	45-375	75-403
<i>Juncus</i>	22.100	53.300	200-300	800	40	110
<i>Scirpus</i>	6.000	7.130	175-530	125	40-110	18
<i>Phragmites</i>	6.000-35.000	10.000-60.000	140-430	225	14-53	35
<i>Eich. cras.</i>	20.000-24.000	60.000-110.000	300-900	1.950-5.850	60-180	350-1.125
<i>Pistia str.</i>	6.000-10.500	50.000-80.000	90-250	1.350-5.110	20-57	300-1.100
<i>L.minor</i>	1.300	6.000-26.000	4-50	350-1.200	1-16	116-400
<i>Salvinia</i>	2.400-3.200	9.000-45.000	15-90	350-1.700	4-24	92-450
<i>Cyperus</i>	-	-	996-1.216	10.4-213	25-86	3.3-23

Çizelge 2.5. Değişik Amaçlarla Kullanılan Ekilmiş Sulakalanlar (Bastian ve Hammer, 1993; Vymazal ve diğ., 1998).

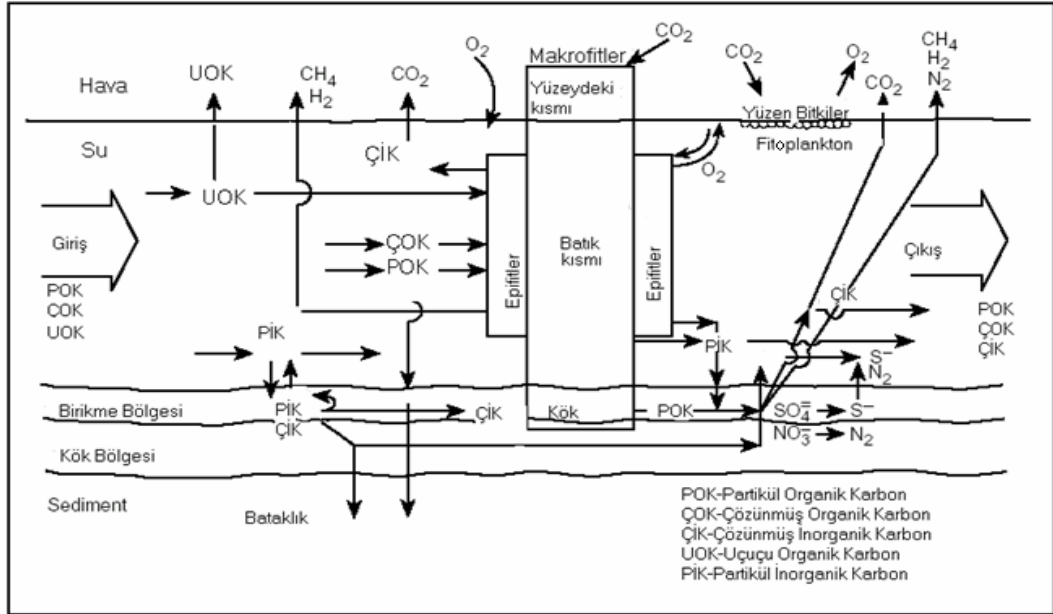
Başlangıç Tarihi	Arıtılan Atıksuyun Cinsi	Yapılışı	Referanslar
1980	Elektrokaplama Atıksuyu	Deneysel	Schroff, 1982
1981	Ağır Metal Giderimi	Deneysel	Gersberg ve diğerleri, 1984
1981	Tabakhane Atıksuyu	Deneysel	Prasad ve diğerleri, 1984
1982	Şehir Yağmursuları	Uygulama	Silverman, 1989
1982	Pestisitler	Deneysel	Gudekar ve diğerleri, 1984
1982	Şeker Rafinerisi Atıksuyu	Deneysel	Yeoh., 1983
1982	Benzen ve Türevleri	Deneysel	Wolverton ve diğerleri, 1984
1983	Lastik Sanayi Atıksuyu	Uygulama	John, 1984
1983	Kağıt Fabrikası Atıksuyu	Deneysel	Thut, 1989
1985	Lab. Fotokimyasal Atıksuyu	Deneysel	Wolverton, 1987
1985	Su Ürünleri Proses Atıksuyu	Deneysel	Guida ve Kugelman, 1989
1986	Patates Nişastası Sanayi Atıksuyu	Deneysel	De Zeeuw ve diğerleri, 1990
1986	Kül Havuzu Atıksuyu	Uygulama	Brodie ve diğerleri, 1989
1986	Siyanür ve Klorlu Fenoller	Deneysel	Wolverton ve diğerleri, 1988
1987	Termik Atıksular	Uygulama	Ailstock, 1989
1988	Kompost Liçleri	Uygulama	Pauly, 1990
1988	Yergömüt Liçleri	Deneysel	Trautman ve Porter, 1988
1988	Çiftlik Atıksuları	Uygulama	Hammer ve Pullin, 1989
1989	Göl Ötrofikasyonunun Azaltılması	Uygulama	Szilagy, 1990
1990	Liman Drenaj Hafriyatı	Deneysel	Pauly, 1990
1991	Kağıt Fabrikası Atıksuları	Uygulama	Thut, 1991
1992	Fırın Atıksuyu	Uygulama	Vymazal, 1994
1993	Otoban Yüzey Suları	Uygulama	Swift ve Landsdown, 1994
1994	Mezbaha Atıksuları	Uygulama	Vymazal, 1995
1994	Glikollü Yüzeysuları	Uygulama	Worrall, 1995
2005	Akdeniz Ülkeleri Atıksuları	Uygulama	Korkusuz ve Diamadopoulou, 2005
2005	Endüstriyel Atıksu	Deneysel	Chen ve diğerleri, 2006
2006	Suyun Yeniden Kullanımı	Uygulama	Rousseau ve diğerleri, 2006
2007	Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu	Deneysel	Park ve diğerleri, 2007
2007	Melas Atıksuyu	Deneysel	Sohsalam ve Sirianuntapiboon, 2007
2007	Çeşitli Organik Kirleticiler	Deneysel	Matamoros ve diğerleri, 2007

Çizelge 2.6. Yapay Sulakalanlarda Bulunan Bitki Tipleri ve Arıtma Prosesindeki Fonksiyonları (Çiftçi ve diğ., 2007).

Bitki Tipleri	Genel Karakterleri ve Örnekler	Arıtma Prosesindeki Önemi ve Fonksiyonları	Habitat İçin Önemi ve Fonksiyonları	Dizayn ve İşletme Durumları
Serbest Yüzen Sucullar	Kök ve kök benzeri yapılar, yüzen yapraklardan ayrılır. Su dalgaları ile uzaklaştırılır. Örneğin; Su mercimeği	Ana amacı, besinlerin alımı ve alg gelişmesini geciktirmek. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar.	Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar. Su içindeki bitkiler için güneş ışığını bloke eder. Hayvanlar için sığınak ve yiyecekler sağlar.	Su mercimeği istilacı doğal bir türdür. Spesifik dizayn gerektirmez.
Köklü Yüzen Sucullar	Su altı yaprakları içerebilir. Yüzücü yapraklarla genellikle dipte köklenir. Örneğin; Nilüfer	Ana amacı, mikrobiyal tutunma için yapı sağlamak ve gün boyunca suya oksijen bırakmaktır. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar.	Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar. Su içindeki bitkiler için güneş ışığını bloke eder. Hayvanlar için sığınak ve yiyecekler sağlar.	Bitki tipine göre, su derinliği dizayn edilmelidir (yüzücü, batık).
Su altı Sucullar	Genelde tam olarak su altındadır, yüzücü yaprakları içerebilir. Kökleri diptedir. Örneğin; Batak otu.	Ana amacı, mikrobiyal tutunma için yapı sağlamak ve gün boyunca suya oksijen bırakmaktır. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar.	Hayvanlar için besin ve sığınak sağlar (özellikle balık).	Açık su tabakasında tutma zamanı, alg gelişme süresinden daha kısa olmalıdır.
Gelişen Sucullar	Otsu kökleri diptedir. Sel ve doymun durumlara karşı toleranslıdır. Örneğin; Su kamışı, saz	Ana amaç, artırılmış flokülasyon ve sedimentasyon sağlamaktır. İkinci amaç, alg gelişmesini geciktirmek için gölgelemektir.	Hayvanlar için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Su derinliği, seçilen özel türler için optimum aralıkta olmalıdır.
Çalılık ve Fundalıklar	Odunsu 6m'den kısa. Örneğin; Çalılık, çoban püskülü	Arıtma fonksiyonu tanımlanmamıştır.	Hayvanlar (özellikle kuşlar) için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Detaylı bilgi mevcut değildir.
Ağaçlar	Odunsu 6m'den uzun. Örneğin; Akça ağaç, söğüt	Arıtma fonksiyonu tanımlanmamıştır.	Hayvanlar (özellikle kuşlar) için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Detaylı bilgi mevcut değildir.

2.3.2. Mikroorganizmalar

Tüm sulakalanlarda ekolojik yaşam, karmaşık enerji dönüşümlerini gerçekleştirebilmek için bakteri ve mikroorganizmalara ihtiyaç duyar. Mikroorganizmalar giriş atıksuyundaki organik molekülleri parçalayarak gerekli enerjiyi ve çoğalmalarını sağlarlar. Şekil 2.9'da yapay sulakalanlarda organik ve inorganik maddelerin dönüşümleri ve giderimleri şematik olarak gösterilmiştir (U.S. EPA, 2000).



Şekil 2.9. Yapay Sulakalanlarda Organik ve İnorganik Maddelerin Dönüşümleri ve Giderimleri (U.S. EPA, 2000).

Şimdiye kadar yapılan sulakalan çalışmalarında azot transformasyonu önemli yer tutmuştur (Crites ve diğ., 1997; Greenway ve Wolley, 1999). Azotun değişik formları, bitkiler tarafından metabolizmalarında kullanılmak üzere sudan ya da topraktan alınırlar. Aerobik ortamda azot ya salınır ya da tüketilir. Azot gideriminin ana mekanizması nitrifikasyon ve denitrifikasyondur. NH₃, aerobik bölgelerde nitrifikasyon bakterileriyle nitrate (NO₃⁻) oksitlenir ve NO₃⁻lerde, anoksik bölgelerde denitrifikasyon bakterileriyle azot gazına çevrilir. Nitrifikasyon için ihtiyaç duyulan oksijen ya atmosferden ya da bitki köklerinden sağlanır. Nitrifikasyon bakterileri; *nitrosospira*, *nitrosovibrio*, *nitrosomonas* vb.'dir. Denitrifikasyonda rol oynayan fakültatif bakteri grupları; *micrococcus*, *bacillus*, *pseudomonas*, *spirillum* ve *enterobacterium*'dur. Ancak azot bitki biyokütlesine bağlı ise bu mekanizmalar önemini büyük ölçüde kaybederler. Azot gazı belirli mikroorganizmalar tarafından organik azota dönüştürülmektedirler. Bu işleme azot fiksasyonu denir. Azot fiksasyonu bakteriler ve mavi-yeşil algler tarafından anaerobik ve aerobik şartlarda;

sediment tabakasında, SYS sistemlerinin yüzeyinde, bitkilerin gövde ve yapraklarının yüzeyinde meydana gelmektedir.

Bitkilerin kendi bünyelerine fosfor almaları da mikrobiyal bir aktivitedir. Fosfor, bitkilerin alımı için çözünmeyen formlardan uygun olan çözünebilir formlara dönüşmektedir (U.S. EPA, 1999; U.S. EPA, 2000).

Algler bazı arıtma proseslerinde önemli bir bileşen iken, SYS sistemlerinde de arıtma performansına önemli etki yaparlar. Algler, güneş ışığını ve havalanmayı bloke eden canlı bir örtü tabakası oluştururlar ve su kütlesine ışığın ve oksijenin geçmesini engellerler. Bu da suda düşük çözünmüş oksijen (ÇO) seviyelerinin oluşmasına neden olur. Ayrıca mavi-yeşil algler AKM'lerin temel kaynağıdır. Mavi-yeşil algler, besin içermeyen ve ışısız ortamlarda ölmekte, yüzebilirlik özelliklerini kaybetmekte ve çökelmektedirler (Çiftçi ve diğ., 2007).

Sulakalanlarda, atıksu arıtımında, patojenik mikroorganizma giderimi de etkin olarak sağlanabilmektedir. Kadlec ve Knight (1996), çeşitli yapay sulakalan sistemlerinde koliform ve streptokokların giderim verimlerini incelemiştir. Koliformların %90'ından fazlası ve fekal streptokokların %80'inden fazlası giderilmektedir.

2.3.3. Fauna

SYS'ler, sucul habitatların ve doğal sulakalanların ekolojisine yakından benzemektedir. Bu yüzden, tüm yaşamlarında veya yaşamlarının bir kısmında su ortamına ihtiyaç duyan hayvan türlerini kendisine çekmektedir. Yapay sulakalanlarda bulunan hayvan grupları; protozoonlar, böcekler, balıklar, kuşlar, memeliler, sürüngenler, yumuşakçalar ve hem suda hem de karada yaşayabilen hayvanlar (amfibiler) şeklinde sınıflandırılabilir. Yapay sulakalanlar, omurgalı ve omurgasız hayvanların zengin bir çeşitliliği için yaşam alanları sağlamaktadır. Omurgasız hayvanlar su kalitesini iyileştirme ile ilgili en önemli hayvanlar olmasına karşın; yapay sulakalanlar çeşitli omurgalı hayvanlar (kaplumbağalar, balıkçılar, su kuşları, yaban ördekleri ve çeşitli memeliler) için de cazip yerlerdir. Çulluk, kırmızı kanatlı karatavuk, bataklık çalığı, nehir kırlangıcı ve kırmızı kuyruklu atmacalar sulakalanlara yuva yaparlar ve/veya sulakalanlardan besinlerini sağlarlar (U.S. EPA, 2000).

Omurgasızların, sulakalanlardaki besin döngüsünde önemli bir yeri mevcuttur. Çünkü omurgasızlar birincil üreticiler ve tüketiciler arasındaki besin bağlantısını oluştururlar. Sulakalanlarda yaşayan omurgasız hayvanların çoğu böceklerdir. Böcekler ve kurtçuklar gibi omurgasız hayvanlar, organik maddeyi tüketme ve parçalama ile giderim sürecine katkıda bulunmaktadır. Birçok böcek larvası suda yaşamakta ve birkaç yıl sürebilen gelişimleri sürecinde önemli miktarda organik maddeyi kullanmaktadır. Üstelik omurgasız hayvanlar birçok ekolojik rolü de yerine getirmektedir. Sulakalanlarda yaşayan diğer omurgasızlar ise tatlı su karidesi, su piresi ve tatlı su salyangozudur. Genellikle omurgasız hayvan topluluklarının birçoğu su altındaki bitki örtüsünde yaşamaktadır. Bu yüzden su altındaki bitki örtüsü doğal yaşam için önemlidir.

Omurgasızlar ile beslenen balık ve su kuşları gibi hayvanların sulakalanlarda bulunabilirliği, besin kaynağının mevcudiyetine ve boyutuna bağlı olarak değişmektedir (U.S. EPA, 2000; Price ve Probert, 1997).

Yapay sulakalanlardaki hayvan türleri, SYS'lerin işletiminde göz önüne alınması gerekli bir husustur. Hayvanlar, sulakalanlardaki bitkilerden daha az biyokütle oluştururlar; fakat hayvanların enerjiyi dönüştürebilme yetenekleri vardır. Yapay sulakalanlarda zararlı böcekler ortaya çıktığında tüm hareketli sucul bitki sistemlerine zarar verirler. Böylece, organik madde ve mineral dönüşümleri yarıda kesilir ve atıksuyun arıtım performansı ciddi derecede bozulur. Diğer bir durum; dipten beslenen balıklar, sedimentlerin hareketine sebep olur ve bunun sonucunda organik kirleticilerin ve AKM'lerin giderilmesinde yapay sulakalanların performansını etkilerler (Çiftçi ve diğ., 2007).

Yabani türler genellikle yapay sulakalanlarda olumlu rol oynarken, bu türlerin sulakalanlarda bulunması beklenmedik sonuçlar da doğurabilir. Sulakalan ortamında rastlanan kuş türleri, biyologların ve kuş gözlemcilerinin dikkatini çekebilir ve böylelikle bu atıksu arıtma teknolojisini kullanan belediyeler ve endüstriler için halkın desteği sağlanabilir. İkincil atıksu arıtımı (biyolojik arıtım) uygulanan yapay sulakalanlar halka açık olabilir (Çiftçi ve diğ., 2007).

2.4. Yapay Sulakalanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları

Yapay sulakalanlarda kirleticilerin giderimi 3 tip işleyle gerçekleşir. Bunlar;

a) Fiziksel prosesler: Özellikle tanecikli maddelerin gideriminde önemlidir. Sulakalanlarda su hareketi köklü ve yüzücü bitkilerin sağladığı dirençten dolayı yavaş ve laminardır (türbülanssız). Köklü bitkilerin su hareketini dengelemesiyle yavaş hareket eden tanecikli kirleticiler, yüzücü bitkilerin saçaksı kökleri ve dallanan gövdeleri ile askıda kalmaları sağlanarak biyofilmlerle temas yüzeyi artırılmış olur. AKM'lerin giderme verimi sulakalan uzunluğu ve partiküllerin çökme hızıyla orantılıdır. Sedimentasyon ve resüpsansiyon (çökme veya çökelmekte olan maddelerin askıda kalmaları) partiküllerin gideriminde iki önemli prosestir (İspirli, 2006a).

b) Kimyasal Prosesler: Kirleticiler kısa süreli ya da uzun süreli olarak belli bir yüzeyde tutularak giderilirler. Adsorpsiyon ile iyonlar katı partiküllere bağlanarak, iyon değişimi ile de aynı yüklü iyonlar yüzeye fiziksel olarak bağlanarak giderilirler.

c) Biyolojik Prosesler: Bitkiler Nitrat Azotu (NO_3^- -N), NH_3 -N, Fosfat Fosforu (PO_4^- -P), kurşun ve kadmiyum gibi bazı toksik metalleri hem kullanabilme hem de dokularında biriktirebilme özelliklerine sahiptir. Bu kirleticilerin giderimi, bitkilerin büyüme özelliklerine ve dokularındaki konsantrasyon değerine bağlıdır. Bitkiler nutrientlerin, metallerin ya da diğer elementlerin bir kısmını kullanarak giderebilirler. Çizelge 2.7'de sulakalanlardaki giderim mekanizmaları gösterilmiştir (Kilim ve Özdemir, 2004).

Çizelge 2.7. Sulakalandaki Giderim Mekanizmaları (Kilim ve Özdemir, 2004).

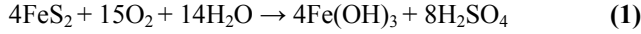
Atıksu Bileşenleri	Giderim Mekanizmaları
AKM	<ul style="list-style-type: none"> • Çökelme/filtrasyon
BOİ ₅	<ul style="list-style-type: none"> • Mikrobiyal Ayırışma (Aerobik ve Anaerobik) • Çökelme (Organik maddenin sediment yüzeyinde birikmesi)
Azot	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrifikasyon ve denitrifikasyon • Amonyakın açığa çıkması • Bitki kullanımı
Fosfor	<ul style="list-style-type: none"> • Toprak tarafından tutunma (toprakta kil mineralleri, demir, kalsiyum, alüminyum ile adsorpsiyon ve çökelme reaksiyonları) • Bitki kullanımı
Patojenler	<ul style="list-style-type: none"> • Çökelme/Filtrasyon • Ölüm • UV Radyasyonu • Makrofitlerin köklerindeki antibiyotiklerin varlığı

2.4.1. Asidik Maden Drenajının Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler

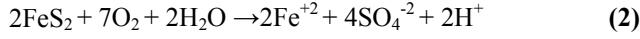
Asidik maden drenajı (AMD), dünyanın her yerinde madencilik alanlarında önemli bir çevresel problemdir. Sülfürlü minerallerin madencilik alanlarında depolanması ve atılması sürecinde su ve oksijene maruz bırakılması sonrasında, bu tür minerallerin doğal oksidasyonunun bir sonucu olarak AMD meydana gelmektedir. AMD'nin düşük pH ve yüksek derişimlerde çözülmüş metal ve sülfatları içermesi nedeniyle çevreye potansiyel olarak zarar verebilmektedir. Eğer AMD'nin oluşumu önlenemez veya kontrol edilemezse; toplanmalı, çevreye bırakılmadan önce ağır metal konsantrasyonu ve AKM miktarını azaltmak ve asitliğini bertaraf etmek için muamele edilmelidir. AMD, bir maden işletmesinin çalışması boyunca ve kapatılması sonrasında sülfürlü cevherler (örneğin pirit) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen bir dizi kompleks jeo-kimyasal ve mikrobiyal reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır. Sonuçta oluşan su, genel olarak yüksek asidite (düşük pH) ve yüksek konsantrasyonda çözülmüş metalleri (bakır, demir, kurşun vb.) içermektedir (Costello, 2003; Tsukamoto ve diğ., 2004; Ridge ve Seif, 2005; Akcil ve Koldas, 2006). Madencilik işlemleri sonucu oluşan artık malzemede bulunan sülfürlü minerallerde (çoğunlukla pirit FeS₂ ve pirotit FeS), oksijen ve suya maruz kaldığı zaman asit oluşumu meydana gelmektedir. Temelde bu aşamalar, sülfürlü minerallerin oksidasyonu ve asit oluşumudur. Daha sonra oksitlenmiş bileşiklerin liç işlemi meydana gelmektedir. Eğer ortam yeterince bazik değilse veya tampon mineraller (kalsit vs.) asiti nötr hale getiremiyorsa, sonuçta liç sıvısı asidik karakterde olmaktadır. Bu sıvı, genelde AMD olarak adlandırılmaktadır. AMD, yüksek asidite (pH 2-3) ve yüksek konsantrasyonda demir, manganez, alüminyum, çinko, bakır, nikel, kurşun, kadmiyum, arsenik vb. gibi metalleri ve sülfatları içermektedir (Kuyucak, 2002).

AMD'nin oluşumunu içeren aşamalar (pirit minerali ile) aşağıdaki reaksiyonlarda gösterilmektedir (Costello, 2003; Ridge ve Seif, 2005).

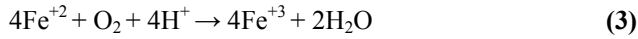
Pritin genel oksidasyonu aşağıda verildiği gibidir:



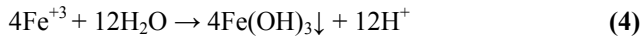
Pritin atmosferik şartlardaki ilk reaksiyonu, oksijenle pritin oksidasyonunu içermektedir. Sülfür, sülfatlara oksitlenmekte ve ferros demir (Fe^{+2}) serbest kalmaktadır. Bu reaksiyon her mol oksitlenmiş pirit için iki mol asit oluşturmaktadır:



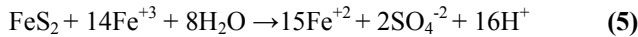
İkinci reaksiyon, Fe^{+2} 'nin ferrik demire (Fe^{+3}) dönüşümünü göstermektedir. Fe^{+2} 'in Fe^{+3} 'e dönüşümünde bir mol asit tüketilmektedir:



Üçüncü reaksiyon, demirin hidrolizini göstermektedir. Hidroliz, su molekülünü parçalayan bir reaksiyondur. Birçok metal hidrolize uğrayabilir. Ferrik hidroksit çökeltisinin oluşumu pH'a bağlıdır.



Dördüncü reaksiyon, Fe^{+3} tarafından piritin oksidasyonudur:



Bu oksidasyon işleminin piritin oksidasyonu ile sınırlanması nedeniyle, oksidasyon için piritin yüzey alanı, reaksiyon hızını belirlemektedir (Gotschlich ve diğ., 1986; Kuyucak, 2002; Akcil ve Koldas, 2006).

AMD'nin gideriminde en uygun yöntem, AMD'yi kaynağında önlemek ve/veya kontrol etmektir. Maden artığındaki nötrale edici minerallerin oranının artırılması ve/veya sülfürlü mineraller ile su ve oksijenin temasının kesilmesi ile AMD'nin oluşumu önlenabilir. Eğer AMD'nin meydana gelmesi engellenemezse, AMD'nin çevreye etkilerini en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için kimyasal ve/veya biyolojik bir proses uygulanmalıdır. Böylece meydana

gelen asit etkisiz hale getirilir ve metaller uzaklaştırılır veya su standartlarına uygun, kabul edilebilir seviyelere düşürülür (Çiftçi ve Akçıl, 2006).

Çeşitli pasif yöntemler, geleneksel yöntemlerden daha baskın işlemlerdir. Pasif yöntemler; yerinde gerçekleştirilen, en az bakım masrafı gerektiren ve doğal prosesler kullanılarak suyun veya katının muamele edilmesi olarak düşünülebilir (Hedin ve diğ., 1994; Younger ve diğ., 2002). Uygulanan yeni teknolojilerin birçoğu temelde aynı yönteme dayanmaktadır. Geçirgen biyoreaktif bariyerler, biyoreaktörler ve sulakalan teknolojileri maden drenajının giderilmesinde alkali malzemeleri ve sülfat indirgeyici bakterileri kullanabilmektedir. Bu tür teknolojilerin farkı, inşasında ve bu prosese giren suyun kaynağındadır. Örneğin, geçirgen biyoreaktif bariyerler, bir yüzeyaltı reaksiyon bölümüne sahiptir (Costello, 2003).

Mikroorganizmalar, metallerin ve sülfatların indirgenmesinin yanı sıra diğer alkali üretim prosesleri boyunca AMD'nin gideriminde rol oynamaktadır (Kuyucak, 2002). Metal oksitlerin çöktürülmesini ve oksidasyonunu içeren doğal ve yapay sulakalanların her ikisinde saptanan giderim mekanizmaları; organik maddeler ile metallerin adsorpsiyonu ve kompleks oluşumu, sedimentasyon, askıdaki ve kolloidal tanelerin filtrasyonu, bitkilerin aktif alımı ve metal sülfatların çöktürülmesini takip eden mikrobiyal sülfat indirgeme yöntemidir (Cohen, 1996).

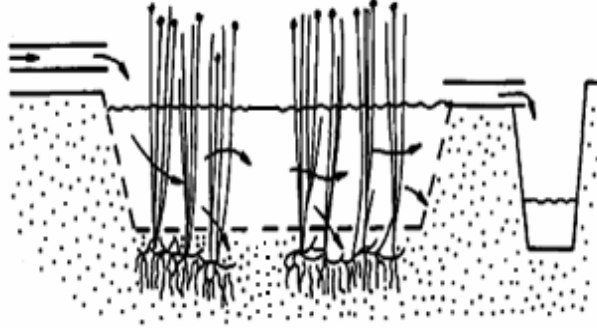
Serbest bir su yüzeyi bulunan birçok sulakalanda aerobik şartlar, su sütunu boyunca bulunmaktadır ve anaerobik şartlar başlıca sediment yüzeyinin altında gerçekleşmektedir. Aerobik bölgelerde oksidasyon, çöktürme, adsorpsiyon ve kompleksleme reaksiyonları ile metallerin giderimi gerçekleşmektedir. Nötralizasyon, başlıca anaerobik bölgelerde sülfat indirgeyici bakterilerin aktiviteleriyle ve diğer kimyasal (kireçtaşı yatağının çözünmesi) ve mikrobiyal reaksiyonların aracılığı sonucu alkaliliğin artmasıyla meydana gelmektedir.

Sulakalanlarda ortam ve su sıcaklığı önemli bir parametredir (Jenssen ve diğ., 1993; U.S. EPA, 2000). Sıcaklık değişimleri AMD'nin bileşenlerinin tamamını etkilememesine rağmen, yapay sulakalanın arıtım performansını etkilemektedir. Soğuk aylarda bitki örtüsünün olmaması atmosferik havalandırmayı ve güneşlenmeyi kolaylaştırır.

Yapay sulakalanlar, ya aerobik/anaerobik ya da her ikisini de içeren birleşik sulakalanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Aerobik ve anaerobik sulakalan ünitelerinin bir birleşiminin kullanıldığı ardışık giderim yönteminin, AMD giderimi ve alkaliliğin oluşturulmasında etkili olduğu saptanmıştır (Kepler ve McCleary, 1994; Gusek ve Wildeman, 1995; Costello, 2003).

Aerobik Sulakalanlar

Aerobik sulakalan üniteleri, tipik olarak metallerin çökmesini (başlıca oksitler ve hidroksitler olarak demir ve/veya manganez) sağlayan oksidasyon reaksiyonlarını en yüksek dereceye çıkarmak için tasarlanmış, 50cm derinliğe kadar olan su sütunlarıdır. Çökelti daha sonra tabandaki sulakalan sedimentiyle birleşmektedir. Bir aerobik (yüzey akışlı) sulakalanın görünümü Şekil 2.10'da gösterilmektedir (Price ve Probert, 1997).



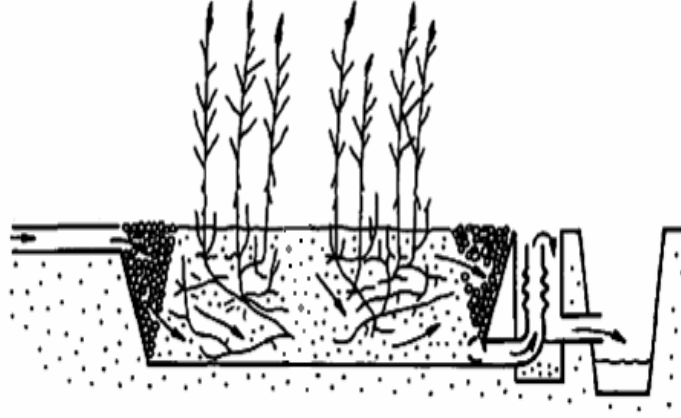
Şekil 2.10. Bir Aerobik (yüzey akışlı) Sulakalanın Görünümü (Price ve Probert, 1997).

Bu sistemlerde çözülmüş metaller oksitlendiği zaman genel olarak H^+ iyonlarının ortama salınımı ve/veya oksidasyon reaksiyonlarıyla alkaliliğin tüketilmesi sebebiyle asitlikte bir artış gözlemlenir (Kuyucak, 2002).

Çoğu aerobik sulakalan, bir kil veya toprak tabanında gelişen bitkileri içermektedir. Bu sistemlerde kamışların yoğun miktarda olması, bakteriler ve algler için bir destek görevi görmektedir ve suyun tutma zamanını arttıran ve suyun akış hızını azaltan bir hidrolik bariyer olarak hareket etmektedir. Aerobik sulakalanlarda, çeşitli oksidasyon reaksiyonları meydana gelmektedir. Bu reaksiyonların bir sonucu olarak, metaller (örneğin demir ve mangan) oksit veya hidroksit biçiminde çökelmektedir (Hedin ve diğ., 1994). Metaller, hareketsiz haldeki organik malzemelerle kompleks bileşikler oluşturabilmekte ve sonuç olarak sistemde tutulmaktadır. Bunun yanında sulakalan, bir filtre görevi yapmakta ve AKM'lerin çökeltmesini arttırmaktadır.

Anaerobik Sulakalanlar

Anaerobik sulakalanlar, genel olarak yüksek konsantrasyonda demir ve alüminyum içeren ve $CaCO_3$ olarak 300 mg/l'den daha yüksek toplam asiditeye veya 4'den daha düşük bir pH'ye sahip AMD suyunu gidermek için kullanılmaktadır (Hedin ve diğ., 1994). Anaerobik (yüzeyaltı akışlı) sulakalanın görünümü Şekil 2.11'de gösterilmektedir (Price ve Probert, 1997).



Şekil 2.11. Anaerobik (yüzeyaltı akışlı) Sulakalanın Görünümü (Price ve Probert, 1997).

Anaerobik sulakalanlar, YAS olarak da söylenebilir. Anaerobik şartlarda 30cm ile 45cm derinliğindeki organik madde boyunca yüzeyaltı akış, kimyasal ve mikrobiyal proseslerin gelişimini artırmaktadır.

Biyoreaktör Sistemleri

AMD'nin giderilmesinde biyoreaktörlerin kullanımı, Amerika'da kömür madenciliği alanında yaklaşık 20 yıldır test edilmektedir. Bu reaktörlerde, sülfatı sülfite indirmek için sülfat indirgeyici bakterilerin metabolizmaları kullanılmaktadır (Tuttle ve diğ., 1969; Wakao ve diğ., 1979; Wildeman ve Laudon, 1989; Ueki ve diğ., 1991; Costello, 2003; Tsukamoto ve diğ., 2004). Bu sistemde oluşan sülfür, sonradan metal sülfitler gibi iki değerlikli metalleri çöktürmektedir (Postgate, 1984; Barnes ve diğ., 1992).

Biyoreaktörle giderim sistemleri, sulakalan bitkileri olmadan sulakalan giderim sistemlerini en iyi şekilde kullanmak amacıyla dizayn edilmiştir. Bu yöntemler, tam olarak bakteriyel bir aktiviteye dayanmaktadır (Kuyucak, 2002). Sulakalan sistemlerinde olduğu gibi, biyoreaktördeki mikrobiyal aktivite kireçtaşı çözünmesi veya diğer nötralizasyon reaktifleri aracılığıyla (pH nötralizasyonu gibi) inorganik kimyasal reaksiyonlar ile tamamlanmaktadır (Eger ve diğ., 1997).

Biyoreaktör sistemleri, genel olarak hiçbir elektrik veya pompaya gereksinim olmayan ve sülfat indirgeyici bakterilerin gelişmesini destekleyen bir organik malzemeden suyun yerçekimiyle geçmesine dayanan pasif sistemlerdir (Tsukamoto ve Miller, 1999; Tsukamoto ve diğ., 2004). Biyoreaktörler, AMD'nin giderilmesinde farklı seviyelerde oksijen gerektiren çeşitli mikrobiyal reaksiyonlara dayanmaktadır. AMD'nin giderimi için yapılan biyoreaktör uygulamaları; açık ocak, yeraltı madenciliği, biyohendek ve bir dizi hücre ünitelerini (örneğin, mikrobiyolojik proses kullanarak asit indirgeme işlemini) içermektedir (Fyson ve diğ., 1995).

Geçirgen Biyoreaktif Bariyerler

Asidik maden yüzey sularının giderimi için alternatif bir yöntem, su akışının alıcı ortama verilmeden önce durdurulması ve suyun muamele edilmesidir (Blowes, 1990). Sülfat indirgeyici reaktif duvarlarının kullanımı, sülfürlü mineral oksidasyonunun gerçekleştiği sular için önerilmektedir. Bu sular, sonuçta yüzey alıcı bir ortama boşalan yeraltı su sistemi boyunca taşınabilirler (Blowes ve diğ., 1995). Bu sistemde, mevcut akiferin bir kısmı kazılmakta ve orijinal malzeme organik bir malzeme ile değiştirilmektedir. Duvarın gözenekliliği önemli bir faktördür. Duvar, suyun akışına (örneğin 10^{-3} cm/s) olanak verecek şekilde yeterli geçirgenliğe sahip olmalıdır (Waybrant ve diğ., 1995).

AMD'nin giderimi için tasarlanmış biyoreaktif bariyer sisteminde genel olarak bariyer, kentsel atık, çürümüş yaprak ile karışık gübre ve odun talaşı gibi katı organik maddeden oluşmaktadır (Blowes ve diğ., 2000). Organik madde, sülfatı sülfüre indirgeyen sülfat indirgeyici bakterilerin çoğalmasını teşvik etmektedir. AMD'nin giderimi için geçirgen bir biyoreaktif bariyerin tasarımında metal sülfidlerin duyarlılığı önemli bir faktördür. Sülfürler, anaerobik şartlarda düşük çözünürlüğe sahiptir. Ancak oksidasyon meydana geldiği takdirde metaller, sülfür formunda ortamda serbest kalabilirler (Costello, 2003).

Biyosorpsiyon Sistemleri

Biyosorpsiyon, cansız biyokütle ile metallerin uzaklaştırılması işlemidir. Biyosorpsiyon sistemleri, metal iyonlarının çözeltilerden cansız bakteri, alg, maya ve mantar gibi bir biyolojik malzemeye adsorplanması/absorplanması işlemine dayanmaktadır (MEND, 1996; Kratochvil ve Volesky, 1998).

Deniz ve tatlı su algleri gibi biyosorbentler, sulu çözeltilerden gümüş, bakır, kobalt, civa veya kadmiyum içeren metallerin kazanımı için kullanılmaktadır. Ticari olarak AlgaSORP olarak isimlendirilen başlıca *Chlorella vulgaris*'in yeraltı suyunun gideriminde etkili olduğu bulunmuştur (Damall ve diğ., 1989). Metal iyon seviyeleri, ppm seviyelerinden düşük ppb konsantrasyonlarına kadar azaltılabilmektedir. Biyosorbent doymuş hale geldiği zaman yeni malzeme ile değiştirilmekte ve metal yüklü biyosorbentten metaller kazanılabilmektedir (Kratochvil ve Volesky, 1998). Biyosorbent birçok kez kullanılabilir veya güvenli bir ortamda bozundurulabilmektedir.

2.5. Sulakalanlarda Giderilen Kirlilikler

Fosfor: Bir sulakalanda fosfor giderimi bitki alımı, alt tabakada adsorpsiyon, çökeltme-kompleksleşme reaksiyonları ve biyofilm tabakası tarafından gerçekleştirilen reaksiyonlarla olmaktadır. Köklü bitkilerle donatılmış sulakalanlarda fosfor gideriminin büyük bir kısmı ortamdaki adsorpsiyon tarafından gerçekleştirilmektedir. Fosforun belirli bir kısmı ise bitkiler

tarafından kullanılarak giderilmekte, küçük bir kısmı ise bakterilerin meydana getirdiği biyofilm yüzeyinde tutulmaktadır (Dağlı, 2004).

Araştırmacılar yapay sulakalanda fosfor giderimi için toprak veya toprağa yakın özellikler gösteren malzemenin kullanılmasını tavsiye etmektedir. Bitki hasadı ile sistemde giderilen TP'nin %5 oranında bir verim artışı sağladığı yine yapılan çalışmalarla bulunmuştur.

Azot: Bir sulakalan içerisindeki organik azotun en temel giderim yolu amonyaklaşma, nitrifikasyon ve denitrifikasyondur. Organik azot, hidroliz olayı ve bakteriyel ayrışmayla amonyağa dönüştürülmektedir. NO_3^- 'ler anoksik ve anaerobik zonlarda denitrifikasyon bakterileriyle azot gazı ve N_2O (nitröz oksit)'e dönüştürülmektedir. Nitrifikasyon için gerekli oksijen, atmosferden difüzyonla ve makroskobik damarlı bitkilerin köklerinden sağlanmaktadır. Ayrıca azot; bitkiler tarafından da kullanılmakta olup biyolojik kütleyle alınmakta ve ayrıştırma (dekompozisyon) işleminden sonra da tekrar organik azot olarak ortaya çıkarılmaktadır (Kadlec ve Knight, 1996).

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): Sulakalanlardaki bitki köklerinin ortamı oksijenlendirmesi KOİ gideriminde rol oynayan bir parametredir. KOİ giderimini etkileyen başlıca parametreler atıksuyun KOİ yükü, yatakların tasarımı, işletme koşulları, kullanılan dolgu malzemelerinin özellikleri, oksijen difüzyonu ve konveksiyonudur (Vymazal ve diğ., 1998).

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅): Biyokimyasal oksitlenme için mikroorganizmalar tarafından sağlanan çözünmüş oksijenin ölçümüdür. Sulakalanlardaki mikroorganizmalar biyolojik işlemlerle BOİ₅'i giderirler. Bu biyolojik reaksiyonlar ise sıcaklığa bağlıdır. Birçok durumda BOİ₅ giderilmesi düşük sıcaklıklarda azalmıştır (Erkaya, 2005).

Askıda Katı Madde (AKM): AKM sulakalanlarda birçok yolla giderilir. Organik maddeler, kalıntı metaller, azot, fosfor ve BOİ₅ gibi suyu kirleten birçok kimyasal madde çoğu zaman AKM ile ilgilidir ve çökelme yoluyla giderilir. Giderme işlemi, çoğunlukla giriş ağzının ilk birkaç metresi içinde oluşmaktadır. Bunun nedeni, sistemdeki sıvı derinliğinin sığ olması ve bu kısmın daha sakin olmasından ileri gelmektedir (Erkaya, 2005).

2.6. Yapay Sulakalanların Projelendirilmesinde Dikkat Edilmesi Gereken Parametreler

Çok sayıda araştırma ve yayına rağmen çeşitli amaçlar için yapılan yapay sulakalanların optimal dizaynları için henüz bir tanımlama getirilememiştir. Ancak bir yapay sulakalanın projelendirilmesiyle ilgili dikkat edilmesi gereken parametreler; yer seçimi, hidroloji, iklim ve hava, su periyodu, hidrolik alıkonma süresi (HAS), hidrolik yükleme oranı (HYO), su dengesi, substrat olarak ele alınmış ve aşağıda açıklanmıştır (Kilim ve Özdemir, 2004).

Yer Seçimi: Uygun yer seçimi, maliyeti önemli oranda düşürür. Yer seçiminde alanın ulaşılabilirliği, topoğrafyası, toprakları, çevresel kaynakları ve muhtemel çevresel etkileri dikkate alınmalıdır. Alan atıksu kaynağına mümkün olduğu kadar yakın seçilmelidir.

Yapay bir sulakalan için en uygun alan :

- Atıksu kaynağına uygun bir şekilde yerleştirilen,
- Yeterli alan sağlayan,
- Suyun yer çekimi ile akışına müsaade eden, hafif eğime sahip olan,
- Sızdırmayı engelleyecek şekilde sıkıştırılabilen,
- Taban suyu derin olan,
- Taşkın ovasında yer almayan,
- Soyu tükenen ve tehdit altında olan türleri içermeyen,
- Arkeolojik ve tarihi kalıntıları bulundurmeyen alanlardır.

Hidroloji: Yapay sulakalanın hidrolojisi, etkinlikte en önemli faktördür. Buna rağmen, yapay sulakalan sistemlerinin dizaynı hala değişmektedir. Suyun hacmiyle ilgili olan yapay sulakalan dizaynındaki hidrolojik etmenler; iklim, hava, su, su periyodu, HAS, HYO, yeraltısuyu değişiklikleri (infiltrasyon ve eksirtasyon), atmosferdeki kayıplar (evapotranspirasyon) ve su dengesidir.

İklim ve Hava: Yapay sulakalanlar, atmosfere açık sığ su yüzeyleri olduğundan hava ve iklim tarafından oldukça etkilenmektedir. Yağmur, kar erimesi, ilkbahar yüzey akışları, kuraklık, don ve sıcaklık sulakalan verimini etkileyen faktörlerdir.

Su Periyodu: Su periyodu, su seviyesindeki dalgalanmaların mevsimsel durumudur ve zaman, süre, sıklık ile tanımlanmaktadır. Su periyodu, değişkenliği azaltmak için ve yüzey akışını kontrol etmek için planlanırken, bir yapay sulakalanın su periyodu, yoğun bir şekilde yağış ve buharlaşmadaki mevsimsel farklılıklardan etkilenmektedir (İspirli, 2006a).

Hidrolik Alınma Süresi (HAS): Bir yapay sulakalanın ıslahının HAS'ı, yapay sulakalanda suyun ortalama kalma zamanıdır. Yapay sulakalanlar uzun bekletme süreleri ile boyutlandırılır. Böylece partiküllerin giderimi artar. Araştırmalar, atıksuyun iyileştirilmesi için optimum 6-7 günlük tutma süresi bildirmektedir. Daha kısa tutma süreleri kirletici degradasyonu (parçalanması) için yeterli süreyi sağlamaz, daha uzun tutma süreleri de durgun anaerobik koşulların oluşmasına neden olabilir.

Hidrolik Yükleme Oranı (HYO): Temel birimde su hacmi üstündeki yüklenmeyi ifade eder.

Su Dengesi: Yapay bir sulakalan için su dengesi, giren ve çıkan akış ve depolamanın miktarıdır. Yapay sulakalana giren sular, yüzey suyunu (atıksu ve sel suyu), yeraltı infiltrasyonunu ve yağışları içermektedir. Depolama substratın gözeneklerinde su ile yüzeydeki suyun toplamıdır. Çıkan sular ise, yeraltı suyuna giden filtrasyon ve çıkan atıksu ile bitkilerden terleme ve yüzey sularından buharlaşma ile meydana gelen kayıpları içermektedir.

Substratlar: Sulakalan substratları, sulakalanlarda bitki gelişimine destek olarak biyokimyasal ve kimyasal dönüşümlere katkı sağlarlar ve ortamdan uzaklaştırılan kirleticilerin depolanacağı alanların oluşumuna yardımcı olurlar. Substratlar toprak, kum, çakıl ve organik materyalleri içerirler.

2.7. Yapay Sulakalanların Maliyeti

Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) çeşitli amaçlarla kullanılan sulakalanlara ait inşaat masrafları Çizelge 2.8'de sunulmuştur (Hochheimer ve diğ., 1991). Buna göre, ortalama olarak arazinin m²'si başına yaklaşık olarak 38 ABD \$'lık bir masraf düşmektedir.

Çizelge 2.8. ABD'de Farklı Amaçlarla Kullanılan Sulakalanların Uygulama Masrafları (Hochheimer ve diğ., 1991).

Sulakalanlar	Alan (ha)	Fiyatı (ABD\$/ha)	Kullanım Amacı
Balona Wetland, CA	87.4	70.100	Habitat, rekreasyon
Greenwood Urban Wetland, FL	11.0	51.500	Yağmur Suyu
Lake Jackson Restoration, FL	4.0	199.500 ^a	Yüzey Akış Suları
Santee Marsh, CA	0.1	1.820.000 ^b	Atıksu
Iselin Marsh / Pond / Meadow, PA	0.2	2.080.000 ^b	Atıksu
Pintail Lake, AR	20.2	73.800	Atıksu
Jacques Marsh, AR	18.0	75.300	Atıksu
Kash Creek, AB	0.4	84.200	Asitli maden atıksuları
SIMCO Mine, OH	0.2	480.000	Asitli maden atıksuları
Windows Creek Steam Plant, AB	0.5	69.800	Kül Havuzu Sızıntıları
Kingston, AB	0.9	142.100	Kül Havuzu Sızıntıları
Bolivar Peninsula, TX	8.0	34.100	Drenaj Boşaltım Sahası
Windmill Point, VI	8.0	25.300	Drenaj Boşaltım Sahası
Blue River Reclamation Project, CO	12.0	41.300	Restorasyon

^a Su tutma yapılarını ve filtre masrafları da hesaba katılarak belirlenen miktar

^b Su tertibatı masrafları da dahil olmak üzere ekilmiş sulakalanlar için harcanan para

2.8. İşletim Detayları

Yapay sulakalanların tasarımı, işletimsel gereksinimleri, geleneksel atıksu sistemlerinininkinden daha az olacak şekildedir. Bu sistemlerin işletimi pasiftir ve dikkatli gözlem gerektirir (U.S. EPA, 1999). Bunun için bir işletmeci aşağıda belirtilen hususlardan kaynaklanan bir problemle karşılaşursa gerekli olan işlemi yapması uygundur. Geleneksel atıksu arıtma sistemlerine gelince işletmeciler sistemin imkan verdiği ölçüde örnekleme ve takip yapmalıdırlar.

Campbell ve Ogden (1999) ve U.S. EPA (1999) yapay sulakalan işletmecileri için anahtar bakım konularını tanımlamışlardır. Bunlar;

- Su seviyesi,
- Yolun kenarındaki toprak kısım ve toprak set,
- Böcek/vahşi yaşam kontrolü,
- Debi kontrolü ve
- Bitki örtüsünün kontrolü gibi bakım konuları yapay sulakalan işletmecileri için önemlidir (Campbell ve Ogden, 1999).

• Su Seviyesi:

Sulakalanların tasarımına, su seviyesi kontrol yapılarını dahil etmek önemlidir. Bir yapay sulakalandaki su seviyesi, sistemdeki HAS'ı ve bu nedenle sistem performansını etkiler (U.S. EPA, 1999). Su seviyesi ile ilgili işletmecilerin ilgilendiği konular aşağıdaki şekildedir;

- a) Seviye kontrol yapılarının bakımında tortuları temizlemek (Campbell ve Ogden, 1999).
- b) Drenaj, fırtına, tıkanıklık ve sızıntı gibi su seviyesindeki önemli değişiklikleri kaydetmek (U.S. EPA, 1999).
- c) Soğuk havalarda donma ihtimalini azaltmak için su seviyesini maksimum düzeyde tutmak (Campbell ve Ogden, 1999).

YAS'larda tıkanma nedeniyle göllenmeler meydana gelebilir, bu durumda işletmeciler su seviyesini düşürerek veya tıkanma derecelerine bağlı olarak hücreyi boşaltarak problemi halledebilirler. Bu sebeple sistemdeki çoklu hücrelerin birbirine bağlı olması faydalıdır.

• Yolun Kenarındaki Toprak Kısım ve Toprak Set:

Düzenli bakım, erozyon kontrolü ve bitki örtüsündeki diğer bitkiler ve hayvanlar tarafından oluşabilecek yıkıcı etkileri incelemeyi içerir (U.S. EPA, 1999). Campbell ve Ogden (1999) işletmecilerin dikkat etmesi gereken hususları; setteki sızıntıları kontrol etmeleri ve aynı zamanda da su akım alanlarına nüfuz edebilecek ya da sulakalan bitkilerinin gelişimini engelleyecek derecede, aşırı şekilde gölge oluşturacak ağaçlara dikkat etmeleri gerektiğini ifade etmişlerdir.

- **Böcek/Yaban Hayatı Kontrolü:**

Açık sular yabani hayat için büyük bir yaşam alanı oluşturmaktadır. Ancak bunların kontrolü hem SYS'lerde hem de YAS'larda büyük bir problemdir. Bunun yanı sıra yabani hayat için yapay sulakalanlar oldukça yararlıdır. Yaban hayatında olan canlılar; böcekler, barınak hayvanları, tehlikeli sürüngenler ve sivrisineklerdir (U.S. EPA, 1999). Bunlar sulakalan bitkileriyle beslenirler ve sistemden besin arıtımı için bir araç sağlarlar. Bu zararlıları yıldırmak için öncelikle duvar tesisatı kurulmalı veya su seviyesi geçici olarak yükseltilmelidir, bunun yanında bir takım yaşam tuzakları kurmak ve yok etmekte gereklidir (U.S. EPA, 1999). Yarasa yuvaları ve kırlangıç yuvaları; sivrisinek, diğer haşeratlar ve sulakalan bitkileriyle beslenen hayvanların kontrolünde kullanılabilir (Campbell ve Ogden, 1999).

- **Debi Kontrolü:**

Sulakalandaki mümkün olan akış hızının düzenli olmasına dikkat edilmelidir. İşletmeciler, bu düzenli akışı, sulakalanın su giriş ve çıkışını rutin olarak kontrol edip temizleyerek sağlayabilirler. Giriş ve çıkışlardaki tıkanıklıkları da basınçlı suyla temizlemek gereklidir. Akış hızı düzenliliğini etkileyecek diğer bir etkende, su giriş yapısındaki YAS ortamında oluşabilecek bakteriyel tabakadır. YAS'larda birikmiş katıları temizlemek için bir hücreyi sistem dışı bırakmak gerekebilir (Brand, 2007).

- **Bitki Örtüsünün Kontrolü:**

Genellikle, bitki örtüsünün büyümesine dikkat etmek ve ölü bitkileri önemli ölçüde gidermek işletmeciler için önemlidir (U.S. EPA, 1999). Yapay sulakalanlarda kendi kendine yetebilen bitkilerin kullanılması tasarlanmıştır. YAS'lardaki su yataklarında eğer aşırı yabani otlama meydana gelirse elle ot temizliği gerektirebilir (Campbell ve Ogden, 1999). İşletmecilerin, bitkilerin az olduğu bölgeleri kontrol edip gerektiğinde tekrar bitki ekimi yapmaları gerekebilir. Hasatın, bazı SYS'lerde yapılması gereklidir (U.S. EPA, 1999).

3. ATIKSU ARITIMINDA BİTKİLERİN KULLANILMASI VE SUCUL YABANCI OTLAR

Bitkiler genelde görsel ve bilinen fonksiyonel katkıları dışında bazı kirlilik etmenlerinin yok edilmesinde doğrudan etkilidir. Bu etki dünyada ilk kez 1953'de Almanya'da Kathe Siedel'in *Sicurpis lacurtis* ile bazı kirlilik etmenlerini temizleme yeteneği ile açığa çıkmıştır (Söğüt ve diğ., 2004).

Yapay sulakalanlarda aktivitenin gerçekleştiği bölge, çoğunlukla kök bölgesidir (rizosfer). Bu bölgede bitkiler, mikroorganizmalar, toprak ve kirleticilerin etkileşimlerinden dolayı fizikokimyasal ve biyolojik prosesler gerçekleşir.

Yapay sulakalan sistemlerinde kullanılan bitkiler "Aerenchym" adı verilen bir doku yardımı ile atmosferden aldıkları oksijeni 120cm'ye kadar derine inen köklerine iletmekte ve toprak içinde oksijenle zengin bölgeler oluşturmaktadırlar. Böylece su içerisinde mozaik biçiminde bol oksijenli ve oksijensiz bölgeler meydana gelmektedir. Bu şekilde oluşan farklı bölgeler değişik kimyasal olayların meydana gelmesini sağlayarak kirlilik maddelerinin hızlı bir biçimde parçalanmasını sağlarlar. Bu bitkilerin kök bölgelerinde bitki türüne göre değişen bakteri popülasyonları oluşur. Örneğin *Phragmites communis* bitkisinin kök bölgesinde 1gr toprakta 10-100 milyon bakteri sayılmıştır (Soran, 1992). Aerob ve anaerob koşulların birlikte bulunması aynı zamanda nitrifikasyon ve denitrifikasyon olaylarının oluşmasını sağlar. Azot bileşiklerinin önemli bir bölümü elementer azota kadar parçalanır, geri kalan bölümü bitki tarafından biyomasa dönüştürülürken bir bölümü de toprakta humus oluşturularak tutulur. Bu reaksiyonlar sonucu amin, thiole, NH₃ gibi kötü kokulu gazların çıkışı ve çevreyi rahatsız etmeleri engellenir. İyi çalışan sistemlerde azot bileşiklerinin %85'i elementer azota %2-3'ü biyomasa dönüşür. Geri kalan kısım ise organik maddelerle birleşerek humus oluştururlar (Soran, 1992).

Azot yanında önemli bir kirlilik maddesi olan fosforda kök bölgesi uygulamalarında önemli değişikliğe uğrayarak zararsız hale geçer. Atıksu içerisindeki fosforun bir bölümü bitki tarafından alınarak biyomasa dönüştürülür. Ancak bu miktar beklenenin çok altında bulunmuştur. Yapılan araştırmalarda, TP'un ancak %2 kadarının biyomasa dönüştüğü görülmüştür (Soran, 1992).

Fosforun önemli ölçüde eliminasyonu özellikle demir ve alüminyum bileşikleriyle bağlanması suretiyle olur. Böylece demir fosfat bileşikleri ve alüminyum fosfat bileşikleri meydana gelerek fosfor atıksudan ayrılır. Fosfat kök bölgesinde organik maddelere de bağlanabilmektedir. Bazı özel durumlarda bu şekilde bağlanan fosforun miktarı TP'un %50 kadarına çıkabilmektedir (Soran, 1992).

Atıksu arıtımı için bitki türünün seçimi, sık bir bitki örtüsü oluşturmak kadar önemlidir. Bölgenin iklimine, toprağına, diğer bitki ve hayvan topluluklarına adapte olabilecek ve hızlı büyüyecek lokal ve yöresel bitki türleri seçilmelidir. Atıksulardaki yüksek organik yüklemelerden dolayı yapay sulakalanlar organik madde açısından zengindir (Çiftçi ve diğ., 2007).

Seçilen bitki türü, hızlı büyümeli, besi maddeleri (azot ve fosfor) yönünden zengin atıklara dayanmalı ve sulak ortamda yaşayabilmelidir. Yüksek besin seviyelerini tolere edebilecek yapıda oldukları için sızlıkların kullanımını iyi sonuçlar vermektedir.

3.1. Su Yabancı Otları ve Türleri

Gürçay (1994)'a göre su içi bitkiler, primer ve sekonder olarak iki gruba ayrılmaktadır. Primer sucul bitkilere ilkel bitkiler de denir. Bunların en büyük grubunu yaşamlarını tamamen su içinde geçiren algler oluşturmaktadır. Bugün yaşayan yüksek bitkiler, bu grup bitkilerin karasal ortama uyum sağlamaları sonucu ortaya çıkmıştır. Karasal ortama uyan yüksek bitkiler olarak nitelendirilen bu grup içindeki bazı bitkiler tekrar sucul ortamda yaşama özelliği kazanmışlardır. Bunları sekonder sucul bitkiler olarak tanımlayabiliriz.

Su içinde yaşayan sekonder sucul bitkiler, su ile olan ilişkilerine göre 3 grupta toplanmaktadır.

3.1.1. Sualtı (Batık) Yabancı Otları: Gelişme organlarının hemen tümü su yüzeyi altında bulunan, kökleri ya da kök benzeri organları ile taban toprağına tutunmuş olarak yaşayan üreme organları çoğu kez su yüzeyine çıkabilen yabancı otlardır. Bunlarda karasal bitkilerde olduğu gibi kutikula tabakası oluşmamıştır. Bu özelliği sayesinde suda bulunan gaz ve besin elementlerini bütün yüzeyleriyle kolayca alırlar. Ayrıca yapraklarının boyları küçük, sık dizilişli ve parçalı bir yapı göstermesiyle yaprak yüzeyi genişler. Bu özellik bitkileri suyun mekaniksel etkisinden koruduğı gibi, besin elementleri ve gaz alımını da kolaylaştırır. Aşağıdaki Çizelge 3.1'de yaygın olan türlerden örnekler verilmiştir (İspirli, 2006a).

Çizelge 3.1. Sualtı Yabancı Otları (İspirli, 2006a).

Bilimsel Adı	Türkçe Adı	Familyası
<i>Callitriche intermedia</i> Hoffm.	Su yıldızı	Callitrichaceae
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Kaba boynuz yaprak	Ceratophyllaceae
<i>Eledoa canadensis</i> Michaux	Su otu	Hydrocharitaceae
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Sık yapraklı su sümbülü	Potamogetonaceae
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Başaklı sucivan perçemi	Haloragidaceae
<i>Najas minor</i> All.	Küçük su perisi	Najadaceae
<i>Potamogeton berchtoldii</i> Fieber	Dar yapraklı su sümbülü	Potamogetonaceae
<i>Potamogeton cirruspus</i> L.	Kıvrıcık su sümbülü	Potamogetonaceae
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Parlak su sümbülü	Potamogetonaceae
<i>Potamogeton nodosus</i> Poiret.	Boğumlu su sümbülü	Potamogetonaceae

3.1.2. Suüstü (Yarı Batık) Yabancı Otları: Sulakalanlarda ve bataklıklarda yaygın olarak bulunan, toprak altında 50cm'lik su tablası barındıran ya da 150cm'lik ve daha üstündeki su derinliğine sahip ortamlarda yaşayan sucul bitkilerdir. Genel olarak oldukça gelişmiş hava iletim kanallarına, iyi gelişmiş kök ve rizom sistemine sahiptirler. Köklerin yayılımı ve kapladıkları sediman hacmi de türden türe değişkenlik göstermektedir. Bu grubun bazı türleri kamaş (*Phragmites* sp.), hasırotu (*Scirpus* sp.) ve kedidili (*Typha* sp.)'dir. Bu bitkilere örnekler Çizelge 3.2'de verilmektedir (İspirli, 2006a). Bu bitkiler köklere ve rizomlara oksijen ulaştırmak için sahip oldukları uzun hava kanalları sayesinde, suya doymuş ya da sualtındaki sedimana tutunarak yaşamaya morfolojik olarak kolayca adapte olmuşlardır. Oksijen, hava boşlukları içerisinde difüzyon ya da havanın konveksiyonu sayesinde uç noktalara kadar taşınabilmektedir. Taşınan oksijenin bir kısmı, anoksik olan ortama rizosferden sızabilmektedir. Oksijen konsantrasyonunun ortamda artması ile birlikte organik maddelerin ayrışması ve azot fiksleyen bakterilerin büyümesi kolaylaşmaktadır.

Çizelge 3.2. Suüstü Yabancı Otlar (İspirli, 2006a).

Bilimsel Adı	Türkçe Adı	Familyası
<i>Arundo donax</i> L.	Karga	Poaceae
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	Kurbağa kaşığı	Alismataceae
<i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla	Kofalık	Cyperaceae
<i>Cyperus longus</i> L.	Uzun topalak	Cyperaceae
<i>Juncus acutus</i> L.	Sivri hasırotu	Juncaceae
<i>Nasturtium officinale</i> R.Br.	Su teresi	Brassicaceae
<i>Phragmites australis</i> (Cav)	Kamaş	Poaceae
<i>Polygonum lapathifolium</i> L.	Boğumlu çobandeyneği	Polygonaceae
<i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla	Su sandalye sazı	Cyperaceae
<i>Sparganium erectum</i> L.	Çok dallı sığır sazı	Sparganiaceae
<i>Typha domingensis</i> Pers.	Hasır semerci sazı	Typhaceae
<i>Typha latifolia</i> L.	Geniş yapraklı saz	Typhaceae

3.1.3. Yüzen Yabancı Otlar: Atıksu arıtımında günümüze kadar birçok su bitkisi kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; Su mercimeği (*Lemnaceae*), Su sümbülü (*Eichhornia crassipes*), Su marulu (*Pistia stratiotes*), Pennywort (*Hydrocotyle umbellata*), Azolla (*Azolla caroliniana*), Egeria (*Egeria densa*), Pak Bung (*Ipomoea aquatica*) türleridir. Bu bitkilerin atıksulardan besi maddesi giderim etkinliği bitki türüne, çalışma koşullarına, besleme suyuna ve istenen çıkış suyu kalitesine bağlıdır (Uysal ve Zeren, 1998).

Su bitkileriyle gerçekleştirilen arıtma sistemi, çoğunlukla ikincil arıtmadan çıktıktan sonra evsel atıksulardan azot ve fosfor giderimi için ileri arıtım prosesi olarak kullanılır.

Genel olarak yüzen su bitkileriyle arıtmada en çok yararlanılan bitkilerin, su mercimeği ve su sümbülü olduğu görülmektedir. Yüzen yabancı otlar 2 grupta incelenebilirler. Bunlar:

a) Serbest Yüzen Yabancı Otlar: Su yüzeyinin hemen altında (*Lemna*) ya da su yüzeyinde özgürce yüzen (*Lemna*, *Spirodela*, *Salvinia*, *Azolla*) su yabancı otlarıdır. Yaprakları su düzeyindeki değişikliklere uyum sağlamıştır. Yapraklarda yoğun olarak havalandırma dokusu bulunur. Kökler yoğun ve dallanmış olup, su ve besin maddelerinin alınması ile bitkinin dengesini sağlarlar. Bu türe ait yaygın örnekler Çizelge 3.3’de verilmiştir (İspirli, 2006a).

Çizelge 3.3. Serbest Yüzen Yabancı Otlar (İspirli, 2006a).

Bilimsel Adı	Türkçe Adı	Familyası
<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	Kırmızı eğrelti	Salviniaceae
<i>Lemna gibba</i> L.	Şişkin su mercimeği	Lemnaceae
<i>Lemna minor</i> L.	Küçük su mercimeği	Lemnaceae
<i>Salvinia natans</i> (L.) All.	Yüzen eğreltiotu	Salviniaceae
<i>Spirodella polyrrhiza</i> (L.) Schleid.	İri su mercimeği	Lemnaceae

b) Köklü Yüzen Yabancı Otlar: Yaprak ve gövdelerinin büyük bir bölümü su yüzeyinde ya da su yüzeyi üzerinde bulunan (*Potamogeton*, *Nymphaea*, *Trapa*) ancak kökleri ile taban toprağına tutunmuş olarak yaşayan su yabancı otlarıdır. Su içindeki yaprakları sualtı bitkilerinin, su üstündeki yaprakları ise suüstü bitkilerinin yapraklarına benzer. Gözenekler yaprakların yalnız üst yüzeyindedir. Üremeleri sualtı yabancı otlarında olduğu gibidir. Çizelge 3.4’de köklü yüzen yabancı otlardan yaygın olanlar gösterilmiştir (İspirli, 2006a).

Çizelge 3.4. Köklü Yüzen Yabancı Otlar (İspirli, 2006a).

Bilimsel Adı	Türkçe Adı	Familyası
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	Kurbağa otu	Hydrocharitaceae
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm.	Sarı nilüfer	Nymphaeaceae
<i>Polygonum amphibium</i> L.	Su çobandeyneği	Polygonaceae
<i>Potamogeton natans</i> L.	Deniz dili	Potamogetonaceae
<i>Ranunculus saniculifolius</i> Viv.	Su düğün çiçeği	Ranunculaceae
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix.	Hakiki su düğün çiçeği	Ranunculaceae

3.2 Yapay Sulakalanlarda Yaygın Olarak Kullanılan Sucul Yabancı Otlar

Su kirliliği artımında farklı metotlarla kullanılan sucul yabancı otlardan, dünyada ve ülkemizde yapay sulakalanlarda yaygın şekilde kullanılanlar aşağıda açıklanmıştır.

***Phragmites australis* (Cav) (Kamış):** Suyun bulunduğu her ortamda özellikle sulanan veya taban arazilerde, göl, bataklık kenarları ve tahliye kanallarında bulunur. Bu nedenle atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılır. Çok yıllık yarı batık su yabancı otudur. Kökleri kuvvetli dallanmıştır. 1-2m uzunluğa erişebilir ve rizomludur. Gövdesi yalın ve 3m kadar uzayabilen bir bitkidir. Yaprak diplerindeki dilcik 0.5-1mm boyunda olup tüylerden oluşmuş saçak biçimindedir (Özer ve diğ., 1996). Avrupa’da kök bölgesi metodunda kullanılmaktadır ve taşınımında bu bitkilerin kullanımı etkili olmaktadır. Suda yaygın gelişen bitkilerdendir.

***Typha latifolia* L. (Geniş Yapraklı Saz):** Typhaceae familyasındandır. Orta ve Güney Afrika, Güney Asya, Avustralya ve Polinezya dışında tüm dünyada yaygındır. Çok yıllıktır. Besin maddesince zengin yavaş akan sulara ve bataklıklarda bulunur. Su yabancı otudur. Kökler boğumlu rizomludur. Genç dönemlerinde koyu kahve renkli olup, daha sonraları açık renkli ve kahverengi noktalıdır. Tepecikler mızrak-sı-yumurtamsı biçimlidir. Gövdeleri 2m kadar boya erişen bitkinin yaprakları 1-2cm genişliğinde, mavimsiyaz yeşil renkli olup, 1-2m uzunluğa erişebilmektedir. Her bitkide tek ve kalın bir sap çıkar. Yaz ortasında çiçek açar. Üremesi tohumladır. Farklı iklim şartlarına uyum sağlama yeteneğine sahip olduğundan üretilmesi kolaydır. Bu nedenle sulakalanlarda yaygın olarak kullanılan bir bitkidir (Özer ve diğ., 1999).

***Juncus acutus* L. (Sivri Hasır Otu):** Bataklıklarda drenaj kanallarında ve ıslak kumlarda bulunur. Yüksekliği 0.5-1m’dir. Haziran-Ekim aylarında yeşilimsi çiçek açarlar. Çiçekler dallı-budaklı salkım halinde bulunur. Meyveleri yuvarlak köşelidir. Yapraklar kın haline gelerek gövdeyi sarmıştır. Rizom veya tohumla üreyen çok yıllık bitkilerdir (İspirli, 2006a).

***Scirpus lacustris* L. (Sandalye Sazı):** Yığınlar şeklinde çok yıllık otsu bitkilerdir. Hafif tuzlu ve tuzlu bataklıklarda, sulakalanlarda ve kıyı sularında yaygın dağılım gösterirler. 5cm- 3m arasındaki su derinliklerinde iyi gelişme gösterirler. Gövdesi yuvarlak ve koyu yeşil renktedir. Boyları 1-3m’ye kadar yükselir. Çiçekler gruplar halinde olup gövde ucuna sapsaplarla bağlanmıştır. 3mm büyüklüğünde kahverengi köşeli tohumları vardır. Sıcaklık isteği 16- 27 °C olup pH isteği 4- 9’dur (İspirli, 2006a).

***James brydon* (Kırmızı Nilüfer):** Nilüferler arasında en popüler olanlardandır. Estetiği yanında, gölgeye kısmen dayanıklı olması da popüleritesini arttırmaktadır. 13-15cm çapındaki çiçeklerinin, dış yaprakları koyu pembe, içtekiler ise koyu kırmızıdır. Portakal rengi polen sapsaplarının uçları

sarıdır. Kokulu olan çiçekler, bronz-koyu yeşil, yuvarlak yapraklarla sarıdır. Bitki 120cm çapa ulaşır. Alçak ve derin sularda yetişebilmektedir. 30-70cm su derinliğine gereksinim gösterir (Palmiye Merkezi).

***Lemna minor* L. (Su Mercimeği):** *Lemna*, *Spirodella* spp. ve *Wolffia* spp. olmak üzere çeşitli türleri olan yeşil renkte bir su bitkisidir. Bu bitkinin yaprağı 1-3mm genişliğinde, kökleri ise 1cm civarındadır. Su sümbülüne kıyasla daha düşük sıcaklıklara toleranslıdır. Ülkemizde yaygın olarak görülen su mercimeği kolay hasat edilerek, hayvan yemi olarak kullanılması ile de dikkat çekmektedir.

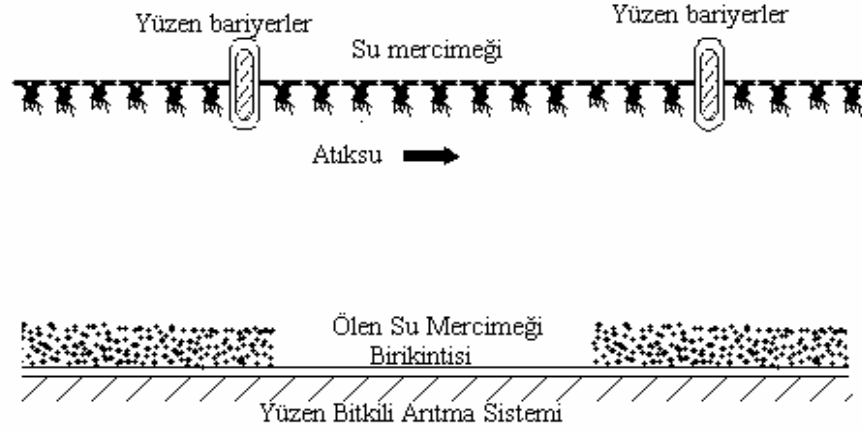
Su mercimeği (*Lemnaceae*) familyası, dünyanın pek çok bölgesinde yaygın olarak bulunan küçük yüzen su bitkileridir. Bu bitkiler nutrient içeriği yüksek tatlı sularda, su yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayarak gelişirler. Özellikle ılıman tropikal iklimlerde, durgun su ortamlarında yaygın olarak bulunurlar. Kısmen kirlenmiş sularda, tuzlu sularda ve ötrofik su ortamlarında da yaşamlarını sürdürebilmektedirler (Uysal, 1998). Bunlar çiçekli bitkilerin en küçük ve basit, fakat en hızlı çoğalan türleridir. Yapraktaki hücreler bölünmek suretiyle yeni bir yaprak meydana gelir. Su mercimeği yapraklarına frond adı verilir.

Su mercimeği türleri 5-7 °C gibi düşük su sıcaklıklarında ve 1-3 °C gibi düşük hava sıcaklıklarında gelişebilmektedirler (Uysal ve Zeren, 1998). Bu bitki türü geniş pH aralığına karşı toleranslıdır. En iyi pH aralığı ise 4.5-7.5'tir. pH'nın 10'un üzerinde olması büyümeyi önemli ölçüde etkilemektedir (Bayhan ve diğ., 1996).

Su mercimekleriyle oluşturulan sistemlerde üretilen biyokütle, su sümbülüyle oluşturulan sistemlere kıyasla iki kat daha fazla protein, yağ, azot ve fosfor ihtiva etmektedir. Su mercimeği hayvanlar için cazip bir besin kaynağıdır. Su mercimeğinin protein içeriği %37 civarındadır (Karagöz, 1998).

Su mercimeği sistemlerinde, aerobik ve anaerobik bakteriler sayesinde arıtım gerçekleşmektedir. Bu atıksu arıtma sistemleri organik maddelerin, nutrientlerin, ağır metallerin ve patojenlerin gideriminde oldukça etkilidir. Su mercimeği su yüzeyini kaplayarak havuzda üç bölge oluşturur. Bu bölgeler aerobik, anoksik ve anaerobik bölgelerdir. Bitki örtüsü altında oluşan anaerobik ortam %90-95 oranında AKM ve BOİ₅ giderimini sağlamaktadır (Yılmaz ve Gür, 2003).

Su mercimeklerinin yoğun bir şekilde su yüzeyini kaplamış olması, güneş ışığının havuzun içine nüfuz etmesini engellediğinden ortamdaki mikroskobik alg oluşumu engellenmektedir. Yüzeyin bitki ile kaplanması, sisteme atmosferden oksijen girişini engellemekte ve sistemde oksijen problemi oluşmaktadır. Su mercimekleriyle oluşturulan sistemlerdeki bitkiler rüzgar sebebiyle etrafa yığılmaktadır. Bu yığılmayı azaltmak için bazı yerlerde sistemin etrafına yüzen bariyerler inşa edilmektedir. Böyle bir düzenek Şekil 3.1'de gösterilmektedir (Ayaz ve diğ., 2002).



Şekil 3.1. Su Mercimeğiyle Oluşturulan Sistemin Şematik Gösterimi (Ayaz ve diğ., 2002).

***Eichhornia crassipes* (Su Sümbülü):** Geçmişte su bitkilerinin insanlar için değeri, estetik olması, süs olarak kullanılması veya doğal hayat için yararlı olmasıyla sınırlıydı. Aynı zamanda, su sümbülü gibi bitkiler dünyanın bazı yerlerinde dere ve göllerin hareketlerini yavaşlatarak ciddi problemlere neden olmaktaydı. Ancak ilerleyen zamanlarda bu tip sucul bitkilerin su kalitesini geliştirmede oldukça faydalı olduğu fark edildi (Yılmaz ve Gür, 2003).

Su sümbülü arıtma sistemleri, ya sadece ileri arıtma veya ikincil ve ileri arıtmaya yönelik olarak kullanılmaktadır. Sistem ileri arıtma için kullanıldığında atıksuda mevcut olan azot ve fosfor miktarı maksimum düzeyde olmaktadır. İkincil ve ileri arıtma tekniğinde ise hem organik maddenin oksidasyonu hem de nutrient giderimi sağlanmaktadır. Su sümbülünün organik madde gidermesi, nitrifikasyon için en uygun koşulların sağlanmasına bağlıdır. Sahip olduğu geniş kök sistemleri mikroorganizmaların gelişmesi için geniş bir yüzey oluşturmaktadır. Bu da giderim veriminin artmasını sağlamaktadır. Uzun ve yoğun kök sistemi ve geniş yapraklar güneş ışığının geçişini engelleyerek alg gelişimini de önlemektedir (Kim ve Kim, 1999).

Su sümbülüyle oluşturulan atıksu arıtma sistemleri yarı tropik ve tropik bölgelerde başarılı olarak uygulanmaktadır. Su sümbülü don olaylarından etkilenir. 10°C 'nin altında büyüme hızı azalır. Sistem dizayn edilirken bu tür özelliklere dikkat edilmelidir (İspirli, 2006). Su mercimeği ve su sümbülü bitkilerinde dokuları oluşturan bileşenler Çizelge 3.5'de görülmektedir (Erol, 1997).

Çizelge 3.5. Atıksuda Gelişen Su Mercimeği ve Su Sümbülü Dokularının Bileşenleri (Erol, 1997).

Bileşen	Kuru ağırlık (%)			
	Su Mercimeği		Su Sümbülü	
	Aralık Değer	Ortalama	Aralık Değer	Ortalama
Ham Protein	37.2-44.7	38.7	9.7-23.4	18.1
Yağ	3.0-6.7	4.9	1.6-2.2	1.9
Lif	7.3-13.5	9.4	17.2-19.5	18.6
Kül	12.0-20.3	15.0	11.1-20.4	16.6
Karbonhidrat		35.0	36.9-51.6	44.8
Kjeldahl azotu (N)	4.6-7.2	5.9	1.6-3.7	2.9
Fosfor (P)	0.5-0.7	0.6	0.3-0.9	0.6

3.3. Transgenik Bitki Kalıntılarının Toprak Ekolojisi Üzerine Etkileri ve Transgenik Bitkilerin Çevresel Yönetimi

Biyoteknolojik yöntemlerle elde edilen transgenik ürünler, klasik ıslah yöntemleri ile çözülemeyen, ekonomik öneme sahip bazı sorunların çözümünde önemli katkılar sağlamaktadır. Bununla birlikte, transgenik ürünler kendi türlerine ait olmayan genleri taşıdıklarından beraberinde bazı önemli çevresel tereddütleri de getirmektedir. Risk ihtimali bulunan diğer alanlar, insan ve hayvan sağlığı, biyolojik çeşitlilik ve sosyo-ekonomik yapıdır. Kullanılan teknolojiye taşıyıcı olan ve değiştirilerek çevreye bırakılan mikroorganizmaların ve transgenik bitki kalıntılarının, toprağın biyolojik yapısına etkileri konusunda yapılacak araştırmalara gereksinim vardır.

Kültür bitkileri insanlar tarafından binlerce yıldır geliştirilmektedir. Geleneksel bitki ıslah yöntemleriyle genler, akraba türlerden veya cinslerden kültür bitkilerine transfer edilebilmektedir. Bitki biyoteknolojisinin uygulama alanları yabancı ot öldürücülerine, böceklerle, virüslere, hastalıklara, soğuk ve kuraklık gibi iklim şartlarına dayanıklılığın artırılması ve transgenik bitki geliştirilmesi olarak gösterilebilir. Daha ekonomik maliyeti olması, ürünün dayanıklılığı ve gıda değeri üzerinde sağlanabilen üstünlükler gibi yararları, kültür bitkilerine gen transferinin artmasına neden olmaktadır. Transgenik ürünler virüsler, bakteriler, hayvanlar ve bitkilerden genler içerirler. Transgenik bitkilerle yapılan ıslah çalışmalarında çok çeşitli organizma ve genler kullanıldığı için, çevreye salınması ve tüketilmesi gibi aşamalarda sıkı bir risk değerlendirmesine gereksinim vardır (Ekmekyapar ve Kaykioğlu, 2005).

3.3.1. Transgenik Bitkilerin Çevresel Etkileri

- Çevreye Gen Kaçışı Riski ve Genetik Kirlenme Riski

Transgenik bitkilerden alıcı ortama gen kaçışına bağlı olarak, gen havuzlarının kirlenmesi sonucu organizmaların zamanla adaptasyon yeteneklerinin ortadan kalkabileceği belirtilmektedir.

Bir populasyonun gen havuzuna, genetik göç veya gen transferi yoluyla o populasyona ait olmayan yabancı genlerin bulaşması, genetik kirlenme olarak tanımlanmaktadır.

Doğa farklı türler, cinsler veya ailelere ait genlerin karışmasına izin vermez; fakat genetik mühendisliğinde bu genler rahatlıkla biraraya getirilmektedir. Bu da, yabancı otların ve doğada bulunan benzer cinsteki bitkilerin genetik bileşimini değiştirebilir. Örneğin, ot öldürücülere dayanıklı transgenik bitkilerin polenleriyle tozlaşan doğal bitkiler, ot öldürücülere dayanıklı süper yabancı türler olarak ortaya çıkabilir. Bu durum böcek öldürücülere dirençli tarım zararlılarının oluşmasına da neden olabilir (Ekmekyapar ve Kaykıoğlu, 2005).

• **Yabaniliğin Artması**

Yabancı otlara, bakteri, mantar gibi tarım zararlılarına, böceklerle ve bu tür zararlılarla mücadelede kullanılan kimyasal ilaçlara karşı direnci sağlamak amacıyla kültür bitkilerine aktarılan genlerin, gen kaçıışı, yapay gen transferi ve kontrolsüz melezlenme gibi olaylar nedeniyle yabancı türlere geçmesi, yabaniliğin artması, süper yabancı türlerin gelişmesi ve eski zararlıların tekrar ortaya çıkması olasılığını taşımaktadır. Tarımsal alanlarda transgenik bitkilerden yabancı bitkilere gen akışını kontrol etmek oldukça zordur. Transgenik bitkilerden diğer bitkilere gen kaçışımının doğurabileceği riskler; organizmaların zamanla genetik özgünlüklerini kaybetmesi, uzun vadede yabancı ot ve böceklerin ortaya çıkması sonucu tarım ilaçları kullanımının artması, tür sosyolojisinin bozulması nedeniyle populasyonlar arası dengelerin ortadan kalkması şeklinde belirtilmektedir. Yapılan araştırmalar, transgenik bitkilerden yabancı bitkilere gen hareketi sonucu yabancı bitkilerin yabaniliklerinin arttığını göstermektedir. Transgenik bitkilerin geniş alanlarda yetiştirilmesi sonucu kültür bitkilerinden yabancı bitkilere gen aktarımının çevresel problemleri artıracığı belirtilmektedir (Snow ve Palma, 1997).

• **Bitkilerde Dayanırlılığın Azalması**

Tarım ilaçlarına ve tarım zararlılarına karşı dirençli hale getirilen kültür bitkilerindeki direnç özelliklerinin diğer organizmalara geçmesi ve bu bitkilerin genetik özgünlüklerini zamanla kaybetmeleri sonucu, sözü edilen bitkilerin zamanla dirençlerinin ortadan kalkma tehlikesi bulunmaktadır. Gen aktarımı işlemleri sonucunda bitkilerde tarım ilaçlarına, hastalık ve zararlılara dayanıklılığın uzun vadede azalacağı belirtilerek, transgenik bitkilerin ve bunlardan elde edilen organizmaların izlenmesi ve test edilmesi, ticari olarak sunulmadan önce ekosistemde ve uygulanacak alanlarda meydana getirecekleri etkilerin değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Ervin ve diğ., 2003).

• **Biyoçeşitlilik Üzerine Etkileri**

Transgenik bitkilerin yol açabileceği risk türleri genel olarak ele alındığında, bütün çeşitliliğin tehdit altına girebilmesi mümkündür. Transgenik bitkilerin tarımının ve ticaretinin çok

uluslu ilaç firmalarının çıkarları doğrultusunda piyasa koşullarına göre yapılması, zamanla yerel çeşitlerin azalarak gen kaynaklarının tek tipleşmesini doğurabilir (Özdemir, 2005).

- **Halk Sağlığı Üzerine Etkileri**

Transgenik bitkilerle beslenen insan ve hayvanlarda alerjenitenin oluşması ve artması, dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Besin alerjisinden en fazla etkilenen grubun çocuklar olduğu göz önüne alınırsa durumun ne kadar önemli olduğu görülebilir. Örneğin, Brezilya fındığından soya fasulyesine aktarılan genin, insanda alerjik ve toksik etkilere yol açtığı gözlenmiştir (Prakash, 2000).

- **Sosyoekonomik ve Sosyokültürel Etkileri**

Transgenik bitkilerin üretimi ve ticaretinin yerel tarım sistemlerinde yol açabileceği etkiler ekonomik, sosyal ve etik sorunlara neden olmaktadır. Yerel tarım sistemlerinin, bir yandan rekabet gücünün, diğer yandan sürdürülebilirlik şansının azalması sonucu, gelişmekte olan ülkelerin tarımsal üretim açısından iyice sömürge haline gelmesi muhtemeldir. Geleneksel tarım yapan nüfusun dışlanması nedeniyle yeni sosyal yükler getirmesi kaçınılmaz olacaktır (Özdemir, 2005).

- **Toprak Ekolojisi Üzerine Etkileri**

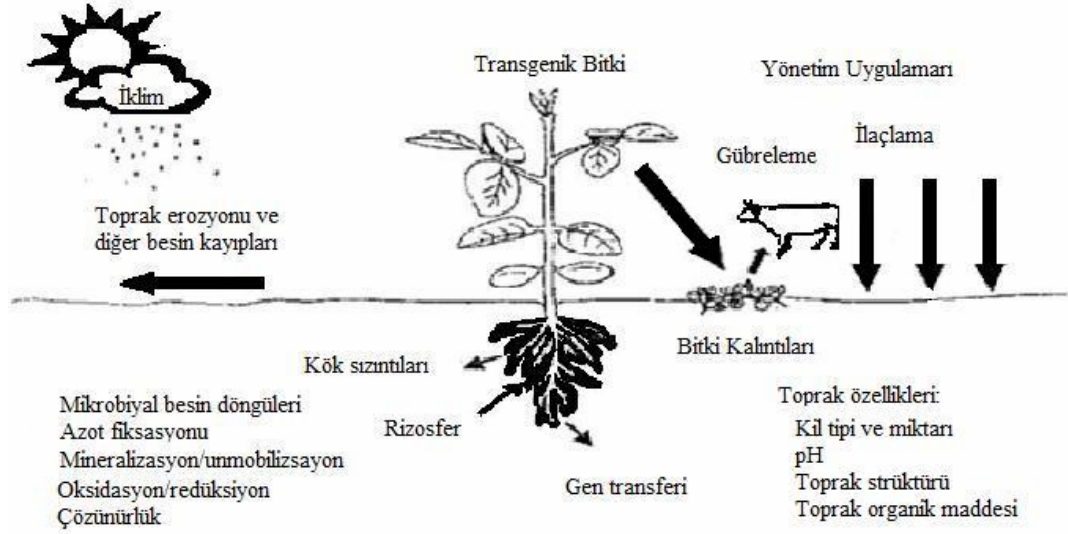
Hızla artarak tarımı yapılan transgenik bitkilerin, toprak ekolojisi üzerine doğrudan ve dolaylı etkileri olabilmektedir. Doğrudan etkileri arasında, kök sızıntılarının bileşimi ve miktarındaki farklılıklar nedeniyle toprak mikrobiyal aktivitesinde yaptığı değişiklikler ile transgenik bitkilerden gen transferinin mikrobiyal fonksiyonlarda değişiklikler yaratma riski yer almaktadır. Transgenik bitkilerin dolaylı etkileri, toprak erozyonu oranındaki ve arazi kullanımındaki değişiklikler ile transgenik bitki kalıntılarının sonraki etkilerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte toprak özellikleri, iklimsel faktörler ve tarımsal yönetim uygulamalarının da transgenik bitkiler üzerine etkileri olabilmektedir. Şekil 3.2'de transgenik bitkilerin topraktaki mikrobiyal besin döngüleri üzerine doğrudan ve dolaylı etkileri gösterilmektedir (Motavalli ve diğ., 2004).

Transgenik bitkiler tarafından meydana getirilen doğrudan veya dolaylı etkiler:

1. Tarım ilacı uygulamaları, sürüm, organik ve inorganik gübre uygulamaları nedeniyle transgenik bitki kök sızıntılarının bileşim ve miktarının değişmesi, toprak mikrobiyal aktivitesinde doğrudan etki meydana getirebilir.

2. Transgenik bitkilerden gen transferi sonucunda mikrobiyal fonksiyonlarda değişiklikler ortaya çıkabilir.

3. Transgenik bitkiler için yönetim yaklaşımlarının farklılığı nedeniyle meydana gelen etkilerdir.



Şekil 3.2. Transgenik Bitkilerin Topraktaki Mikrobiyal Besin Döngüleri Üzerine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri (Motavalli ve diğ., 2004).

3.4. Transgenik Bitkilerin Çevresel Yönetimi

Biyoteknik, güvenliğin birçok açıdan ele alınması gereken geniş kapsamlı bir alan olması nedeniyle, bu konudaki hukuki düzenlemelerin tek elden gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Mevcut hukuki düzenlemeler; bağlayıcı olmayan, kılavuz niteliğindeki ve gönüllü uygulamaya dayalı biyogüvenlik düzenlemeleri ile ülke bazında bağlayıcı niteliği olan yasal düzenlemeler olarak ele alınabilir. Bu düzenlemeler Çizelge 3.6'da sunulmuştur (Ekmekyapar ve Kaykıoğlu, 2005).

Çizelge 3.6. Uluslararası Yasal Düzenlemeler (Ekmekyapar ve Kaykıoğlu, 2005).

Kurum	Kurumsal Yapılanma	Yasal Düzenlemeler
UNIDO	BM Endüstriyel Kalkınma Organizasyonu	Organizmaların Çevreye Salınımı
		Konusunda Gönüllü Talimatı
FAO	BM Gıda ve Tarım Organizasyonu	Bitki Biyoteknoloji Talimatı
UNEP	BM Çevre Programı	Biyogüvenlik kılavuzu
BM	Birleşmiş Milletler	Biyoçeşitlilik Sözleşmesi
BM	Birleşmiş Milletler	Cartegena Biyogüvenlik Protokolü
AB	Avrupa Birliği	90/220/EEC
		90/219/EEC
		97/258/EEC

4. DÜNYA'DA ve TÜRKİYE'DE ATIKSU ARITIMI İÇİN YAPAY SULAKALAN UYGULAMALARI

İlk insan yerleşimlerinin deltalar, taşkın ovaları, göl ve akarsu kıyıları gibi sulakalanlar olarak tanımlanan yerlerde yoğunlaştığı bilinmektedir. Pek çok topluluk binlerce yıl sulakalanlarla iç içe yaşamışlar, her yıl yenilenen verimli taşkın ovalarında tarım ve hayvancılık yapmışlar, sazından, balığına ve kuşuna, sulakalanların sağladığı olanaklarla büyük medeniyetler kurmuşlardır. Bu süreç 1890'lı yıllarda yüzyıllardır milyonlarca insanın ölümüne yol açan sıtmanın kaynağının sivrisinek olduğunu öğrenene kadar devam etmiş ve o tarihten itibaren insanların sulakalanlara bakışı değişmiş, sıtmayı önlemenin tek ve kesin çözümünün bataklıkları kurutmak olduğu varsayılmıştır. Önceleri sadece sıtma hastalığını önlemek için başlayan kurutma çalışmaları, gelişen teknoloji ile birlikte yeni tarım alanları elde etme amacına yönelmiş, sazlık ve bataklıkların yanısıra taşkın ovalarını ve gölleri de kapsayarak, artarak devam etmiştir. Bu dönemde toplam alanı 93.582 hektar olan 21 sulakalan tamamen kurutulmuştur. Yine aynı dönemde uluslararası öneme sahip 17 sulakalanda ise taşkın önleme veya su rejimine yapılan müdahaleler nedeniyle toplam 143.956 hektarlık alan geri dönüşü olmayacak şekilde kaybedilmiştir (Erdem, 2004).

Sulakalanların kurutulması sonucu elde edilen arazilerin pek çoğundan istenilen tarımsal üretime erişilemediği gibi, bir kısım yerlerde de tuzlanma, turbaların yanması, rüzgar erozyonu gibi nedenlerle kısa zamanda verimsizleşmiştir. Ayrıca, yörenin su rejiminde meydana gelen bozulmalar ve iklimsel değişmelerin yanı sıra, birçok canlı türünün neslinin tehlikeye düşmesi ya da tamamen yok olması gibi telafisi mümkün olmayan sorunlar ortaya çıkmıştır.

Yukarıdaki olumsuz gelişmelerden dolayı sulakalanların önemi tüm dünyada anlaşılmaya başlamış; sivil toplum örgütleri ve diğer doğa koruma kuruluşlarının da etkisiyle pek çok ülkede sulakalanların korunması için bir dizi koruma önlemleri alınmaya başlanmıştır. Bunlardan en önemlisi 1971 yılında İran'ın Ramsar kentinde imzaya açılan ve kısaca Ramsar Sözleşmesi olarak imzaya açıldığı kentin adıyla anılan özellikle **“Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulakalanların Korunması Sözleşmesi”** dir. Ramsar Sözleşmesi, sulakalanların korunmasını öngören bir sözleşme olmasının yanı sıra, doğa koruma alanında da imzaya açılmış ilk sözleşmedir. Ocak 2004 itibarıyla Sözleşmeye 138 ülke taraf olmuştur. Bu ülkeler, toplam alanı 111.884.289 hektar olan 1328 sulakalanı Sözleşme Listesi'ne dahil ettirmişlerdir. Şekil 4.1'de Türkiye'deki sulakalanların gösterimi verilmiştir (Çevre ve Orman Bakanlığı).



Şekil 4.1. Türkiye’de ki Sulakalanların Gösterimi (Çevre ve Orman Bakanlığı).

Sulakalanların korunmasına yönelik; 1991 yılında Çevre Bakanlığı’nın kurulmasıyla birlikte, Bakanlık bünyesinde bir sulakalanlar birimi oluşturulmuş, 1993 yılında Başbakanlık tarafından “Sulak Alanların Korunması Genelgesi” yayımlanmış ve ilk kez sulakalanların korunması hükümet politikası olarak kabul edilmiştir. 1994 yılında ise Türkiye Ramsar Sözleşmesi’ne taraf olmuş ve akabinde uluslararası öneme sahip sulakalanlardan Manyas Gölü, Burdur Gölü, Sultan Sazlığı, Seyfe Gölü ve Göksu Deltası’nı 1994 yılında, Kızılırmak Deltası, Gediz Deltası, Ulubat Gölü ve Akyatan Lagünü’nü ise 1998 yılında olmak üzere uluslararası öneme sahip sulakalanlarından dokuzunu Ramsar Sözleşmesi’ne dahil ettirmiştir.

4.1. Dünya’da Yapay Sulakalanlar

Kadlec ve Knight, (1996)’e göre, 1912 yılına kadar doğal formdaki sulakalanlar genelde bir atıksu deşarj alanları olarak kullanılmışlardır. Birçok durumda bu kullanımın arkasında yatan gerçek sebep atıksuların artımından ziyade, direk boşaltımı olmuştur. Atıksuların artırılması amacıyla, yapay sulakalanların kullanılması üzerine yapılan araştırmalar 1950’de Avrupa’da ve 1960’ın sonlarında Birleşmiş Milletler’de (BM) başlamıştır.

Siedel (1966), 1952’den 1970’lerin sonlarına kadar sular ve sulakalan bitkilerince arıtılan atıksular üzerinde birçok çalışmalar yürütülmüştür. 1952 yılında Siedel yapmış olduğu bir çalışmada; Almanya-Plon Max Planck Enstitüsü’nde *Scurpis lacustris* ile fenollerin atıksulardan temizlenmesi olayını araştırmış ve 1956 yılında aynı yöntemle mandra atıksularının arıtımını gerçekleştiren bir çalışma yapmıştır. Onun öğrencilerinden olan Kickuth ise deneysel çalışmalara devam etmiş ve Avrupa’daki yardımcıları ile birlikte 200 civarında kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma sistemlerindeki incelemeleri sonuçlandırarak bu görüşü popüler hale getirmiştir. 1970-1980

yılları boyunca Tenesse Vadisi İdaresi ve 1980'in sonları ve 1990'ın başlarında BM Tarım Bölümünün desteği ile araştırmalar yoğunlaştırılmıştır. BM Çevre Koruma Teşkilatı da, kullanımın kolaylığı ve kalite garantisi verilerini açıklayan bazı çalışmalarla yapay sulakalanlar hakkında kısıtlı çalışmalar yapmıştır (Korkusuz, 2004).

Avrupa ve Amerika'da son 10 yıl içinde su kirliliği kontrolü için çeşitli kararlar alınmıştır. Alınan kararlar doğrultusunda da çok sayıda araştırma ve çalışmalar başlatılmıştır. Artık günümüzde yapay sulakalanlar dünyanın birçok yerinde şehirselleşmiş, endüstriyel, tarımsal ve yağmur sularının arıtımı için kullanılmaktadır. Fakat işletim halinde olanların sayısı tam bilinmemektedir (Reddy ve De Angelo, 1994).

Ayaz ve diğ., (2004)'ne göre dünyadaki mevcut yapay sulakalanlarla ilgili; 1996'da yapılan bir araştırmada, ABD ve Kanada'da kullanımda olan 176 adet sistem olduğu tespit edilmiştir. Bunların büyük bir çoğunluğu (116 tanesi) tropikal bölgelerde, diğerleri ise soğuk bir bölge olan Kuzey Dakota'da yer almaktadır. Bir Kuzey Avrupa ülkesi olan Danimarka, yapay sulakalanların geliştirilmesinde öncü bir rol üstlenmiştir. YAS sistemlerinin öncüsü olan bu ülkede büyük çoğunluğu evsel atıksuların arıtımı için kullanılan yaklaşık 130 adet sulakalan olduğu tespit edilmiştir. İsveç'e kıyasla Norveç'teki sulakalanlar daha fazladır. Norveç'te yaklaşık 20 kadar sulakalan tespit edilmiş olup bunların çoğunluğunu YAS sistemleri oluşturmaktadır. Doğu Avrupa'da ise yapay sulakalanlar en fazla Çek Cumhuriyeti'nde uygulanmıştır. 1989 ile 1996 yılları arasında 26 adet sulakalan inşa edilmiştir. Günümüzde Çek Cumhuriyeti'nde 50'nin üzerinde yapay sulakalan mevcuttur (Kadlec ve Knight, 1996).

Macaristan ve Letonya'da da yapay sulakalanlar mevcut olup sayıları hakkında kesin bilgi mevcut değildir. Avusturya'da 160'ın üzerinde işletme halinde olan yapay sulakalanlar tespit edilmiş olup, çok sayıda da inşası halen devam etmekte olan tesis mevcuttur (Haberl ve diğ., 1998).

4.1.1. Kore, Damyang'da Yüzey Akışlı Yapay Sulakalanlarda Organik

Madde, Anyon ve Metal İçeren Atıksu Arıtımı

Atıksu arıtma tesisine bağlı *Acorus* ve *Typha* bitkileri ile kurulmuş bir SYS sisteminde organikler (çözünmüş organik madde), anyonlar (nitrat, sülfat ve fosfat), metaller (Cu, Ni, Zn, Fe, ve Mn) ve metalimsilerin (As) atıksu arıtma bitkilerine bağlı yapay sulakalanlardaki verimliliği araştırılmıştır. Bu sulakalanlar daha önce atıksu arıtımı için kullanıldığında genellikle KOİ ve BOİ₅ açısından organiklerde (%60-99) yüksek arıtım verimliliği, NH₃, NO₃⁻ ve TP açısından, besinlerde orta, bazen de düşük arıtım verimliliği sağlamışlardır (Brix ve Arias, 2005; Vymazal, 2005). Yapılan araştırmalarda eğer sulakalanlar uygun bir şekilde inşa edilir ve verimli bir şekilde çalıştırılırlarsa birçok kirleticiler açısından iyi sonuçlar verebileceği sonucuna varılmıştır.

Sulakalanlar *Acorus* ve *Typha* bitkilerine sahip iki farklı havuz içermektedir. *Typha* bitkili sulakalan havuzu aynı zamanda iki değişik alan içermekte olup, birincisi kısa HAS'a sahip *Acorus*

havuzundan suyu nehre taşımaktadır; ancak ikincisi oldukça uzun HAS'a sahiptir. Atıksu akıntıları, Youngsan Nehri'ne bağlı sulakalanlara akmaktadır. Sulakalanların hepsinin HAS ve akış hızı, yaklaşık olarak sırasıyla 6saat ve 1800m³/gün olarak tasarlanmıştır. Sulakalanların ortalama genişlik, uzunluk ve derinlikleri sırasıyla 30m, 120m ve 0.13m'dir (Park ve diğ., 2007).

Damyang atıksu arıtma tesisinden ve bitişiğindeki SYS sisteminden atıksu ve sulakalan örnekleri alınmıştır. Örnekleme sırasıyla 2006 yaz ve 2007 kış mevsiminde yapılmıştır. Örnekler 0.45 µm mikro filtrelerle filtre edilmiş ve analiz edilmiştir. Atıksu akıntılarındaki organik madde seviyeleri, otomatik bir örnekleyici ile donanmış TOK analizörü (Sievers, Boulder, CO, USA) kullanarak, kimyasal ve UV oksidasyon yöntemleri ile ölçülmüştür. UV soğurganlığı ise, bir UV-vispektofotometre (UV-1601, Shimadzu, Japonya) kullanılarak 254 nm'de ölçülmüştür. Yapay sulakalanların arıtma verimliliğinin önemini bulmak için Microsoft Office Excel 2003 istatistik programı kullanılmıştır.

Sonuç olarak test edilen SYS sistemi, atıksudaki organik madde arıtımı için oldukça düşük ya da negatif performans sergilemiştir. *Typha* bitkili durgun sulakalan, atıksu ve sulakalan çıkış suyu ile karşılaştırıldığında daima ÇOK seviyesini yükseltmiştir. *Acorus* bitkili sulakalanın ise oldukça düşük değerlerle de olsa organik madde arıtımı için pozitif performans sağladığı bulunmuştur. NO₃⁻, özellikle de *Typha* bitkili sulakalanlarda başarılı bir şekilde arıtılmıştır. Ancak sülfat ve fosfat, NO₃⁻ ile karşılaştırıldığında, sulakalanda verimli bir şekilde arıtılmadığı ve bakır, nikel ve çinkonun sulakalanlarda makul derecede artıldığı sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan demir ve manganez konsantrasyonlarının artış gösterdiği, bu sonucunda anoksik koşullar altında hem abiyotik ve hem de mikrobiyal aktivitelerden olduğu vurgulanmıştır (Park ve diğ., 2007).

4.1.2. Tayland'da Melas Atıksuyu Arıtımı İçin İnşa Edilmiş Sulakalan Sistemi Kullanımının Fizibilitesi

Tayland'da yapılan SYS sistemli bir çalışma oksijensiz arıtılmış melas atıksuyunun arıtma çalışmasını uygulamak, optimum organik yükleme hızı (OYH)'yi, besin ve renk arıtma verimliliğini gözlemek için yapılmıştır (Sohsalam ve Sirianuntapiboon, 2007).

Şeker sanayininin bir yan ürünü olan melas, etanol (etil alkol) üretmek için kullanılmaktadır. Bu işlem, günlük büyük miktarlarda atıksu üretmektedir. Melas suyu koyu kahverengi renkte bir atıktır ve geleneksel olarak boşaltılmadan önce metan gazı üretmek için oksijensiz koşullarda işlem görür ve bunu oksijenli bir arıtma (damlama veya aktif tortu sistemi) takip eder (Singh ve Nigam, 1995). Geleneksel olarak arıtılan melas atıksuyunun boşaltımı zordur. Çünkü melanoidin pigmenti, koyu kahverengi renk barındırır. Melanoidin, şeker ve amino bileşkerler arasında ısınmayla ortaya çıkan bir "Maillard reaksiyonu" ürünüdür (Wedzicha ve Kaputo, 1992). Yüksek organik içeriğine ek olarak, melas atıksuyu, aynı zamanda su yataklarının oksijen kaybına sebep olabilecek, nitrojen (1.600-4.200mg/l), fosfor (2.25-3.038mg/l) ve potasyum (9.600-17.475mg/l)

şeklinde besinler içerir (Mahimairaja ve Bolan, 2004). Koyu renk güneş ışığını hapsederek fotosentezi engeller ve dolayısıyla su yaşamı için tehlike arz eder (Fitz Gibbon ve diğ., 1998).

Çalışmada kullanılan melas atıksuyu, oksijensiz arıtılmış (işlem görmüş) melas atıksuyudur. Bu su Tayland'daki bir fabrikanın atıksu arıtma tesisinin oksijensiz (hava temassız) havuzundan alınmıştır. *Cyperus involucratus*, *Typha auguttifolia* ve *Thalia dealbata* bitkileri bu çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir (Sohsalam ve diğ., 2007). Yetiştikleri alandan, tasarlanmış SYS'ye dikmek üzere her türden yaklaşık 20cm uzunluğunda çelik fidanlar kesilmiştir. Bu fidanlar bir haftalığına seraya dikilerek sistemdeki minyatür hücrelere transfer edilmişler ve taze atıksu beslemesi yapmaksızın yeni yerlerinde iki haftalık adapte süresi geçirmişlerdir. İki haftalık adapte süresinden sonra sistem değişik OYH'ler altında oksijensiz arıtılmış melas atıksuyuyla çalışmaya hazır hale getirilmiştir.

Tasarlanmış SYS sistemi Bangkok-Tayland'da King Mongkut Teknoloji üniversitesinde konulandırılmıştır. Sulakalanın her bir minyatür hücresi 0.6m x 2.0m x 0.5m (genişlik x uzunluk x derinlik) ebatlarındadır ve %1'lik bir yatak eğimine sahiptir. Beton hücrenin iç duvarı potansiyel bir sızmayı önlemek için su sızdırmaz boya ile boyanmıştır. Her bir minyatür hücre 1.34-1.55cm çapında çakıl malzeme ile doldurulmuştur. Ham atıksuyu, bir depolama tankından her bir minyatür hücreye transfer etmek için 0.5hp'lik bir su pompası kullanılmıştır ve fazla gelen atık sudaki homojen karışımı sağlamak için depolama tankı yeniden sirküle edilmiştir. Atıksu her minyatür hücreye girdiğinde geçirgen tuğlalardan arıtma bölgesine akıtılmıştır. Yağmur suyundan korumak için sistemin üzerine şeffaf bir çatı kaplanmıştır. Her hücre çökeltme ve arıtma bölgelerine ayrılmıştır.

Sistem farklı OYH'ler altında çalıştırılmıştır. Sisteme giren ve sistemden çıkan sular haftada 3 kez toplanmıştır. Sisteme yayılan her türlü yabancı ot hemen temizlenmiştir. SYS'nin etkinliği ve performansını belirlemek üzere kullanılan farklı OYH'ler altında oksijensiz işlem gören melas atıksuyu, sisteme verilmeden önce farklı oranlarda nihai konsantrasyonları elde etmek üzere musluk suyu ile sulandırılmıştır. SYS sistemi, her OYH testinde 6 hafta boyunca 7 günlük sabit HAS altında çalıştırılmıştır. Her bir OYH testi 3 kez tekrarlanmıştır.

Yetiştirilen bitkilerin biyo-kütle üretim verimleri, OYH'lerinin artışı ile düşüş göstermiştir. En düşük OYH değeri altında yetiştirilen 3 tip bitkinin biyo-kütle üretim verimi en yüksek düzeydedir ve en düşük OYH değerinden daha yüksek olduğunda ise biyo-kütle üretim verimi düşmüştür. Yetiştirilen bütün bitkiler en yüksek OYH değeri ile 6 haftalık yetiştirme zamanından sonra ölmüşlerdir (Sohsalam ve Sirianuntapiboon, 2007).

Sistemlerin AKM arıtma verimleri yaklaşık %89-92'dir. TP arıtımı, AKM'ninkine benzer bir trend sergilemiştir. Artan OYH'ler ile birlikte BOİ₅ ve KOİ arıtım verimliliği düşmüştür. En yüksek OYH değeri altında yalnızca %15'lik bir KOİ arıtım verimliliği bulunmuştur. Sistemlerin amonyum azotu (NH₄-N) ve NO₃-N arıtım verimlilikleri sırasıyla %10-81 ve %95-99'dur. Bu gibi

sistemlerin oksidasyon azaltma potansiyeli, OYH'lerin düşüşüyle birlikte artmıştır. Bakteri sayısı da OYH artışı ile birlikte düşüş göstermektedir (Sohsalam ve Sirianuntapiboon, 2007).

4.1.3. Tayvan'da Endüstriyel Atıksu Arıtımı İçin Pilot Ölçekli Bir Yapay Sulakalan Uygulaması

Tayvan'da yapılan pilot ölçekli çalışma endüstriyel atıksu arıtımında yapay sulakalan kullanımının kapasite, etkinliğini incelemek ve endüstriyel atıksu arıtma işleminde uygun bitki türlerini ve ortam türünü belirlemek ve HAS gibi optimal tasarım faktörlerinin yapay sulakalan sisteminin etkinliği üzerinde değerlendirilmesini yapmak için amaçlanmıştır. Çalışmada dört adet paralel pilot-ölçekli SYS tankları endüstriyel park içerisine inşa edilmiş olup pilot-ölçekli sistem, parkın arıtma tesisi dengeleme havzasından atıksu depolayan bir depodan atıksu alıp arıtmaktadır. Yapılan çalışmanın ilk bölümünde bitki seçimi için bir takım uygulamalar yapılmıştır. Bitki seçim çalışmasında her bir tankı %40 oranında kaplamak üzere, 4 adet tanka dört değişik sulakalan bitkisi dikilmiştir. Kullanılan sulakalan bitkileri, yüzen bitkiler *Pistia stratiotes* L. ve *Ipomoea aquatica* ve dikine büyüyen bitkiler *Phragmites communi* L. ve *Typha orientalis* Presl.dir. Seçilen bitki türleri, takip eden ortam seçim çalışmasında kullanılmıştır. Ortam seçim aşamasında iki farklı türde ortam (1cm delikli seramik biyo-toplar ve 1cm çakıllar) incelenmiştir. Bu aşamada ÇO, oksidasyon-redüksiyon (yükseltgenme-indirgenme) ve pH gibi parametrelerdeki değişimler gözlenmiştir. Su kalitesi analizleri standart yöntemlerde (APHA, 1995) tanımlanan metotlar dikkate alınarak yapılmıştır. Spesifik yüzey alanı American Society of Testing and Materials (ASTM) yönteminde tanımlanan prosedürlere göre ölçülmüştür. Piston akım konsantrasyonu değerlendirmesinde kullanılan "first-order decay modeli" sulakalan sistemindeki BO₅ ve NH₃ - N için first-order decay oranlarını (d⁻¹) belirlemede kullanılmıştır (Kadlec ve Reddy, 2001; Jing ve Lin, 2004).

Altı aylık araştırmadan alınan sonuçlar, dikine büyüyen bitkinin (*P.communis*) test edilen 4 bitki arasında hayatta kalan ve dengelenmiş işlenmemiş atıksuya sürekli maruz kalarak kendini yenileyebilen tek bitki türü olduğunu göstermiştir. Ortam seçim çalışmasının sonucunda *P.communis*'i bitki olarak ve delikli seramik biyo-topları ortam olarak kullanan sistemin arıtılmış su kalitesini iyileştirme konusunda etkin olduğunu göstermektedir. Sistem %81AKM, %35 TP, %56 NH₃- N, %89 BO₅ ve %61 KOİ arıtmıştır (Chen ve diğ., 2006).

4.1.4. İspanya'da İkincil Atıksu Arıtan Gerçek Ölçekli Yüzey Akışlı Yapay Sulakalan Beslemesinde Organik Mikro-Kirleticilerin Arıtımı

İspanya'da gerçekleşen bu çalışma, geleneksel bir atıksu arıtma prosesinden ikincil atıksu ile beslenen bir SYS sistemindeki çeşitli organik kirleticilerin davranışını değerlendirmek için yapılmıştır. Bu sulakalan, İspanya'nın kuzey doğusunda Barselona'da Congost Nehri etrafında bir dizi restorasyon çalışmalarının bir parçası olarak inşa edilmiştir. Hedef kirleticiler eczacılık

ürünleri (klofibrinik asit, karbamazepin, kafein, ketoprofen, diklofenac, ibuprofen ve naproxen), parfüm ürünleri (metil dihidrojasmonat, galaksolid ve tonalid), zararlı bitki ilaçları (mekokrop, MCPA ve terbutalazin) ve veterinerlik ilaçları (flunixin) içermektedir.

SYS sistemi, 154.000 kişilik nüfusa hizmet veren Granollers atıksu arıtma prosesinden arıtılan (ikincil atıksu) suyun küçük bir kısmı ile beslenmektedir. Atıksu arıtma prosesine akan su, ortalama 23.700m³/dk akıma sahip %45 endüstriyel ve %55 şehir kanalizasyon suyundan oluşmaktadır. Atıksu arıtma prosesinden çıkan su, Congost Nehri'ne yönlendirilmiştir (yalnızca küçük bir kısmı sulakalana taşınmıştır). Ayrıca atıksu arıtma tesisinden boşaltılan su (0.27m³/sn) kurak dönemlerde Congost Nehri'nin akımını oluşturmaktadır.

Söz konusu SYS sistemi, 1ha yüzey alana sahip tek bir hücreden oluşmuştur ve *Typha* ve *Phragmites* dikilmiş sığ (0.3-0.4m derinlikte) su uzantıları, bitkisiz derin su bölgeleri (1.5m derinliğinde) ve küçük bir adası vardır. Bu farklı alanlar sistemin potansiyel biyo-çeşitliliğini artırmak için oluşturulmuştur.

Sulakalan sistemine giren ve çıkan su örnekleri, iki farklı örnekleme zamanında 1 hafta boyunca günlük alınmıştır (haftada 5gün). NH₄⁺, BOİ₅ ve Toplam Askıda Katı Madde (TAKM), geleneksel atıksu parametreleri standart yöntemlerine uyularak analiz edilmiştir. pH özel bir elektrot kullanılarak belirlenmiştir. Dijital bir termometre ile ısı ve dijital bir oksimetre ile de ÇO ölçülmüştür (Matamoros ve diğ., 2007).

Deneysel aşama boyunca yüzey OYH 0.11gBOİ₅ m/dk olarak bulunmuştur. Bunlar her bir örnek alma döneminde ölçülen ve sulakalanın dış kenarlarında fitoplankton ve zooplankton çoğalması sebebiyle düşük TAKM ve BOİ₅ artımı elde edilen konsantrasyonlardır. Çıkan sudaki yüksek oksijen seviyesi aerobik koşulların hâkimiyetini göstermektedir. Dahası bahar ve yaz mevsimi arasında NH₄⁺ artımında da fark (%15) gözlenmiştir.

Kirleticiler grubu, konsantrasyonları ve daha önceki bir izleme işleminde elde edilen rastlama sıklığı esas alınarak seçilmiştir. Daha sonra atıksu arıtma prosesi tarafından Congost Nehri'ne boşaltılan böcek ilacı ve kişisel bakım ürünleri iki farklı örnekleme işleminden alınan veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Su ayağına boşaltılan kişisel bakım ürünleri aynı dönemdeki ve farklı dönemlerdeki örneklemelemlerle birbirine yakın iken, zararlı bitki ilaçları ve fluxin yüksek bir değişkenlik sergilemiştir. Bu değişimler kişisel bakım ürünlerinin sürekli kullanımı, ilaçların ve fluxin'in mevsimsel üretim ve kullanımı ile açıklanabilir.

Mevsimlik değişkenlik, söz konusu iki örnekleme de incelenmiştir. Bu değişkenliğe iki fiziksel şart katkıda bulunmaktadır; güneş radyasyonu ve su sıcaklığı. Düşük sıcaklıklar biyodegradasyon kinetiğini düşürürken düşük güneş ışığı da fotodegradasyon oranlarını düşürür. Fotodegradasyon kişisel bakım ürünlerinin değişimleri konusunda etkilidir (Andreozzi ve diğ., 2003). Beklendiği gibi biyodegradasyon ve/veya fotodegradasyon için uzun zaman gerektiren bileşikler mevsimlik şartlardan etkilenirler (örneğin naproxen, diclofenac ve MCPA).

Özetle, kişisel bakım ürünleri atıksu arıtma proses çıkış suyu tarafından Congost Nehri'ne ng/lit seviyelerinde boşaltılırken zararlı bitki ilaçları ve flunixin µg/lit seviyelerinde boşaltılmıştır. Genelde, inatçı olanları hariç (örneğin carbamazepine ve clofibril asit) arıtım verimliliği, ağırlıklı kişisel bakım ürünleri için %90'dan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Böcek ilaçları ve veteriner ilaçları geniş bir arıtım etkinlik oranına (0-%90) yol açarak içeri giren sudaki yüksek konsantrasyon değişkenlikleri nedeni ile farklı davranış sergilemişlerdir. Bu çalışmada gözlemlenen mikro-kirleticilerin, YAYS sistemlerinde ve atıksu arıtma prosesinde rapor edilen arıtım etkinliklerine göre daha yüksek arıtım verimliliklerinin, yüksek HAS'la (1ay) ilişkili olduğu görülmüştür. Bu yüksek HAS, kirleticilerin arıtılmasındaki biyodegradasyon ve fotodegradasyon reaksiyonlarının değerini ortaya koymuştur. Dahası mevsimsel ve mekânsal trendler orta düzey arıtılan bileşimler için ısı (biyodegradasyon) ve güneş ışığına (fotodegradasyon) yüksek bir bağımlılık olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, çalışılan sulakalanın bir dizi kirleticiyi arıtma konusunda, iyi bir kapasiteye sahip olduğunu açıkça göstermiştir. Bu arıtma kapasitesi yüksek maliyetli ileri arıtma sistemlerindeki arıtma değerlerine yakın bulunmuştur. Dolayısıyla yapay sulakalanlar gibi düşük maliyetli teknolojilerin uygulanması, su ekosistemlerine boşaltılan kirletici miktarlarının azaltılması için etkin bir alternatif olarak düşünülmelidir (Matamoros ve diğ., 2007).

4.1.5. Akdeniz Ülkelerinde Atıksu Arıtımı ve Gerikazanımı Amacıyla Kullanılan Yapay

Sulakalanlar

Akdeniz ülkelerinin birçoğu, içme ve kullanma suyu temin etmede çok ciddi zorluklar çekmektedir. Özellikle tarımda ve turizmde kullanılan su ihtiyacı gün geçtikçe artarken, oldukça az miktarda olan ve eşit olmayan yağış dağılımı, yüksek hava sıcaklıkları, hızlı ve plansız gelişme, pek de adil olmayan bir su kullanımına neden olmaktadır. Bu ülkelerin mevcut su kaynakları kalitesinin bozuk olmasının nedeni de; arıtılmadan deşarj edilen atıksulardır. Bu nedenle, verimli çalışan ekonomik ve çevre dostu atıksu arıtım ve geri kazanım alternatiflerinin uygulanması, Akdeniz havzasının birincil öncelikleri arasında bulunmaktadır (Korkusuz ve Diamadopoulos, 2005).

Sulakalan teknolojisinin gelişmekte olan ülkelerde uygulama potansiyeli oldukça yüksek olmasına rağmen, bu teknolojinin atıksu arıtımı ve geri kazanımında bu ülkelere adapte olma hızı oldukça yavaştır. Yakın zamanlarda, gelişmiş ülkelerin gelişmekte olan ülkelere sağladığı bilgi-beceri transferi, teknik işbirliği ve iletişim sayesinde, gelişmekte olan ülkelerde de bu teknoloji çeşitli şekillerde uygulanmaya başlamıştır (Haberl, 1999; Kivasi, 2001; Njau ve diğ., 2003). Ancak, Akdeniz ülkelerindeki tam ölçekli yapay sulakalan uygulamalarının sayısı, Avrupa ülkelerindekilerle kıyaslandığında henüz oldukça azdır. Bu nedenle, geleneksel arıtma teknolojilerine göre nispeten düşük teknoloji gerektiren yapay sulakalanlar, Akdeniz havzası

içinde oluşan çeşitli atıksuların arıtılmalarında ve geri kazanımlarında önemli bir rol oynarlar (Korkusuz ve Diamadopoulou, 2005).

Bu doğrultuda, Akdeniz ülkelerinde yapay sulakalanların doğru şekilde uygulanmasını yaygınlaştırmak amacıyla, MEDREUNET-II projesi kapsamında (Avrupa Birliği proje no:INCO-CT-2003-502453), konunun hem teorik, hem de pratik yönlerini kapsayan “Akdeniz Ülkelerinde Atıksu Arıtımı ve Geri kazanımı Amaçlı Yapay Sulakalanlar El Kitabı” hazırlanmıştır (Korkusuz, 2005). Uluslararası literatürde yayımlanmış; Portekiz, İspanya, Fransa, Slovenya, Hırvatistan, Yunanistan, Türkiye, İsrail, Filistin, Mısır ve Fasda yapılan yapay sulakalan çalışmalarında da örnekleri bir araya getiren el kitabı, özellikle Akdenizli mühendislere, araştırmacılara ve yörelerinde yapay sulakalan uygulamak isteyen ilgili kurumlara yapay sulakalan teknolojisi hakkında geniş kapsamlı bilgi vermek amacıyla hazırlanmıştır. Ayrıca el kitabında, (Korkusuz, 2005) Akdeniz ülkelerinde yapılmış yapay sulakalan çalışmaları hakkında genel bir değerlendirme yapılmakta ve ileride Akdeniz havzasında yapılacak yapay sulakalan çalışmaları hakkında önerilerde bulunmaktadır.

Akdeniz ülkelerinde yapay sulakalanlarla ilgili yapılan araştırmalar sonucunda, yapay sulakalanlar daha çok evsel atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Ayrıca yapay sulakalanların, evsel atıksulardan sonra agro-endüstriyel ve endüstriyel atıksuların arıtımında sıklıkla kullanıldığı gösterilmiştir.

Akdeniz ülkelerinde yapılan yapay sulakalan çalışmalarının çoğunluğu Fransa, İtalya ve İspanya’da yapılmıştır. Bu ülkelerin daha eski Avrupa Birliği üyesi olması ve Avrupa Birliği’nin atıksu arıtım ve geri kazanım konusundaki kriterlerini/direktiflerini daha dikkatle uygulamak zorunda olması, yapay sulakalan çalışmalarının adı geçen ülkelerde daha eskilerden beri uygulanmasına neden olmuştur. Portekiz, Slovenya, Hırvatistan, Yunanistan, Türkiye, İsrail, Filistin, Mısır ve Fas’da yapılan yapay sulakalan uygulamalarının sayısı az olsa da, bu teknolojinin önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir. Fransa, İtalya, Kıbrıs, Türkiye, İsrail ve Tunus haricindeki Akdeniz ülkelerinin spesifik olarak atıksu geri kazanım kriterleri henüz olmamakla beraber genelde, yenisi de gündemde olan Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1998) kriterleri kullanılmaktadır. 2000 senesinde, yapay sulakalanlara özel olarak yönetmelikler hazırlayan Fransa ve İtalya haricinde, Akdeniz ülkelerinde sulakalanlara özel yönetmelikler henüz bulunmamaktadır.

Akdeniz ülkelerinde uygulanmış yapay sulakalanların çoğu, YAS sistemleridir. İstatistiklere göre, Portekiz ve İtalya’da YAYS, en çok tercih edilen sistemlerken, Fransa’da en popüler sistemler YADS’dır. SYS sistemleri, Yunanistan, İsrail, Filistin ve Mısır’da uygulanmıştır. Bu sistemler, daha çok ikincil ve ileri arıtım amacıyla kullanılmışlardır. Hibrit ekilmiş sulakalan sistemlerinde (örneğin YADS ve YAYS’ların kombine kullanılması yada SYS sistemlerinin ardı ardına kullanılması), son yıllarda popüleritesi artmış gözükmektedir.

Akdeniz ülkelerinde uygulanmış YADS ve YAYS'ların çoğunluğu, sırasıyla 3-5m²/kişi ve 2-5m²/kişi (60g BOİ₅/kişi.gün) kabulüyle tasarlanmışlardır. SYS sistemleri ise, daha çok ileri arıtım için kullanılmış olup, daha iyi patojen giderimi yada gerikazanılacak suların iyileştirilmesi için, YAS'ların ardından yerleştirilmişlerdir.

Akdeniz ülkelerindeki değişik tipteki sulakalanlarda sıklıkla kullanılan dolgu malzemeleri farklı dane büyüklüklerindeki, farklı fiziko-kimyasal özelliklere sahip turbalık, toprak, kum ve çakıldır. YAS'ların yatak derinliği 0.4m ile 0.8m arasında değişirken, yatak eğimi %0-2 olmuştur. HAS, YAS'lar için 3-4 gün olarak seçilmiştir. Akım ölçümü yapılmış sulakalan çalışması oldukça kısıtlı olmakla beraber, hidrolik yükleme hızıysa (HYH) 0.01-0.190 m/gün arasında değişmiştir. Birincil arıtım; ızgaralar, İmhoff tankları, septik tanklar ya da ön çökeltme tankları kullanılarak yapılmıştır. Sulakalan tabanının geçirimsizliği içinse, High veya Low Density Polyethylene (HDPE, LDPE), Reinforced Poli-Olefine (POL), beton, bentonit, sıkıştırılmış toprak ya da kil kullanılmıştır.

Akdeniz ülkelerindeki yapay sulakalanlarda sıklıkla kullanılan makrofitler ise *Canna* spp., *Cyperus* spp., *Typha* spp., *Phragmites* spp., *Juncus* spp., *Poaceae* spp., *Paspalum* spp., *Iris* spp., *Elodea* spp., *Egeria* spp., *Pistia* spp., *Salvina* spp., *Lemna* spp., *Alodea* spp., *Eichornia crassipes*, *Hydrocotyle* spp., *Savinia* spp.'dir.

Arıtım performansının uzun süreli ve sıklıkla izlenmiş olduğu yapay sulakalan uygulaması sayısı kısıtlıdır. Genel olarak yapay sulakalanlar Akdeniz ülkelerinde organik giderim için kullanılmışlardır.

4.2. Türkiye' de Yapay Sulakalanlar

Türkiye sulakalanlar bakımından Avrupa ve Orta Doğu'nun en önemli ülkesidir. Türkiye'nin Avrupa, Asya ve Afrika kıtaları arasındaki geçiş noktası üzerinde bulunması, üç tarafının farklı ekolojik karakterdeki denizlerle çevrili oluşu, deniz seviyesinden 5000m'yi aşan yükseklik farklılıkları ve bu özellikleri neticesinde ortaya çıkan iklim çeşitliliği, Türkiye'yi sulakalanlar bakımından bulunduğu coğrafyanın en önemli ülkelerinden biri yapmıştır (Ramsar Convention on Wetlands Belgesi, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005).

Türkiye'de henüz büyük ölçekli sulakalanlar mevcut değildir. Bu konudaki ilk pilot-ölçekli çalışma bu sistemlerin Türkiye şartlarına uygun tasarım kriterlerinin geliştirilmesi için 1995 yılında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM) Gebze Kampüsünde kurulan yapay sulakalandır (Ayaz ve Akça, 2001). Daha sonra 2001 yılında ODTÜ Kampüsüne kurulan 2 adet yapay sulakalanla evsel nitelikli suların arıtımı sağlanmıştır (Korkusuz ve diğ., 2005). Bu konudaki diğer bir pilot-ölçekli çalışma ise 2003 yılında İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresine (İSKİ) ait Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi alanına kurulan 3 adet pilot tesistir (Ayaz ve diğ., 2004; Yıldız ve diğ., 2003). Şanlıurfa Viranşehir yapay sulakalanı ise Viranşehir Belediyesi ile Türkiye Mimar ve Mühendisler Odası Birliği-Çevre

Mühendisleri Odası (TMMOB-ÇMO) işbirliği tarafından yürütülmüş olup Kasım 2003’de faaliyetine başlamıştır. Paşaköy ve Ömerli uygulamaları da pilot-ölçekli araştırma çalışmalarıdır.

KHGM tarafından ilk inşa edilen proje Ankara-Haymana-Dikilitaş Köyü Yapay Sulakalanıdır. Uygulamasındaki esas amaç, yapay sulakalan çıkış suyunun tarımsal sulamada kullanılmasıdır. KHGM’nin bünyesinde kurulan ve işletilen diğer projeler ise Manisa Saruhanlı-Yeni Osmaniye ve Manisa-Akhisar-Sakarya köyleri ile Muğla-Bodrum-Güvercinlik köylerindeki sulakalanlardır.

Uygulamada olan sulakalanların çoğu, bölgedeki mevcut olan ve ön arıtma görevi gören fosseptik çıkış sularının arıtılmasında kullanılmaktadır. Fosseptik çıkışlarının eşdeğer nüfus değerlerine göre Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)’nin Çizelge 21.1’deki değerlerinin üstünde olduğu yani nihai deşarjdan evvel ilave bir arıtma gerekli olduğu görülmüş ve alıcı ortama deşarj standartlarını sağlamak amacıyla sulakalanlar tercih edilmiştir. Çizelge 4.1’de farklı tarihlerde sulakalan çıkışlarından alınan numunelerin SKKY Tablo 21.1 ile karşılaştırılması verilmektedir (İskender ve diğ., 2005). Çizelge 4.2’de sulakalanların konvensiyonel parametreleri için giderim mekanizmaları verilmektedir (İskender ve diğ., 2005).

Çizelge 4.1. Değişik Tarihlerde Sulakalan Çıkışlarından Alınan Numuneler (İskender ve diğ., 2005).

Parametreler	Korucuk köyü Sulakalan çıkış			Çakırbeyli Köyü Sulakalan Çıkış			Manisa-Akhisar Sulakalan Çıkış		Yeni Osmaniye Sulakalan Çıkış		SKKY Evsel Nitelikli Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standardı Tablo 21.1 Kompozit Numune (2 saatlik)
	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	
											-
KOİ (mg/l)	251	92	220	96	80	52	685	668	52	388	180
BOİs (mg/l)	195	40	90	55	25	15	380	250	15	174	50
AKM	21	11	44	3	24	11	66	17	12	13	70
TN (mg/l)	112	2.5	67	42	28	25	56	75	53	44	-
TP (mg/l)	2.5	1.3	2.18	0.73	1.1	0.38	1.17	8.02	0.93	4.07	-
pH	7.3	6.95	7.30	-	7.37	7.63	6.74	6.53	7.72	7.74	6-9

Çizelge 4.2. Sulakalanların Konvensiyonel Parametreler İçin Giderim Mekanizmaları (İskender ve diğ., 2005).

Sulakalan/Parametre	KOI (mg/l) (%)	BOİ ₅ (mg/l) (%)	AKM (mg/l) (%)	TN (mg/l) (%)	TP (mg/l) (%)
İzmir Torbalı-Korucuk Köyü	42	47	55	35	30
İzmir Torbalı-Çakırbeyli Köyü	52	60	70	23	60
Manisa-Akhisar-Sakarya Köyü	34	39	57	26	42
Manisa-Saruhanlı-Yeni Osmaniye Köyü	44	59	68	21	27

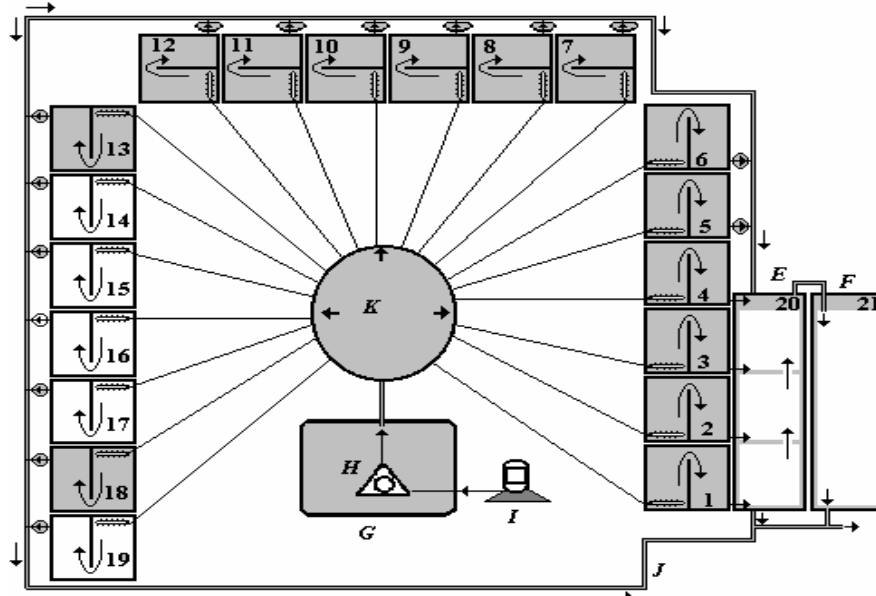
Türkiye için yapay sulakalanlar diğer ülkelerde de örneklerine rastlandığı gibi, kırsal kesimde evsel nitelikli atıksu arıtma imkanı yarattığı için önemlidir. Yapay sulakalan sistemi geliştirilmeden önce altyapısını tamamlamış köylerde sadece fosseptik sistemi kullanılmakta idi. Ucuz, güvenilir, inşası ve bakımının kolay olması gibi özelliklerinden dolayı kırsal kesimde yapay sulakalan sistemi son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Sulakalanların ‘Doğal Arıtma Projesi’ kapsamında amacı, arıtma gerçekleştirmesinin yanı sıra tarımsal sulama suyu elde etmektir. Ancak birçok uygulamada sulama suyu kriterlerinin henüz sağlamadığı hatta sulama suyu kriterlerinin göz önüne alınarak atıksu analizlerinin, SKKY Teknik Usuller Tebliği-Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri’ne göre (SKKY Teknik Usuller Tebliği, 1991) değerlendirme yapılmadığı anlaşılmaktadır. Çıkış suyunu, sulamada kullanabilmek için sadece BOİ₅ parametresine göre tasarım yapmak da yeterli değildir. SKKY Teknik Usuller Tebliğinin 7.bölümünde arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması için bakılması gereken parametreler olan; SAR (Sodyum Absorpsiyon Oranı), klor, bor konsantrasyonu, elektriksel iletkenlik, fekal koliform ile bunların limit değerlerine göre değerlendirme yapmak yerinde bir karar olacaktır.

4.2.1. İstanbul Teknik Üniversitesi

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) tarafından yapılan çalışmalardan bir tanesi, noktasal ve yayılı kaynaklarla su havzalarına giriş yapan aşırı NH₄⁺ ve NO₃-N’in dereler etrafında kurulacak olan yapay sulakalanlarla azaltılması yolu ile su kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktır. Bu maksatla TÜBİTAK-MAM Kampüsü’nde kurulmuş olan pilot-ölçekli bir yapay sulakalan sisteminde organik madde ve nutrient giderimleri incelenmiştir (Tunçsiper ve Akça, 2006). Derelerle barajlara gelen sular ile Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının karakterlerinin birbirine benzerliği kabul edilerek tesis çıkış suları sistemin beslenmesinde kullanılmıştır. Deneyler sürekli akışlı olarak çalıştırılmış olup sistemin performansı yaklaşık 2 yıllık çalışma süresince mevsimsel olarak izlenmiştir. Sistem üç farklı türde bataklık bitkilerini

içermektedir. Kullanılan köklü bitkiler; *Canna*, *Cyperus*, *Juncus*, *Poaceae*, *Paspalum* ve *Iris*'dir. Batık bitkiler; *Elodea*, *Egeria* ve *Valisneria*'dır. Yüzücü bitkiler ise; *Salvina*, *Pistia* ve *Lemna*'dır.

Bitkiler çalışma sahasına yakın su havzalarından ve bataklıklardan elde edilmiştir. Köklü, yüzücü ve batık bitkileri içeren reaktörler seri olarak bağlanmıştır. Reaktör 1,2,3 ve 4'ün çıkış suları 20 No'lu reaktörü beslemekte ve bu reaktörün çıkış suları da 21 No'lu reaktörü beslemektedir (Şekil 4.2). YAS sistemlerinin tümü köklü bitkilerle bitkilendirilmiştir. SYS₁ sistemleri 1m²'lik yüzey alana sahip 14, 15, 16 ve 17 No'lu reaktörler, SYS₂ sistemleri ise 4m²'lik yüzey alana sahip 20 ve 21 No'lu reaktörlerdir. Bitkiler çakıl dolgulu materyal içerisindeki kök salma özellikleri dikkate alınarak dikilmiştir. Dolgu malzemesi olarak orta dereceli çakıl kullanılmıştır. Piston akım şartlarının elde edilebilmesi için reaktörler içerisine birer ara duvar konulmuştur. Ara duvarların sadece bir ucundan açılan dar bir geçitle mümkün olan en uzun akım yolu sağlanmıştır. Derinlikler sistemin aerobik olmasına müsaade edecek şekilde düşük tutulmuştur. Atıksuyun sisteme homojen dağılımının sağlanması ve ek bir oksijen kazanımı için delikli borular kullanılmıştır. Deneyler TÜBİTAK-MAM Enerji Birimleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü laboratuvarı'nda standart metotlara göre yapılmıştır. Sıcaklık, pH ve ÇO yerinde ölçülmüştür (Tunçsiper ve Akça, 2006).



Şekil 4.2. İTÜ'deki Deneysel Çalışma Düzenine Şematik Görünümü (Tunçsiper ve Akça, 2006).

Ömerli Havzasına deşarj olan Hamsu, Göçbeyli, Ballica ve Uzundere gibi çok kirli olmayan derelerde yapılan ölçümlerde ortalama TN konsantrasyonları sırasıyla 0.65, 1.46, 1.04 ve 1.57mg/l olarak bulunmuştur. BOİ₅ konsantrasyonları uç değerler çıkarıldığında ortalama

15mg/l'tir. Ortalama pH değerlerinin ise nötrale yakın olduğu görülmüştür (İSKİ, 1996). Çizelge 4.3'de giriş suyunun özellikleri verilmiştir (Tunçsiper ve Akça, 2006).

Çizelge 4.3. Giriş Suyu Kalitesinin Özellikleri (Tunçsiper ve Akça, 2006).

Parametre	Birim	Ortalama	Aralık
pH	-	7.4	7.15-7.64
Sıcaklık	⁰ C	16	6.6-25.5
ÇO	mg/l	9	6.36-13.8
BOI ₅	mg/l	15	7-32
KOI	mg/l	43	21-75
TOK	mg/l	10	7-15
TKN	mg/l	1.56	0.05-3.9
NH ₄ ⁺	mg/l	1.33	0.05-3.4
NO ₂ ⁻	mg/l	<0.05	-
NO ₃ ⁻	mg/l	8.30	0.78-15.5
TN	mg/l	10.33	2.35-16.4

YAS'ın ortalama NH₄-N arıtma verimi (%73), SYS'lerden (%57) daha yüksektir. En yüksek NH₄-N verimi yaklaşık %80 olup YAS'lardaki *paspalum* (köklü) bitkisinden elde edilmiştir. SYS'lerdeki ortalama NO₃-N arıtma verimi ise %58 olup YAS'lardan (%37) daha yüksektir. En yüksek NO₃-N verimi yaklaşık %69 olup YAS'lardaki *Elodea- Egeria* (batık) bitkilerinden elde edilmiştir.

Azot gideriminde daha yüksek verimlerin alınabilmesi amacıyla köklü, yüzücü ve batık bitkiler içeren reaktörler seri olarak bağlanmıştır. Seri bağlı sistemde NH₄⁺ ve NO₃-N arıtma verimleri sırasıyla %89 ve %73 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar sistemlerin seri olarak bağlandığında azot giderimlerinin belirli bir düzeye kadar iyileştirilebileceğini göstermektedir. Sonuçlara göre köklü bitkileri içeren (*Canna, Cyperus, Typhia ve Juncus*) ilk kademedeki NH₄⁺ giderimleri (%69) ve batık bitkileri içeren (*Elodea-Egeria*) son kademedeki NO₃-N giderimleri (%40), diğerlerine göre daha yüksek bulunmuştur (Tunçsiper ve Akça, 2006).

4.2.1.1. Biyolojik Azot Giderimi İçin Tahmini Çıkış Konsantrasyonlarının Kinetik Modellerle Açıklanması

Tahmini çıkış konsantrasyonlarının tespitinde piston akımlı reaktörler için kullanılan birinci dereceden basit bir kinetik model kullanılmıştır. Ayrıca hidrolik yük, pH ve giriş konsantrasyonlarına bağlı olarak elde edilen çoklu regresyon denklemleriyle de tahmini çıkış konsantrasyonları elde edilmiş ve her iki modelle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Giriş ve

çıkış konsantrasyonları ile HAS arasındaki ilişkiye bağlı olarak verilen birinci dereceden reaksiyon kinetiği kullanılarak K_T değerleri elde edilmiştir;

$$C_C / C_g = \exp (-K_T \cdot T)$$

Burada C_C ve C_g ; çıkış ve girişteki konsantrasyonlar (mg/lt), K_T ; sıcaklık ve bitki yoğunluğuna bağlı hız sabitleri olup, $k_T = k_{20} \cdot \Theta^{T-20}$ (gün⁻¹), k_{20} ; 20 °C'deki reaksiyon hız katsayıları (gün⁻¹), Θ ; sıcaklık katsayıları (boyutsuz) ve t ; sistemdeki bekletme süresidir (gün).

K_T değerleri aynı sıcaklıkta ve en az iki örnekle elde edilen deney sonuçlarına dayanılarak bulunmuştur. Log K_T ile T-20 arasında 2.dereceden bir polinom ilişkisi bulunmuştur. Bu ilişki aşağıda gösterilmiştir;

$$\text{Log } K_T = \pm a (T-20)^2 \pm b (T-20) \pm C$$

Burada a ve b katsayılar olup, C bir sabittir. Sulakalanlarda hız sabiti üzerine sıcaklığın etkisi aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir;

$$\text{Log } K_T = (T-20) \cdot \text{Log } \Theta + \text{Log } k_{20}$$

Bu eşitliklerden Θ ve k_{20} değerleri elde edilmiştir. Elde edilen Θ ve k_{20} değerleri aşağıdaki denklemde yerine konularak tahmini çıkış konsantrasyonları elde edilmiştir;

$$\frac{[2.3025 \text{Log } C_C - k_{20} \cdot Q^{(T-20)} \cdot t]}{2.3025}$$

$$C_C = 10$$

Burada, C_C ; tahmini çıkış konsantrasyonları (mg/lt), C_g ; giriş konsantrasyonları (mg/lt), t ; HAS (gün), T ; su sıcaklığı (°C) ve 2.3025 katsayısı Ln (10) değerine eşittir.

Azot için elde edilen hız sabitleri ve sıcaklık katsayıları Çizelge 4.4'de verilmiştir (Tunçsiper ve Akça, 2006).

Çizelge 4.4. Hız Sabitleri (20 °C’de) ve Sıcaklık Düzeltme Katsayıları (Θ) (Tunçsiper ve Akça, 2006).

YAAS			SYAS	
	k ₂₀ gün ⁻¹	Θ	k ₂₀ gün ⁻¹	Θ
NH ₄ ⁺	0.898	1.022	0.541	1.033
NO ₃ ⁻	0.486	1.004	0.502	1.044

Del Bubba ve diğerleri (2000), *Phragmites* bitkilerini içeren YAAS sistemlerindeki nitrifikasyon için aşağıda verilen sıcaklık ile K_T arasındaki ikinci dereceden polinom ilişkisinin denklemini kullanarak;

$$\text{LogK}_T = -0.0042(T-20)^2 + 0.0311(T-20) - 0.3015$$

(R²=0.93) ve k₂₀= 0.499 gün⁻¹ olarak bulmuşlardır. Del Bubba ve diğerleri, (2000) yaptıkları diğer pilot-ölçekli bir çalışmada ise bu ilişkileri,

$$\text{LogK}_T = -0.0049(T-20)^2 + 0.0988(T-20) - 0.11626$$

(R²=0.90) ve k₂₀= 0.687 gün⁻¹ olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada bulunan aynı ilişki;

$$\text{LogK}_T = -0.0004(T-20)^2 + 0.0096(T-20) - 0.0467$$

(R²=0.32) olup, elde ettiği ilişkilerden daha zayıftır ve hız katsayıları da (0,898) daha yüksektir. Reed ve diğ. (1995), SYS’leri için nitrifikasyon hız sabitini 0.4107 (gün⁻¹) olarak, Kemp ve George (1997) ise YAS’ları için 0.497 (gün⁻¹) olarak kaydetmişlerdir.

Bu çalışmada YAS’larda nitrifikasyon için elde edilen K₂₀ değeri (0.898 gün⁻¹) kaydedilen değerlerden daha büyük olup, SYS’ler için elde edilen değer (0.541 gün⁻¹) ise Kemp ve George tarafından kaydedilen değere daha yakındır. Aynı zamanda amonyaklaşma için elde edilen hız sabitleri de (0.986 ve 0.908 gün⁻¹) kaydedilen değerlerden büyüktür. Kadlec ve Knight (1996) tarafından YAS ve SYS’lerdeki denitrifikasyon hız sabitleri sırayla 0.57 ve 0.32 (gün⁻¹) olarak kaydedilmiştir.

Reed ve Brown tarafından (1995) ise YAS’lar için denitrifikasyon hız sabiti 1.0 (gün⁻¹) olarak kaydedilmiştir. Bu çalışmada YAS ve SYS’ler için elde edilen denitrifikasyon hız sabitleri (0.486 ve 0.502 gün⁻¹) değer aralıkları içerisinde düşmektedir (Tunçsiper ve Akça, 2006).

Tunçsiper ve Akça (2006) yaptıkları çalışmada hidrolik yük, pH, giriş ve çıkış konsantrasyonlarına bağlı olarak elde edilen çoklu regresyon denklemleriyle tahmini çıkış konsantrasyonlarını (mg/l) hesaplamışlardır.

$$Y_A, Y_B = \pm X_A, X_B \pm X_H \pm X_P \pm C$$

Burada, Y_A ve Y_N ; sırayla tahmini NH_4^+ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ çıkış konsantrasyonları (mg/l), X_A ve X_N ; sırayla giriş NH_4^+ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonları (mg/l), X_H ; HYH ($\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$) ve C sabittir. Burada Y bağımlı değişken olup, X değişkenleri ise Y 'ye bağlı bağımsız değişkenlerdir. YAS 'larda tahmini $\text{NH}_4\text{-N}$ (Y_A) ve $\text{NO}_3\text{-N}$ (Y_N) çıkış konsantrasyonu denklemleri ile regresyon katsayıları (R^2);

$$Y_A = 0.141X_A - 0.0048X_H + 0.281X_P - 1.62, R^2 = 0.50$$

$$Y_N = 0.64X_N + 0.0173X_H + 0.289X_P - 3.14, R^2 = 0.90$$

olarak bulunmuştur. Bu denklemler ve regresyon katsayıları YSY 'lerde ise;

$$Y_A = 0.515X_A - 0.0015X_H - 0.073X_P + 0.43, R^2 = 0.74$$

$$Y_N = 0.609X_N + 0.023X_H + 0.082X_P - 2.15, R^2 = 0.82$$

olarak elde edilmiştir. Araştırmacılar regresyon katsayıları (R^2 : 0.82, 0.90) dikkate alındığında $\text{NO}_3\text{-N}$ için tahminlerin daha iyimser olduğunu vurgulamışlardır.

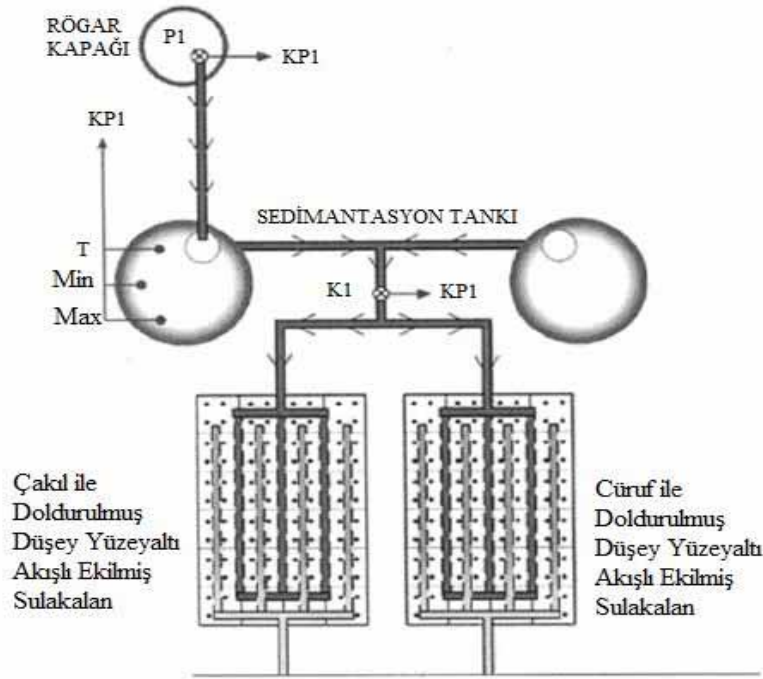
4.2.2. ODTÜ'de Evsel Atıksu Arıtmak Üzere İşletilen Düşey Akışlı Pilot-Ölçekli Yapay Sulakalanların Arıtım Verimliliği

Konvensiyonel atıksu arıtım sistemlerine sahip olmayan küçük yerleşim birimleri için bir alternatif olarak yapay sulakalan sistemlerinin, Türkiye'de henüz tam-ölçekli uygulaması bulunmamaktadır. Bu çerçevede ekilmiş sulakalanların ülkemiz koşulları ve imkanları içinde uygulanıp uygulanamayacağını görmek üzere ön çökeltmeden geçirilmiş evsel atıksuyu arıtmak amacıyla iki adet pilot-ölçekli $YADS$ yatağı, ODTÜ kampüsü arazisinde uygulanmıştır.

Korkusuz ve diğ., (2005) yaptıkları çalışmada iki adet pilot ölçekli yapay sulakalan uygulamasında, farklı dolgu malzemelerinin (çakıl ve cüruf), organik kirleticilerin gideriminin yanı sıra besin giderimindeki etkinliğini araştırmışlardır. Araştırmacılar tarafından ODTÜKENT'e ait ham evsel atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak ODTÜ'deki evsel atıksuyun, biyolojik arıtılabilirliği zor olarak değerlendirilmiştir. Bunun, ODTÜKENT'deki insanların beslenme, su ve deterjan tüketim alışkanlıklarından kaynaklandığı düşünülebilmektedir. Ayrıca ODTÜ'de yağmur suyu, kanalizasyon sistemine iletiildiğinden, evsel atıksuyun seyreltilerek röğara ulaşması da sözkonusudur. ODTÜ'deki ham evsel atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 4.5'de ve yapılmış olan $YADS$ sistemi Şekil 4.3'de gösterilmiştir (Korkusuz ve diğ., 2005).

Çizelge 4.5. ODTÜKENT'e Ait Ham Evsel Atıksuyun Karakterizasyonu (Korkusuz ve diğ., 2005).

Parametre (mg/l)	BOİ ₅	KOİ	AKM	PO ₄ ⁻³ -P	TP	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	TN
Minimum	40	221	80	2.60	6.00	14.03	0.13	28.10
Maksimum	90	348	125	4.34	6.20	30.00	0.91	5.90
Ortalama	65	280	103	3.34	6.14	23.86	0.60	34.70
Standart Sapma	30	52.40	9.23	0.74	0.11	6.17	0.34	9.23



Şekil 4.3. ODTÜ'de Yapılmış Olan Yüzealtı Düşey Akışlı Yapay Sulakalan Sistemi (YADS) (Korkusuz ve diğ., 2005).

ODTÜ'nün devre dışı bırakılmış atıksu arıtma tesisinin eski çamur kurutma yatağında her biri 4.5m x 6.5m x 0.60m (en x boy x derinlik) boyutlarına ve 30m²'lik yüzey alanına sahip iki adet YADS yatağı oluşturulmuştur (Korkusuz ve diğ., 2001). Her bir yatağın su geçirimsizliği tabana naylon serilerek sağlanmıştır. Tabana süzülen arıtılmış suyun drenaj boruları ile kolayca toplanabilmesi için yatak tabanlarında %1 eğim yaratılmıştır. Sulakalan yataklarından bir tanesi tabandan yukarıya doğru yıkanmış iri çakıl (15cm yüksekliğinde 0-3mm dane aralığında) katmanlarından oluşturulmuşken, diğeri iri (15cm yüksekliğinde 15-30mm dane aralığında) elenmiş yüksek fırın granüle demir cürufu (30cm yüksekliğinde 0-3mm dane aralığında) ve kum

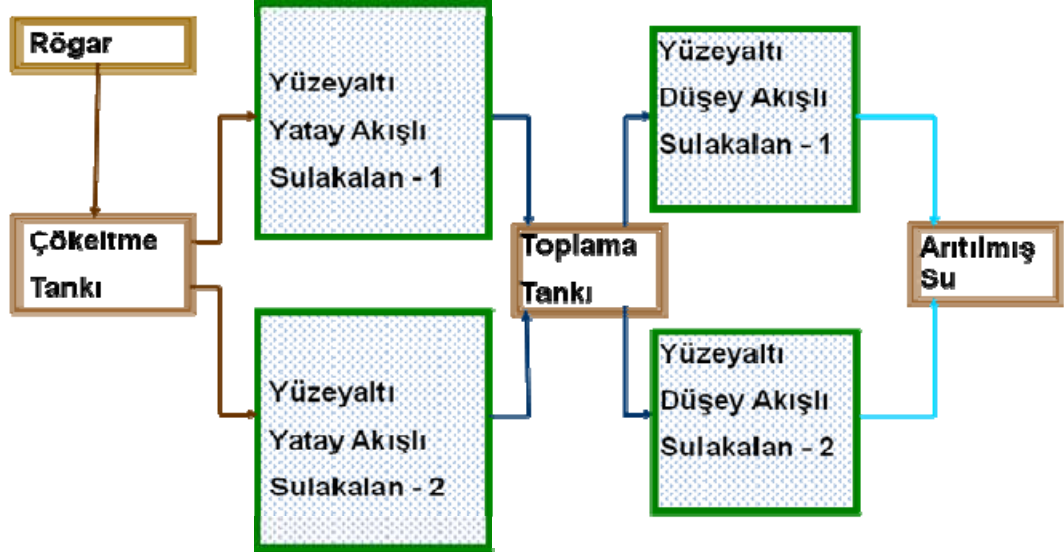
(15cm yüksekliğinde 0-3mm tane aralığında) katmanlarından oluşturulmuştur. ODTÜ’de karasal ortamda doğal halde bulunan kamışların (*Phragmites australis*) bir kısmı kendi topraklarıyla tüplenmişler ve daha sonra bu bitkiler sulakalan yataklarına m²'ye 9 adet olacak şekilde dikilmişlerdir. Rögardan dalgıç pompa ile çekilen ve 3m³ hacime sahip iki adet ön çökeltme tankında 2 saat bekletilen evsel atıksu, yatakların her birine günde bir kez olmak üzere delikli PVC borularla HYH 0.100m/dk olacak şekilde verilmiştir (Korkusuz ve diğ., 2002). ODTÜ’de ikincil ve ileri arıtım amacıyla kullanılan bu sulakalan yatakları, Türkiye’de kişi başı su tüketimi ortalama 100lt/dk olarak kabul edildiğinde toplam 60 kişiye hizmet etmektedirler. Arıtılmış sular, arazideki mevcut bitkileri sulama amacıyla kullanılmıştır.

ODTÜ’deki yapay sulakalan yataklarının arıtım verimliliğini izleyebilmek üzere, düzenli olarak haftada bir kez sulakalan yatak giriş ve çıkışlarından su numuneleri alınmıştır. Aynı gün içerisinde numunelerin AKM, KOİ, NH₄-N, TN, fosfat fosforu (PO₄-P) ve TP analizleri standart metotlara uygun yapılmıştır. ODTÜ’deki sulakalanlara uygulanan evsel atıksu kalite parametrelerinin, diğer ülkelerin evsel atıksu kirlilik parametrelerinden genelde daha düşük olması nedeniyle, zayıf karakterli bir atıksu olarak değerlendirilmiştir. ODTÜ’deki sulakalan yatakları, organik kirleticilerin yanı sıra, azot ve fosfor gibi besin maddelerinin gideriminde de etkin olmuştur. Yapılan su kalitesi izleme çalışmaları ve istatistiksel analiz sonucunda, cüruf ve çakıl sulakalan yataklarının AKM, KOİ ve TN gideriminde hemen hemen aynı performansı gösterdiği bulunmuştur. Ancak, cüruf yatağın NH₄-N, PO₄-P ve TP gideriminde ve NO₃⁻ üretiminde çakıl yataktan daha verimli olduğu istatistiksel olarak bulunmuştur. Her iki sistemin nitrifikasyon ve denitrifikasyon kapasitesi, diğer ülkelerdeki yapay sulakalan çalışmalarında gözlenebilen nitrifikasyon ve denitrifikasyon kapasitelerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar, yapay sulakalanların Türkiye’de de ikincil ve ileri atıksu arıtımında başarılı bir şekilde uygulanabileceğini işaret etmektedir.

4.2.3. Viranşehir Yapay Sulakalan Projesi

Viranşehir yapay sulakalan projesi ODTÜ prototipinin bir uyarlaması olarak düşünülmüştür. ÇMO ve Viranşehir Belediyesi’nin işbirliği ile, İsviçre Kalkınma ve İşbirliği Ajansının katkılarıyla uygulanmıştır. Bu proje ile yerel kaynaklarla evsel atıksuların arıtılması ve sulamada kullanılması hedeflenmiştir. Viranşehir Belediyesinin işbirliği ile saha incelemeleri, yer seçimi, atıksu yapısının belirlenmesi, dolgu malzemelerinin tesbiti, tasarım ve bitkilerin hazırlanması çalışmaları yapılmıştır. Yapay sulakalanda kullanılmak üzere Diyarbakır Büyükşehirliği Fidanlığında Dicle’nin kenarından alınan kargı (*Phragmites australis*) bitkisi yetiştirilmiştir. Uygulamanın yapılacağı arazideki atıksu bir kanalla uzaklaştırılarak, arazi kurutulmuştur ve inşaat için elverişli hale getirilmiştir. Dolgu malzemesi olarak Karacadağ eteklerinde doğal halde bulunan ve tarımı olumsuz etkilediği için tarlalardan uzaklaştırılan volkanik cüruf ve bazalt taşı; geçirimsizlik sağlamak içinde kil kullanılmıştır. Şekil 4.4’de

Viranşehir sulakalan sisteminin modeli gösterilmiştir (Arıkan, 2005). Bu sistemde YAYS ve YADS birlikte kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Viranşehir Sulakalan Projesindeki İki Adet YAS Modeli (Arıkan, 2005).

Bu modelde çökeltme, adsorpsiyon, bitki fotosentezi, köklerde ve dolgu malzemelerinde yaşayan anaerobik bakteriler kullanılmıştır. Bu projenin yöreye ve halk sağlığının korunmasına katkı vermesi, sulama ihtiyacının karşılanması ve nehir kirliliğinin azaltılması gibi avantajlar sağladığı vurgulanmıştır. Ayrıca Viranşehir Yapay Sulakalan Projesi, bir yerel yönetim düzeyinde ilk defa hayata geçirilmiştir. Çizelge 4.6'da sistemin giriş ve çıkış değerleri verilmiştir (Arıkan, 2005).

Çizelge 4.6. Sistemin Giriş ve Çıkış Değerleri (Arıkan, 2005).

Parametre	Yapay Sulakalan Girişi	Yapay Sulakalan Çıkışı
BOİ ₅ (mg/l)	110 ± 36	11
KOİ (mg/l)	302 ± 93	37
TN (mg/l)	91 ± 37	1
NH ₃ -N (mg/l)	10.53 ± 8.29	0.07
NO ₃ -N (mg/l)	13 ± 3.5	-

4.2.4. Ankara-Haymana-Dikilitaş Köyü Yapay Sulakalanı

Dikilitaş Köyü'nün 2000 yılı sayımına göre nüfusu 455 kişidir. Köyün kanalizasyon sistemi 500 ve 250 kişi kapasiteli olmak üzere iki adet fosseptikle sona ermektedir. İlk aşamada 250 kişilik fosseptik çıkışına bir yapay sulakalan inşa edilmiş; denedikten sonra ise gerekli düzeltmeler

yapılarak 500 kişilik fosseptik çıkışında da bir sulakalan yapılmıştır. 250 kişilik fosseptiğin giriş ve çıkış değerlerine bakıldığında; çıkış değerlerindeki BOİ₅, AKM, KOİ parametrelerinin, bu köy için SKKY'nin deşarj standartlarının üstünde olduğu görülmüştür (Eremektar ve diğ., 2005). Bu değerlerin standartları sağlayabilmesi için fosseptik çıkışına sulakalan çalışması yapılmıştır.

4.2.5. Paşaköy Arıtma Tesisi İçinde İnşa Edilmiş Yapay Sulakalan

İstanbul Paşaköy arıtma tesisi içinde inşa edilmiş yapay sulakalan ile İstanbul'da mevcut su temin edilen yüzeysel kaynaklarda su kalitesini korumak amaçlı inşa edilmiş olan ve atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ile beslenen, birbirinden ayrı üç tane YAS sistemi yapılmıştır. Sistemde su dağıtımı, borularla yapılmış ve zeminin geçirimsizliği kille kaplanarak sağlanmıştır. Dolgu malzemesi olarak çakıl taşı, bitki olarak ise köklü bir bitki olan *Cyperus* (Japon şemsiyesi) kullanılmıştır. Estetik açıdan güzel bir görüntü oluşturmakla birlikte kış aylarında Japon şemsiyesi bitkisi hasat edilmiş ve soğuk hava şartlarından dolayı da sararmıştır (Eremektar ve diğ., 2005).

4.2.6. İzmir-Torbalı-Çakırbeyli Köyü Yapay Sulakalan Tesisi

1000 kişilik nüfusa sahip kanalizasyonu ve fosseptiği mevcut olan Çakırbeyli Köyü'nde bir YAYS tesisi yapılmıştır. YAS sistemlerinde koku ve sivrisinek sorunu olmaması tesisin yüzeyaltı akışlı seçilmesinde önemli bir etkidir. Atıksu tesise girmeden önce dört haneli bir fosseptik çukuruna gelmektedir. Bu dört haneli fosseptik ön çökelme tankı görevi yapmaktadır. Zemin geçirimsizliği sağlamak amacıyla ilk olarak kil malzeme ile kaplanmıştır. Bitki olarak *Vetivergras* seçilmiştir. Saçak köklü olan bu bitki, bilindiği kadarıyla ülkemizde yetişmemektedir; İtalya'dan deneme amaçlı ithal edilmiştir. Çizelge 4.7'de sistemin giriş ve çıkış değerleri verilmiştir (Eremektar ve diğ., 2005).

Çizelge 4.7. Sistemin Giriş ve Çıkış Değerleri (Eremektar ve diğ., 2005).

Parametre	Yapay Sulakalan Girişi	Yapay Sulakalan Çıkışı	Yönetmelikteki Değeri
KOİ (mg/l)	142	52	180
BOİ ₅ (mg/l)	50	15	50
AKM (mg/l)	89	11	70
TN (mg/l)	33	25	-

4.2.7. Ömerli'deki Baraj Suyunu Koruma Amaçlı İnşa Edilen Pilot Ölçekli Yapay Sulakalan

Ömerli'deki baraj suyunu noktasal ve yayılı kaynaktan gelen kirleticilerden korumak ve büyük miktarlardaki suyu Ömerli'ye geri kazandırmak için inşa edilen yapay sulakalan, birbirine seri bağlı sistemlerden (yüzeyaltı ve serbest yüzey akışı) oluşturulmuştur. Birinci sistem yüzeyaltı akışlı dört adet tanktan oluşmaktadır. Bu dört tankın çıkış suyu ikinci sisteme (5.tanka) verilmiştir. Burada köklü bitkiler *Cana*, *Cyperus*, *Typhia*, *Juncus* kullanılmıştır. İkinci sistem serbest yüzey

akışlı olup bunun çıkış suyu da üçüncü sisteme (6. tanka) verilmiştir. Bu sistemde kullanılan yüzücü bitkiler *Lemna*, *Pistia*, *Salvina*'dir. Üçüncü sistem de bir SYS sistemidir. Burada kullanılan batık bitkiler ise *Elodea* ve *Egeria*'dir (Eremektar ve diğ., 2005).

4.2.8. Manisa-Akhisar-Sakarya Köyü Yapay Sulakalan Tesisi

724 kişilik nüfusa sahip Sakarya Köyü'nün kanalizasyonu ve fosseptiği mevcut olup, çıkış suyu değerlerinin SKKY deşarj standartlarını sağlaması için fosseptik çıkışına bir YAYS tesisi yapılması uygun bulunmuştur. Çizelge 4.8'de sistemin giriş ve çıkış analiz değerleri verilmiştir (Eremektar ve diğ., 2005).

Çizelge 4.8. Sistemin Giriş ve Çıkış Değerleri (Eremektar ve diğ., 2005).

Parametre	Yapay Sulakalan Girişi	Yapay Sulakalan Çıkışı	Yönetmelikteki Değeri
BOİ ₅ (mg/l)	842	685	180
KOİ (mg/l)	520	380	50
AKM (mg/l)	89	66	70
TN (mg/l)	64	56	-
TP (mg/l)	2,02	1,17	-
pH	6,88	6,74	6-9

4.2.9. Manisa-Saruhanlı-Yeni Osmaniye Köyü Yapay Sulakalan Tesisi

Yeni Osmaniye Köyü, 2000 yılı nüfus sayımına göre 246 kişidir. Kanalizasyonu ve fosseptiği mevcut olan bu köye bir YAYS tesisi yapılmıştır. Çizelge 4.9'da sistemin giriş ve çıkış değerleri gösterilmiştir (Eremektar ve diğ., 2005).

Çizelge 4.9. Sistemin Giriş ve Çıkış Değerleri (Eremektar ve diğ., 2005).

Parametre	Yapay Sulakalan Girişi	Yapay Sulakalan Çıkışı	Yönetmelikteki Değeri
BOİ ₅ (mg/l)	100	15	50
KOİ (mg/l)	184	52	180
AKM (mg/l)	108	12	70
TN (mg/l)	67	53	-
TP (mg/l)	1,8	0,93	-
pH	7,17	7,72	6-9

4.2.10. Tokat-Turhal-Kat Kasabası ve Tokat-Turhal-Yeniceler Köyüne İnşa Edilen Yapay Sulakalan Tesisi

Evsel nitelikli atıksuları artırmak amacıyla içinde *Typha latifolia* L. bitkisi bulunan iki adet YAYS'ın giriş ve çıkış noktalarından alınan atıksu numuneleri ve sulakalan havuzunda bulunan

Typha latifolia L. bitkisi yapılan çalışmanın esas materyalini oluşturmaktadır (İspirli, 2006b). Çizelge 4.10’da çalışmanın yapıldığı aylara ait meteorolojik değerler gösterilmiştir

Çizelge 4.10. Çalışmanın Yapıldığı Aylara Ait Turhal İlçesi Meteorolojik Değerleri (İspirli, 2006b).

AYLAR		2005 YILI			2006 YILI					
		10.Ay	11.Ay	12.Ay	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay
Sıcaklık	Ort.	12,6	6,3	3,3	3,7	4,1	7,2	13,1	17,0	24,0
	Max.	29,6	17,2	20,0	18,4	18,2	22,0	29,3	33,2	35,4
	Min.	0,0	-2,9	-6,5	-8,0	-9,3	-3,2	-1,4	2,6	12,9
Yağış (Ort.) (mm)		37,8	31,3	25,1	40,1	35,2	101,3	48,4	73,0	11,2
Nem (%)		70,0	77,5	75,4	74,0	65,9	64,8	59,7	63,9	56,6

Turhal Yenice Köyü Yapay Sulakalanı İçin Kullanılan Parametreler;

Toplam Nüfus: 150 kişi

Atıksu Debisi: 80 l / kişi. gün

Turhal Kat Kasabası Yapay Sulakalanı İçin Kullanılan Parametreler;

Toplam Nüfus: 2641 kişi

Atıksu Debisi: 80 l / kişi. gün

Turhal Yenice Köyüne ait yapay sulakalandan 6 adet ve Turhal Kat Kasabasına ait yapay sulakalandan 4 adet olmak üzere, evsel atıksuyun yapay sulakalan havuzuna giriş ve çıkış noktalarından, evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj kriterlerine uygunluğunu belirlemek amacıyla ölçülen parametreler Turhal Yenice Köyü için Çizelge 4.11’ de, Turhal Kat Kasabası için ise Çizelge 4.12’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Turhal Yenice Köyü Yapay Sulakalan Giriş ve Çıkış Değerleri (İspirli, 2006b).

Tarih	Yapay Sulakalan Girişi						
	pH	BOİ ₅ mg/l	KOİ mg/l	AKM mg/l	TN mg/l	TP mg/l	NH ₃ -N
12.11.2005	7,52	160	176	600	5,85	4,57	2,82
03.01.2006	7,75	155	195	550	3,45	3,48	0,97
07.02.2006	7,63	130	207	480	1,82	2,62	0,86
06.03.2006	8,12	125	250	475	14,12	2,67	0,89
12.04.2006	7,15	120	370	400	28,20	0,48	2,99
02.06.2006	8,49	120	203	320	45,3	13,30	1,33

Tarih	Yapay Sulakalan Çıkışı						
	pH	BOİ ₅ mg/l	KOİ mg/l	AKM mg/l	TN mg/l	TP mg/l	NH ₃ -N
12.11.2005	7,42	55	58,2	80	5,73	4,35	2,26
03.01.2006	7,65	53	78,8	70	3,33	3,12	0,75
07.02.2006	7,0	55	86,9	100	1,72	2,57	0,69
06.03.2006	7,35	49	120,3	75	7,05	1,15	0,55
12.04.2006	7,30	48	130	90	16,60	0,20	1,35
02.06.2006	9,02	40	79,8	80	23,1	3,67	0,76

Çizelge 4.12. Turhal Kat Kasabası Yapay Sulakalan Giriş ve Çıkış Değerleri (İspirli, 2006b).

Tarih	Yapay Sulakalan Girişi						
	pH	BOİ ₅ mg/l	KOİ mg/l	AKM mg/l	TN mg/l	TP mg/l	NH ₃ -N
12.11.2005	7,85	125	198	149	15,66	9,8	2,14
18.01.2006	7,09	270	750	400	33,3	7,6	0,41
07.02.2006	7,63	250	380	167	47,80	18,9	0,95
02.03.2006	7,95	120	355	135	28,9	17,7	1,67

Tarih	Yapay Sulakalan Çıkışı						
	pH	BOİ ₅ mg/l	KOİ mg/l	AKM mg/l	TN mg/l	TP mg/l	NH ₃ -N
12.11.2005	7,32	60	150	50	13,89	6,76	2,09
18.01.2006	7,30	55	165	100	24,2	3,17	0,36
07.02.2006	7,38	70	200	80	32,80	13,70	0,25
03.03.2006	7,54	45	185	78	19,6	12,3	1,12

4.2.11. Kızılırmak Deltası

Doğal özellikleri büyük ölçüde korunabilmiş, ülkemizin Karadeniz kıyısındaki tek sulakalanıdır. Deniz, ırmak, göl, sazlık, bataklık, çayır, mera, orman, kumul ve tarım alanları gibi farklı ekolojik karakterlerdeki habitatların bir arada bulunması, besin maddelerince zenginlik ve uygun iklim koşulları Kızılırmak Deltası'nın eşine az rastlanır ölçüde biyolojik çeşitliliğe sahip olmasını sağlamıştır (Çevre ve Orman Bakanlığı Belgesi, 2005).

Kızılırmak Deltası, yaşama ortamlarının çeşitliliği ve barındırdığı önemli hayvan varlığı ve türlerin durumları ile çok sayıda uluslararası öneme sahip sulakalan kriterine uygun bir ekosistemdir. Değişik habitatları, zengin bitki ve hayvan varlığı ile bilimsel çalışmalar için açık hava laboratuvarıdır. Taban suyunu dengeleme, denizden tuzlu su girişini önleme gibi işlevleriyle bulunduğu bölgenin su rejiminin düzenlenmesine katkı sağlamaktadır.

Tüm bunların yanı sıra, Kızılırmak Deltası su ürünleri üretimi, saz kesimi ve otlatma imkanlarıyla yöre ekonomisine önemli katkılar sağlayan çok yönlü bir sulakalan ekosistemidir. Güzel manzarası ve barındırdığı yaban hayatı ile kuş gözleme, balık tutma, avcılık gibi

rekreasyonel faaliyetler için de ideal bir ortamdır (Çevre ve Orman Bakanlığı Belgesi, 2005; Özesmi, 1999).

Değişik ekolojik karakterdeki habitatların varlığı, deltayı bitki çeşitliliği yönünden de zengin kılmıştır. Göl kıyıları sazlıklar ve bataklıklar yoğun vejetasyonla kaplıdır. Göllerde su sümbülleri cinsine ait türler hakimdir. Kıyılarda ise kamış, babur sazı, sivri hasırotu bulunmaktadır. Bazı yerlerde nilüferlere de rastlanmaktadır.

Kızılırmak Deltası, biyolojik üretim yönünden bol gıda ihtiva eden karakterde bir sulakalan ekosistemidir. Deltada bulunan göller, sazlıklar ve bataklıkların planktonlar ve omurgasız canlılar bakımından zengin oluşu, alanın değişik türde zengin faunaya sahip olmasını sağlamıştır. 16.000 hektarlık alanda 100.000 su kuşunun barınması deltanın besin maddesince ve fauna elemanlarınca zenginliğinin en iyi göstergesidir. Deltada bulunan göllerde, sazan, sudak, has kefal, mersin merinosu, alabalık türlerine ait zengin balık popülasyonları mevcuttur.

Deltada bugüne kadar 308 kuş türü saptanmıştır. Bu sayı, Türkiye kuşlarının %74'ü olup, Türkiye'de Göksu Deltası'ndan (332 tür) sonra bir alanda tespit edilmiş en yüksek sayıdır. Bölgede görülen türlerden büyük deniz düdükçünü ve kuzey incir kuşu bugüne dek Türkiye'de sadece Kızılırmak Deltası'nda saptanmıştır. Kızılırmak Deltası, göç sırasında Karadeniz'i doğrudan aşan kuş türleri için hayati önem taşımaktadır. İlkbaharda Karadeniz'i geçmek üzere uzun bir yolculuğun hazırlığını yaptıkları ve sonbahar göçlerinde ise Karadeniz'i aşan kuş türlerinin Karadeniz kıyısında sığınabilecekleri en önemli sulakalandır. Bu nedenle, özellikle göç sırasında, bazı kuş türleri deltada büyük sayılara ulaşmaktadır (Anonymous Broşürü, 2002)

Kızılırmak Deltası, tarımsal potansiyel bakımından Türkiye'nin en zengin ovalarından birisidir. Deltada buğday, mısır, pirinç, ayçiçeği, şeker pancarı ve tütün yetiştiriciliği yapılmaktadır. Deltadaki diğer bir ekonomik etkinlik ise saz kesimidir. Her yıl toplam saz alanının yaklaşık %25'i kesilmektedir. Kesilen sazin büyük bir bölümü ihraç edilmektedir. Bunların yıllık brüt Pazar değeri Ağustos 1998 fiyatlarıyla 206.2 milyar TL'dir. 70.5 milyar TL'si köylülere kalmaktadır. Ancak bu durum ulusal ekonomide, karar mekanizmalarında ve çevresel politikaların belirlenmesinde yer almaktadır. Bir kısmı ise hasır, sepet vb. yapımında, binaların özellikle hayvan barınaklarının çatılarını örtmede ve ahırlarda zemine sermek için kullanılmaktadır. Hayvancılık yöre halkının geçiminde önemli bir yer tutmaktadır. Göllere yakın olan köyler ikinci bir gelir kaynağı olarak balıkçılığa yönelmişlerdir. Geçmiş yıllarda avlanan balık miktarlarının 350-400 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir (Baklaya ve Çelikoba, 2005).

Kızılırmak Deltası, ülkemizin diğer bölgelerindeki sulakalanların maruz kaldığı tehlikelere benzer tehlikelerle karşı karşıyadır. Yapılan araştırmalar; Kızılırmak Deltası'nda son yıllarda artış gösteren yoğun kirliliğin, kontrolsüz avcılığın, yapılaşmanın, tarım alanlarından gelen drenaj sularının, orman tahribinin, kıyı kumullarından kaçak kum ve çakıl alımının delta ekosisteminde bozulmalara yol açtığını göstermiştir (Özesmi, 1999; Demir, 1995; Bürke,1995; Bayram, 1995; Coşkun, 1995; Ak, 1997; Işık, 1997).

4.3. Suyun Yeniden Kullanımı İçin İnşa Edilmiş Sulakalanlar

Bu çalışma sulakalanların arıtım performansları, arıtılan suyu yeniden kullanabilme olanakları, çalıştırma ve bakım ihtiyaçları, maliyet ve bu teknolojinin uygulanması ile ilgili sınırlamalar gibi konuları genel olarak özetlemektedir. Sulakalanlar iyi tasarlanıp bakımı yapılırsa buralarda arıtılan sular, su arıtımı için gereken yüksek standartları karşılayabilirler. Bu doğal alanlar, atıksu arıtımı için normal şartlar altında kendiliğinden meydana gelen biyolojik-kimyasal çevrimlerden optimal olarak yararlanırlar. Yapay sulakalanlar su akış özelliklerine ve bitki türlerine göre farklı tiplerde olabilirler. Farklı sulakalanlar tek başına çalışan arıtma sistemleri olmak zorunda değildirler. Daha ziyade farklı sistemlerin avantajlarından faydalanabilmek için birbirine ya da daha düşük veya daha yüksek teknoloji atıksu arıtma sistemlerine bağlanabilirler. Sulakalanlar aslında dönen biodiskler, yukarı akışlı çamur yatağı gibi sistemlerden ileri arıtım adımı olarak gittikçe artan bir şekilde kullanılmaktadırlar (Rousseau ve diğ., 2006).

Yeniden Kullanım Opsiyonları ve Yan Faydalar

Sulakalanlardan çıkan suyun yeniden kullanımı Avrupa'da, büyük sistemlere göre küçük sistemlerde daha popülerdir. Arıtılmış suların tuvalet temizliği, bahçe sulama, ahır temizliği vb. işlerde kullanıldığı birçok tekli ev sistemleri veya çiftlik sistemleri örneği vardır. Büyük ölçekli uygulamalar Avrupa'da pek yaygın değildir. Fakat Avustralya ve Amerika'da yaygındır. Yeniden kullanım kavramı daha çok teorik olarak ele alınmıştır. Arıtılmış suyun etkin bir şekilde kullanıldığı gerçek örnekler literatürde yaygın olarak bulunmaktadır (Rousseau ve diğ., 2006).

Arıtılan su, niteliğine bağlı olarak kısıtlı veya kısıtlanmamış zirai ürün sulaması için yeniden kullanılabilir. Diğer uygulamalar bahçe, golf alanları, halka açık parkların sulanmasını içermektedir. Arıtılan su aynı zamanda genel temizlik amaçlı (Veenstra, 1998), soğutma suyu (Peng ve diğ., 2006) ve doğal olarak su barındıran alanlar ve doğal rezerv alanları için (Worrall ve diğ., 1997) güvenilir bir su kaynağı olarak da yeniden kullanılabilir. Sulakalanlar aynı zamanda zemin suyu beslemesi için filtreleme alanları olarak ta görev yaparlar (Emmet ve diğ., 1996).

Belirli bitki türleri, bir kısmı süs bitkisi (Shipin ve diğ., 2005) ve bir kısmında ham madde olarak ticari değere sahiptir. Hasat edilen bitkilerin saman veya gübre olarak kullanılması toprak katkıları elde edilmesini, bitkilerin kırılması, ipliği ve silajlamada, besi hayvanları için yiyecek sağlar. Bitkiler, gelişim aşamasında karbon tuttukları için hasat edildikten sonra, karbon elde etme ihtimalini artıran enerji üretimi için kullanılabilirler.

Diğer bir fayda da bitki ve hayvanlar için yeni bir yaşam alanı oluşturmaktır. Doğal yaşam korumasına katkıda bulunmak için özellikle tasarlanmış çok az sayıda sulakalan vardır. Sulakalanlar katı mühendislik bakış açısının tersine ekolojik bir bakış açısıyla ele alındığında özellikle doğal yaşam potansiyelini optimize etmek üzere tasarlanıp yönlenebilirler (Worrall ve diğ., 1997). Doğal yaşam gelişimini sınırlayan faktörler başlıca şunlardır; sulakalan büyüklüğü,

sulakalanın doğal yaşam alanı olarak yapısal çeşitliliği, arıtılan suyun doğası itibariyle oluşan biyolojik yükler ve yüzeyaltı veya serbest akışlı sistemler gibi tasarım özellikleridir.

Yapay sulakalanların diğer olumlu katkıları eğitim (doğa çalışmaları), egzersiz aktiviteleri (yürüyüş, koşu) ve eğlence aktivitelerinden (avcılık, trapping) oluşmaktadır (Knight ve diğ., 2001).

Arıtım Verimleri ve Çıkış Suyu Konsantrasyonları

Yapay sulakalanların yüksek tutma kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Arıtma yüzdeleri başlıca ısı, hidrolik tutma ve HAS'a bağlıdır ve sistemler arasında oldukça değişkendir.

Diğer taraftan besin arıtımı daha problemlidir. Çıkış suyunun arıtılması amacıyla giriş suyundaki 16mg/l'te kadar nitrojen konsantrasyonlarıyla ve 300m³/ ha.dk'lık HYH ile SYS sistemlerinde 3mg/l'tik azot arıtımı veya daha az seviyelerde değerlerle arıtım mümkün gözükmemektedir (Bavor ve diğ., 1995). Düşük fosfor konsantrasyonlarında tipik arıtım verimliliği %60 ila %90'lara çıkabilir ve 1.0mg fosfor/l'te veya daha düşük arıtılmış konsantrasyonları oluşturabilir. Sulakalanlar aynı zamanda eczacılık ve kişisel bakım ürünleri (Matamoros ve diğ., 2005) ve ağır metaller (Ghermandi ve diğ., 2006; Lesage ve diğ., 2006) gibi düşük konsantrasyon bileşiklerini de etkin bir şekilde arıtabilirler.

Proses İşletme ve Bakım

Sulakalanların işletilmesi ve bakımı mekanik ve/veya elektrikli parçaların olmayışı sebebiyle oldukça kolaydır (Vymazal ve diğ., 1998). Fakat uygulamada çoğunlukla yetersiz bakım yapılmakta ve bu da orantısız akım dağılımına neden olmakta ve bu durum bölgesel aşırı yüklenme ile sonuçlanmaktadır. Başlangıçta arıtım verimliliği etkilenmiyor gözükebilir fakat sistemin giderek kötüleşmesi performansı uzun vadede geri dönülmez şekilde azaltabilir. Akım ve su seviyelerinin ayarlanmasının, su niteliği ve biyolojik parametrelerin izlenmesinin sulakalanlarda başarılı bir performansı gerçekleştirmek için gereken günlük aktiviteler olduğu ifade edilmektedir (Kadlec ve Knight, 1996). Sulakalan yönetimi konusunda devam eden tartışmalardan birisi de bitkilerin hasat edilip edilmemesi gerektiği konusudur. Hasat etmenin temel avantajları şunlardır; besin ihracı ve yüzey akımlı durgun suda kalın ölü materyal tabakalarının oluşmasını önlemek ki; bu tabakalar zararlı böcek üremesi için ideal alanlardır (Greenway ve diğ., 2003). Bitkileri sulakalan üzerinde bırakmanın avantajları ise; yüzeyaltı akış üzerinde izolasyon sağlayacak bir ölü bitki tabakası oluşturmak, iz metallerinin yüzüne tutunacağı SYS sistemin tabanında bir moloz tabakası oluşturmak ve nitratsızlaştırma için bir karbon kaynağı oluşturmaktır.

İşletme Problemleri ve Sınırlamalar

• Yap ve Unut Çözümü

Doğal arıtma sistemleri çoğu zaman hiçbir bakım gerektirmeyen “yap ve unut” çözümü olarak düşünülen sistemlerdir. Doğal sistemler, ihtiyaç duyduğu minimum bakım miktarından mahrum bırakıldığında başarısız olan arıtma sistemlerinin sık sık kayıtlara geçtiği görülmektedir (Rousseau ve diğ., 2004). Sulakalanlarda birçok durumda tortu depolama problemi, giriş suyu akım dağıtıcısı problemleri, çıkış kolektörü problemleri, yabancı ot istilası, ağaç bitmesi ve zemin üstü akıntısı problemleri ile karşılaşılabilir (Cooper ve diğ., 2005). Bu problemlere rağmen, bu sistemlerin arıttığı sular standartlara uygundur. Dolayısıyla sulakalanlar “affeden” ve “hata tolere eden” olarak adlandırılmaktadırlar.

• Sivrisinek sıkıntısı ve misk faresi problemi

Sulakalanlar, sivrisinekler için muhtemel üreme noktalarıdır. Sivrisinekler yumurtalarını tercihen küçük durgun sularda depoladıkları için bu problem suyun zemin altında aktığı YAS sistemlerinde sıkıntı oluşturmaz. Sulakalanların bütünü ve özellikle de bitki ortamı için diğer büyük bir tehlikede misk faresidir. Özellikle de *Scirpus* ve *Typha* bitkili sistemler bu tehlikeye açıktır. Zira bu hayvan, adı geçen bitkileri hem yiyecek ve hem de yuva olarak kullanmaktadır. *Phragmites* bitkisi fareler için bir besin kaynağı değildir; dolayısıyla da bu konuda daha az tehlikeye açıktır (Rousseau ve diğ., 2006).

• Koku Sıkıntısı

Koku sıkıntısı havalandırma şartlarının iyi olmadığı, yüksek yüklü sistemlerde meydana gelir. Az yüklü ileri arıtma yapılan sulakalanlarda koku sıkıntısı sınırlıdır. İhtiyaç duyulduğunda BOI_5 ve NH_4^+ yükleme oranını düşürerek ve dışa akım yüzeylerini basamaklayarak (şelale gibi) veya sığ havzalar oluşturarak havalandırma ortamları oluşturmalıdır (Kadlec ve Knight, 1996).

• Tıkanma

YAS sistemlerinin tıkanması somut bir risktir ve prensip olarak BOI_5 ve/veya AKM yükleme hızları, HYH, atık madde partikül büyüklüğü ve dağılımı tarafından etkilenmektedir. Tıkanmayla, yükleme oranlarını düşürerek, bir veya daha fazla yatağı dinlenmeye bırakarak başa çıkılabilir (Rousseau ve diğ., 2006).

• Buharlaşma ve tuzluluk

MHEA sistemi, ikincil ve ileri arıtma sistemi olarak kullanılmakta ve kurudan nemli şartlara doğru tipik olarak toprak-su eğiminde bulunabilen farklı suni ekosistemleri birleştirmektedir. MHEA; AKM, KOI , BOI_5 ve dezenfeksiyon için son derece etkin arıtma oranları sağlamaktadır. Belirli bitki türlerinin kullanılması aynı zamanda yüksek azot ve fosfor arıtımında sağlamıştır.

Ancak buhar terlemesi hacmi oldukça büyüktür ve yaz mevsiminde sıfır dış akım meydana gelebilir ki bu da bu tür arıtma sistemlerini “suyu yeniden kullanılabilir” hedefleri için daha az uygun hale getirir. Yoğun buhar terlemesinin çok yüksek tuzlanmaya sebep olacağı ve dolayısıyla arıtılan suyun sulama amacıyla kullanılamaz hale gelebileceği endişe yaratmaktadır (Green ve diğ., 2004).

Yatırım Maliyetleri ve Bakım Maliyetleri

Başlıca maliyetler; alan satın alma, hafriyat, zemin suyunun kirlenmesi veya infiltrasyonu engellemek için kullanılan plastik taban malzemesidir. Ancak fonksiyonel yaşama geçtikten sonra alan başka amaçlar içinde kullanılabilir ve dolayısıyla maliyet toplam maliyet hesabından çıkarılır. Maliyet yatırımları yerel şartlara bağlıdır; örneğin toprak tipi, zemin suyu tablosu yüksekliği, arsa eğimi, yerleşim bölgesinden uzaklığı, boşaltım kriterleri, iklim gibi. Diğer bir önemli faktör de ölçü ekonomisidir. Özellikle suyun yeniden kullanımı amaçlı uygulanan sulakalanların, ekonomik analizi oldukça nadirdir. Ancak birim başına yatırım maliyetinin ikincil sulakalanlara göre neden farklılık göstereceği konusunda bir sebep olmadığı gözükmemektedir. Bu maliyetlerin dışında olan belirsiz maliyetlerden biriside sistemin fonksiyonel yaşamı bittikten sonra yerinden kaldırılma maliyetidir ki bu 20 yıl sonrası için bir maliyettir. Özellikle YAS sistemlerinin doymuş filtre materyallerini bir yere boşaltmak yada temizlemek yüksek ekstra maliyetlere sebep olabilir. Diğer bir belirsizlik de sulakalanların tasarımı ile ilgilidir. Günümüzde son teknoloji halen, kirlenici konsantrasyonlarının artarak bir arka plan değerine düştüğünü varsayan birinci sıra sürekli akım modelidir. Ancak bu kara kutu modeli yalnızca iki parametreyi esas almaktadır: birinci düzey bozulma oranı k ve arka plan konsantrasyonu C^* , ki bu kompleks sulakalan sürecinin çok basite indirgenmesidir. Dahası bu model yalnızca birçok HAS üzerinden ortalama davranışı tahmin etmede kullanılabilir. Saatlik ya da günlük değişimleri tahmin edici modeller henüz prematür dönemindedir. Sulakalanlar dolayısıyla düzenleyici uyumunu garantilemek için daha çok büyük hacimlerde yapılmakta ve bu da aşırı maliyetlere sebep olmaktadır.

Yukarıda özetlenen sebeplerden dolayı maliyetler; $25.000-250.000 \text{ \$} \cdot \text{ha}^{-1}$ veya $500-1.000 \text{ \$} \cdot \text{m}^3$ kapsamındadır (Kadlec ve Knight, 1996). Aynı zamanda literatürdeki maliyetler karşılaştırılırken dikkatli olmak gerekir. İlk önce orjinal kaynaklardan hangi unsurların dahil edildiği belirlenmelidir (örneğin; sulakalan maliyetleri veya aynı zamanda kanalizasyon yapımı, çit, bina vs. inşaatı gibi maliyetler). İkincisi birçok yazar vergi / KDV gibi maliyetlerin dahil edilip edilmediğinden veya bu vergilerin oranlarından bahsetmemektedirler. Son olarak enflasyon ve kur dalgalanmaları da mevcut maliyetler hakkında yanlış fikirler verebilir.

İşletme ve Bakım Maliyetleri

Suyun yeniden kullanımı amaçlı ileri arıtma sulakalan sistemlerinin işletme ve bakım maliyetleri, ikincil arıtma sistemlerinin maliyetlerinden daha düşüktür. Bunun sebebi yalnızca

işlemlerin düşük yükleme hızlarından değil bitki hasadı ve akva kültürü gibi belirli yatırım dönüşlerinden dolayıdır. Sulakalanların tasarımı oldukça basittir. Dolayısıyla bakımı çok fazla uzmanlık yetileri gerektirmez. Enerji tüketimi, eğer varsa bile, yalnızca pompalama ile sınırlıdır ve çoğu sulakalanlar yer çekiminden faydalanacak şekilde tasarlandığından çok küçük bir maliyet oluşturacaktır. İleri arıtım sistemlerinde tortu üretimi, ön üretim yeterli olduğunda minimal düzeydedir. Bakım masrafları dolayısıyla yalnızca işçilik maliyetleridir (örneğin; alan bulunması, arıtılmış su örnekleme ve kontrol, dağıtım sistemlerinin ve pompaların temizlenmesi, yabancı ot kontrolü, bitki hasadı gibi) (Rousseau ve diğ., 2006).

Seçilmiş Durum Çalışmalarından Maliyetler

İkincil arıtım için, SYS ve YAS sistemlerinde işletme ve bakım maliyetleri karşılaştırılmıştır. SYS'ler, 1200 PE'lik atıksuyu septik bir tank ve toplam 6.500 m²'lik 2 sulakalan havzası aracılığıyla arıtmaktadır. YAS sistemlerinde ise, 1000 PE'lik bir atıksuyu bir çökeltme tankı ve toplam 1800 m²'lik alana sahip 3 sulakalan ile arıtmaktadır. YAS sistemler aynı zamanda bir tortu kurutma yatağına sahiptir. Yol, bina, kanalizasyon, çit, vs. maliyetleri toplam yatırımın %25-33'üne karşılık gelir (Tsihrintzis ve diğ., 2004). Nikaragua'da 1000 PE'lik bir atıksu arıtma sistemi tanımlanmıştır. Bu sistem kafesler, bir Imhoff tank ve toplam 1,300m² alana sahip 4 paralel YAYS içermektedir. Toplam yatırım maliyeti 42,000 veya 42/PE Amerikan Doları idi (Platzer ve diğ., 2002). Orta Amerika ülkelerinde benzer sistemlerin yatırım maliyetlerinin 34 ila 275/PE Amerikan Doları arasında değiştiği rapor edilmektedir. Yukarıdaki sistemlerin yıllık işletme ve bakım maliyetleri 1950 yılına ait tahmini işçilik maliyeti 4,769 Amerikan Dolarına mal olmuştur. Arıtılmış su kolibasili konsantrasyonları (7.5x10⁴ MPN /100ml) ile Nikaragua yeniden kullanım standartlarına (1x10³ MPN /100ml) uymadığından dolayı arıtılmış su ve bitkinin doğrudan kontağını engelleyen gravite sulama sistemi için yeniden kullanılmaktadır. Ancak bu infiltrasyon ve buharlaşma ile büyük kayıplara neden olmaktadır. Bununla birlikte pozitif bir tarafı da vardır ki, bu noktadan ürünler kimyasal gübrelerin uygulandığı yakın bir noktadan çok farklıdır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapay sulakalanlar, özellikle arazinin bol, ucuz ve işletme kolaylığı için kalifiye teknik personelin az olabileceği kırsal bölgelerde, kompleks ve mekanik donanımcı hantal konvansiyonel arıtma sistemlerine göre, fizibil bir atıksu arıtma yöntemi olarak son yıllarda artan oranlarda uygulanmaktadır.

Doğal sulakalanlarda kendiliğinden meydana gelen bazı proseslerin daha kontrollü bir çevrede gerçekleştirilmesi için tasarlanmış olan yapay sulakalanların bazıları sadece atıksu arıtmak için kullanılırken, bazıları da rekreasyon, yaban hayatı için habitat restorasyonu ve çevresel iyileştirme amacı ile kullanılmaktadır.

Yapay sulakalanların geleneksel arıtma yöntemlerine göre; doğal proseslerden yararlanabilmek, basit inşaa, basit işletim, düşük enerji ihtiyacı, düşük maliyet, işletim kararlılığı, düşük miktarda çamurun oluşumu, biyoçeşitlilikte artış, hasat edilen sucul bitkilerin çeşitli amaçlarla kullanılabilmesi (biyokütle, biyogaz, hayvan yemi, bitki gövdesinin çatı, çit, mat yapımında kullanımı, vb.) gibi avantajları mevcuttur.

Atıksu arıtımı için bitki türünün seçimi de, sık bir bitki örtüsü oluşturmak için önemlidir. Bölgenin iklimine, toprak yapısına, diğer bitki ve hayvan topluluklarına adapte olabilecek ve hızlı büyüyecek lokal ve yöresel bitki türleri seçilmelidir.

Günümüzde yapay sulakalanlar dünyanın birçok yerinde şehirselleşmiş, endüstriyel, tarımsal ve yağmur sularının arıtımı için kullanılmaktadır. 1996'da yapılan bir araştırmada ABD ve Kanada'da kullanımda olan 176 adet yapay sulakalan olduğu tespit edilmiştir. YAS sisteminin öncüsü Danimarka'da 130 adet, Norveç'te 20 adet, Çek Cumhuriyetinde 50'nin üzerinde, Avusturya'da 160'ın üzerinde yapay sulakalan olduğu tespit edilmiştir.

Aşağıdaki paragraflarda Dünya'da ve Türkiye'de sulakalanlar ile ilgili yapılmış olan uygulamalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Dünya'dan örnekler;

Kore Damyang'da atıksu arıtma tesisine bağlı olarak yapılan bir çalışmada *Acorus* ve *Typha* bitkileri kullanılmış, *Typha* bitkilerinin kullanıldığı havuzda ÇOK seviyesinin arttığı, NO₃⁻ gideriminin sağlandığı; *Acorus* bitkisinin kullanıldığı havuzda ise düşük değerlerde de olsa organik madde gideriminin sağlanmış olduğu belirlenmiştir. Öte yandan bu iki bitkinin kullanılmış olduğu sistemde bakır, nikel ve çinko giderilmiştir.

Tayland'da melas atık suyunu SYS sistemi altında *Cyperus involucratus*, *Typha augustifolia* ve *Thalia dealbata* bitkileri kullanılarak yapılan çalışmada farklı OYH'ler altında farklı AKM, TP, BOİ₅, KOİ, NH₄-N, NO₃-N verimleri elde edilmiştir. Sistemlerin AKM arıtma verimleri yaklaşık %89-92 olarak bulunmuştur. TP arıtımı, AKM'ninkine benzer bir trend sergilemiştir. Artan OYH'ler ile birlikte BOİ₅ ve KOİ arıtım verimliliği düşmüştür. En yüksek OYH değeri altında yalnızca %15'lik bir KOİ arıtım verimliliği bulunmuştur. Sistemlerin NH₄-N ve NO₃-N arıtım verimlilikleri sırasıyla %10-81 ve %95-99 olarak bulunmuştur. Bu gibi sistemlerin oksidasyon

azaltma potansiyeli, OYH'lerin düşüşüyle birlikte artmıştır. Sistemin oksidasyon azaltma potansiyeli ve OYH değeri daha yükseğe çıkarıldığında eksi değere geçmiştir. Bu da OYH'lerin arttığında sistemin oksijensiz koşula geçtiği anlamına gelmektedir. Biyo-film bakteri sayısı OYH artışı ile birlikte düşüş göstermiştir.

Tayvan'da endüstriyel atıksu arıtımı amacıyla yapılmış olan bir pilot ölçekli yapay sulakalan uygulamasında; bitki türü, ortam tipi ve HAS gibi tasarım faktörlerinin sistem üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. Bitki olarak; yüzen bitkiler *Pistia stratiotes* L. ve *Ipomoea aquatica* ve dikine büyüyen bitkiler *Phragmites communi* L. ve *Typha orientalis* Presl. , ortam olarak da 1cm delikli seramik biyo-toplar ve 1cm çakıllar kullanılmış ve sonuçta; bitki türü olarak *Phragmites communi* L.bitkisi, ortam olarakta 1cm delikli seramik biyo-topların su kalitesinin iyileştirilmesi konusunda etkili olduğu belirlenmiştir. Bu uygulamada %81 AKM, %35 TP, %56 NH₃-N, %89 BOİ₅ ve %61 KOİ arıtılmıştır.

İspanya'da klasik atıksu arıtma tesisinde çıkan arıtılmış suyun iyileştirilmesi (ikincil arıtım) amaçlı, SYS sisteminin ve *Typha* ve *Phragmites* bitkilerinin kullanıldığı, hedef kirleticiler olarak eczacılık ürünleri, parfüm ürünleri, zararlı bitki ilaçları ve veteriner ilaçlarını içeren atıksuyun kullanıldığı bir sistemde; kişisel bakım ürünleri (eczacılık ve parfüm ürünleri vb.) için %90'ın üzerinde bir giderim verimi, bitki ilaçları ve veterinerlik ilaçları ile ilgili atıksu veriminde ise mevsimsel kullanım sıklığına bağlı olarak söz konusu ilaçlarda %0-90 arasında değişen verimler elde edilmiştir.

Akdeniz ülkelerindeki tam-ölçekli yapay sulakalan uygulamalarının sayısı, Avrupa ülkelerindekiler ile kıyaslandığında oldukça azdır. Bu doğrultuda Akdeniz ülkelerinde yapay sulakalanların doğru şekilde uygulanmasını yaygınlaştırmak amacıyla MEDREUNET-II projesi kapsamında konunun hem teorik hemde pratik yönlerini kapsayan "Akdeniz Ülkelerinde Atıksu Arıtımı ve Gerikazanımı Amaçlı Yapay Sulakalanlar El Kitabı" hazırlanmış olup konu ile ilgili her türlü ayrıntılı bilgi bu kitapta sunulmuştur.

İTÜ tarafından TÜBİTAK-MAM-Gebze kampüsünde kurulmuş olan pilot-ölçekli bir yapay sulakalan sisteminde Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu, SYS ve YAS sistemlerinin olduğu 21 tane seri bağlı reaktöre verilmiştir. Kullanılan köklü bitkiler; *Canna*, *Cyperus*, *Juncus*, *Poaceae*, *Paspalum* ve *Iris*. batık bitkiler; *Elodea*, *Egeria*, *Valisneria*, yüzücü bitkiler; *Salvina*, *Pistia*, *Lemna*'dır. Bu uygulama da YAS'ın ortalama NH₄-N arıtma verimi %73 olarak bulunmuştur. Bu sonucun SYS'den yüksek olduğu, bunun sebebinin de YAS'da kullanılan *Paspalum* (köklü) bitkisinden kaynaklandığı saptanmıştır. SYS'lerde ise NO₃-N arıtma verimi %58 olarak bulunmuştur. Bu sonucunda YAS'tan yüksek olduğu ve bunun nedeninin de *Elodea-Egeria* (batık) bitkisinden kaynaklandığı saptanmıştır.

ODTÜ'de ön çökmeden geçirilmiş evsel atıksuyun arıtımı amacıyla yapılmış olan iki adet pilot-ölçekli yapay sulakalan uygulamasında farklı dolgu malzemelerinin (çakıl ve cüruf), organik kirleticilerin gideriminin yanı sıra besin giderimindeki etkinliği araştırılmıştır. Bitki olarak;

Phragmites australis kullanılmıştır. Sonuçta çakıl ve çürüftan oluşan sistemlerin AKM, KOİ ve TN giderim performanslarının hemen hemen aynı olduğu fakat çürüf yatağın NH₄-N, PO₄-P ve TP gideriminde çakıl yataktan daha verimli olduğu saptanmıştır. Her iki sistemin nitrifikasyon ve denitrifikasyon kapasitelerinin, diğer ülkelerdeki yapay sulakalan çalışmalarında gözlenebilen nitrifikasyon ve denitrifikasyon kapasitelerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlar yapay sulakalanların Türkiye’de de ikincil ve ileri atıksu arıtımında başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir.

şanlıurfa Viranşehir’de yerel kaynaklarla evsel atıksuların arıtılması ve sulamada kullanılması amaçlı YAS sisteminin ve *Phragmites australis* bitkisinin kullanıldığı bir sistemde, ortam olarak da volkanik çürüf kullanılmış ve sistemin halk sağlığına katkı sağladığı, sulama ihtiyacını karşıladığı, nehir kirliliğini azalttığı görölmüştür.

Dikilitaş, Çakırbeyli Köy’lerinde atıksuların SKKY deşarj standartlarını sağlaması amaçlı, fosseptik çıkışına yapılan bir sulakalan sistemiyle BOİ₅, AKM ve KOİ parametrelerinin arıtım verimlilikleri araştırılmış ve çıkış değerlerinde arıtımın iyi olduğu görölmüştür.

Çizelgede 5.1’de farklı bölgelerde inşa edilmiş sulakalan tiplerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Farklı Bölgelerde İnşa Edilmiş Sulakalan Tiplerinin Karşılaştırılması.

Bölge	Atıksu Özellikleri	Sulakalan Tipi	Sayısı	Arıtım Amacı	Bitki Türü	Dolgu Malzemesi	Arıtma Verimleri
Kore-Damyang	Evsel	YAS	2	İleri	<i>Acorus-Typha</i>	-	-
Tayland	Melas	SYS	-	İleri	<i>Cyperus- Typha- Thalia</i>	Çakıl	%89-92 AKM, %15 KOİ, %10-81 NH ₄ -N, %95-99 NO ₃ -N
Tayvan	Endüstriyel	SYS	-	İleri	<i>Phragmites c.</i>	Delikli seramik biyotoplar	%81 AKM,%35 TP, %56 NH ₃ -N, %89 BOİ, %61 KOİ
İspanya	Endüstriyel-Kanalizasyon	SYS	1	İleri	<i>Typha- Phragmites</i>	-	%90 Kişisel bakım ürünleri, %0-90 Böcek ilaçları, Veterinerlik ilaçları
İTÜ	Dere suyu	SYS-YAS	21	İkincil	<i>Canna, Cyperus, Juncus, Paspalum, Elodea, Lemna</i>	Çakıl	%89 NH ₄ -N, %73 NO ₃ -N
ODTÜ	Evsel	YADS	2	İleri	<i>Phragmites a.</i>	Çakıl-Cüruf-Kum	(%64-62) AKM, (%49-%40) KOİ, (%88-58) NH ₄ -N, (%41-44) TN, (%63-9) TP, (%60-4) PO ₄ -P
Viranşehir	Evsel	YADS-YAYS	4	İleri	<i>Phragmites</i>	Cüruf-Bazalt taşı	%90 BOİ ₅ , %88 KOİ, %98 TN, %99 NH ₃ -N
Paşaköy	Artılmış çıkış suyu	YAYS	3	İleri	<i>Cyperus</i>	Çakıl	-
İzmir Torbalı-Çakırbeyli Köyü	Fosseptik suyu	YAYS	1	İkincil	<i>Vetivergras</i>	-	%70 BOİ ₅ , %63 KOİ, %88 AKM, %24 TN
Ömerli	Dere suyu	YAS-SYS	6	İkincil	<i>Canna, Cyperus, Typha, Juncus</i>	-	-
Tokat-Turhal Kat Kasabası	Evsel	YAYS	2	-	<i>Typha latifolia L.</i>	Kum	%70 BOİ ₅ , %58 KOİ, %63 AKM, %29 TN, %31 TP, %30 NH ₃ -N
Tokat-Turhal Yenice Köyüne	Evsel	YAYS	2	-	<i>Typha latifolia L.</i>	Kum	%63 BOİ ₅ , %60 KOİ, %82 AKM, %44 TN, %50 TP, %37 NH ₃ -N
Tokat- Kalaycık Köyü	Fosseptik suyu	YAYS	3	İkincil	<i>Typha latifolia L.- Phragmites australis</i>	Kum, Çakıl	%70 BOİ ₅ , %60 KOİ, %70 TP, %10 NH ₄ -N

Yapay sulakalanların Dünya’da ve özellikle Akdeniz ülkelerinde yaygın bir şekilde kullanılması fakat Türkiye’de henüz tam-ölçekli uygulamalarının olmaması, Türkiye ölçeğinde yapay sulakalanların kırsal kesimlerde evsel atıksuları arıtma imkanı yaratması nedeniyle pilot-ölçekli ve deneysel çalışmaların daha geniş kapsamda yapılmasını gündeme getirmiştir.

Çizelgede verilen çalışmalar pilot-ölçekli ve deneysel amaçlı yapılmış çalışmalardır. Çizelgeden de görüldüğü üzere SYS sistemleriyle yapılan çalışmalarda iyi bir artım söz konusudur. Örneğin Yunanistan, İsrail, Filistin ve Mısır’da SYS sistemleri tercih edilmektedir. Bunun nedeni ise daha çok ikincil ve ileri artım amacıyla kullanılmasından ve iyi patojen giderimi sağlamasından kaynaklanmaktadır. Ancak sulakalan tipi seçiminde YAS sistemleri daha fazla tercih edilmektedir. Bunun sebebi de koku ve sinek probleminin olmaması, daha güvenilir olması ve mevsimsel değişimlerden etkilenmemesi gibi nedenlerden dolayıdır. Özellikle Akdeniz Ülkeleri olan Portekiz ve İtalya’da YAYS, Fransa’da YADS uygulanmaktadır. Son zamanlarda yapılan sulakalan uygulamalarında ise genellikle hibrit sistemler tercih edilmektedir. Bu, arıtma performansını olumlu derecede etkilemektedir. Hibrit sistemlerin Viranşehir Sulakalan örneğinde olduğu gibi çok yüksek arıtma verimleri sağladığı görülmüştür.

Bitki seçiminde genel olarak o yöreye ait yaygın olarak bulunan bitki türleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda *Phragmites*, *Canna*, *Typha* ve *Cyperus* bitkileri ile daha verimli sonuçlar elde edilmiştir. Dolgu malzemesi olarakta çakıl ve cürufta en iyi sonuçlar bulunmuştur.

Yapay sulakalanlarda maliyet yatırımı yerel şartlara bağlı olduğundan özellikle suyun yeniden kullanımı amaçlanan sulakalanların ekonomik analizinin iyi yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda suyun yeniden kullanımı amacıyla yapılan ileri arıtım sulakalan sistemlerinin işletme bakım maliyetlerinin arıtma sistemlerinin maliyetleriyle kıyaslandığında düşük yükleme hızları, fazla enerji gerektirmemesi, kalifiye teknik personele ihtiyaç duyulmaması, düşük miktarda çamur oluşumu, bitki hasadı ve akva kültürü gibi belirli yatırım dönüşleri gibi nedenlerden dolayı daha düşük olduğu söylenebilir.

Genel anlamda sulakalanlar ile ilgili uygulamalardan istenilen verimin alınabilmesi için aşağıda maddeler halinde belirtilen önlemlerin mutlaka uygulanması gereklidir.

- Yapay sulakalanlarda sulakalan tipi, bitki türü ve dolgu malzemesi seçimi yapılırken bölgenin iklimsel, coğrafik, jeolojik koşulları ve atıksuyun niteliği ön planda tutulmalıdır. Ayrıca tasarımlarda HAS’ta önemli bir parametredir. Atıksuyun iyileştirilmesi için ortalama HAS 6-7 gün olarak seçilmelidir. Daha kısa alıkonma süresi kirleticiyi parçalamak için yeterli değildir. Uzun alıkonma süresi ise anaerobik koşulların oluşmasına neden olmaktadır.

- Sektörel politikalar (özellikle arazi ve su kullanım politikalarının) Ramsar Sözleşmesince öngörülen akılcı kullanım kavramı ile uyumlu hale getirilmeli; sulakalan kaybına neden olan yasal düzenlemelerin ilgili hükümleri yürürlükten kaldırılmalı; sulakalanların korunması, geliştirilmesi ve akılcı kullanımını öngören yasal düzenlemeler güçlendirilmelidir.

- Sulakalan kayıplarının en önemli nedenlerinden biri de hala sulakalanların öneminin politikacılar, karar vericiler, arazi ve su kullanım planlamacıları tarafından yeterince anlaşılmamış olmasıdır. Bu durumu değiştirmek için özellikle Dünya Sulakalanlar Günü, Dünya Su Günü, Biyolojik Çeşitlilik Günü gibi özel günlerde seminerler ve toplantılar düzenlenerek, kitap ve broşürler, gazeteler, televizyonlar, internet gibi tüm araçlar kullanılarak söz konusu gruplar sulakalanların önemi, işlev ve değerleri hakkında bilgilendirilmelidir.

- Yasaların gerektirdiği tedbirlerin uygulanması için daha etkili denetim mekanizmaları geliştirilmelidir.

- Sulakalanlardan yüksek arıtma veriminin sağlanabilmesi için sistemi oluşturan birimlerin ve bütünleşmiş ekolojilerinin iyi kavranması gerekmektedir. Bu nedenle sulakalanların ekolojik karakterinde olabilecek değişiklikleri tespit etmek ve zamanında gerekli müdahaleleri yapabilmek için izleme programları geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

- Geçmişte kurulan ya da çeşitli nedenlerle ekolojik karakteri bozulan sulakalanların restorasyonu ve rehabilitasyonu için eylem alanları geliştirilmeli ve uygun alanlarda uygulamaya geçilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Ak, M., 1997, "Kızılırmak Deltası Batı Bölümündeki Drenaj Kanallarında Kirlilik Araştırması", Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 411 s., Samsun.
- Akcil, A. ve Koldas, S., 2006. "Acid Mine Drainage (AMD): Causes, Treatment and Case Studies". *Journal of Cleaner Production*, 14, (Basımda), 141 pp.
- Andreozzi, R., Raffaele, M., Nicklas, P., 2003. "Pharmaceuticals in STP Effluents and Their Solar Photodegradation in Aquatic Environment". *Chemosphere* 50, pp.1319-1330
- Anonymous, 1999. "Manuel, Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater". EPA/625/R-99/010
- Anonymous Broşürü, 2002, "Kızılırmak Deltası", Samsun Valiliği İl Turizm Müdürlüğü Broşürü.
- APHA (American Public Health Association), 1995. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 19th ed. APHA-AWWA-WEF, Washington, DC.
- Arıkan, Y., 2005, "Viranşehir Ekilmiş Sulakalan Projesi, Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalışmayı", TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını, ODTÜ, s. 1-35, Ankara.
- Ayaz, Ç.S., and Akça, L., 2000. "Treatment of Wastewater by Constructed Wetland in Small Settlements", *Wat.Sci.Tec.*, Vol 41, No.1, pp. 69-72.
- Ayaz, Ç.S, and Akça, L. 2001. "Treatment of Wastewater By Constructed Wetland in Small Settlements". *Water Sci. Tech.* 2000. pp. 40-51.
- Ayaz, S., Akça, L., Bayhan, H., Tunçsiper, B., Yılmaz, H., Güneş, K., 2002, "Su Havzalarına Gelen Noktasal ve Yayılı Kirleticilerin Kontrolü için Doğal Arıtma Teknolojilerinin Kullanılması", TÜBİTAK-MAM Projesi - Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü (ESÇAE), Kocaeli, Gebze.
- Ayaz, S., Tüfekçi, H., Güneş, K., 2004, "Mogan Gölü'ne Karışan Bazı Akarsulardaki Kirletici Yüklerin Belirlenmesi ve Doğal Arıtım Yöntemleriyle Islahı", TÜBİTAK-MAM-Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü Projesi (ESÇAE).
- Baklaya, N. ve Çelikoba, İ., 2005, "Sulakalanlar ve Kızılırmak Deltası", II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, s. 568-578, İstanbul.
- Barnes, L.J., Janssen, F.J., Scheeren, P.J.H., Versteegh, J.H., Koch, R.O., 1992. "Simultaneous Microbial Removal of Sulfate and Heavy Metals from Wastewater", *Trans Instn Min Metal*, 101, pp. 181-187.
- Bastian, R.K. and Hammer, D.A., 1993. "The Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Recycling, Constructed Wetlands for Water Quality Improvement", CRC Press, Florida.
- Bayhan, H., Akça, L., Altay, A., Şakar, S., 1996, "Yüzen Su Bitkileriyle Atıksulardan Nutrient Giderimi", *Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, ME.Ü. Müh.Fak.*, s. 589-598.

- Bayram, A., 1995, "Kızılırmak Deltası Yüzeysel Sularında Nitrat, Nitrit, Amonyak ve Toplam Koliform Parametrelerinin İncelenmesi", Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142 s., Samsun.
- Bavor, H.J., Roser, D.J., Adcock, P.W., 1995. "Challenges for the Development of Advanced Constructed Wetlands Technology". *Wat. Sci. Technol.*, 32(3), pp. 13–20.
- Blowes, D.W., 1990. "The Geochemistry, Hydrogeology and Mineralogy of Decommissioned Sulphide Tailings: A Comparative Study", Ph.D Thesis, University of Waterloo, Canada. 637 pp.
- Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Cherry, J.A., Gillham, R.W., Robertson, W.D., 1995. "Passive Remediation of Ground Water Using In-Situ Treatment Curtains", In: *Proceedings of Geoenvironment 2000 Conference*, New Orleans, Louisiana, USA. 2, pp. 1590-1607.
- Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Benner, S.G., McRae, C., Bennett, T.A. ve Puls, R.W., 2000. "Treatment of Inorganic Contaminants Using Permeable Reactive Barriers", *Journal of Contaminant Hydrology*, 45, pp. 123-137.
- Brand, J., 2007. "Critical Review Paper", *Constructed Wetlands, Biological Treatment Processes*, 886, pp. 9-11.
- Brix, B. and Arias, C.A., 2005. "The Use of Vertical Flow Constructed Wetlands for on-Site Treatment of Domestic Wastewater: New Danish Quidelines". *Ecol. Eng.* 25, pp. 491-500.
- Bürke, F., 1995, "Kızılırmak Deltası Yüzeysel Sularında Toplam Sertlik, Kalsiyum ve Magnezyum Sertliği, Organik Madde ve Organik Azot Parametrelerinin Araştırılması", Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142 s., Samsun.
- Campbell, C.S. and Ogden, M.H., 1999. "Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape". New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Chen, T.Y., Kao, C.M., Yeh, T.Y., Chien, H.Y., Chao, A.C., 2006. "Application of a Constructed Wetland for Industrial Wastewater Treatment: A Pilot-Scale Study". *Chemosphere* 64, pp. 497-502.
- Cohen, R.H., 1996. "The Technology and Operation of Passive Mine Drainage Treatment Systems, Chapter 5 in *Managing Environmental Problems at Inactive and Abandoned Metal Mine Sites*", EPA Seminar Publication, USEPA/625/R-95/007, pp. 18-29.
- Cooper, D., Griffin, P., Cooper, P., 2005. "Factors Affecting the Longevity of Sub-Surface Horizontal Flow Systems Operating as Tertiary Treatment for Sewage Effluent". *Wat. Sci. Technol.*, 51(9) pp. 127–135.
- Costello, C., 2003. "Acid Mine Drainage: Innovative Treatment Technologies", U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, Washington, DC, USA, 47 pp.
- Coşkun, F., 1995, "Kızılırmak Deltası Yüzeysel Sularında Fosfat, Demir, Sülfat, Biyolojik Oksijen İhtiyacı ve Toplam Fosfor Parametrelerinin Araştırılması", Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 134 s., Samsun.
- Crites, R.W., Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., 1995. "Natural Systems for Waste Management and Treatment". McGraw-Hill, Inc., Tokyo. 450 pp.

- Crites, R.W., Dombeck, G.D., Watson, R.C., Williams, C.R., 1997. "Removal of Metals and Ammonia in Constructed Wetlands", *Water Environment Research*, 62(2).
- Çevre ve Orman Bakanlığı Belgesi, 2005, <http://www.cevreorman.gov.tr>
- Çiftçi, H. ve Akçil, A., 2006, "Asidik Maden Drenajının (AMD) Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler", *Madencilik*, s. 35-45.
- Çiftçi, H., Kaplan, Ş.S., Köseoğlu, H., Karadağ, E., Kitiş, M., 2007, "Yapay Sulakalanlarda Atıksu Arıtımı ve Ekolojik Yaşam", *Kayseri Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*: 23, s.149-160.
- Dağlı, S., 2004, "Atıksulardan Sulakalan Sistemleriyle Fosfor Giderimi", *Doktora Tezi (yayınlanmamış)*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 161 s., İstanbul.
- Damall, D.W., McPherson, R.M., Gardea-Torresday, J., 1989. "Metal Recovery from Geothermal Waters and Groundwaters Using Immobilized Algae", In: *Proceedings of the International Symposium, Biohydrometallurgy*, Jackson Hole, WY, August 13-18, pp. 341-362.
- Del Bubba, M., Lepri, L., Garuti, G., Masi, F., 2000. "Proceedings of 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control", V.1, November 11-16, Florida, USA.
- Demir, M., 1995, "Kızılırmak Deltası Yüzeysel Sularında Klorür, Toplam Katı Madde, Toplam Askıda Madde, Toplam Çözünmüş Madde ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı Parametrelerinin Araştırılması", *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 142 s., Samsun.
- Eger, P., Wagner, J.R., Melchert, G., 1997. "The Use of A Peat/Limestone System to Treat Acid Rock Drainage", In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Acid Mine Drainage*, Vancouver, Canada. pp. 1195-1209.
- Ekmekyapar, F. ve Kaykıoğlu, G., 2005, "Transgenik Bitki Kalıntılarının Toprak Ekolojisi Üzerine Etkileri ve Transgenik Bitkilerin Çevresel Yönetimi", *VI. Ulusal Çevre Mühendisleri Kongresi*, s. 517-523, İstanbul.
- Emmett, A.J., Clarke, S., Howles, S., 1996. "Conjunctive Wetland Treatment/Aquifer Storage and Recovery at Regent Gardens Residential Development", *North Field, South Australia. Desalination*, 106, pp. 407-410.
- Erdem, O., 2004, "Sulakalanların Önemi, Temel Sorunları, Türkiye'nin Uluslararası Öneme Sahip Sulakalanları", *Haber Expres Gazetesi İzmir Gediz Deltası ve Kuşları Eki*. s. 1-7.
- Eremektar, G., Tanık, A., Arslan-Alaton, İ., Gürel, M., Övez, S., Orhon, D., 2005, "Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı", *MEDEWARE Projesi, Türkiye'de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri*, ODTÜ, s. 1-50, Ankara.
- Erkaya, H., 2005, "Ege Bölgesinde Belediye Evsel Atıksu Arıtımı için Yapay Sulakalanlar". *Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış)*, Dokuz Eylül Üniversitesi, 66 s., İzmir.
- Erol, B., 1997, "Yüzen Akuatik Bitki Sistemlerinde Azot Giderim Prensipleri", *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Merkez Kütüphane Tezler Bölümü, Yer No: İNŞUZ1205ERO*. 111 s.
- Ervin, D.E., Welsh, R., Batie, S.S., Carpentier, C.L., 2003. "Towards an Ecological Systems Approach In Public Research for Environmental Regulation of Transgenic Crops", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99, pp. 1-14.

- Fyson, A., Kalin, M., Smith, M.P., 1995. "Nickel and Arsenic Removal from Mine Wastewater by Muskeg Sediments, Biotechnology and the Mining Environment", Sudbury, Ontario, Canada, 2, pp. 459-466.
- FitzGibbon, F., Singh, D., McMullan, G., Marchant, R., 1998. "The Effect of Phenolic Acids and Molasses Spent Wash Concentration on Distillery Wastewater Remediation by Fungi". *Process Biochem.* 33 (8), pp. 799-803.
- Ghermandi, A., Bixio, D., Bixio, C., 2006. "Thoeys, The Role of Free Water Surface Constructed Wetlands as Polishing Step in Municipal Wastewater Reclamation and Reuse". *Sci. Total Environ.*, in Press, doi:10.1016/j.scitotenv.12, 38 pp.
- Gothschlich, D.E., Bell, P.R.F., Greenfield, P.F., 1986. "Estimating the Rate of Generation of Acid Drainage Products in Coal Storage Heaps", *Environ. Technol. Lett.*, 7, pp. 1-12.
- Gren, M., Shaul, N., Beliavski, M., Tarre, S., 2004. "Minimizing Land Requirement and Evaporation in Extensive Wastewater Treatment Systems". *Proc. 9th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Avignon, France, 2, pp. 471-479.
- Greenway, M. and Wolley, A., 1999. "Constructed Wetlands in Queensland: Performance Efficiency and Nutrient Bioaccumulation", *Ecological Engineering*, 12, pp. 39-55.
- Greenway, M., Dale, P., Champman, H., 2003. "An Assessment of Mosquito Breeding and Control in Four Surface Flow Wetlands in Tropical-Subtropical". *Wat. Sci. Technol.*, 48(5), pp. 249-256.
- Gusek, J.J. and Wildeman, T.R., 1995. "New Developments in Passive Treatment of Acid Rock Drainage", In: *Engineering Foundation Conference on Technical Solutions for Pollution Prevention in the Mining & Mineral Processing Industries*, Palm Coast, Jan 22-27, Florida, USA.
- Güneş, K., 2004, "Doğal Arıtma Sistemleri ve Türkiye'deki Uygulamalar", *Avrupa Birliğine Giriş Sürecinde İkinci Türk-Alman Su Yönetimi Sempozyumu*, Ankara.
- Gürçay, M., 1994, "Tokat Kazova'da Yeşilırmağa Karışan Söngüt ve Sol Sahil Ana Tahliye Kanallarındaki Sucul Bitkilerin Tür ve Gelişme Durumlarına Etki Eden Faktörlerin Saptanması Üzerine Araştırmalar". *Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış)*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 121 s., Tokat.
- Haberl, R., 1999. "Constructed Wetlands: A Chance to Solve Wastewater Problems in Developing Countries". *Water Science and Technology*, Oxford. Vol: 40 (3).
- Haberl, R., Perfler, R., Laber, J., Grabher, D., 1998. "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe". *Backhuys Publishers*, Leiden.
- Hedin, R.S., Narin, R.W., Kleinmann, R.L.P., 1994. "Passive Treatment of Coal Mine Drainage", *Bureau of Land Mines Information Circular*. 9389 pp.
- Hochheimer, J., Yates, C., Cavacas, A., 1991. "Constructed Wetlands as a Nonpoint Source Control Practice", *Draft Report prepared for U.S. EPA*.
- Işık, M., 1997, "Kızılırmak Deltası Batı Bölümündeki Drenaj Kanallarında Kirlilik Araştırması", *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 73 s., Samsun.

- İskender, G., Aslan-Alanton, İ., Tanık, A., Yener, S.G., Gürel, M., Övez, S., 2005, "Türkiye'de Yapay Sulakalan Uygulamaları". VI.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İstanbul.
- İSKİ, 1996, "İstanbul Ömerli Baraj Gölü'nü Besleyen Derelerde Kirlilik Araştırma Raporu", Atıksu Arıtma ve Ruhsat Denetim Daire Başkanlığı Atıksu Laboratuvar Müdürlüğü, İstanbul.
- İspirli, Y., 2006a, "Atıksu Arıtmada Kullanılan Doğal Arıtma Yöntemleri ve Sucul Yabancı Otların Rolü". Yüksek Lisans Semineri, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 53 s., Tokat.
- İspirli, Y., 2006b, "Tokat İlinde Yapay Sulakalanlar ile Bu Sistemde Kullanılan *Typha latifolia* L. Bitkisinin Eysel Atıksu Arıtmada Kullanılabilirliğinin Araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, GaziOsmanPaşa Üniversitesi, 94s.,Tokat
- Jenssen, P.T., Muehlan, M., Kregstad, T., 1993. "Potential Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments", In: Proceedings of II. International Conference on Design and Operation of Small Wastewater Treatment Plants, pp. 193-200.
- Jing, S.R. and Lin, Y.F., 2004. "Seasonal Effect on Ammonia Nitrogen Removal by Constructed Wetland Treating Polluted River Water in Southern Taiwan". Environ. Pollut. 127, pp. 291-301.
- Kadlec, R.H. and Knight, R.L., 1996. "Treatment Wetlands, Lewis Publishers". Boca Raton, Florida, USA, 893 pp.
- Kadlec, R.H. and Reddy, K.R., 2001. "Temperature Effects in Treatment Wetlands". Water Environ. Res. 73, pp. 543-557.
- Kanat, G., 2007, "Atıksu Arıtım Yöntemleri ve Biyogaz Denetimi", Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. www.yildiz.edu.tr
- Karagöz, S., 1998, "Çöp Sızıntı Sularının Su Bitkileriyle Oluşturulan Sistemlerle Arıtılması", Yüksek Lisans Tezi, YÖK Tez Merkezi, Tez No: 75450, 84 s.
- Kemp, M.C. and George, D.B., 1997. "Subsurface Flow Constructed Wetlands Treating Municipal Wastewater for Nitrogen Transformation and Removal", Water Environment Research Journal, 69, 7, pp. 1235-1262.
- Kepler, D.A. and McCleary, E.C., 1994. "Successive Alkalinity-Producing Systems (SAPS) for the Treatment of Acidic Mine Drainage". In: Proceedings of the First International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and Third International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 1, pp. 195-204.
- Kilim, Y. ve Özdemir, A., 2004, Doğal Arıtma Projesi Hizmet İçi Eğitim Semineri, T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Köy İçi İnşaat Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Kim, Y., and Kim. W., 1999. "Roles of Water Hyacinths and Their Root for Reducing Algal Concentration in the Effluent from Waste Stabilization Ponds", Water Resources, Vol. 34, No. 13, pp. 3285-3294.
- Kivasi, A.K., 2001. "The Potential for Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Reuse in Developing Countries: A Review", Ecological Engineering, Vol: 16 (4), pp. 545-560.
- Knight, R.L., ClarkeR.A., Bastion, R.K., 2001. "Surface Flow (SF) Treatment Wetlands as a Habitat for Wildlife and Humans". Wat. Sci. Technol., 44 (11-12), pp. 27-37.

- Korkusuz, E.A., 2004. "Domestic Wastewater Treatment in Pilot-Scale Constructed Wetlands Implemented in the Middle East Technical University". ODTÜ Doktora Tezi, Ankara. 287 pp.
- Korkusuz, E.A., 2005. "Manual of Practice on Constructed Wetlands (CW_s) Used for Wastewater Treatment and Reuse in Mediterranean Countries". MED_REUNET II Support Programme (EC Project No. INCO-CT-2003-502453), AGBAR SOUNDATION, Spain.
- Korkusuz, E.A., Beklioğlu, M., Demirer, G.N., 2005, "Düşey Akışlı Ekilmiş Sulakalanların Arıtma Verimlerinin Karşılaştırılması", Çevre Mühendisleri Odası, VI.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, s. 506-516, İstanbul.
- Korkusuz, E.A., Demirer, N.G., Beklioğlu, M., 2001, "Atıksuların Arıtımında Ekilmiş Sulakalanlar", Çevre Mühendisleri Odası. IV. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Mersin.
- Korkusuz, E.A., Demirer, N.G., Beklioğlu, M., 2002. "First Pilot-Scale Constructed Wetland Implemented in Turkey for Domestic Wastewater Treatment". In: Proceedings of the IWA 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Arusha, Tanzania.
- Korkusuz, E.A. ve Diamadopoulos, E., 2005, "Akdeniz Ülkelerinde Atıksu Arıtımı ve Gerikazanımı Amacıyla Kullanılan Ekilmiş Sulakalanlar", Çevre Mühendisleri Odası, VI.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi , s. 492-498.
- Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2007, <http://www.khgm.gov.tr>
- Kratochvil, D. and Volesky, B., 1998. "Developing the Biosorption Process for Acid Mine Drainage (AMD) Remediation", Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 19, pp. 323-329.
- Kreissl, J.F. and Brown, D.S., 2000. "Constructed Wetlands as Blue-Collar Treatment System", No:22, UK.
- Kuyucak, N., 2002. "Role of Microorganisms in Mining: Generation of Acid Rock Drainage and its Mitigation and Treatment", The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 2, (3), pp. 179-196.
- Lesage, E., Rousseau, D.P.L., Tack, F.M.G., Pauw, D.N., 2006. "Accumulation of Metals in a Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland Treating Domestic Wastewater in Flanders", Belgium. Sci. Total Environ., in press, doi:10.1016/j.scitotenv.10.055 pp.
- Mahimairaja, S. and Bolan, N.S., 2004. "Problems and Prospects of Agricultural Use of Distillery Spentwash in India". In: Third Australian and New Zealand Soil Science Societies Joint Conference, Sydney, Australia.
- Mandi, L., Bouhoum, K., Ouazzani, N., 1998. "Application of Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment in on Arid Climate", Water Sci Technol, 38, pp. 379-387.
- Matamoros, V., Garcia, J., Bayona, J.M., 2005. "Behavior of Selected Pharmaceuticals in Subsurface Flow Constructed Wetlands: A Pilot-Scale Study". Environ. Sci. Technol., 39(14) pp. 5449-5454.
- Matamoros, V., Garcia, J., Bayona, J.M., 2007. "Organic Micropollutant Removal in a Full-Scale Surface Flow Constructed Wetland Fed With Secondary Effluent". Water Research 42, pp. 653-660.

- MEND, 1996. "Review of Passive Systems for Treatment of Acid Mine Drainage", MEND (Mine Environment Neutral Drainage Program) Project 3, 14, 1 pp.
- Mitsch, W.L. and Cronk, J.K., 1992. "Creation and Restoration of Wetlands". Some Design Consideration for Ecological Engineering, *Adv. Soil. Sci.*, 17, pp. 217-255.
- Motavalli, P.P., Kremer, R.J., Fang, M., Means, N.E., 2004. "Impact of Genetically Modified Crops and Their Management on Soil Microbially Mediated Plant Nutrient Transformations", *Journal of Environmental Quality*, 33: pp. 816-824.
- Muslu, Y., 1994, *Atıksuların Arıtılması*, 1. Baskı, İTÜ Rektörlüğü 1535, s.859, İstanbul.
- Njau, K.N., Minja, R.J.A., Katima, J.H.Y., 2003. "Pumice Soil: A Potential Wetland Substrate for Treatment of Domestic Wastewater". *Water Science and Technology*, Vol: 48 (5), pp. 85-92.
- Özdemir, O., 2005, *Genetik Mühendislerinin Getirdikleri Rüya mı, Kabus mu? Bilim ve Gelecek*, 11, s. 33-41.
- Özer, Z., Önen, H., Uygur, F.N., Koch, W., 1996, "Farklı Kültürlerde Sorun Olan Yabancıotlar ve Kimyasal Savaşları". *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*: 15, Tokat.
- Özer, Z., Önen, H., Uygur, F.N., 1999, "Türkiye'nin Bazı Yabancıotları" (Tanımları ve Savaşları). *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 38, 434 s., Tokat.
- Özesmi, U., 1999. "Conservation Strategites for Sustainable Resource Use in the Kızılırmak Delta in Turkey", *University of Minnesota, Doctoral Thesis*, 250 pp.
- Palmiye Merkezi, <http://www.palmiyemerkezi.com/nilüfer.htm>
- Park, N., Kim, H.J., Cho, J., 2007. "Organic Matter, Anion and Metal Wastewater Treatment in Damyang Surface-flow Constructed Wetlands in Korea". *Eco. Eng.* 32, pp. 68-71.
- Peng, J., Wang, B., Wang, L., Cao, R., 2006. "Performance of a Combined System of Ponds and Constructed Wetlands for Wastewater Reclamation and Reuse". *Proc. Joint 9th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control and 6th International Conference on Waste Stabilization Ponds*, Avignon, France.
- Platzer, C., 2000. "Development of Reed Bed Systems- A European Perspective". In: *Proceedings of the IWA 7. International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Lake Buena Vista, Florida.
- Platzer, M., Caceresy, V., Fong, N., Haberl, R., 2002. "Investigations and Experiences with Subsurface Flow Constructed Wetlands in Nicaragua", *Central America. Proc. 8th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Arusha, Tanzania, 1, pp. 350-365.
- Prakash, G.S., 2000. "National Academy Report on Ag-Biotech", *National Acedemy of Sciences*.
- Price, T. and Probert, D., 1997. "Role of Constructed Wetlands in Environmentally-Sustainable Developments", *Applied Energy*, 57(2/3), pp. 129-174.
- Postgate, J.R., 1984. "The Sulfate-Reducing Bacteria", II. Edition, *Cambridge University Press*, Cambridge, U.K, 208 pp.
- Ramsar Convention on Wetlands Belgesi. www.ramsar.org

- Reddy, K.R. and De Angelo, E.M., 1994. "Global Wetlands: Old World and New". In: Mitsch, W.J. (Ed.). Elsevier.
- Reed, S.C. and Brown, D., 1995. "Subsurface Flow Wetlands-a Performance Evaluation". Water Environmental Research. Vol 67.
- Reed, S.C., Crites, R.W., Middlebrook, E.J., 1995. "Natural Systems for Waste Management and Treatment", 2nd Ed., New York.
- Reedy, K.R., and De Busk, W.F., 1987. "Plant Nutrient Storage Capabilities in Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery". Florida. pp. 337-357.
- Ridge, T. and Seif, J., 2005. "The Science of Acid Mine Drainage and Passive Treatment, Department of Environmental Protection, Bureau of Abandoned Mine Reclamation", http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/bamr/amd/science_of_amd.htm
- Rousseau, D.P.L., Lesage, E., Story, A., Vanrolleghem, P.A., Pauw, N.D., 2006. "Constructed Wetlands for Water Reclamation". Science Direct, Desalination, 208, pp. 181-189.
- Rousseau, D.P.L., Vanrolleghem, P.A., Pauw, D.N., 2004. "Constructed Wetlands in Flanders: a Performance Analysis". Ecol. Eng., 23(3), pp. 151-163.
- Seidel, K., 1966. Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen Naturwiss. 53 (12) pp. 289-297.
- Shipin, O., Koottatep, T., Khanh, N.T.T., Polprasert, C., 2005. "Integrated Natural Treatment Systems for Developing Communities: Low-Tech N-Removal Through the Fluctuating Microbial Pathways". Wat. Sci. Technol., 51(12), pp. 299-306.
- Singh, D.S. and Nigam, P., 1995. "Disposal and Treatment of Distillery Effluent". In: Moo-Young, M., Anderson, W.A., Chakrebarty, A.M. (Eds.), Environmental Biotechnology: Principles and Applications. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, pp. 735-740.
- Snow, A. and Palma, P.M., 1997. "Commercialization of Transgenic Plants: Potential Ecological Risks", BioScience, 47 (2), pp. 86-96.
- Sohsalam, P., Englande, A.J., Sirianuntapiboon, S., 2007. Seafood Wastewater Treatment in Constructed Wetland: Tropical Case, Biores. Tech., in press, doi: 10.1016/j.biortech.
- Sohsalam, P., and Sirianuntapiboon, S., 2007. "Feasibility of Using Constructed Wetland Treatment for Molasses Wastewater Treatment". Department of Environmental Technology, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Bangkok 10140, Thailand. pp. 1-7.
- Soran, H., 1992, "Bitkilerin Atıksu Arıtımında Kullanılması". Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 7, s. 261-267, Ankara.
- Söğüt, S., Zaimoğlu, Z., Erdoğan, R., Doğan, S., 2004, "Phytoremediation (Bitki kullanılarak ıslah) Amaçlı Kullanılabilecek Süs Bitkileri", II.Ulusal Süs Bitkileri Kongresi Bildiri Kitabı, Antakya.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği 1991, 07.01.1991 Tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete.

- Tsihrintzis, V.A., Karamouzis, D., Akrotos, C., Angelakis, A.N., 2004. "Comparison of a Free Water Surface and a Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland System". Proc. Joint 9th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control and 6th International Conference on Waste Stabilization Ponds, Avignon, France, pp.199– 207.
- Tsukamoto, T.K. and Miller, G.C., 1999. "Methanol as a Carbon Source for Microbiological Treatment of Acid Mine Drainage", Water Research, 33, pp.1365-1370.
- Tsukamoto, T.K., Killion, H.A., Miller, G.C., 2004. "Column Experiments for Microbiological Treatment of Acid Mine Drainage: Low-temperature", Low-pH and Matrix Investigations, Water Research, 38, pp. 1405-1418.
- Tunçsiper, B., ve Akça, L., 2006, "Pilot Ölçekli Bir Yapay Sulakalan Sisteminin Arıtma Performansının İncelenmesi". İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, C.5, s. 13-22, Ayazağa-İstanbul.
- Tuttle, J.H., Dugan, P.R., Macmillan, C.B., Randle, C.I., 1969. "Microbial Dissimilatory Sulfur Cycle in Acid Mine Water", Journal of Bacteriology, 97, pp. 594-602.
- Ueki, K., Ueki, A., Itch, K., Tanaka, T., Satoh, A., 1991. "Removal of Sulfate and Heavy Metals with Cattle Waste: Effects of Heavy Metals on Sulfate-Reduction", J. Environ. Sci. Health, 26, pp. 1471-1489.
- U.S. EPA, 1999. "Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment". Office of Water.
- U.S. EPA, 2000. "Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters", EPA/625/R-99/010, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio 45268, USA.
- Uysal, Y., 1998, "Atıksu Arıtım Sistemlerinde Yüzen Su Bitkilerinden *Iemna minör l*'nin Besi Maddesi Giderimindeki Etkinliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, YÖK Tez Merkezi, Tez No: 78359.
- Uysal, Y. ve Zeren, O., 1998, "Yüzen Su Bitkisi *Iemna minor l*'nin Atıksu Arıtım Sistemlerinde Kullanımı", I. Atıksu Sempozyumu, s. 242-248, Kayseri.
- Veenstra, S., 1998. "The Netherlands, In: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe", J. Vymazal, H. Brix, P.F. Cooper, M.B. Green and R. Haberl, Eds., Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R. (Ed), 1998. "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe". Backhuys Publishers, Leiden.
- Vymazal, J., 2005. "Horizontal Sub-Surface Flow and Hybrid Constructed Wetlands Systems for Wastewater Treatment". Ecol. Eng. 25, pp. 478-490.
- Wakao, N., Takahashi, T., Sakurai, Y., Shiota, H., 1979. "A Treatment of Acid Mine Water Using Sulfate-Reducing Bacteria", J. Fermentation Technology, 57, pp. 445-452.
- Waybrant, K.R., Blowes, D.W., Ptacek, C.J., 1995. "Selection of Reactive Mixtures for the Prevention of Acid Mine Drainage Using Porous Reactive Walls", In: The Proceedings of Sudbury 95 Conference on Mining and the Environment, Sudbury, Ontario, Canada, 3, pp.945-953.
- Wedzicha, B.L. and Kaputo, M.T., 1992. "Melanoidins From Glucose and Glycine: Composition, Characteristics and Reactivity Towards Sulphite Ion". Food Chem. (43), pp. 359–367.

- Wildeman, T.R. and Laudon, L.S., 1989. "The Use of Wetlands for Treatment of Environmental Problems in Mining: Non-Coal Mining Applications", In: Proceedings of the International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Lewis Publishing, Ann Arbor, MI, pp. 221-231.
- World Health Organization (WHO), 1998. "The World Health Report 1998- Life in the 21st Century: A Vision for All". ISBN 92, 4, 1561890, Geneva. (NLM Classification: WA 540.1) ISSN; pp. 1020-3311.
- Worrall, P., Peberdy, K.J., Millet, M.C., 1997. "Constructed Wetlands and Nature Conservation". *Wat. Sci. Technol.*, 35(5), pp. 205–213.
- Yıldız, C., Korkusuz, E.A., Arıkan, Y., Demirer, G.N., 2003, "Evsel Atıksu Arıtımı İçin Ekilmiş Sulakalan Tesisi: Viranşehir Örneği". V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, s. 623–625, Ankara.
- Yılmaz, Z. ve Gür, K., 2003, "Atıksuların Arıtımında Yüzen Su Bitkilerinin Kullanımı". Üniversite Öğrencileri Çevre Sorunları Kongresi. Fatih Üniversitesi, s. 1-11, İstanbul.
- Younger, P.L., Banwart, S.A., Hedin, R.S., 2002. "Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation, Kluwer Academic Pres", ISBN 1-4020-0137-1, 442 pp.

7.ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Tokat'ta doğdu. İlköğrenimini Cumhuriyet İlkokulunda, Orta öğrenimini Plevne Ortaokulunda tamamladı. Lise öğrenimini ise Tokat Gazi Osman Paşa Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2005 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Çevre Bilimleri Anabilim dalında Yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen bu bölümde öğrenimine devam etmektedir.