

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Burak DEMİRÖRS**

**ÇUKUROVA BÖLGESİNDE YAPAY SULAK ALAN TEKNOLOJİSİNİN**  
**KIRSAL ALANDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2006**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇUKUROVA BÖLGESİNDE YAPAY SULAK ALAN**  
**TEKNOLOJİSİNİN KIRSAL ALANDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**Burak DEMİRÖRS**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 11/12/2006 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.**

|                          |                        |                        |
|--------------------------|------------------------|------------------------|
| İmza:.....               | İmza:.....             | İmza:.....             |
| Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU | Prof. Dr. Ahmet YÜCEER | Prof. Dr. Zerrin SÖĞÜT |
| DANIŞMAN                 | ÜYE                    | ÜYE                    |

Bu Tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ**  
**Enstitü Müdürü**  
**İmza-Mühür**

**Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.**

**Proje No: MMF2003YL42**

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

**ÖZ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇUKUROVA BÖLGESİNDE YAPAY SULAK ALAN  
TEKNOLOJİSİNİN KIRSAL ALANDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**Burak DEMİRÖRS**

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU  
Yıl: 2006 Sayfa: 76  
Jüri : Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU  
Prof. Dr. Ahmet YÜCEER  
Prof. Dr. Zerrin SÖĞÜT

Çukurova Bölgesinde kırsal alanda yapay sulak alanların evsel atıksuları arıtmadaki performansını incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada doğal arıtım projesi kapsamında Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünce pilot köy olarak seçilen Yeniyayla Köyündeki evsel atıksu arıtım yapay sulak alanının Haziran 2005'ten Ağustos 2005'e kadar olan yaz dönemindeki on haftalık dönem boyunca performansı izlenmiştir.

Bekletme süresi yaklaşık iki gün olan sulak alandan haftalık olarak numuneler alınmış ve giriş ve çıkış suyu için BOİ, KOİ, AKM, pH ve EC analizleri yapılmıştır. Bu süre boyunca mevsimsel olarak sıcaklık, nem ve yağış parametreleri izlenmiştir. Çalışma süresi içerisinde sulak alanın BOİ, KOİ ve AKM giderimlerinin %90 civarında olduğu gözlenmiştir. Ancak dönem dönem KOİ giderim performansının %70'in altına düşmesinden dolayı KOİ giderimi deşarj standartlarının üzerinde kalmıştır. Sulak alana atıksu foseptikten geldiği için oldukça düşük AKM değerine sahiptir. Bu nedenle AKM giderim performansı olarak sulak alan çalışma süresi boyunca standartları sağlamıştır. Sistemde zaman zaman tıkanmalar meydana gelse de bu tıkanıklıklar giderildikten sonra sistem normal çalışma kapasitesine dönmüştür.

Dünyadaki diğer benzerleri gibi tasarlanan Yeniyayla Köyündeki sulak alan da gösterdiği performansla bu sistemlerin Çukurova Bölgesi için uygulanmasında herhangi bir sakınca olmadığını kanıtlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay sulak alanlar, kırsal alan, evsel atıksu arıtımı

**ABSTRACT**  
**MSc THESIS**

|                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>RESEARCH OF THE UTILIZATION OF CONSTRUCTED WETLAND<br/>TECHNOLOGY IN RURAL AREAS OF ÇUKUROVA REGION</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Burak DEMIORS**

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

|            |                                                                                      |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Supervisor | : Asc. Prof. Dr. Zeynep ZAIMOGLU<br>Year: 2006 Pages: 76                             |
| Jury       | : Asc. Prof. Dr. Zeynep ZAIMOGLU<br>Prof. Dr. Ahmet YUCEER<br>Prof. Dr. Zerrin SÖĞÜT |

This study with a view to examine the wastewater treatment performance of constructed wetlands in rural areas of Çukurova Region were conducted for ten weeks along during summer period from June 2005 to August 2005 to evaluate performance of the municipal wastewater treatment constructed wetland in Yeniyayla, which was selected as a pilot village for the “Natural Treatment Project” by General Directorate of Rural Services.

The system, which has approximately 2-day residence time sampled weekly and BOD, COD, TSS, pH, EC analyses for both influent and effluent were performed. Seasonal temperature, humidity and precipitation parameters were observed throughout the study period. The results showed that the removal efficiency of wetland was around 90% for BOD, COD and TSS. However, the wetland was particularly inefficient and did not maintain the legal requirements in certain periods when the removal efficiency of COD dropped below 70%. In order to the influent of wetland was pre-treated by the septic tank has lower concentrations of TSS. Hence, the removal efficiency of TSS was high about maximum 94% and was at the level of the standards along the study period. However, the wetland congested in certain periods because of the coarse-grained particles, the system exhibited normal operation conditions after manual removal of congestion.

The constructed wetland in Yeniyayla Village, which was designed as the other similar models in the world proved that there is no drawback to apply this systems to Çukurova Region with its relatively high performance.

**Keywords:** Constructed wetlands, rural areas, municipal wastewater treatment

## **TEŞEKKÜR**

Her şeyden önce, her konuda ve her koşulda yanımda olup benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan aileme teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezini hazırlama imkânı verdiği için hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet YÜCEER'e teşekkür ederim. Üniversite hayatım boyunca çok değerli düşüncelerini ve tecrübelerini paylaşarak bana yol gösteren, yüksek lisans öğrenimim boyunca danışmanım olarak bana her türlü desteği veren ve birçok sorunu hızla aşmam için elinden gelen gayreti gösteren hocam Sayın Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU'na, çalışmalarımda bana gösterdikleri ilgiden dolayı Arş. Gör. M. Yavuz SUCU, Arş. Gör. Seçil KEKEÇ ve Arş. Gör. Orkun İ. DAVUTLUOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZ.....                                                                                | I   |
| ABSTRACT.....                                                                          | II  |
| TEŞEKKÜR.....                                                                          | III |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                       | IV  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                                 | VI  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                   | VII |
| 1. GİRİŞ.....                                                                          | 1   |
| 1.1. Yapay Sulak Alanlar.....                                                          | 4   |
| 1.1.1. Yapay Sulak Alanların Tarihçesi.....                                            | 4   |
| 1.1.2. Adana'daki Yapay Sulak Alanlar.....                                             | 5   |
| 1.1.3. Yapay Sulak Alanların Türkiye'deki Durumu.....                                  | 6   |
| 1.1.4. Yapay Sulak Alanların Tipleri.....                                              | 8   |
| 1.1.4.1. Yüzey Akışlı Sistemler.....                                                   | 9   |
| 1.1.4.2. Yüzeyaltı Akışlı Sistemler.....                                               | 11  |
| 1.1.5. Yapay Sulak Alanların Bileşenleri.....                                          | 13  |
| 1.1.6. Yapay Sulak Alanların Fonksiyonları.....                                        | 16  |
| 1.1.6.1. AKM Giderimi.....                                                             | 17  |
| 1.1.6.2. BOİ Giderimi.....                                                             | 19  |
| 1.1.6.3. Azot Giderimi.....                                                            | 22  |
| 1.1.6.4. Fosfor Giderimi.....                                                          | 24  |
| 1.1.6.5. Yapay Sulak Alanlarda Ağır Metal Giderimi.....                                | 27  |
| 1.1.7. Yapay Sulak Alanların Avantajları ve Dezavantajları.....                        | 27  |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                                              | 29  |
| 2.1. Gerçek Boyutlarda Atıksu Artıma Amaçlı Kurulan Tesislerde Yapılan Çalışmalar..... | 29  |
| 2.2. Bitkisel Etkileri İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar.....                      | 32  |
| 2.3. Mevsimsel Etkileri İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar.....                     | 35  |
| 2.4. Sistem Parametrelerini İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar.....                 | 36  |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5. Besin Maddesi Etkilerini İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar .....  | 39 |
| 2.6. Mikroorganizma Etkilerini İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar ..... | 40 |
| 3. MATERYAL ve METOT .....                                                 | 42 |
| 3.1. Araştırma Yeri .....                                                  | 42 |
| 3.2. Sulak Alanın Özellikleri.....                                         | 44 |
| 3.3. Kullanılan Bitkiler .....                                             | 46 |
| 3.3.1. Hasır Otu ( <i>Typha latifolia</i> ) .....                          | 46 |
| 3.3.2. Kana Çiçeği ( <i>Canna</i> ).....                                   | 47 |
| 3.4. Metot .....                                                           | 47 |
| 3.4.1. Atıksu Örnekleme .....                                              | 48 |
| 3.4.2. BOİ Analizleri.....                                                 | 49 |
| 3.4.3. KOİ Analizleri.....                                                 | 49 |
| 3.4.4. AKM Analizleri .....                                                | 50 |
| 3.4.5. pH ve Elektriksel İletkenlik Analizleri.....                        | 50 |
| 3.4.6. İklimsel Olarak İzlenen Veriler.....                                | 50 |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....                                              | 51 |
| 4.1. Sulak Alanın Giriş Suyu Parametreleri .....                           | 51 |
| 4.2. İklimsel Şartlar.....                                                 | 52 |
| 4.3. Oksijen İhtiyacı Giderimi (KOİ ve BOİ) .....                          | 53 |
| 4.4. Askıda Katı Madde Giderimi (AKM).....                                 | 56 |
| 4.5. pH ve Elektriksel İletkenlik.....                                     | 57 |
| 4.6. Sulak Alanın Teorik Hesabı .....                                      | 59 |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....                                               | 64 |
| KAYNAKLAR.....                                                             | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                             | 76 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 1.1 Yapay sulak alanlarda kullanılan köklü ve yüzücü bitkiler.....                 | 15 |
| Çizelge 1.2 Sulak alanlarda gerçekleşen giderim mekanizmaları.....                         | 16 |
| Çizelge 4.1 Yeniyayla köyünün foseptik çıkışı atıksu analiz değerleri.....                 | 51 |
| Çizelge 4.2 SKKY Tablo 21.1: Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular.....                        | 51 |
| Çizelge 4.3 Parametre bazında sistem verimleri .....                                       | 52 |
| Çizelge 4.4 Sulak alanların dizayn parametreleri.....                                      | 61 |
| Çizelge 4.5 Çeşitli yöntemlere göre Yeniyayla köyü için gerekli sulak alan boyutları ..... | 62 |



|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. İzmir Korucuk köyü yapay sulak alanı .....                                                        | 6  |
| Şekil 1.2. İstanbul–Paşaköy arıtma tesisi akım diyagramı .....                                               | 7  |
| Şekil 1.3. Genel arıtım akım şeması .....                                                                    | 9  |
| Şekil 1.4. Yüzey akışlı yapay sulak alan .....                                                               | 9  |
| Şekil 1.5. Yüzey akışlı sistemin genel görünümü .....                                                        | 10 |
| Şekil 1.6. Yüzey akışlı sistemin boyuna kesiti.....                                                          | 11 |
| Şekil 1.7. Yüzeyaltı akışlı sistemin genel görünümü .....                                                    | 12 |
| Şekil 1.8. Yüzeyaltı akışlı sistemin boyuna kesiti.....                                                      | 12 |
| Şekil 1.9. Sulak alan bitkisinin yoğun kök yapısı .....                                                      | 14 |
| Şekil 1.10. Yüzey akışlı sulak alanlarda AKM giderim mekanizmaları .....                                     | 18 |
| Şekil 1.11. Yüzeyaltı Akışlı Sulak Alanlarda AKM Giderim Mekanizmaları .....                                 | 19 |
| Şekil 1.12. Yüzey akışlı yapay sulak alanlarda BOİ/Karbon giderim mekanizmaları .....                        | 21 |
| Şekil 1.13. Yapay sulak alanlarda azot giderim mekanizmaları .....                                           | 23 |
| Şekil 1.14. Yapay sulak alanlarda fosfor giderim mekanizmaları .....                                         | 26 |
| Şekil 3.1 Sulak alan öncesindeki dört gözlü foseptik .....                                                   | 42 |
| Şekil 3.2 Yeniyayla Köyü sulak alanından çeşitli resimler .....                                              | 43 |
| Şekil 3.3 Sulak alanın şevi, kil dokusu ve kullanılan çakıl malzeme .....                                    | 45 |
| Şekil 3.4. Yapay sulak alan kesit görünüşü .....                                                             | 45 |
| Şekil 3.5. Atıksu akım diyagramı .....                                                                       | 45 |
| Şekil 3.6 Hasır otu bitkisi.....                                                                             | 46 |
| Şekil 3.7 <i>Canna indica</i> (Kana Çiçeği) .....                                                            | 47 |
| Şekil 4.1. 2005 Yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları günlük ortalama nem, sıcaklık ve yağış verileri ..... | 53 |
| Şekil 4.2. Sulak alanın KOİ konsantrasyonları ve giderim performansı .....                                   | 54 |
| Şekil 4.3. Sulak alanın BOİ konsantrasyonları ve giderim performansı .....                                   | 55 |
| Şekil 4.4. Sulak alandaki yükleme oranlarına karşılık giderim verimleri .....                                | 56 |
| Şekil 4.5. Sulak alanın AKM konsantrasyonları ve giderim performansı .....                                   | 57 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.6. Sulak alanın pH değerleri .....              | 58 |
| Şekil 4.7. Sulak alanın EC değerleri.....               | 59 |
| Şekil 4.8 Yenyayla için önerilen sulak alan yapısı..... | 63 |

## 1. GİRİŞ

Teknoloji devrimi ile birlikte hayat standartlarının yükselmesi ve ölüm oranlarının azalması, kentlerde yoğun bir nüfus artışı meydana getirmiş, paralelinde de hızlı bir kirlilik oluşmaya başlamıştır. Sanayi devrimi ile birlikte batı ülkelerinde gelişerek devam eden ve daha sonra diğer ülkelere de geçen seri üretim sonucunda oluşan yan ürünler dünyanın ekolojik dengesi üzerinde olumsuz etkilere sebep olmuştur ve olmaktadır (Yücel, 1997). Bunun yanında sanayi devrimi, atık suların özelliklerinin değişimine neden olmuştur. Özellikle kanalizasyon atıksularındaki farklılaşma ve artış, yaşanan bölgeleri tehdit etmeye başlamıştır. Bundan dolayı özellikle 20.yy.ın ilk başlarında atıksu arıtma tesisi çalışmaları başlamış ve atıksuların arıtımında yer, iklim, enerji maliyeti gibi etkenlere bağlı olarak pek çok arıtma sistemi geliştirilmiştir. Ancak endüstriyel faaliyetler sonucu geniş aralıklarda ve yüksek konsantrasyonlarda çevreye yayılan kirleticilerin giderimi için bu arıtma sistemleri yeterli gelmemiş ve ileri arıtım mekanizmaları kullanımı gereği ortaya çıkmıştır. Bununla beraber ileri arıtma prosesleri yüksek teknoloji, enerji ve kimyasallar gerektirmektedir. Kalifiye eleman gerektiren bu işletmelerin ilk yatırım maliyetleri ve işletme masrafları yüksektir.

Gelişmiş ülkeler tüm bu olumsuzlukları göz önüne alarak doğal bir arıtma sistemi planlamaya çalışmış ve sonuçta yapay sulak alanlar oluşturulmuştur. Türkiye’de ise çevre kirliliğinden sadece şehirlerde yaşayan halk değil, kırsal kesimde yaşayan halk da etkilenmeye başlamıştır. Yerleşim birimlerinden uzaklaştırılan atıksular, kaynakları kirletmiş ve temiz su kaynağı bulmada problemler yaşanmaya başlanmıştır. Henüz kentsel yerleşim alanlarının arıtma tesisleri tamamlanmadığı için başlangıçta (köyler için lüks yatırım olarak görülen kanalizasyon sistemleri gibi) atıksu arıtma tesisleri de lüks tesisler olarak görülmüştür. Nihayetinde kısıtlı bütçe imkânlarında gerçekten de pahalı bir yatırım olarak karşımıza çıkan atıksu arıtma tesisleri, imkânlar zorlanarak yapılırsa da bu defa işletmesinde başarısızlıklar yaşanmıştır. Sonuçta birçok tesis işletme masrafları karşılanamadığı için atıl durumda kalmıştır. Yatırım maliyetinin yüksek oluşu fayda/maliyet açısından değerlendirildiğinde gözardı edilebilir durumdayken,

kullanılmayan tesisin en pahalı tesis olduğu gerçeği ile karşı karşıya kalınmıştır. Çünkü kullanılmaması durumunda tesisten bir fayda sağlamak söz konusu değildir.

Günümüzde yapay sulak alanlar dünyanın birçok yerinde, nokta kaynaklı ya da havza kökenli kirliliği arıtmak üzere, o yöreye ait özellikler göz önünde bulundurularak, farklı amaçlarla, çeşitli ölçeklerde ve değişik tasarımlarla kullanılmaktadır. Yapay sulak alanlar, doğal sulak alan sisteminde var olan olguları taklit etmek üzere tasarımılanan ve atıksuların tasfiyesinde diğer araçların yanında sulak alan bitkilerini, toprakları ve bunların mikroorganizmalarını kullanan sistemlerdir. Yapay sulak alanlarda doğal çevre koşullarında su, toprak, bitkiler, mikroorganizmalar ve atmosferin etkileşimleri sonucunda, kirleticilerin uzaklaştırılmasını sağlayacak kimyasal, biyolojik ve fiziksel işlemler ortaya çıkmaktadır. Doğal sistemlerdeki doğal işlemler, arıtma tesislerinde kullanılan çökeltme, filtrasyon, gaz transferi, adsorbsiyon, iyon değişimi, kimyasal çökeltme, kimyasal yükseltgenme ve indirgenme, biyolojik çevrim ve ayrıştırma gibi pek çok mekanik işlemin yanında fotosentez, fotooksidasyon ve bitki alımı gibi pek çok özel mekanizmayı da içerir. Bu işlemler bir arıtma tesisindeki dizisel işleyişin aksine tek bir ekosistem reaktörünün içinde doğal hızlarda ve kendiliğinden yürüme eğilimindedir. Yapay sulak alanlarda bu prosesler birbirine bağlıdır (Karul ve ark., 1995).

Özellikle az nüfuslu yerleşim yerlerinde uygulanan paket arıtma sistemlerinin en önemli sorunlarından biri, değişken organik ve hidrolik yüklemelerdir. Yapay sulak alanlar ise organik ve hidrolik yüklemelerdeki ani değişimlere karşı oldukça toleranslıdır. Bu nedenle düşük nüfuslu yerleşim yerlerinde güvenle uygulanabilir yapıya sahiptir. Düşük kuruluş ve işletme maliyetli olması, enerji ihtiyacının olmaması, yüklemeye karşı diğer sistemlerden daha az hassas olması, ağır metal gibi kirleticilerin üretildiği yerlerde kurulabilmesi, pestisit ve gübreler gibi noktasal olmayan kaynakların kontrolünü sağlaması gibi avantajlarının olması nedeniyle günümüzde yapay sulak alanlara olan ilgi oldukça artmıştır (Karul ve ark., 1995).

Yapay sulak alanlar genellikle su arıtım aracı olarak kullanılmak üzere inşa edilirler ve bu sulak alan sistemleri yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı olarak iki gruba ayrılırlar. Her iki türdeki sulak alanlar da fazla derin olmayan çukurluklarda ve nehir

yataklarında sızmaya engel olacak bir yüzeyaltı bariyeri yapılmak suretiyle inşa edilirler.

Yapay sulak alanlardan hasat edilen bitkiler ve çıkış suyunun tekrar değerlendirilmesi ile ilgili çok çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Kendi içinde ekolojik bir denge kuran sulak alan sistemleri oldukça üretkendir. Yapay sulak alanlardan atıksulardaki azot ve fosforun giderimin yanı sıra periyodik hasatlarla sulak alan ürünleri de elde edilmektedir. Üretilen bitkiler, kabuklular ve balıklar hasat edilmekte, daha sonra ya satılmakta, ya da yerinde çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Yetiştirilen bitkilerin hasadı yoluyla organik malzeme ortamdan uzaklaştırılmakta, yeni yetişen bitkiler ise işleme devam etmektedir. Yapay sulak alanlarda bölgenin özellikleri de dikkate alınarak yetiştirilecek bitkilerin hasadı sonrası çeşitli şekillerde kullanılması söz konusu olabilmektedir. Bu bitkilerden biyogaz üretimi, hayvan yemi veya tarımsal amaçlı gübre üretimi gibi amaçlarla faydalanmak mümkündür (EPA, 2001).

Kırsal yerleşim alanlarında yapılan arıtma tesislerinde en çok karşılaşılan problemlerden biri işletme problemidir. Elektrik enerjisiyle çalışan sistemlerin işletme maliyetinin yüksek oluşu yanında, sistemin işletilmesi için teknik eleman bulunmadığından, bir miktar mekanik bilgiye sahip köylü halktan bir kişinin pratik bilgiler verilerek bu konuda görevlendirilmesi yoluna gidilmiş, ancak bunun yeterli olmadığı görülmüştür. Bakım-onarım işleri de maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle zamanında yapılamamıştır. Oysa yapay sulak alan sistemleri, tarımla uğraşan ve sürekli doğayla iç içe olan köylülerin yabancı olmadığı bir yapıdır. Gerekli pratik bilgiler verildikten sonra ve bunların düzenli olarak uygulanması ile işletme problemiyle karşılaşma ihtimali en az düzeydedir (KHGM, 2003).

Sulak alanlar, ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendi kendini yenileyebilme kapasitesine sahiptirler. Ortamdaki karbondioksiti tüketip oksijen üreterek atmosferin doğal dengesinin korunmasını sağlarlar. Organik maddeyi, askıda katı maddeyi, besinleri, toksik maddeleri, ağır metalleri ve biyolojik unsurları giderebilmesinden dolayı yüksek miktarda arıtım kapasitesine sahiptirler.

Bu çalışmada amaç ülkemizde henüz yeni yeni uygulamaları başlayan sulak alan teknolojisinin, Çukurova Bölgesinde kırsal alanda evsel atıksuları arıtmadaki

performansını incelemek ve bu performansa bakarak yine bu bölgede kullanımının uygunluğuna karar vermektir. Bu nedenle, “Doğal Arıtım Projesi” kapsamında Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünce pilot köy olarak seçilen Yeniyayla Köyündeki evsel atıksu arıtım yapay sulak alanının performansı değerlendirilmiştir.

## 1.1. Yapay Sulak Alanlar

### 1.1.1. Yapay Sulak Alanların Tarihçesi

Yapay sulak alanlarla atıksuların arıtımı ile ilgili ilk çalışma 1950’li yılların başlarında Plön’deki Max Planck Enstitüsünde (Almanya) Käthe Seidel tarafından gerçekleştirilmiştir. Seidel, sudaki bazı kimyasal kirlilikleri farklı su bitkilerinin temizleme yeteneğini araştırmış ve ilk kez 1953’te *Scirpus lacustris*’in fenoller, patojenik bakteriler ve diğer bazı kirlilik etmenlerini temizlemedeki başarısını yayınlamıştır. Bunun yanında da suda yetişen bazı bitkilerin kendi performanslarına yardımcı olan çeşitli fizyolojik ve morfolojik değişiklikler sergiledikleri gözlemlenmiştir (Seidel, 1955).

Bu konudaki bir başka önemli çalışma ise 1973 yılında Robert Kadlec tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, 75 hektar (185 akr) alanı kaplayan bir havuz ile bir sazlık sistemden oluşan gerçek boyutlarda ve araştırma amaçlı bir yapay sulak alan inşa ettirilmiştir. Sistemde, suyun bir havuzdan çıkıp diğerine girerken içinden geçmesi amacıyla yönelik olarak yapılmış her biri 0,40 hektar yüzölçümünde üç adet sazlık oluşturulmuştur. Bu çalışma gerçek boyutlarda bir sulak alanın arıtım performansını değerlendirmek için yapılmış en önemli çalışmalardandır (Bahr ve ark., 1974).

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

Yapay sulak alanların soğuk iklimlerdeki fonksiyonel yetenekleri konusunda en iyi bilgiler 1979 yılında kurulan araştırma amaçlı bir sistemde 1980–1984 yılları

arasında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Çalışmalar sonucu; dar kanal konfigürasyonunun en etkili dizayn olduğu kanıtlanmış olup kullanılacak boy/en oranının en az 10/1 olması önerilmektedir (Reed ve Crites, 1984). Ancak bazı yerlerde, yüzeyaltı akış sistemlerde yapılan araştırmaların sonuçları ise, uzunluk/genişlik oranının dar girişlerde tıkanmalara neden olabileceği yönünde öneriler içermektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda; 1986 yılında gerçek boyutlarda işlevsel bir yapay sulak alan arıtım sistemi inşa edilerek kullanıma sunulmuştur. Stabilizasyon havuzlarının yerini alan bu sistemin amacı, gerçek boyutlarda bir yapay sulak alanın arıtım performansının ve işlevsel sistemlerinin test edilmesi ve seçilen ön arıtım metodunun değerlendirilmesidir. Sistem 4.000 kişilik bir yerleşim biriminin atıksularının arıtılması için dizayn edilmiş olup birbirinden bağımsız olarak çalışan iki ayrı hücre olarak oluşturulmuştur (Herskowitz, 1986).

1980 yılında, atıksu arıtımında iki önemli uzman olan George Tchobanoglous ve Gordon Culp, atıksu arıtımında yapay sulak alanların kullanımı konusunda derinlemesine yapılan ilk mühendislik çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir (Tchobanoglous, ve Culp, 1980).

80’li yılların sonlarında Hammer, (1989a), küçük kasabalarda atıksuların arıtımı için bir dizi gerçek boyutlarda ve küçük çaplı model yapay sulak alan projeleri yapmıştır.

### 1.1.2. Adana’daki Yapay Sulak Alanlar

Köy Hizmetleri ve sonrasında İl Özel İdaresi tarafından aşağıda sıralanan sulak alanlar inşa edilerek devreye alınmıştır.

- |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|
| 1. Kozan    | 2. Ceyhan   | 3. Yüreğir  |
| • Hamamköy  | • Kızıldere | • Ziyanlı   |
| • Turunçlu  | • Tatarlı   | • Yeniyayla |
| • Yassıçalı |             | • Ünlüce    |
| • İdem      |             |             |
| • Akdam     |             |             |

### 1.1.3. Yapay Sulak Alanların Türkiye’deki Durumu

Türkiye’de gerçek boyutlarda ve işlevsel yapay sulak alanlar ilk olarak T. C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünce “Doğal Arıtma Projesi” kapsamında yapılmıştır. Daha sonra Köy Hizmetlerinin lâğvedilmesiyle projeyi İl Özel İdareleri devralmıştır.

Bu bağlamda, İzmir–Torbalı–Korucuk Köyü T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilen ilk sulak alan projesidir. Nüfusu 2000 yılı nüfus sayımına göre 1095 kişi olan köyde kanalizasyon sistemi ve foseptik mevcuttur. Atıksu, tesise girmeden önce dört haneli bir foseptiğe gelmektedir. Foseptikten çıkan atıksu yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alana verilmektedir (Eremektar ve diğ. 2005).



Şekil 1.1. İzmir Korucuk köyü yapay sulak alanı (KHGM, 2003)

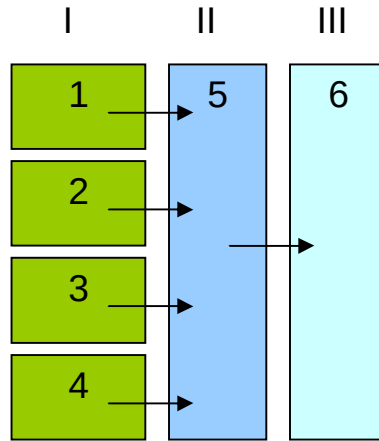
Türkiyede işletmeye başlanılan yapay sulak alanlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- o Ankara–Haymana –Dikilitaş Köyü: Köyün 2000 yılı sayımına göre nüfusu 455 kişidir. Köyün kanalizasyon sistemi 500 ve 250 kişi kapasiteli olmak üzere iki adet foseptikle sona ermektedir.



o Şanlıurfa–Viranşehir: Burada dolgu malzemesi olarak (Karacadağ’ın eteklerinde ve tarlalarda doğal olarak bulunan, tarımsal faaliyetleri olumsuz etkilediği için tarlalardan uzaklaştırılan) volkanik cüruf kullanılmıştır. Seçilen bitki Dicle nehri kenarlarında doğal olarak bulunan kargıdır (*Phragmites australis*).

o İstanbul–Paşaköy: Burada arıtma tesisi içinde inşa edilmiş atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ile beslenen, birbirinden ayrı üç tane yüzey altı akışlı sulak alan sistemi bulunmaktadır. Dolgu malzemesi olarak çakıl taşı ve bitki olarak *Cyperus* yani bilinen adıyla Japon şemsiyesi kullanılmıştır.



Şekil 1.2. İstanbul–Paşaköy arıtma tesisi akım diyagramı

o İstanbul–Ömerli Barajı: Baraj suyunu noktasal ve yayılı kaynaktan gelen kirleticilerden korumak ve büyük miktarlardaki suyu Ömerli’ye geri kazandırmak amaçlı kurulmuş olan pilot ölçekli bir yapay sulak alan sistemi mevcuttur. Yüzey altı akışlı birinci sistemde köklü bitkiler (*Canna*, *Cyperus*, *Typha*, *Juncus* gibi), Serbest yüzey akışlı ikinci sistemde yüzücü bitkiler (*Lemna*, *Pistia*, *Salvina* gibi), Serbest yüzey akışlı üçüncü sistemde ise batık bitkiler (*Elodea*, *Egeria* gibi) bulunmaktadır.

o İzmir–Torbalı–Çakırbeyli Köyü: Nüfusu 2000 yılı nüfus sayımına göre 1000 kişi olan köyün kanalizasyonu ve foseptiği mevcuttur. Yüzey altı yatay akışlı bir yapay sulak alan tesisi yapılmıştır. Bitki olarak “vetiver” otu (*Vetiveria zizanioides*) seçilmiştir. Bu tür *Poaceae* familyasından saçak köklü bir bitki olup,

bilindiği kadarıyla ülkemizde doğal olarak yayılımı yoktur. İtalya'dan deneme amaçlı ithal edilmiştir.

o Manisa–Akhisar–Sakarkaya Köyü: 2000 yılı sayımına göre 724 nüfuslu köyde kanalizasyon şebekesi ve foseptik mevcuttur. Atıksu foseptikten çıktıktan sonra yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alan tesisine girmektedir.

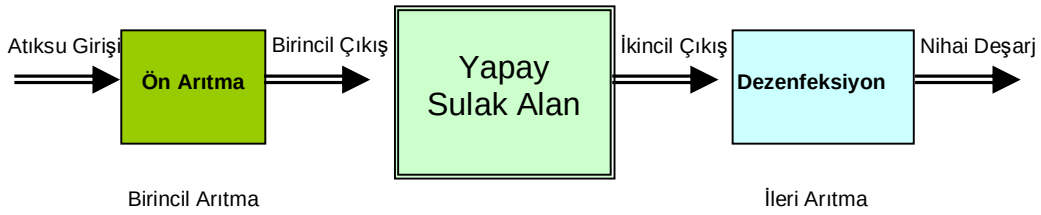
o Manisa–Saruhanlı–Yeni Osmaniye Köyü: 2000 yılı nüfus sayımına göre 246 kişi nüfuslu köyde kanalizasyon şebekesi ve foseptik mevcuttur. Foseptikten çıkan atıksu yüzey altı yatay akışlı sisteme girmektedir.

Bunların haricinde;

- Mersin–Musalı Köyü
- Karaman–Merkez–Kızılyaka Köyü
- Isparta–Eğridir–Ağlıköy
- Tekirdağ–Dedecik Köyü
- Şanlıurfa–Anaz Köyü
- Osmaniye İli
- G.Antep–Hisar Köyü
- Hatay - Bozhöyük Köyü
- K.Maraş–Çiğdemtepe Köyü
- Kilis–Beşikkaya Köyü
- Konya–İlgın–Kapaklı Köyü
- Konya–Akşehir–Çamlı Köyü
- Konya–Tuzlukçu–Erdoğan Köyünde de evsel nitelikli atıksuların arıtımı için yapay sulak alan bulunmaktadır.

#### 1.1.4. Yapay Sulak Alanların Tipleri

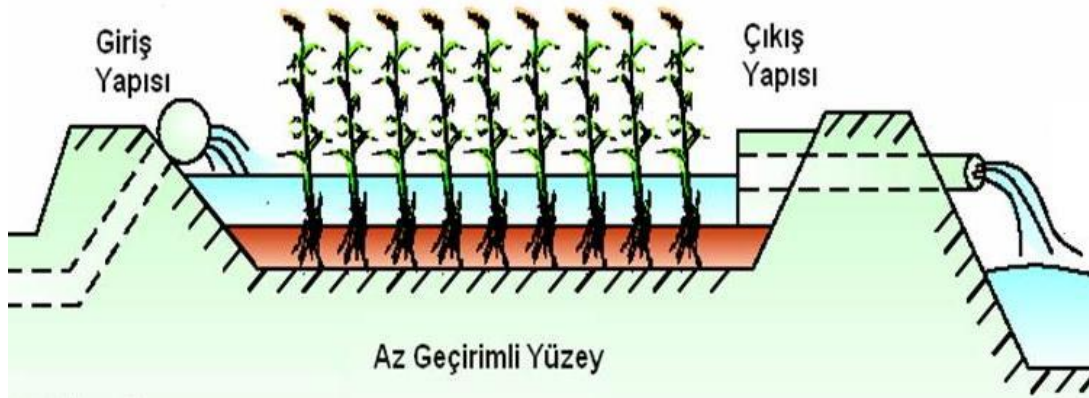
Yapay sulak alanlar, yüzey akışlı sulak alanlar ve yüzeyaltı akışlı sulak alanlar olarak iki tipte inşa edilebilirler. Aynı zamanda yapay sulak alan sistemleri klasik su arıtım teknolojileri ile bir arada da kullanılabilir.



Şekil 1.3. Genel arıtım akım şeması

#### 1.1.4.1. Yüzey Akışlı Sistemler

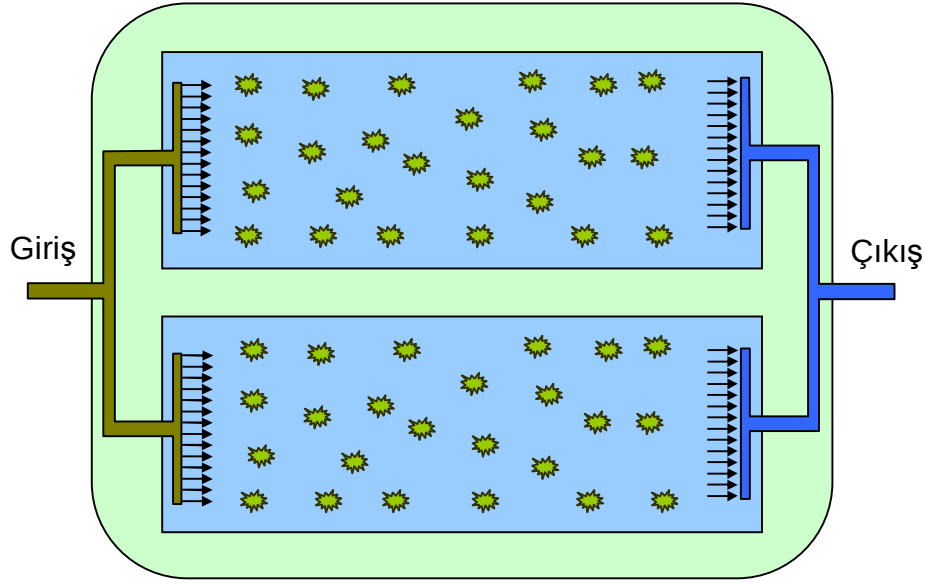
Yüzey akışlı sistemler, sıg bir yatak veya kanal içinde uygun bir sucul vejetasyon içeren ve yüzeyinde çok derin olmayan bir su akışına sahip olan sistemlerdir. Bu özelliği ile daha çok doğal sulak alanları andırırlar. Bu sistemlerde su yüzeyi atmosfere açıktır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Yüzey akışlı yapay sulak alan (OEMC, 2001)

Oksijen kaynağı yüzey havalandırmasıdır. Başlıca biyokimyasal reaksiyonların olduğu bölümler, bitkilerin su altında kalan bölümleri ve dip birikintilerinin yüzeyleridir (Karul ve ark., 1995). Şekil 1.5 ve Şekil 1.6 tipik bir yüzey akışlı sistemin plan ve boyuna kesitini vermektedir.

Yüzey akışlı sistemler yaklaşık olarak 0,6–0,8 m. derinliğinde olup yatakları çakıl veya kum ile doldurulur. Havuzun başlangıcında bir dağıtım kanalı ve çıkışında da bir çıkış borusu bulunur (Şekil 1.5).

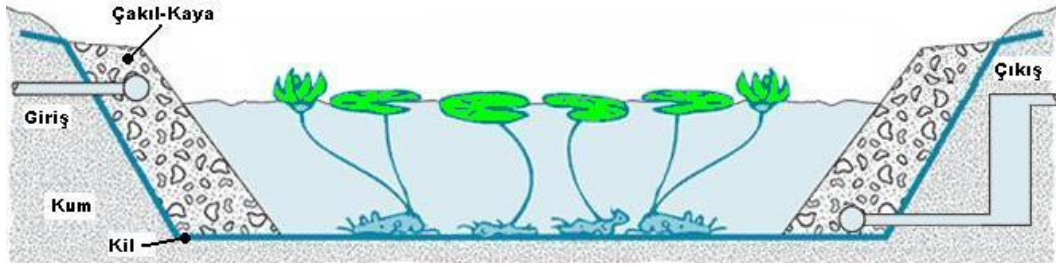


Şekil 1.5. Yüzey akışlı sistemin genel görünümü (OEMC, 2001)

Bu sistemin en büyük dezavantajı koku problemi, sivrisinek ve diğer vektörlerin üremesidir. Bitkiler oldukça sık olduğundan sivrisineklerle mücadelede kesin bir başarı elde edilememektedir. Yüzey akışlı sistemler aynı zamanda yeni yaban hayatı habitatları yaratmak veya yakındaki mevcut sulak alanları geliştirmek amacıyla da tasarlanabilirler (OEMC, 2001).

Yüzey akışlı sistemler; fazla derin olmayan çukur bir arazi, vejetasyonun tutunduğu toprak veya benzeri başka bir materyal, bu çukur zeminde az da olsa bir miktar suyun kalmasına olanak veren su kontrol yapılarını içermektedir (Şekil 1.6). Su arıtımının yanı sıra doğal hayata yataklık ederek ve estetik güzellikler sunarak da faydalı olmaktadır. Suyun yüzeye yakın bölgelerinde aerobik, daha derin bölümlerinde ise anaerobik ortamın varlığı söz konusudur (OEMC, 2001).

Yüzey akışa geçen yağış sularına ilişkin sulak alanlar, tarımsal atıksular ve maden ocaklarının drenaj sularının arıtımı için inşa edilen yapay sulak alanlar genellikle yüzey akışlı sistemlerdir (OEMC, 2001).



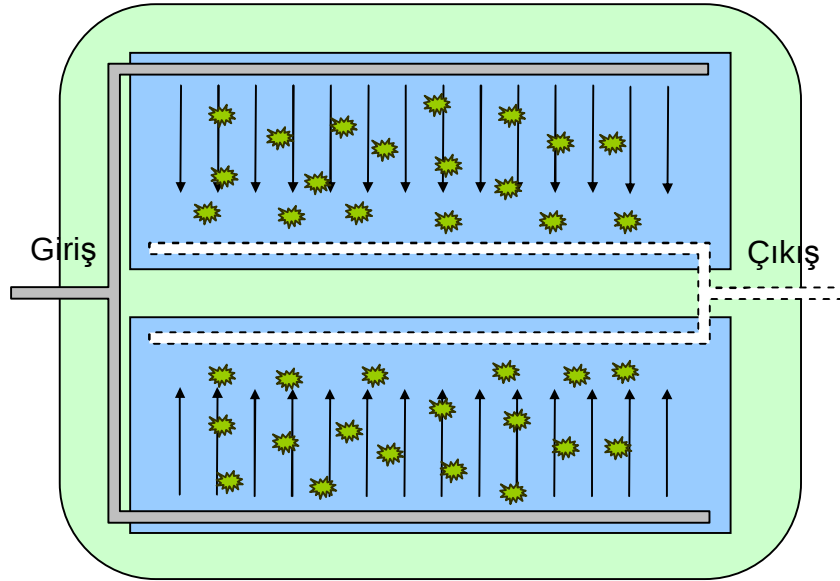
Şekil 1.6. Yüzey akışlı sistemin boyuna kesiti (OEMC, 2001)

Yüzey akışlı sistemlerin en büyük avantajları işletmelerinin çok kolay, masraflarının da çok düşük oluşudur. Belli başlı dezavantajları ise büyük bir alanın bu iş için kullanılmasını gerektirmeleridir (OEMC, 2001).

#### 1.1.4.2. Yüzeyaltı Akışlı Sistemler

Yüzeyaltı akışlı sistemlerde atıksu, çakıl veya kırma taşlarla doldurulmuş su yatağına akıtılır. Verilen suyun yüzeye çıkmaması esastır. 0,3–0,4 m veya daha derin bir geçirgen ortama sahiptirler.

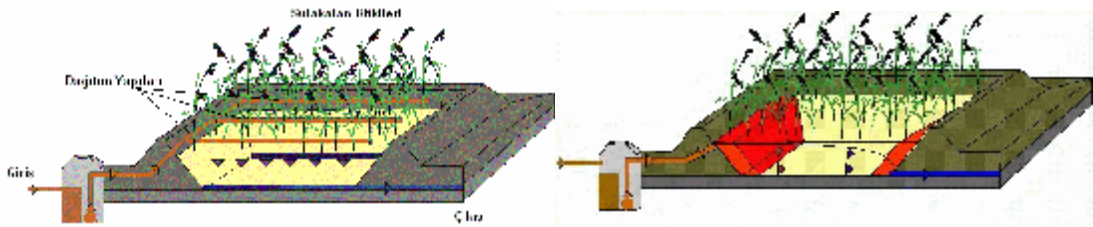
Bu tür sistemler, kaba daneli malzemeden oluşan yataklarında, çok çeşitli çiçekli ve çiçeksiz bitki türünün yetişmesine ortam hazırlamış oldukları için göze hoş gelen bir görünüm sergilerler. Şekil 1.7 ve Şekil 1.8 tipik bir yüzeyaltı akışlı sistemin plan ve boyuna kesitini göstermektedir.



Şekil 1.7. Yüzeyaltı akışlı sistemin genel görünümü (OEMC, 2001)

Yüzeyaltı akışlı sistemlerde aerobik koşulları sağlamak için mevcut tek oksijen taşıma mekanizması oksijenin yapraklardan köklere taşınmasıdır. Bu durumda biyokimyasal reaksiyonlar tıpkı bir damlatmalı filtrede olduğu gibi ortamın çeperlerinde ve bitkilerin su altında kalan kısımlarında gerçekleşir. Bitkilerin kök bölümlerine taşınan oksijen, arıtım için gerekli aerobik koşulları sağlar (Karul ve ark., 1995).

Anaerobik ortam koşullarından kaçınabilmek için köklerin yüzeyaltı akışlı sistemin yatağının bütün derinliği boyunca uzanması gerekir. Bu sistemlerin hasada ve yeniden tanzime gerek olmadan 50 yıl hizmet edebilecekleri düşünülmektedir. Fakat bu kadar uzun süreden beri çalışan bir tesis olmadığından doğruluğu tam olarak bilinmemektedir (EPA, 1999).



(a) Düşey yüzeyaltı akışlı sistem

(b) Yatay yüzeyaltı akışlı sistem

Şekil 1.8. Yüzeyaltı akışlı sistemin boyuna kesiti

Daha az koku yaratmaları, yüzey akış sistemlerde sorun yaratacak sivrisinek ve diğer vektörlerin üremelerine izin vermemeleri ve kaya veya çakıl yatağın çıkış suyundaki alg miktarını azaltmadaki verimliliği yüzeyaltı akışlı sulak alanların en önemli avantajlarıdır (EPA, 1999).

Yüzeyaltı akışlı sistemler kaya veya çakıldan oluşan bir zemine sahiptirler. Yüzeyaltı akışlı sistemlerde suyun akış yönü yatay veya dikeydir. Yüzeyaltı akışlı sistemlerin yüzey akışlı sistemlere kıyasla avantajları;

- i. Düşük sıcaklıklara dayanma düzeyi,
- ii. Zararlı böceklerin ve koku problemlerinin azlığı,
- iii. Birim alandaki asimilasyon potansiyelinin yüksek oluşudur.

Gözenekli yatağın daha geniş bir arıtım yüzeyi sağlamasından dolayı daha hızlı bir arıtım işlemi oluşturduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle aynı miktardaki atıksuyu ıslah etmek için yüzey akışlı sisteme göre daha küçük boyutlarda bir sistemin inşa edilmesi yeterli olabilmektedir. Ayrıca su yüzeyi açıkta olmadığından toplumsal problemler en aza indirilmiş olup halka açık yerlerde yaygın bir biçimde kullanılabilir (EPA, 1999).

Yüzeyaltı akışlı sistemlerin dezavantajları ise;

- i. Yapım ve bakım masraflarının fazla, kullanımlarının da o oranda daha zor oluşudur. Zaten bu nedenle genellikle daha küçük debilerde tercih edilmektedirler.
- ii. Tıkanma ve taşkın debisine maruz kalma problemleri ile de sıklıkla karşılaşmaktadır (EPA, 1999).

#### 1.1.5. Yapay Sulak Alanların Bileşenleri

Sulak alanların esas bileşenleri hidroloji, bitkiler (yıllık, mevsimlik, sualtı veya su yüzeyi bitkileri gibi) ve topraktır (mineraller veya organik sedimentler).

Sulak alanların tüm yapısını ve fonksiyonlarını belirleyen en önemli etken hidrolojidir. Uygun hidrolojik koşulların elde edilmesiyle fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerinde etkili bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Düzensiz hidrolojik koşullar sistemdeki bitkilerin ve diğer canlı türlerin devamını imkânsızlaştırmaktadır. Sulak alanın hidrolojik rejimini belirleyen parametreler; bitki sıklığı, zaman, derinlik,

akışın sürekliliği, günlük ve/veya mevsimlik su seviyesindeki değişiklikler ve çıkış yapısıdır. Bütün bunların yanında hidrolojik çevrimde yer alan yağış, yüzey akış, sızma ve buharlaşmanın da göz önünde bulundurulması gerekir (Mitsch ve Gosselink, 1993, Vymazal, 1999). Sulak Alan boyutlandırılmasında hidrolojik rejime doğrudan bağlı olan bekletme süresi ve hidrolik yükleme hızı, göz önüne alınması gereken iki önemli değişkendir. Küçük yerleşim yerleri için sulak alan boyutlandırılmasında hidrolik yükleme hızı bazı literatürlerde 1,4-22 cm/gün arasında verilmiştir (Mitsch ve Gosselink,1993). Sistemde sucul bitkilerin yoğun halde bulunması yük kaybına neden olmaktadır.

Sucul bitkiler, sulak alanların önemli bileşenlerindendir. Besinleri kendi büyümeleri için tutmanın yanında, besin dönüşümündeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerde besinleri azaltıcı etkide bulunurlar. Sulak alan içinde, su akışına direnç gösterirler, bekleme sürelerini artırırlar ve askıda katı maddelerin çökmesini kolaylaştırırlar. Pek çok sucul bitki, topraktaki anaerobik tabakaya oksijen transferini gerçekleştirmektedir. Böylece kök bölgesinde ağır metallerin yükseltgenmeleri ile çöktürmelerini sağlamaktadırlar (Vymazal ve ark., 1998, Gopal, 1999).



Şekil 1.9. Sulak alan bitkisinin yoğun kök yapısı



Yapay sulak alanlarda genellikle çabuk büyüyen bitkiler yetiştirilir. Odunsu olmayan bu bitkilerin kökleri sulak alan zemininde de büyür, gövde ve yaprakları ise su üstüne çıkar. Yapay sulak alanlarda yaygın olarak yetişen bitkiler; üçköşe (*Spircus lacustris*), kamış (*Pragmites australis*), hasır otu (*Typha latifolia*), ve bazı geniş yapraklı çeşitlerdir. Çizelge 1.1 yapay sulak alanlarda kullanılabilecek bazı bitki türleri ve bunların doğal yaşam ortamlarını göstermektedir.

Çizelge 1.1 Yapay sulak alanlarda kullanılan köklü ve yüzücü bitkiler (Knight, 1997)

| Bitki Cinsi                   | Büyüme Şekli       | Yetiştirme Yeri                                         | Gölge Toleransı                   |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Acer negundo</i>           | Ağaç               | Ormanlık sulak alanlarda                                | Tamamen güneşli yerler            |
| <i>Acorus calamus</i>         | Otsu Bitki         | Tatlı sulardan, az tuzlu sulak alanlara kadar her yerde | Kısmi gölgeli yerler              |
| <i>Alnus serrulata</i>        | Çalı, funda        | Sulak Alanlar                                           | Tam güneşli                       |
| <i>Carex spp.</i>             | Otsu Bitki         | Sulak Alanlar, göl kıyıları                             | Tam gölgeli ve tam güneşli yerler |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> | Su içinde          | Göller ve yavaş akan dereler                            | -                                 |
| <i>Cyperus esculentus</i>     | Otsu Bitki         | Yeni bataklıklar, ıslak çayırlar                        | Tam güneşli yerler                |
| <i>Eichhornia crassipes</i>   | Köksüz yüzen bitki | Tatlı su gölleri ve ağır akan dereler                   | Tam güneşli yerler                |
| <i>Hrdocotyle umbellata</i>   | Yüzen bitki        | Kıyılarda, sığ sulak alanlar                            | Kısmi gölgeli yerler              |
| <i>Nyssa sylvatica</i>        | Ağaç               | Ormanlık sulak alanlar                                  | Kısmi gölgeli                     |
| <i>Phragmites australis</i>   | Otsu Bitki         | Tatlı veya tuzlu sulu sulak alanlar                     | Tam güneşli yerler                |
| <i>Pontederia cordata</i>     | Otsu Bitki         | Tatlı ve tuzlu sulak alanlar, gölet kıyıları            | Kısmi gölgeli                     |
| <i>Populus deltoides</i>      | Ağaç               | Ormanlık sulak alanlar                                  | Tam güneşli yerler                |
| <i>Nuphar luteum</i>          | Yüzen su bitkisi   | Sulak Alanlar, göletler                                 | Kısmi gölgeli                     |
| <i>Scirbus americanus</i>     | Otsu Bitki         | Tuzlu sulu ve alkali sulak alanlar                      | Tam güneşli yerler                |
| <i>Sparganum eurycarpum</i>   | Otsu Bitki         | Sulak Alanlar, gölet kıyıları                           | Kısmi gölgeli yerler              |
| <i>Taxodium distichum</i>     | Ağaç               | Tatlı sulu sulak alanlar                                | Kısmi gölgeli yerler              |
| <i>Typha latifolia</i>        | Otsu Bitki         | Tatlı su sulak alanları, gölet kıyıları                 | Tam güneşli yerler                |
| <i>Scirpus valides</i>        | Otsu Bitki         | Tatlı tuzlu sulak alanlar                               | Tam güneşli yerler                |

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

#### 1.1.6. Yapay Sulak Alanların Fonksiyonları

Biyokimyasal çevrimler sulak alan içerisindeki biyolojik olarak indirgenebilir organik maddelerin kompozisyonunu ve konsantrasyonunu değiştirebilen önemli mekanizmalardır. Bu çevrimler, mineralizasyon, gazifikasyon veya organik maddenin yeni biyokütleyle dönüşümüyle giderimleri sağlayabilmektedir. Atıksudaki organik madde, enerji kaynağı ve biyokütle sentezi için hammadde olarak kullanılır. Bu bağlamda gerçekleşen reaksiyonlar, molekülleri organizmaların kullanımına, enerji üretimine veya hücre yapıtaşları sentezinde kullanmaya hazır hale getirir. Çizelge 1.2 sulak alanlarda gerçekleşen giderim mekanizmalarını göstermektedir (Vymazal ve ark., 1998).

Çizelge 1.2 Sulak alanlarda gerçekleşen giderim mekanizmaları (Vymazal ve ark., 1998)

| Parametre | Giderim Mekanizması                                                   |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| AKM       | Çökelme, Süzülme                                                      |
| BOİ       | Biyolojik ayrışma, Çökelme                                            |
| Azot      | Amonyaklaşma, Nitrifikasyon / Denitrifikasyon, Bitkilerin kullanımı   |
| Fosfor    | Çökelme ve adsorbsiyon, Bitkilerin kullanımı                          |
| Patojen   | Çökelme, Ölüm, U.V. Radyasyonu, Bitki köklerinden antibiyotik salgısı |

Yapay sulak alanların temel fonksiyonları, büyük ölçüde bileşenlerinden biri olan mikroorganizmalar ve onların metabolizmaları ile gerçekleştirilir. Mikroorganizma olarak, bakteriler, mayalar, mantarlar, protozoa ve algler sayılabilir.

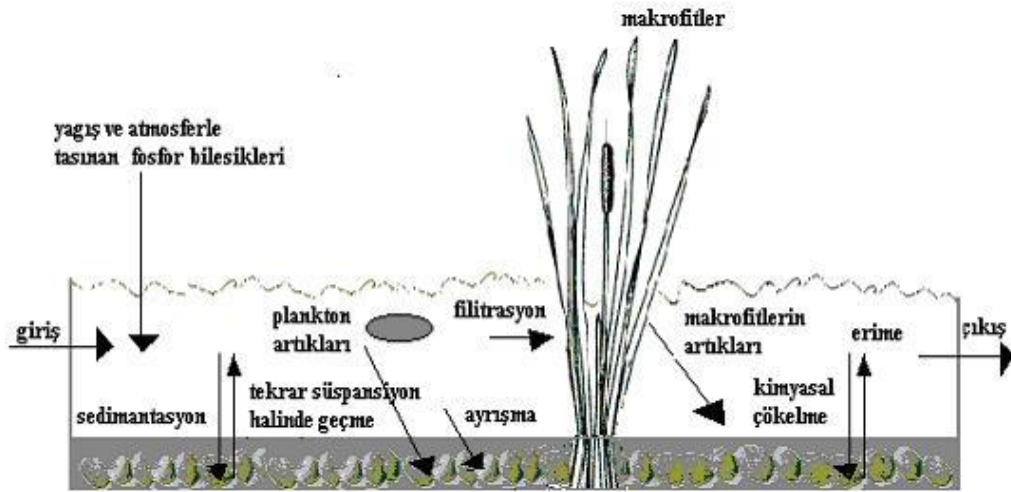
Mikrobiyal kütle ise organik karbon ve pek çok besin maddesinin birikimidir. Mikroorganizmaların sulak alanlardaki aktiviteleri; büyük miktardaki organik ve inorganik maddenin aktif olmayan veya çözilemeyen maddelerle değişimini sağlamak, sulak alan zemininin redüksiyon/oksidasyon (redoks) koşullarını değiştirmek ve besin maddelerinin yeniden kullanımını sağlamaktır (Wetzel, 1993).

Sulak Alanlar esas olarak birer arıtım yapıları iseler de bulundukları yerlerin estetiğini ve görünümünü de iyileştirmek suretiyle somut olmayan birçok yarara da sahip bulunmaktadır. Görüntü olarak sulak alanlar son derece zengin çevrelerdir. Su faktörünün görüntü olgusuna eklenmesi durumunda yapay sulak alanlar en az doğal sulak alanlar kadar çevreye çok yönlü farklılık sağlarlar. Bitkilerin biçimlerinin, büyüklüklerinin, renklerinin ve oluşturdıkları kombinasyonlarının çeşitliliği, ayrıca alanın şeklinin de farklılığı gibi unsurlar sulak alanları estetik birer yapı haline getirmektedir. Yapay sulak alanlar, keskin çizgilerden kaçınılarak ve doğal eş yükselti eğrilerine uyularak inşa edildiklerinde, ilk bakışta doğal sulak alanlardan ayırt edilemezler (Campbell ve Ogden, 1999).

#### 1.1.6.1. AKM Giderimi

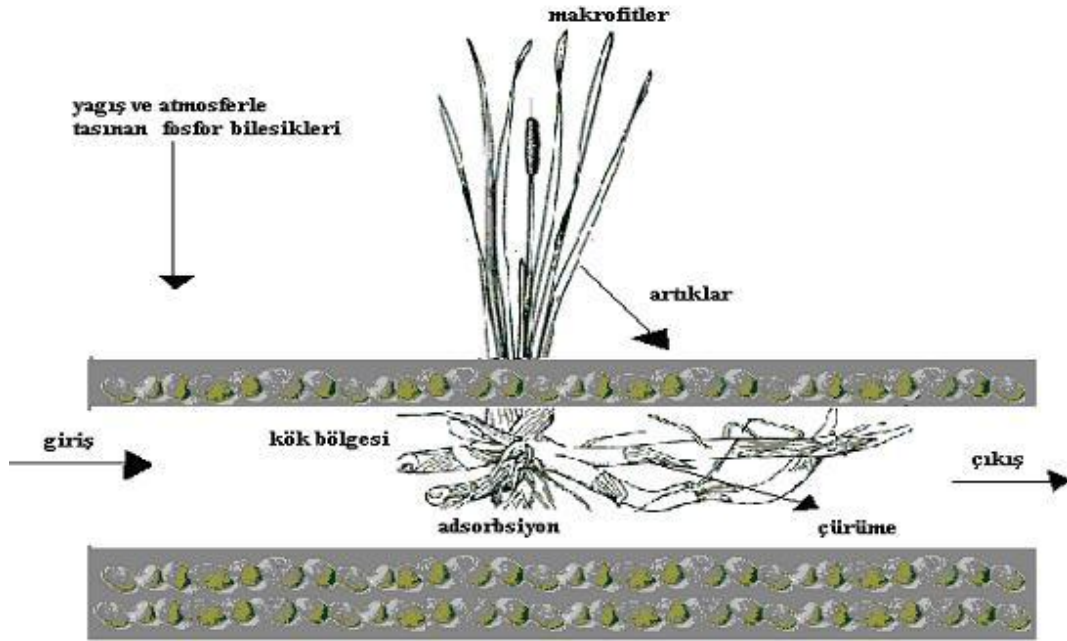
Yüzey Akışlı Sistemlerde AKM Giderimi: Yüzey akışlı sistemlerde AKM giderimi çökeltme, filtrasyon, kimyasal çökeltme gibi proseslerle gerçekleşmektedir (Koottatep ve ark., 2001). Şekil 1.10 yüzey akışlı sistemlerde AKM giderim mekanizmalarını göstermektedir. Yüzey akışlı sistemlerde esas AKM giderim mekanizması çökeltmedir. Atıksu içerisindeki partiküller; suyun hızı, sulak alanın derinliği, partiküllerin boyutu, su sıcaklığı gibi faktörlere bağlı olarak çökeliyorlar. Atıksuların içindeki organik maddelerin özelliklerine bağlı olarak yapay sulak alanlarda katı maddelerin çökeltmesi münferit taneli çökeltme ve yumaklı çökeltme arasında olur (Koottatep ve ark., 2001). Yüzey akışlı sistemlerde çökelen partiküllerin tekrar süspansiyon haline geçmesi problemi, sistemde su hızının çok küçük olmasından dolayı çok önemli bir sorun değildir. Ancak rüzgardan kaynaklanan türbülans, her tipte ve büyüklükteki organizmaların su içerisindeki hareketleri, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan gaz çıkışları, çökelen partiküllerin tekrar süspansiyon haline geçmesine neden olabilir (Kadlec ve Knight,

1996). Diğer AKM giderim mekanizmaları; sık vejetasyona sahip sistemlerde partiküllerin, bitkilerin aralarından geçerken filtre edilmesi ve çeşitli kimyasal reaksiyonlarla çözünmüş katı maddelerin çözünemeyen bileşikler haline dönüşerek çökmesidir (Koottatep ve ark., 2001).



Şekil 1.10. Yüzey akışlı sulak alanlarda AKM giderim mekanizmaları (Kadlec ve Knight, 1996)

Yüzeyaltı Akışlı Sulak Alanlarda AKM Giderimi: Yüzeyaltı akışlı sistemlerde AKM giderim mekanizmaları, yüzey akışlı sistemlere göre farklılıklar gösterir. Bu sistemlerin esas AKM giderim mekanizması köklerde adsorbsiyondur. Şekil 1.11 Yüzeyaltı akışlı sistemlerde AKM giderim mekanizmalarını göstermektedir. Bu sistemlerin en büyük problemi tıkanma problemidir. Bunun önlenmesi amacıyla ön arıtım için septik tanklar kullanılabilir.



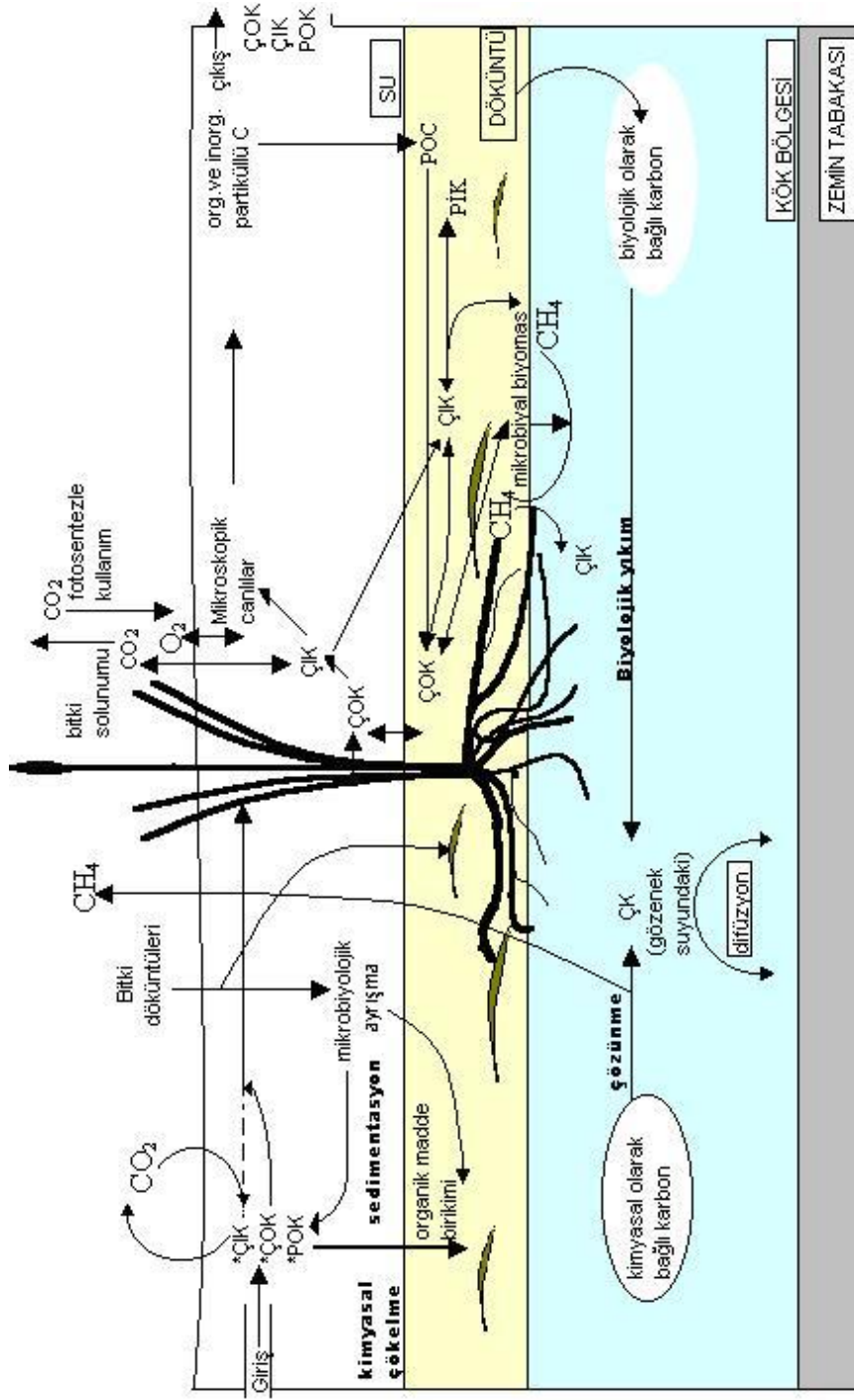
Şekil 1.11. Yüzealtı Akışlı Sulak Alanlarda AKM Giderim Mekanizmaları (Kadlec ve Knight, 1996)

#### 1.1.6.2. BOİ Giderimi

Atıksulardaki organik maddeler temel olarak filtrasyon ve biyolojik oksidasyon prosesleri ile giderilir (Koottatep ve ark., 2001). Şekil 1.12 yapay sulak alanlarda genel olarak BOİ giderim mekanizmalarını göstermektedir. Su içerisinde süspansiyon halde dağınık ya da katı bir yüzeye yapışık olarak bulunan mikroorganizmalar çoğalarak organik maddeleri gaz halindeki son ürünlere ve hücre yapıtaşı haline dönüştürürler. Olay aerobik, anaerobik ve fakültatif olabilir (Kadlec ve Knight, 1996).

Aerobik ayrışmada hücre sentezi için lüzumlu enerji, organik maddenin bir kısmı yakılarak elde edilir. Sistemde disimilasyon, asimilasyon ve otooksidasyon olayları aynı anda meydana gelir. Atıksuyun içerisindeki organik maddenin kimyasal formülü  $C - O - H - N - S$  olarak kabul edilir. Atıksu içinde partikül halindeki organik maddeler çökme ile giderilirken organik maddelerin bir kısmı demir, sülfür, nitrat indirgenmesi gibi çeşitli kimyasal reaksiyonlarla gaz ya da çözünen bileşikler haline dönüşerek giderilirler (Koottatep ve ark., 2001).

Yüzey akışlı yapay sulak alanlarda bu reaksiyonların gerçekleşmesi için gerekli olan oksijen kaynağı yüzey havalandırmasıdır. Başlıca biyokimyasal bozunma reaksiyonları, bitkilerin su altında kalan bölümleri ve dip birikintilerinin yüzeylerinde gerçekleşir. Aerobik koşulları sağlamak için mevcut tek oksijen taşıma mekanizması oksijenin yapraklardan köklere taşınmasıdır. Bu durumda biyokimyasal reaksiyonlar tıpkı bir damlatmalı filtrede olduğu gibi ortamın çeperlerinde ve bitkilerin su altında kalan kısımlarında oluşan biyofilm tabakasında gerçekleşir. Bitkilerin kök bölümlerine taşınan oksijen, arıtım için gerekli aerobik koşulları sağlar. Yapay sulak alanların projelendirilmesinde BOİ giderimi, hidrolik şartlar ile birlikte göz önüne alınan en önemli parametredir. BOİ gideriminde birinci derece piston akım kinetiği yaklaşımı yapılmaktadır (Kadlec ve Knight, 1996).



Yüzey akışlı yapay sulak alanlarda BOİ/Karbon giderim mekanizmaları (Kadlec ve Knight, 1996)

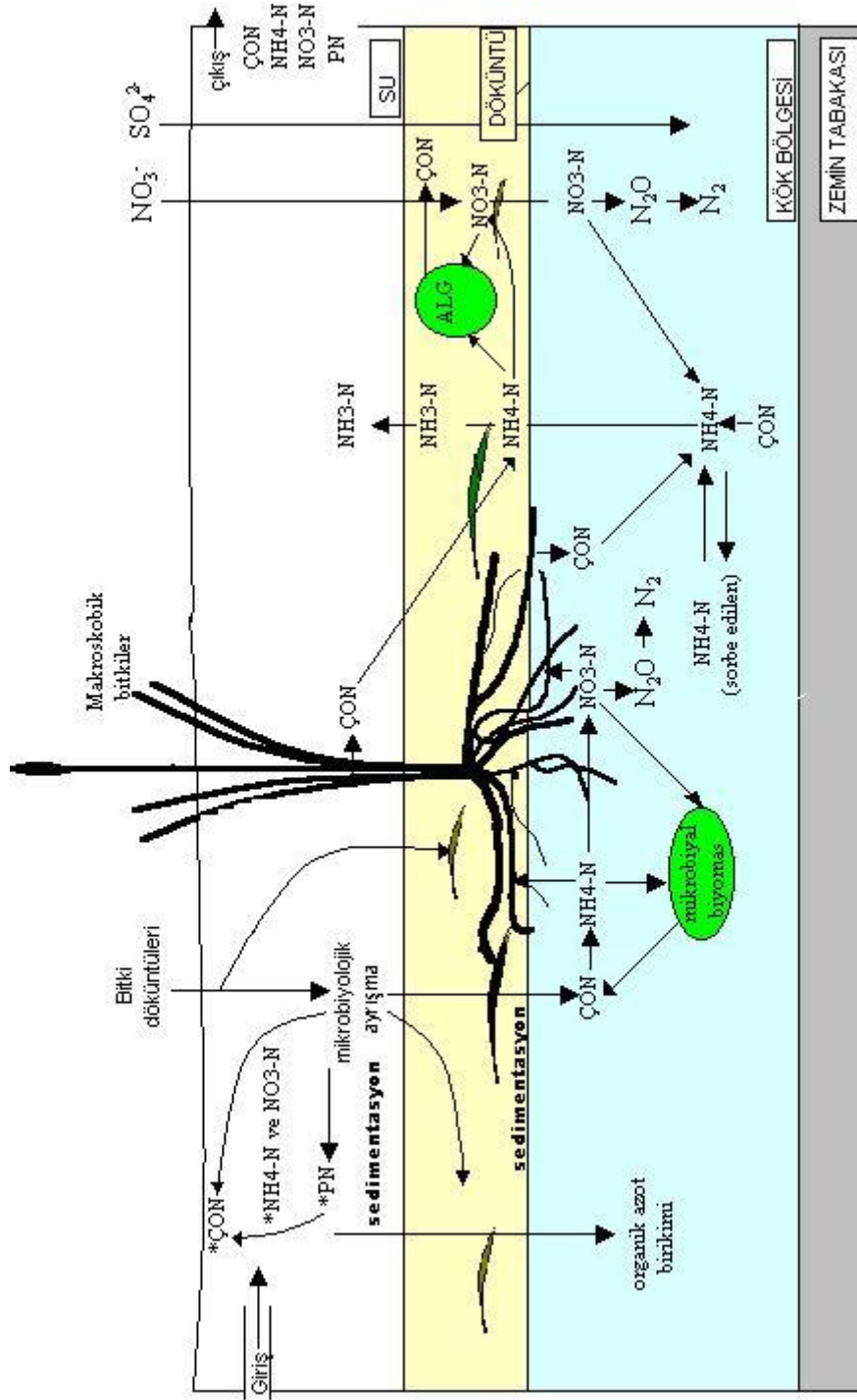
- \* ÇİK: Çözünmüş İnorganik Karbon
- \* ÇÖK: Çözünmüş Organik Karbon
- \* POK: Partiküler Organik Karbon
- \* PİK: Partiküler İnorganik Karbon

**1.1.6.3. Azot Giderimi**

Yapay sulak alanlardaki azot; partikül, çözünmüş, organik ve inorganik azot formları halinde bulunur. Sulak alanlardaki azot reaksiyonları inorganik azotun nitrifikasyon ve denitrifikasyonu, amonifikasyon, bitkisel ve mikrobiyolojik alım şeklinde gerçekleşir. Aerobik sulak alan sistemlerinde organik azotun amonifikasyonu sonucu oluşan azot, nitrifikasyon işleminden geçer ve toplam azot denitrifikasyon sonucu giderilebilir. Amonifikasyon için en uygun sıcaklık aralığı 40–60°C, pH aralığı ise 6,5–8,5 olarak bilinmektedir (Koottatep ve ark., 2001).

Yapay sulak alanlarda, atıksulardaki toplam azot; nitrifikasyon, denitrifikasyon, zeminde depo edilme, uçuculaşma, bitkilerle alımın mekanizmaları ile giderilir (Şekil 1.13). Yapay sulak alanlarda atıksular sulak alan yatağından süzülürken nitrifikasyon olayı gerçekleşir (Koottatep ve ark., 2001). Toplam azot gideriminde sıcaklık önemli bir faktördür ve soğuğa karşı duyarlılık söz konusudur. Kışın su sıcaklığının 5°C'nin altına düşmesi halinde azot giderimi sorunlu olur. Azot giderimi hidrolik yükleme oranı, azot/karbon oranı, kısa bekletme süresi gibi faktörlerden büyük bir şekilde etkilendiğinden dolayı giderim miktarları farklılık gösterebilir (Kadlec ve Knight, 1996).





Yapay sulak alanlarda azot giderim mekanizmaları (Kadlec ve Knight, 1996)

\* ÇON: Çözünmüş Organik Azot

\* PN: Partiküler Azot

#### 1.1.6.4. Fosfor Giderimi

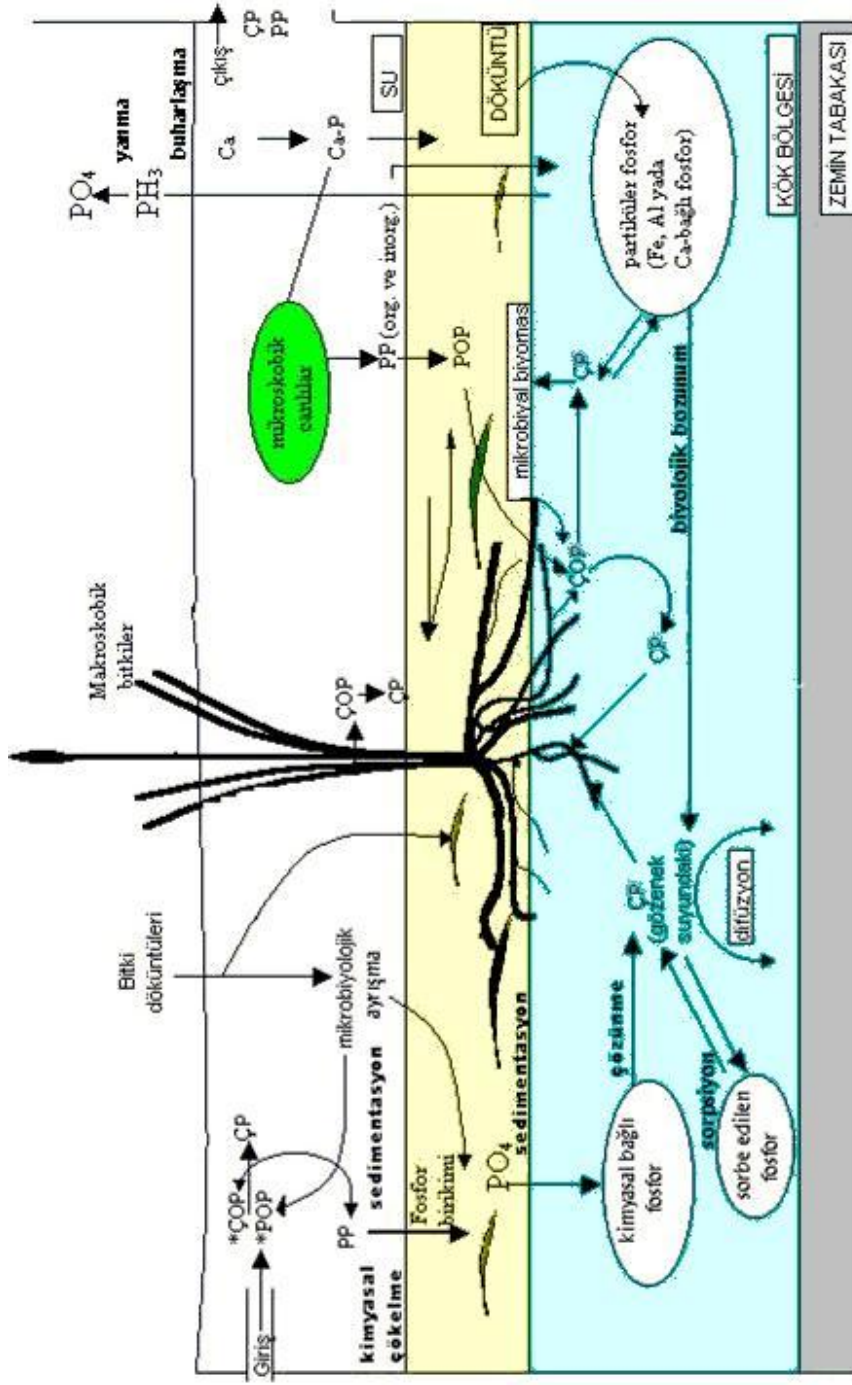
Fosfor, biyotik ve abiyotik prosesler sayesinde sulak alanlardan giderilmektedir. Biyotik prosesler, kök bölgesindeki mikroorganizmalarca ve vejetasyon ile alınımı, bitki artıklarının ve topraktaki organik fosforun mineralizasyonunu, abiyotik prosesler ise sedimantasyon ve birikim, adsorbsiyon ve çökeltme ile toprak ve su sütunu arasındaki prosesleri kapsamaktadır. Sulak alanlarda çözünmüş fosfor, bitkiler tarafından alınır, hücre fosforuna çevrilir veya sulak alan toprağı ve çökelen maddelerce tutulur. Eğer organik kısım oksitlenirse, organik fosfor çözünmüş fosfor olarak serbest kalır. Sulak alan sistemlerindeki temel fosforlu bileşikler; çözünmüş fosfor, partiküler fosfor ve partiküler organik fosfordur (Reddy ve De Busk, 1985).

Sulak alandaki organizmalar büyümeleri için fosfora ihtiyaç duyarlar ve bunları dokularına dâhil ederler. Fosforun en hızlı şekilde alınması mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Ancak makrofitler fosforu çok daha yavaş alır ve kullanırlar. Fosforun bir kısmı bitkinin, yüzeysel suyun içinde veya yakınında bulunan kökleri tarafından alınır. Büyük bir kısmı da toprak içindeki kökler tarafından alınır. Böylece fosforun toprağın içindeki hareketi ortaya çıkar. Fosforun bir besin maddesi olması nedeniyle sulak alana eklenmesi, büyümeyi hızlandırır ve böylece biyokütle miktarının artmasına yol açar. Fosfor sadece bitkinin büyümesi için kullanılır. Bunun sonucunda daha fazla artığın oluşmasına neden olur. Bitki kökü biyokütlenin bir parçasıdır ve aktif fosfor birikiminin önemli bir bölümünü teşkil eder (Reddy ve De Busk, 1985).

Fosfor gideriminde partikül halindeki ve çözünmüş haldeki fosforun sedimantasyonu olmak üzere iki prosesi mevcuttur. Partiküller, tekrar ortama verilebilecek şekilde zayıfça emilmiş fosfor da içerebilir. Bütün sulak alan toprağı fosforu depolama kapasitesine sahiptir. Ancak toprak artan fosfor yüklemesiyle kısa sürede doymuş hale gelir. Fosfor depolaması, toprak gözenek suyunda, katı partiküllerin kimyasal yapısında ve katıların yüzeyinde fosfor bileşiklerinin tutunması şeklinde gerçekleşir. Tüm partiküller toprağın birer parçası olarak düşünülebilir. Topraktaki fosforun çoğu hem organik hem de inorganik olan

fosfordur. Çok az kısmı da adsorblanmış fosfordur. Sulak alanlardaki fotosentetik proses aktivitelerinin belirlenmesindeki temel faktörler sıcaklık ve güneş enerjisi olup bu değişkenler fosfor gideriminde çok önemlidir (Kadlec ve Knight, 1996).

Yapay sulak alanlarda esas fosfor giderim mekanizması kimyasal çökeltme ve adsorplamadır. Bitkiler ve mikroorganizmalar bir miktar fosforu bünyelerine geçirebilmektedirler. Şekil 1.14 yapay sulak alanlarda fosfor giderim mekanizmalarını göstermektedir. Fosfor giderimi, sulak alan yatağında kullanılan zemin cinsine bağlıdır. Eğer yatakta çakıl kullanılıyorsa çok az fosfor giderilirken, zeminde kil içeriğinin yüksek olması durumunda fosfor giderimi daha yüksektir. Yatakta su, zemine doğru sızarken fosforu bağlayan demir ve alüminyum bileşenleri ile temas eder ve fosfor çözünmeyen bileşikler haline dönüşerek çökeltme ve adsorbsiyon ile giderilir (Kadlec ve Knight, 1996).



Şekil 1.14. Yapay sulak alanlarda fosfor giderim mekanizmaları (Kadlec ve Knight, 1996)

- \* ÇOP: Çözünmüş Organik Fosfor
- \* POP: Çözünmüş Organik Fosfor
- \* PP: Partiküler Fosfor

#### 1.1.6.5. Yapay Sulak Alanlarda Ağır Metal Giderimi

Atıksulardaki ağır metaller yapay sulak alanlarda sedimantasyon, flokülasyon, adsorbsiyon, kimyasal çökeltme, iyon değişimi, oksidasyon-redüksiyon ve bitkisel alım ile giderilmektedir (Matagi ve ark., 1998). Bitkilerle ağır metal alımının esas yolu köklerdir. Köksüz bitkiler yalnızca metalleri sudan hızlı bir şekilde ayırmada etkiliyken, köklü bitkiler metalleri sedimentten ayırmada, sudan ayırmada etkili olduğu kadar etkilidir. Ağır metallerin yapraklarda absorpsiyonu sulu fazda yarıklardan epiderma ya da stomadan hücre duvarına ve sonra plazmaya geçişiyle olur. *Typha latifolia* ve *Juncus effusus* bitkileri üzerinde yapılan araştırmalarda ağır metal birikim eğiliminin sırasıyla kök, rizom ve yapraklarda olduğu saptanmıştır (Taylor ve Crowder, 1983).

Yapılan çalışmalar yapay sulak alanların yüksek bir ağır metal giderim yeteneğine sahip olduğunu ve %75–99 oranında kadmiyum, %40–96 oranında bakır, %0–86 oranında kurşun, %49–88 oranında nikel ve %33–96 oranında çinko giderimi sağladığını göstermektedir (Reddy ve De Busk, 1985).

#### 1.1.7. Yapay Sulak Alanların Avantajları ve Dezavantajları

Yapay sulak alanlar, çok çeşitli nedenlerle atıksuların ve yüzey akışa geçen yağış sularının iyileştirilmesi konusunda fayda/masraf oranı açısından olumlu, teknik açıdan ise fizibilitesi yüksek olan ve bu nedenle tercih edilen yatırımlardır. Yapay sulak alanların tercih edilme nedenleri şöyle sıralanabilir.

- Diğer arıtım seçeneklerine kıyasla daha ucuza mal olabilmektedirler.
  - İşletme ve bakım masrafları daha düşüktür.
  - Sürekli bir işletme ve bakım çalışması gerektirmezler. Periyodik bakımlar yeterli olmaktadır.
  - Taşkınlardaki dalgalanmaları tamponlarlar.
  - Suyun tekrar kullanımına olanak verirler.
- Bunlara ek olarak;
- Pek çok sulak alan canlısına yaşam ortamı sağlarlar.
  - Araziye tam bir uyum sağlayacak biçimde inşa edilebilirler.

- Suyun kalitesinin yükseltilmesinin yanında yaban hayatı ve açık alanların güzelleştirilmesi gibi yararlar da sağlarlar.
- Toplum tarafından büyük bir ilgi ile gözlemlenen çevreye duyarlı bir yaklaşımdırlar.

Yapay sulak alanların kullanımına ilişkin kısıtlayıcı faktörler de vardır. Bunlar:

- Klasik su arıtma tesislerine kıyasla daha geniş bir alanın kullanılmasını gerektirirler. Yapay sulak alanlar yalnızca arazinin bol ve pahalı olmadığı yerlerde ekonomik olabilmektedirler.
- Klasik arıtmaya kıyasla daha az tutarlı bir performans sergilemektedirler. Sulak alan arıtmasının etkinliği yağış ve kuraklık gibi çevresel koşulların mevsimsel değişimine bağlı olarak farklılıklar sergileyebilmektedir.
- Amonyak ve pestisit gibi toksik kimyasallara karşı duyarlıdırlar.
- Bu gibi kirleticilerin suya karışmış olması geçici olarak arıtmanın etkinliğini azaltabilmektedir.
- Sulak alanlar içlerindeki yaşamın sürmesi için gerekli olan minimum düzeydeki su miktarını kısa süreli kuraklıklarda koruyabilseler de uzun süreli ve kesin kuraklıklarda bu düzeyi koruyamamaktadırlar.

Yapay sulak alanların su arıtımı ve taşkın kontrolü amaçlarına yönelik olarak kullanılmaları oldukça yeni bir yaklaşımdır. Yapay sulak alanların tasarımında en uygun tasarım konusunda henüz bir fikir birliğine ulaşılamadığı gibi uzun vadedeki performanslarına ilişkin yeterli düzeyde bir bilgi birikimi de henüz bulunmamaktadır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şu an için dünya çapında binlerce yapay sulak alan bazlı arıtma sistemi vardır ve halen de artan bir hızla bu tür sistemlerin yapımına–kullanımına devam edilmektedir (Eddy ve Angelo, 1997). Yaklaşık olarak sayılar Almanya’da 50.000, Avusturya’da 1000, İngiltere’de 800, İtalya’da 300, Danimarka’da 200, Çek Cumhuriyetinde 160, Portekiz’de 120 ve Kuzey Amerika’da da 8000 adet olarak bildirilmektedir (Vymazal, 2005). Ancak bu tezde, artan bu sayı karşısında yapılan bütün çalışmalara ulaşamayacağından ve yapılan bütün çalışmalar toplanamayacağından dolayı, yapay sulak alan sisteminin gelişiminde ve kullanımının yaygınlaşmasında çok önemli yer tutan uygulamalara ve bunların devamında yapılan belli başlı bazı bilimsel çalışmalara yer verilmiştir.

### 2.1. Gerçek Boyutlarda Atıksu Arıtma Amaçlı Kurulan Tesislerde Yapılan Çalışmalar

1980 yılında, atık su arıtımında iki önemli uzman olan George Tchobanoglous ve Gordon Culp, atık su arıtımında yapay sulak alanların kullanımı konusunda derinlemesine yapılan ilk mühendislik çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir (Tchobanoglous ve Culp, 1980).

1986 yılı Mayıs ayında Kanada Port Perry–Ontario’da gerçek boyutlarda işlevsel bir yapay sulak alan arıtım sistemi inşa edilerek kullanıma sunulmuştur. Eski stabilizasyon havuzlarının yerini alan bu sistemin amacı, gerçek boyutlarda bir sazlık arıtım sisteminin performansının ve işlevsel sistemlerinin test edilmesi ve seçilen ön arıtım metodunun değerlendirilmesidir. Sistem 4.000 kişilik bir toplumun bütün evsel nitelikli atık sularını arıtması için dizayn edilmiş olup, birbirinden bağımsız ve paralel olarak çalışan iki ayrı sazlık olarak kurulmuştur. Birinci sistem, en-boy oranı 1:13 ve tamamı büyük sukamışıyla (*Typha latifolia*) kaplanmış 1,9 ha’lık geniş-kanal sazlıktan, ikinci sistem ise 3,9 ha’lık ve %30’u büyük sukamışıyla kaplanmış dikdörtgen sazlıktan oluşmuştur (Herskowicz, 1986).

“Tennessee Valley Authority” (TVA), 1933 yılında ABD’nin Tennessee bölgesinde taşkın kontrolü, çevre yönetimi, enerji üretimi ve ekonomik kalkınma gibi

programları yürütmek için kurulan devlete bağlı bir kurumdur. 1980 yılının ortalarında TVA, ABD’de Dr. Donald Hammer’ın liderliğinde, Kentucky eyaletinde küçük kasabalarda atıksuların arıtımı için bir dizi gerçek ölçekli ve pilot ölçekli yapay sulak alan tanıtım projelerinin yapımını başlatmıştır. Bu programıyla, yapay sulak alanlarla ilgili bilgileri geliştirmeye ulusal anlamda önayak olmuştur. Yapay sulak alanlar konusunda daha önceki deneyimlerini Alabama’da bulunan kömür ocaklarındaki asit sızmalarının arıtımında kullanan TVA, diğer kurumlarla işbirliği yapıp bir dizi tanıtım projesi ele alarak bu projeleri kitap haline getirmiş ve bölgedeki ev sahipleri ve küçük çaplı yapay sulak alan sistemleri ile ilgilenenler için bölgesel bir rehber oluşturmuştur (Hammer, 1989b).

Atık suların arıtımı için özellikle de yüzey altı akış sistemli yapay sulak alanların kullanımı konusundaki statüleri belirlemek üzere Çevre Koruma Örgütü (EPA) sponsorluğunda yeni bir çalışma ise Çevre Mühendisliği Danışmanlarından S. C. Reed, liderliğinde gerçekleştirilmiştir (Reed, 1993).

Birleşmiş Devletlerin güneybatısındaki Arizona eyaletinde 1990 yılında yalnızca 4 tane evsel atıksu arıtımı yapan yapay sulak alan vardı. 1997 yılı itibariyle ise çalışır vaziyette 26 tane evsel ve yerinde arıtım yapan ve en az 24 tane yapım aşamasında veya onay bekleyen yapay sulak alan bulunmaktadır (Gelt, 1997).

ABD’nin Indiana eyaletinde en az 25 tane evsel ve tarımsal nitelikli atıksuları arıtan yüzey akışlı yapay sulak alan bulunmaktadır. Sekizden fazla sistem yapım aşamasında veya yapılması planlanmakta ve bunlara ek olarak yedi tane sistem de taşkın suyu kontrolü için kullanılmaktadır (Leady, 1997).

Amerika ve Kanada’da 1996 yılında yapılan bir araştırma 176 tane sulak alan arıtma sisteminin kullanımda olduğunu göstermiştir. Bunların çoğunluğu (116) sıcak iklimde bulunmaktadır. Ancak Dakota’da da oldukça çok sayıda (40) soğuk iklim için kurulmuş sistem mevcuttur. Bu bölgedeki sulak alanların çoğunluğu serbest su akışlı sistemlerdir (Eddy ve Angelo, 1997).

Güney Asyada bir ülke olan Nepal’deki büyük arıtma tesislerinin başarısızlığından sonra, yapay sulak alanlar rağbet görmeye başlamıştır. Çevre ve Halk Sağlığı Organizasyonu ENPHO (Environment and Public Health Organization), yapay sulak alanların yapımına geleneksel arıtma teknolojilerine alternatif olarak



başlamıştır. İlk ENPHO dizaynı sulak alan Dr. Roshan R. Shrestha önderliğinde 1997 yılında Dhulikhel Hastanesinin evsel nitelikli atıksuları için yapılmıştır. Burada elde edilen başarıdan sonra, son zamanlarda Nepal'in en büyük şehri olan Kathmandu yakınlarında dört tane daha yapay sulak alan yapılmıştır (Shrestha, 2001).

1980'den beri Fransız araştırmacılar, küçük yerleşim yerlerinden gelen atıksuların arıtılması için kamış yataklı filtreler üzerine çalışmaktadırlar. Halen Fransa'da 100–250 kişilik nüfusa hitap eden 15 tane kamış yataklı filtre bulunmaktadır. Sistemler kaba arıtımı yapılmış (2 cm'lik ızgaralarda) ham atıksuyu kabul edecek yetenektedirler (Boutin ve ark., 1997).

1997 yılı itibariyle İsviçre'de yaklaşık 80 tane yapay sulak alan bulunmaktadır. En uzun süredir çalışan sistemlerden biri en küçüğü olan (5 kişilik eşdeğer nüfus) ve Schattweid'deki Uygulamalı Ekoloji Merkezindeki sistemdir. Sisteme banyo ve lavabolardan gelen atıksu ile ürün giriş yapmaktadır. Sistem kum filtresi ve yatay akışlı kamış yatağından oluşmaktadır. 1990–1995 yılları arasındaki çalışması yakından izlenmiş ve verimi gözlenmiştir. On yıllık bir çalışma süresi sonunda sistem, performansında kayda değer bir düşüş göstermemiştir. Sistemin giderimi bazı parametreler için (özellikle  $\text{NH}_4\text{-N}$  ve TN) zamanla artmıştır ve ölçümün son yıllarında en yüksek değerlerine ulaşmıştır (Schönborn ve ark., 1997).

İngiltere Slimbridge'te yapay sulak alanlar turist çekmek için kullanılmaktadır. Slimbridge, İngiltere'deki insanlar için sulak alan kuşlarını, ikiyaşayışlıları (kurbağalar, karakurbağaları ve semenderler gibi) ve yusufçuk gibi bazı böcek türlerini görebilecekleri bir merkez niteliğindedir. Aynı zamanda sulak alan bölgenin bütün atıksuyunu ( $4000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ) arıtmaktadır (Worrall ve ark., 1997).

Danimarka'da yapay sulak alanlar 15 yıldır kullanılmaktadır ve şu anda 150'den fazla çalışan sistem mevcuttur. Bu sistemlerin birçoğu toprak ve çakıl tabanlı yatay yüzey altı akışlı ve kamışla (*Phragmites australis*) bitkilendirilmiş sistemlerdir (Brix, 1997).

Kuzey Avrupa'da her ne kadar yapay sulak alan uygulamasında başı Danimarka çeksede de diğer ülkelerde de yapay sulak alan uygulamaları vardır. 1996 yılı itibariyle İsveç'te kentsel ve evsel atıksuları arıtan 6 tanesi serbest su akışlı ve 8

tanesi yüzey altı akışlı olmak üzere toplam 14 tane yapay sulak alan bulunmaktadır. Ancak bunların çoğunluğu azot giderimi sağlamak amacıyla veya arıtma çıkış sularının cilalanması amacıyla kurulmuştur. Norveç'te de çoğunluğunun yüzey altı akışlı olduğu yaklaşık 20 tane yapay sulak alan mevcuttur (Wittgren ve Mæhlum, 1997).

Doğu Avrupa'daki Çek Cumhuriyeti'nde 1989–1996 yılları arasında 26 sistem kurulmuştur. Bu sistemlerde elde edilen başarılarından sonra 54 tane daha sistemin kurulmasına başlanmıştır. Burada kurulan bütün sistemler yatay yüzey altı akışlı türdendir ve mekanik ön arıtmadan geçmiş kentsel atıksuların arıtılmasında kullanılmaktadır. Macaristan ve Estonya'nın da yapay sulak alanlarla tanıştığı bilinmektedir ancak şu an için bir sayı mevcut değildir (Ottová ve ark., 1997).

## 2.2. Bitkisel Etkileri İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar

Scholz (2003), sucul bitkiler içeren ve farklı adsorpsiyon kapasitelerine sahip granüler ortamlı dikey akışlı yapay sulak alanların performansını incelemeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Ön tasfiyesi yapılmış maden atık sularını örneklemek amacıyla evsel atıksuya kurşun ve bakır sülfat ilave etmiştir. Bir yıllık işletme süresi sonunda metal yüklemesini 4,6 oranında artırmasına rağmen metal gideriminde bir artış gözlememiştir. 13 aylık işletme sonunda sucul bitkilerin ve adsorpsiyon ortamının metal gideriminde önemli bir artış yaratmadığını bulmuştur. Yaptığı korelasyon analizi sonucunda, iletkenlikle sıcaklık, AKM, Çözünmüş Oksijen (ÇO), redoks potansiyeli arasında pozitif yönde güçlü bir bağ olduğunu gözlemlemiştir. BOİ gibi zaman harcayan ve masraflı deneylerin daha az masraflı deneylerle (ÇO, Sıcaklık gibi) tahmin edilebileceğini belirlemiştir.

Peterson ve ark. (2003), bir çökeltim havuzuyla, birde mangrovla (*Rhizophora spp.*) bitkilendirilmiş bir yapay sulak alanda sediment giderim kapasitesini incelemişlerdir. Çalışmayı optik sensörlerden elde ettikleri verilerle çamur bütçe analizi yaparak yürütmüşlerdir. Havuzların giriş ve çıkışına koydukları sensörler, havuzların farklı debilerdeki ve çökeltim alanlarındaki çamur çökeltim kapasiteleriyle ilgili gerekli olan veriyi toplamıştır. Sulak alan ve çökeltim havuzu

için sırasıyla %40 ve %70 çökeltim verimi elde etmişlerdir. Yüksek su akış hızının türbülans oluşturmamasından dolayı sulak alandaki çökeltim kapasitesini artırmak için su hızının 10 cm/sn'nin altında kalması gerektiğini belirtmişlerdir. Bunun için hem sulak alanın hem de çökeltim havuzunun daha kısa boy ve daha geniş enle yapılması gerektiğinin üstünde durmuşlardır.

Stottmeister ve ark. (2003) yapay sulak alanlarda bitkilerin ve mikroorganizmaların arıtıma olan etkisiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, sudaki kirleticilerin giderilmesinde görev alan bitkilerin ve bu bitkilerin kök bölgesinde yaşayan mikroorganizmaların mekanizmaları üzerinde durmuşlardır. Oksijenin kök bölgesine alımında, nütrientlerin bitki bünyesine alımında ve kirleticilerin doğrudan indirgenmesinde bitkilerin etkisi ve mikroorganizmaların rolünü incelemişler ve kök bölgesindeki aktiviteleri ve metabolizmayı gerçekleştiren mikroorganizmalar için oksijenin sağlanmasının çok önemli bir rol oynadığını gözlemlemişlerdir.

Oron ve ark. (2004) İsrail'de evsel atıksuları arıtmak için su mercimeği kullanan (*Lemna gibba*) pilot ölçekli yüzey akışlı bir yapay sulak alan sistemi kurmuşlardır. Geri kullanım amaçları için deney süresi boyunca su kalitesini ve sistem verimini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar yaklaşık beş günlük bekletme süresini, 0,234 m<sup>3</sup>/gün'lük ortalama debiyi, 0,22 m/gün'lük hidrolik yükleme oranını vermiştir. Sistemin hidrolik veriminin yüksek olmasından dolayı çökeltim için uygun ortam oluşturduğunu saptamışlardır. Sistemin en çok askıda katı ve organik madde giderdiğini bulmuşlardır. Sulak alanda çok yüksek düzeyde (~%95) fekal koliform giderilmesine karşılık, azot gideriminin çok az olduğunu (%10–20) ve fosfor gideriminin ihmal edilebilir düzeyde kaldığını gözlemlemişlerdir.

Batty ve Younger. (2004) İngiltere Northumberland'te terkedilmiş Shilbottle Colliery madeninden çıkarılmış yüksek oranda metal içeren asidik kazı toprağının drenaj suyuyla çalışacak olan sulak alanda *Phragmites australis* bitkisinin yetiştirilmesiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Kazı toprağından akışa geçen atıksuları arıtmak için kamış *Phragmites australis* ile bitkilendirilmiş aerobik sulak alanlar kurulmuştur. Kazı toprağı içerisinde tutulan sudan dolayı aşağı sulak alanlar asidik metalle kirlenmiş suları alırken yukarı sulak alanın yeniden bitkilendirilmiş

kazı toprağından kirlenmemiş alkali suyu aldığını tespit etmişlerdir. Bu durum aynı kökenli iki sulak alanda bitkilerin metal alımı ve büyümesiyle ilgili kıyaslama yapmayı mümkün kılmıştır. Sonuçta, iki sulak alan arasında bitkilerin gelişiminin, filiz boyutu ve tohum üretimi açısından önemli farklar gösterdiğini bulmuşlardır. Bitki dokusundaki metal ve nütrient konsantrasyonlarının analizi bu farklılıkları açıklayan üç hipoteze temel oluşturmuştur: (i) filiz dokusundaki metallerin yüksek oranda olmasının toksik etkisi, (ii) metal ve  $H^+$  iyonlarının Ca (gerekli bir besi elementi) alımını inhibe etmesi ve (iii) biyolojik olarak alınabilir azotun düşük konsantrasyonlarda olmasından dolayı azot eksikliğinin ortaya çıkması. Bunun sonucunda, bitki yetiştirme ve vejetasyon gelişiminde başarılı olma açısından yapay sulak alan mühendisliğinde bunların çok önemli anlamlar taşıdığına dikkat çekmişlerdir.

Ciria ve ark. (2005) yapay sulak alanlardaki sucul bitkilerin rolünü ve yetiştirilen *Typha latifolia* bitkisinin yakıt olarak kullanılma potansiyelinin değerlendirilmesiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmayı iki hedef doğrultusunda yürütmüşlerdir. Bu hedefler; 1. Sucul bitkilerin atıksudaki kimyasal oksijen ihtiyacını (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacını (BOİ), askıda katı maddeyi (AKM), azot, fosfor ve patojenleri gidermedeki rollerinin belirlenmesi ve 2. Oluşan biyokütlenin yakıt olarak kullanıma uygunluğunun belirlenmesi için termokimyasal karakterizasyonunun yapılmasıdır. Çalışma biri bitkilendirilmiş ve diğeri bitkilendirilmemiş her biri 40m<sup>2</sup>'lik iki yataktan oluşan sulak alanda iki yıl boyunca yürütülmüştür. Sonuçta;

- 1- Bitkilendirilmiş sistemin BOİ, amonyak azotu ve patojen gideriminde daha etkili olduğunu,
- 2- KOİ, AKM gibi parametrelerin gideriminde esas rolü bitkiler ya da mikroorganizmalar yerine fiziksel süreçlerin oynadığını,
- 3- Nitrat gideriminin her iki sulak alanda da yaklaşık olarak eşit olmasından dolayı denitrifikasyonun baskın mekanizma olduğunu ve sucul bitkilerden bağımsız da yürüyebildiğini,
- 4- Yaz mevsiminin fosfor gideriminde daha etkili olmasının dışında mevsimlerin kirleticilerin gideriminde farklılık yaratmadığını belirlemişlerdir.

Bunun yanında, hasat edilmiş biyokütlenin (*Typha latifolia*) termokimyasal proseslerde yakıt malzemesi olarak kullanılabilecek uygun bir hammadde olduğunu tespit etmişlerdir.

### 2.3. Mevsimsel Etkileri İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar

Kuschk ve ark. (2003) ılıman iklim altında yüzeyaltı yatay akışlı ve pilot ölçekli bir yapay sulak alan sisteminde yıllık azot giderim döngüsünü dört yıllık bir çalışma süresince incelemişlerdir. İlk ve sonbaharda giderim veriminin doğrusal oranda azot yüklemesine bağlı olduğunu, kış ve yaz giderim verimlerinin ise birbirinden çok farklı ve tamamen azot yüklemesinden bağımsız olduğunu belirlemişlerdir. İlkbahardaki giderim oranlarındaki dalgalanmaları, nihayetinde nitrifikasyon verimini belirleyen ( $O_2$  sağlanması yoluyla) bitki-fizyolojisi dinamiklerinden kaynaklanan mevsimsel nedenlere bağlamışlardır. Nitrifikasyonun ise tüm mevsimlerde sıcaklık tarafından kısıtlandığını ve özellikle yaz ortasında bile diğer mevsimsel etkilerle birlikte temmuz ayı rölatif nitrifikasyonunun en düşük değerinde (%32) olduğunu bulmuşlardır. Denitrifikasyonun ise yaz ortasında neredeyse tamamlandığını ve  $15^{\circ}C$ 'nin altındaki mevsimsel sıcaklıklardan etkilendiğini saptamışlardır.

Al-Omari ve Fayyad (2003) Evsel atıksuların Ürdün'de yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlarla arıtılmasının performansı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar yüzeyaltı akışlı sistemlerin, BOİ'yi, azotun çeşitli formlarını, AKM'yi ve fekal koliformları giderecek kapasitede olduğu yönünde olmuştur. Ancak giderim verimlerinin yataktan yatağa ve aydan aya değiştiğini bulmuşlardır. Sonuçlar, BOİ giderimiyle BOİ yüklemesi arasında güçlü bir bağ olduğunu göstermiştir. Toplam azot, amonyak azotu ve nitrat azotu reaksiyonlarını incelemişlerdir. Yataklarda nitrifikasyonun ve denitrifikasyonun gerçekleştiğini saptamışlardır. AKM içinse giderimin yataktan yatağa ve aynı yatak için aydan aya değiştiğini bulmuşlardır. Fekal koliformlarda, giriş suyundaki miktarın yüksek olmasından dolayı  $1/3$  log giderim gözlemişlerdir.

Dunne ve ark. (2004) İrlanda Wexford'ta mandıra atıksularını arıtmaya yönelik bir yapay sulak alan modeli kurmuşlardır. Yaptıkları çalışmada, (i) mandıra

atıksuyunun niceliğini ve niteliğini ve (ii) yapay sulak alanın mevsimsel olarak bu atıksuyu arıtmadaki etkinliğini belirlemeye çalışmışlardır. Sulak alan sistemi 4.800 m<sup>2</sup> alana kurulmuştur ve 2031 m<sup>2</sup>'lik açık alandaki 42 mandıra biriminin günlük atıklarını arıtmaktadır. Sulak alana giren su miktarının yalnızca %27'si mandıra atıksularından oluşmaktadır. Diğer %45 ve %28'lik kısımlar sırasıyla yağış ve sızıntı sularından ibarettir. Mandıra atıksuyunun niceliğinin ve niteliğinin mevsimsel olarak değişmediğini saptamışlardır. Fosforun sulak alanda gideriminin mevsimsel olarak değiştiğini (% 5–84) ve kışları çok az giderildiğini bulmuşlardır. Atıksuyun içeriğine baktıklarında BOİ, AKM, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ve çözülebilir reaktif fosforun önemli bir miktarda olduğunu belirlemişler ve ancak bu değerleri göz önüne alarak yapılan sulak alanların bu iş için uygun olabileceğini belirtmişlerdir.

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

#### 2.4. Sistem Parametrelerini İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar

Ayaz ve Akça (2001) doğal arıtma üzerine biri sürekli diğeri kesikli olan iki farklı sistemle farklı yükleme koşullarını değerlendirdikleri bir yıl süren bir çalışma yapmışlardır. Sürekli debiyle çalışan pilot tesis birbirine seri bağlı iki tanktan oluşmuştur. Atıksuyun sürekli devridaim ettiği tanklar dolgu maddesiyle doldurulmuş ve bitki olarak da *Cyperus* kullanılmıştır. Kesikli çalışan sistemler ise yüzey alanı 1 m<sup>2</sup> olan birbirine seri bağlı 12 adet tanktan oluşmuştur. Bu tankların 7 tanesi *Phragmites*, *Cyperus*, *Rush*, *Iris*, *Lolium*, *Canna*, ve *Paspalum* ile bitkilendirilmiş ve diğer 5 tanesi bitkisiz bırakılmıştır. Yaptıkları çalışma sonucunda

sırasıyla KOİ ve amonyak azotu için en iyi giderim verimlerini *Iris* ve *Cana* bitkisinin verdiğini belirlemişlerdir. Diğer parametreler içinse (TOK, AKM, KOİ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ) bitkili ve bitkisiz reaktörlerde çok belirgin farklılıklar olmadığını tespit etmişlerdir.

Koskiahö (2003), Güney Finlandiya’da tarım havzasında bulunan iki yapay sulak alanın hidrolik özelliklerini iki boyutlu hidrodinamik ve su kalitesi taşınım modelleriyle çalışmıştır. Farklı tasarım seçeneklerinin etkilerini belirlemek amacıyla varolan ve hipotetik giderim verimlerini belirlemiştir. İki boyutlu sediment taşınım modeliyle sulak alanlardaki sediment giderimlerini simüle etmiştir. Debiyi sulak alan arazisine en uygun şekilde dağıtan perdeler sayesinde hidrolik verimin oldukça arttığını bulmuştur. Ayrıca, uzunlamasına şekle sahip olan sulak alanın daha performanslı, giriş yapısının boyutuna ve şekline bakmaksızın hidrolik veriminin daha yüksek olduğunu saptamıştır. Askıda sediment gideriminde sulak alanın havzaya bağlı alanının önemli bir rol oynadığını belirlemiştir. Havzasının %5 kadarını işgal eden bir sulak alanın taşkın zamanlarında %43–72 arasında AKM giderebildiğini gözlemlemiştir. Ancak %0,5’lik orana sahip diğer sulak alanda giderim % -7–5 arasında kalmıştır. Aynı taşkın olaylarına yönelik yaptığı model simülasyonlar ise çok farklı giderim aralıkları verse de kabul edilebilir değerler arasında kalmıştır.

García ve ark. (2004) kentsel atıksuyu arıtmak için kullanılan yatay akışlı kamış yataklarının devreye alınması sırasındaki kirletici giderim performanslarını incelemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada hidrolik yükleme oranının (HYO), en-boy oranının, filtre yatak ortamının boyutlarının ve su derinliğinin, yatay akışlı kamış yatağının (YAKY) devreye alınması sırasında seçilen kirleticilere olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarını pilot ölçekli ve yaklaşık aynı yüzey alanına sahip olan dört parça havuzdan oluşmuş YAKY olarak yapmışlardır. Sistemi haftalık olarak Mayıs 2001’den Ocak 2002’ye kadar gözlemlemiştir. HYO ve su derinliğinin YAKY’de etken faktör olduğunu bulmuşlardır. 0,27 m derinliğinde olan yatakların KOİ,  $\text{BOI}_5$ , amonyak ve çözünmüş reaktif fosfor (ÇRP) giderimlerinin 0,5 m derinliğindeki yatakların giderimlerinden daha fazla olduğunu

belirlemişlerdir. Sığ yataklardaki yüksek giderim verimini bu yatakların düşük redoks potansiyellerine bağlamışlardır.

Garcia ve ark. (2005) belli başlı bazı dizayn parametrelerinin yüzey altı yatay akışlı sulak alanın giderim verimine olan etkisini incelemişlerdir. Üç yıl sürdürdükleri çalışma süresi boyunca, hidrolik yükleme oranının (HYO), en-boy oranının, dane boyutunun ve su derinliğinin yüzeyaltı yatay akışlı sulak alanlarda seçilen belli kirleticiler üzerindeki giderime olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmayı büyüklükleri yaklaşık olarak birbirine eşit yüzey alana sahip olan dört adet sulak alanda yürütmüşlerdir. Sulak alanların sırasıyla en-boy oranları şöyledir: 1:1, 1,5:1, 2:1 ve 2,5:1. sonuçlar su derinliğinin yüzeyaltı yatay akışlı sulak alanda belirleyici faktör olduğunu göstermiştir. Su derinliğinin 0,27 m olduğu durumda sulak alanın daha fazla BOİ, KOİ, amonyak ve çözünmüş reaktif fosfor (ÇRP) giderdiğini bulmuşlardır. Ancak HYO ile su derinliği arasındaki farkların kıyaslanamayacak kadar az olduğunu ve diğer faktörlere kıyasla en-boy oranının etkisinin önemsiz olduğunu belirlemişlerdir.

Kao ve ark. (2006) pilot ölçekli bir yapay sulak alanda endüstriyel atıksu tasfiyesi üzerine çalışmışlardır. Güney Tayvan'daki bir endüstriyel park alanına kurdukları 4 m × 1 m × 1 m (En × Boy × Derinlik) boyutlarındaki yüzey akışlı sulak alanda endüstrinin atıksu arıtma tesisinin dengeleme tankından aldıkları atıksuyu kullanmışlardır. İlk çalışma olan bitki seçimi çalışmasında birbirinden bağımsız çalışan dört adet sulak alan sistemi kurmuşlar ve her bir sulak alanda farklı bir bitki türü yetiştirmişlerdir. Sırasıyla sulak alanların %40'ını kaplayacak şekilde *Phragmites communis* ve *Typha orientalis* ve yüzer bitki olarak *Pistia stratiotes* (su salatası) ve *Ipomoea aquatica* (su ıspanağı) bitkilerini kullanmışlardır. Yaptıkları altı aylık gözlem bu atıksuya yalnızca *Phragmites communis* bitkisinin dayanabildiğini göstermiştir. Bunun devamında bu bitkiyi kullanarak ikinci bir çalışmaya girişmişler ve bu çalışmada farklı hidrolik bekletme süresi ve yatak malzemesi kullanmışlardır. Sonuçta beş günlük bekletme süresine sahip ve seramik yatak malzemesinin kullanıldığı sulak alanın Tayvan'da şu an geçerli olan endüstriyel atıksuların deşarj standardını sağladığını belirlemişlerdir.



### 2.5. Besin Maddesi Etkilerini İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar

Lin ve ark. (2002), alıcı ortamların ötrifikasyondan korunması ve arıtılmış suyun yeniden kullanılması amacıyla yönelik olarak tarımsal atıksu kullanan yapay sulak alanlardaki nütrient giderimini incelemişlerdir. Yaklaşık sekiz ay boyunca pilot ölçekli birbirine seri bağlanmış serbest su yüzülü (SSS) ve yüzeyaltı akışlı (YAS) arıtma sistemleri işletilmiştir. Çalışma, sistemin başlangıç döneminin incelenmesi ve farklı hidrolik yükleme değerlerinde tarımsal atıksudan inorganik azot ve fosforu giderme performansını değerlendirme amacıyla yürütülmüştür. Sulak alanlar çok hızlı devreye alınma davranışı içerisinde bulunmuşlardır ve elde edilen proses dengeleri sırasıyla şöyle olmuştur: adaptasyon periyodu olmadan YAS sistemde fosfat giderimi başlamıştır, 1 ay sonra YAS sistemde, 2–3 ay sonrada SSS sistemde azot giderimi başlamıştır, 3 aydan sonra ise SSS sistemde fosfat giderimi başlamıştır ve her iki sistemde de 7 ay sonra bitkiyle örtülme tamamlanmıştır. Azot giderim verimlerinin farklı hidrolik yükleme denemelerinden etkilendiğini, Fosfat giderim verimlerinin ise hidrolik yüklemelerle ters oranda olduğunu belirlemişlerdir. Serbest su yüzülü sistem daha çok inorganik azotu giderirken, yüzeyaltı akışlı sistemin serbest su yüzülü ile aynı veya biraz daha fazla oranda fosfor giderdiğini tespit etmişlerdir. Amonyum ve nitritin gideriminin balıklara herhangi bir zarar vermeden su kültürü ortamında tekrar kullanılacak kadar yeterli olduğunu belirlemişlerdir.

Koskiahho ve ark. (2003) tarımsal nütrientlerin kuzey yarımküre ikliminde yapay sulak alanlarla giderimine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bunun için; askıda katı maddeyi (AKM), toplam fosforu (TP), çözülmüş reaktif fosforu (ÇRP), toplam azotu (TN), nitrit + nitrat azotunu ( $\text{NO}_x\text{-N}$ ) ve amonyum azotunu ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) Güney Finlandiya’da kurulu üç ayrı sulak alanda 15–26 ay boyunca gözlemlemişlerdir. Yıllık giderimleri AKM için % -5–72, TP için % -6–67, ÇRP için % -33–33, TN için % -7–40,  $\text{NO}_x\text{-N}$  için % -8–38 ve  $\text{NH}_4\text{-N}$  için % -50–57 olarak bulmuşlardır. Yıllık 25 kg/ha TP ve 300 kg/ha TN giderimiyle en iyi performansı en uzun bekletme süresine sahip olan yapay sulak alan göstermiştir. Buna karşın en kısa bekletme süreli sulak alanın ise ara sıra çalıştığını ve ÇRP ve  $\text{NO}_x\text{-N}$  için net bir kaynak olduğunu saptamışlardır. Gelişme döneminde giriş yüklemesinin çoğunluğunun

doğrudan çıkışa taşındığını ve vejetasyonun çok kısıtlı bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Wörman ve Kronnäs (2005), İsveç Nynäshamn'daki Alhagen sulak alanında havuz şeklinin ve heterojen vejetasyonun yapay sulak alandaki akışa ve arıtma verimine olan etkisini incelemişlerdir. Buna yönelik olarak yapay sulak alandaki azotun bütün dönüşümlerini gösteren bir model oluşturmuşlardır. Çıkış suyundaki azot, bekletme süresinin olasılık yoğunluk fonksiyonuyla, bekletme süresince birinci dereceden reaksiyon kinetiğine göre toplam azotun suda zamanla giderilme oranının kimyasal transformasyon fonksiyonu arasında bir bağ kurularak modellenmiştir. Vejetasyondaki heterojenlik bekletme süresinin değişimini artırdığından dolayı çıkış suyundaki azot konsantrasyonunu da artırmıştır. Alhagen'den elde edilen veri ve kurulan teoriye göre bekletme süresi olasılık yoğunluk fonksiyonunun, su için arıtmada çok önemli bir etkiye sahip olduğunu ve özellikle, en-boy oranının aktif su hacmine ve arıtma verimine önemli derecede etki ettiğini belirlemişlerdir.

Heo ve ark. (2005), yapay sulak alanlarda, fosfor gideriminin uzun ömürlü olması için seçilebilecek filtre ortamıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. En uygun şartları gözlemlene açısından çeşitli filtre ortamlarının tip ve boyutlarıyla fosfor adsorpsiyon kapasiteleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yapay sulak alanın P adsorpsiyon kapasitesinin artımının ömrü üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma filtre ortamının boyutunun küçülmesiyle adsorpsiyonun arttığını göstermiştir. Çalışılan filtre ortamlarının içinde en uygun olanı 0,1–2 mm'lik boyuta sahip olan filtre ortamı olarak belirlemişlerdir.

## 2.6. Mikroorganizma Etkilerini İncelemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar

Liang ve ark. (2004), bir yapay sulak alan sisteminde substrat mikroorganizmalarının rolünü ve atıksu arıtımında üreaz aktivitesini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çin'in Wuhan bölgesinde kirlenmiş nehir suyunun arıtılma verimini gözlemlenmek amacıyla dikey/ters dikey akışlı yapay sulak alan inşa etmişlerdir. Sulak alan substratındaki üreaz aktivitelerinin ve substrat mikroorganizmalarının sayısını, tabaka sayımı ve kolorimetrik analiz ile belirlemişlerdir. Sulak alanın BOİ, KOİ, TP, TKN ve AKM giderim verimlerinin

taayinini Çevre Koruma Örgütü (EPA) yöntemleriyle yapmışlardır. Substrattaki mikroorganizma sayısıyla TKN ve KOİ giderim oranları arasında pozitif korelasyon bulmuşlardır. Üreaz aktiviteleriyle TKN giderimi arasında dikkate değer bir pozitif korelasyon varken, üreaz aktiviteleriyle BOİ giderimi arasında negatif korelasyon olduğunu saptamışlardır. Substrat mikroorganizmalarının ve üreaz aktivitelerinin arıtma prosesi boyunca anahtar rol oynadığını ve bunlardan yapay sulak alanların arıtma performansını gösteren indikatörler olarak faydalanılabileceğini belirtmişlerdir.

Perkins ve ark. (2004), yapay sulak alanlardaki alıkonma süresinin mevsimsel değişimini incelemek için mikrobiyal izciler kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Biyoizci olarak coliphage MS2, *Enterobacter cloacae* bakteriyofajı ve antibiyotik dayanımlı *Bacillus globigii* endosporu kullanmışlardır. Kışın yüksek akışlı (Ocak 2002) ve yazın düşük akışlı (Haziran 2002) olacak şekilde iki ayrı test yürütmüşlerdir. Bu üç biyoizciyi iki farklı zaman için eş zamanlı olarak değerlendirmişlerdir. Kış testinde atıksu alıkonmasını %90 faj izci geri kazanımında 2–4 saat olarak hesaplamışlardır. Yaz testinde atıksu alıkonmasını %90 faj izci geri kazanımında 11–18 saat olarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak, sulak alanlarda bakteriyofajların izci ajanlar olma potansiyellerinin umut verici düzeyde olduğunu saptamışlardır.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Araştırma Yeri

Araştırma alanı Adana'nın Yüreğir ilçesinde bulunan ve Köy Hizmetleri Adana İl Müdürlüğüne yeni uygulamaya başlanan “Doğal Arıtma” projesi kapsamında pilot köylerden biri olarak seçilen Yeniyayla Köyüdür. 250 haneye sahip olan köy 2000 yılı nüfus sayımına göre 850 kişidir. Köyün kanalizasyon projesi 1992 yılında yapılmış olup şebeke inşaatı 1994–1996 yıllarında foseptik inşaatı ile birlikte tamamlanmıştır. Köyde yaklaşık 1500 kişi kapasiteli bir adet foseptik bulunmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sulak alan öncesindeki dört gözlü foseptik

(A)



(B)



(C)



(A) İnşa hali (B) Tamamlanmış hali (C)Günümüzdeki hali

Şekil 3.2 Yeniyayla Köyü sulak alanından çeşitli resimler

### 3.2. Sulak Alanın Özellikleri

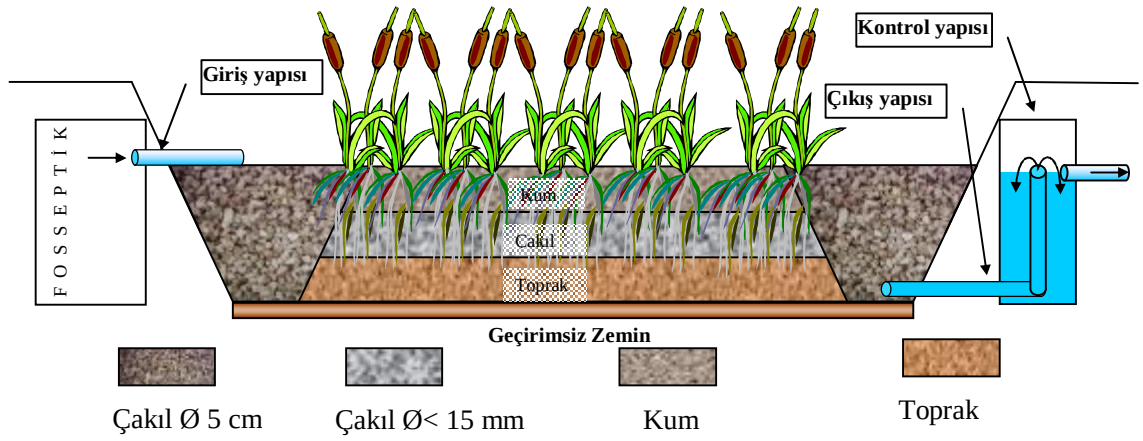
Yeniyayla'da sonradan betonarme yapıya çevrilerek güçlendirilen ve sızdırmaz hale getirilen mevcut foseptiğin devamına İl Müdürlüğünce kişi başına yaklaşık olarak 0,5 m<sup>2</sup> yüzey alanı düşmesi için 400 m<sup>2</sup> yüzey alana sahip, 10 m eninde ve 40 m boyunda bir yapay sulak alan kurulmuştur (Şekil 3.2). Yapay sulak alanın inşası 2004 yılının Mayıs ayında tamamlanmış ve sistem devreye alınmıştır. Sulak alan tek hücrelidir ve köklü bitkilerin kullanıldığı, koku ve sivrisinek gibi problemlerin daha az olduğu yüzeyaltı akışlı sistemdir (YAS). Kazı alanının yaklaşık olarak %40 sızdırmazlığını sağlamak için yatak zemini ve şevler killi malzeme ile sıkıştırılmıştır (Şekil 3.3). Kazı alanından çıkan toprak yağmur sularına karşı sedde yapımında kullanılmıştır. Trapez kesite sahip olan yatağın şev açısı yaklaşık 30°'dir. Yapay sulak alanda yatak derinliği 0,6 m olarak belirlenmiştir. Giriş ve çıkış yapıları için 5 cm çapında çakıl malzeme seçilmiştir. Bitkilerin yetiştirileceği filtre ortamı için ise üç katman oluşturulmuştur. Bu katmanlar çakıl (<15 mm), kum ve bitki toprağından teşkil edilmiştir. En alt katman olarak bölgeden temin edilen toprak malzeme kullanılmıştır. Toprak katmanının derinliği 30 cm olarak belirlenmiştir. Bunun üzerine bitki kök gelişimi ve filtrasyon için 40 cm derinliğinde çakıl malzeme serilmiştir. Hidrolik iletkenliğin 480 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/gün ve porozitenin %39 olması için en üst katman olarak 30 cm derinliğinde kuvars kumu kullanılmıştır. Dane çapı 5 cm olan çakıl malzemedan oluşmuş giriş ve çıkış yapısının içine atıksuyu dağıtmak ve toplamak için 160 mm çaplı dren-fleks borular döşenmiştir (Şekil 3.4).

Sulak alan yalnızca evsel atık suya maruz kalmakta ve değerleri Bulgular başlığındaki ilk tabloda verilen (Çizelge 4.1) atıksuyun tasfiyesini yapmaktadır. Sulak alana gelen atıksu ön arıtım olarak foseptikten geçmektedir ve ne foseptiğe girişte ne de sulak alana girişte atıksudaki kaba taneli maddeleri ayıracak herhangi bir ızgara sistemi bulunmamaktadır. Bütün sistem cazibeli olarak çalıştığı için herhangi bir pompaja gerek duyulmamıştır. 240 m<sup>3</sup> toplam hacme sahip olan sulak alanın hidrolik bekletme süresi (HBS) yaklaşık olarak 2 gündür. Sulak alanın çıkışında herhangi bir kontrol yapısı olmadığı için HBS yalnızca sisteme giren atıksu debisiyle değişmektedir.

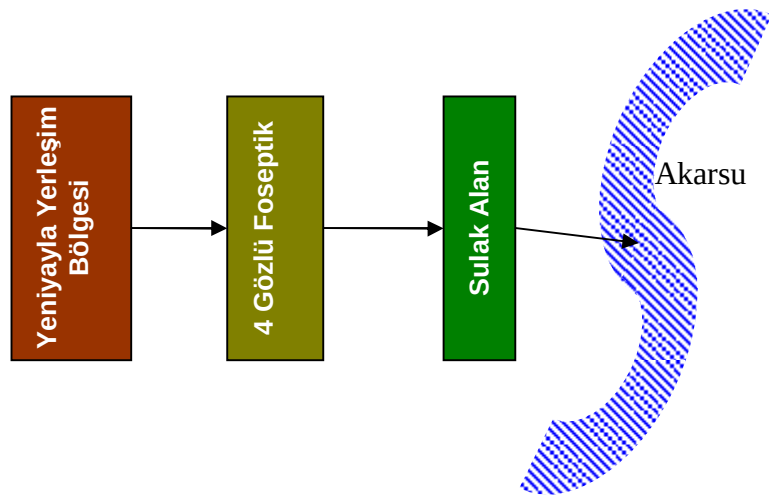




Şekil 3.3 Sulak alanın şevi, kil dokusu ve kullanılan çakıl malzeme



Şekil 3.4.Yapay sulak alan kesit görünüşü



Şekil 3.5.Atıksu akım diyagramı

### 3.3. Kullanılan Bitkiler

Sulak alan dizaynında kullanılacak bitkinin kolaylıkla bulunabilir ve 0°C'nin altındaki koşulları tolere edebilecek bir yapıya sahip olması gerekir. Bitki seçiminde etki edecek faktör; serbest yüzeyli sistemler için suyun optimum derinliği ve yüzeyaltı akışlı sistemler için de rizomların ve köklerin derinliğidir. Bu verilerin ışığında Yeniyayla'da kullanılan köklü bitkiler civardan kolaylıkla temin edilebilen; Hasırotu (Büyük sukamışı; *Typha latifolia*) ve Kana (Benekli hintkamışı; *Canna indica*) bitkileri olmuştur.

#### 3.3.1. Hasır Otu (*Typha latifolia*)

Familyası *Typhaceae*'dir. Tropik ve ılıman bölgelerde yaygın olarak yetişen dayanıklı 20'den fazla türe sahip olan ve 30–200 cm boylanabilen çok yıllık rizomlu bir cinstir. Dik yapılı, küme formu olan bu cinste yapraklar ince uzun mızrak şeklindedir.



Şekil 3.6 Hasır otu bitkisi



### 3.3.2. Kana Çiçeği (*Canna*)

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



Şekil 3.7 *Canna indica* (Kana Çiçeği)

### 3.4. Metot

Çukurova Bölgesinde yapay sulak alan teknolojisinin kırsal alanda kullanımına ilişkin olarak Köy Hizmetleri Adana İl Müdürlüğünce Yeniyayla Köyüne kurulan sulak alanın yaz dönemi boyunca BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, pH ve EC değerlerine bakılarak performansı incelenmiştir.

Çukurova Bölgesi iklimi itibariyle yazları kurak geçiren bir bölgedir. Yılın 195,6 günü yazdır, en sıcak ay 28°C ortalama ile Ağustos ayıdır ve en az yağış 4–6 mm ile yine bu ayda görülmektedir. Yazın yağışın en az seviyede olması çalışmanın yapıldığı bölgede atıksuyun olduğu gibi kaldığını ve atıksuya yağmur suyunun karışmadığını ya da en az seviyede karıştığını göstermektedir. Yaz aylarında sulak alan bitkileri oldukça aktif bir şekilde gelişim göstermektedirler (Pinney ve ark., 2000, Hill ve Payton, 2000). Bu da sedimantasyonu, bitki alımını artırdığından ve mikroorganizmalar için tutunacak daha fazla alan sağlayıp mikrobiyal aktiviteyi teşvik ettiğinden dolayı yapay sulak alanın performansını olumlu bir şekilde etkilemektedir (Brix, 1997, EPA, 2000).

Yeni işletmeye alınan yapay sulak alanlarda yataktaki mikroorganizma kütlelerinin gelişimi 3–6 ay kadar vakit almaktadır (EPA, 2000). Yeniyayla yapay sulak alanı ise 2005 yılı itibariyle çalışmaya başlayalı yaklaşık 1 yıl olmuştur ve bu süre içerisinde sulak alanda yeterli mikroorganizma gelişimi ve vejetasyon sağlanmış bulunmaktadır. Ayrıca, Yeniyayla'daki bu yapay sulak alan pilot tesis olduğundan yaklaşık 1 yıllık bir gözlem sonucunda gösterdiği performansa göre Çukurova Bölgesinde yapılması planlanan diğer sulak alanların uygulamalarına geçilecektir.

Bütün bu nedenlerden dolayı bu tez çalışmasının 2005 yılı Haziran ayının ortasından başlayarak yine aynı yılın Ağustos ayının ortasına kadar on haftalık bir dönem boyunca yürütülmesine karar verilmiştir. Bu çalışma sonucunda toplam 20 numune alınmıştır. Bu numunelerin 10 tanesi foseptik çıkışı–sulak alan girişi ve diğer 10 tanesi de sulak alanın deşarj noktasından alınarak gerekli analizleri yapılmıştır.

#### 3.4.1. Atıksu Örneklemesi

2005 Haziran ayının ortasından başlayarak 2005 Ağustos ayının ortasına kadar on haftalık bir dönem boyunca sulak alanın giriş ve çıkış suyundan haftada bir numune alınmıştır. Deney süresi boyunca numuneler mesafeden dolayı en geç 1 saat içerisinde laboratuara getirilmiş pH ve EC ölçümleri yapıldıktan sonra analizler yapılana kadar polietilen şişelerde ve +4°C sıcaklıkta saklanmıştır. Numuneler, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliğine uygun

olarak alınmış ve yine aynı tebliğe uygun olarak Çukurova Üniversitesi Çevre Kimyası Laboratuvarında analiz edilmiştir (SKKY, 1988).

### 3.4.2. BOİ Analizleri

Çalışma süresi boyunca aralıklarla gözlenen BOİ<sub>5</sub> Velp Scientifica BOD System model analiz seti ile ölçülmüştür. Bu sistem kapalı ortamda basınç değişimini takip ederek BOİ<sub>5</sub> ölçümünü gerçekleştirmektedir. Numune gerekli ön işlemlerden sonra koyu renkli cam şişeye konur, şişe ağzındaki plastik yuvaya ortamdaki CO<sub>2</sub>'yi absorbe eden KOH konularak basınç değişiminin yalnızca O<sub>2</sub> miktarına bağlanması sağlanır. Şişenin LED göstergeye sahip kapağı sızdırmaz şekilde kapatıldıktan sonra ölçümlerin başlaması için göstergede gerekli ayarlar yapılır. Beş gün boyunca 20°C'deki soğutuculu inkübatörde kalan şişelerin gerekli ölçümleri elektronik donanımlı kapak tarafından 24 saatte bir yapılarak hafızaya alınır (APHA, AWWA, 1995).

### 3.4.3. KOİ Analizleri

KOİ deneyi titrimetrik olarak 10–2 hassasiyetinde Brand Bürette Digital III model büret kullanılarak yapılmıştır ve deneyin yapılışı şöyledir; Numune kabından pipetle 2ml örnek tüp içine alınır. 0,75 N 0,5 ml K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ve 1,5 ml AgSO<sub>4</sub> katılmış H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilave edilir. Girişimleri engellemek için spatül ucuyla HgSO<sub>4</sub> tüpe katılır. KOİ deneyinde, deneyde kullanılan araç ve gereçlerden gelebilecek ve çevreden bulaşabilecek organik maddelerin getireceği hatayı hesaba katmak üzere bir şahit deney beraberinde yürütülür. Şahit deney numune ile aynı koşullarda ancak numune yerine saf su kullanılarak yapılır. Hazırlanan tüpler yakma reaktörüne konur ve 2 saat sonunda soğumaya alınır. İçlerine ferroin indikatörü ilave edilerek erlene boşaltılır. Mohr tuzu ile titrasyona sokulur ve dönüm noktasında sarfiyatlar hesaplanır (APHA, AWWA, 1995).

#### 3.4.4. AKM Analizleri

AKM ölçümleri Whatman GF/C 40 filtre kâğıdı kullanılarak Standart Metotlara uygun olarak yapılmıştır. Gravimetrik ölçümlerde ise  $2 \times 10^{-4}$  hassasiyete sahip Scaltec SBA 31 model elektronik tartı kullanılmıştır (APHA, AWWA, 1995).

#### 3.4.5. pH ve Elektriksel İletkenlik Analizleri

pH ölçümünün standart tekniği hidrojen elektrodu metodudur. Ancak cam elektrodun girişimlerden daha az etkilenmesi ve hidrojen elektrodunun yaygın kullanım için elverişli olmaması gibi nedenlerle ölçüm çoğunlukla kalomel referans elektroduna karşılık cam elektrotla yapılmaktadır. Sudaki iletkenliği suda erimiş olan asit ve baz tuzları oluşturur. Bir çözeltiden elektrik akımının geçmesi o çözeltideki iyonların hareketi ile sağlanır. Suyun elektriksel iletkenliği, su sıcaklığı ile yakından ilişkili olup sıcaklık artışı ile iletkenlik artmaktadır. Sudaki erimiş tuz miktarı arttıkça da suyun elektrik akımını iletim yeteneği artar. Bütün bu faktörlere bağlı olarak EC ölçümleri kondüktivimetre ile sabit sıcaklıkta yapılmıştır (APHA, AWWA, 1995).

pH ölçümü süspansiyonlarda, kolloidler ve iyon şiddeti yüksek sularda hassas olarak yapılmaktadır. İdeal koşullarda hidrojen aktivitesindeki 10 katlık bir değişme emf değerini 25°C'de 51,16 mV değiştirmektedir. Sıcaklığın pH ölçümü üzerine olan etkisi nedeniyle ölçüm sırasında sıcaklık ayarı yapılması gerekmektedir. pH ölçümleri Hanna Instruments pH 211 model pH metre ile yapılmıştır (APHA, AWWA, 1995).

#### 3.4.6. İklimsel Olarak İzlenen Veriler

İklimsel olarak izlenen veriler, en düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklık, nem oranı ve yağış değerleri olmuştur. Araştırma yeri iklim verileri Davis Instruments firması tarafından üretilen Vantage Pro Plus modeli entegre meteoroloji sistemi kullanan Çukurova Üniversitesi Meteoroloji İstasyonu Servisinden alınmıştır (ÇUKUROVA METEO, 2005).

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

##### 4.1. Sulak Alanın Giriş Suyu Parametreleri

Foseptik çıkışı atıksu debisi yaklaşık olarak  $51\text{m}^3/\text{gün}$ 'dür ve atıksuya hiçbir endüstriyel atıksu karışmamaktadır. Atıksuyun analizleri Adana İl Çevre Müdürlüğüne yapılmış ve bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.1). Yeniyayla köyünün foseptik çıkışı atıksu analiz değerlerine bakıldığında, çıkış suyu  $\text{BOI}_5$ ,  $\text{KOI}$  ve AKM konsantrasyonlarının Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 21.1 (Çizelge 4.2) limit değerleri üzerinde kaldığı, pH değerinin ise deşarj için izin verilen değerler arasında kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.3 ise parametre bazında sistem verimlerini ve buna karşılık beklenen çıkış suyu konsantrasyonlarını vermektedir.  $\text{BOI}_5$ ,  $\text{KOI}$  ve AKM değerlerini deşarj standartlarının altına indirmek için hedeflenen değer  $\text{BOI}_5$  için 40 mg/l seçilmiş ve arıtma tesisinin tasarımı buna göre yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Yeniyayla köyünün foseptik çıkışı atıksu analiz değerleri

| Parametre               | Analiz Sonucu (mg/lt) |
|-------------------------|-----------------------|
| KOI                     | 463                   |
| $\text{BOI}_5$          | 90                    |
| AKM                     | 518                   |
| $\text{TPO}_4\text{-P}$ | 45,4                  |
| TN                      | 98,5                  |
| pH                      | 7,49                  |

Çizelge 4.2 SKKY Tablo 21.1: Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular  
(Sınıf 1: Kirlilik Yüğü Ham  $\text{BOI}$  Olarak 5-60 Kg/Gün Arasında, Nüfus =84-1000)

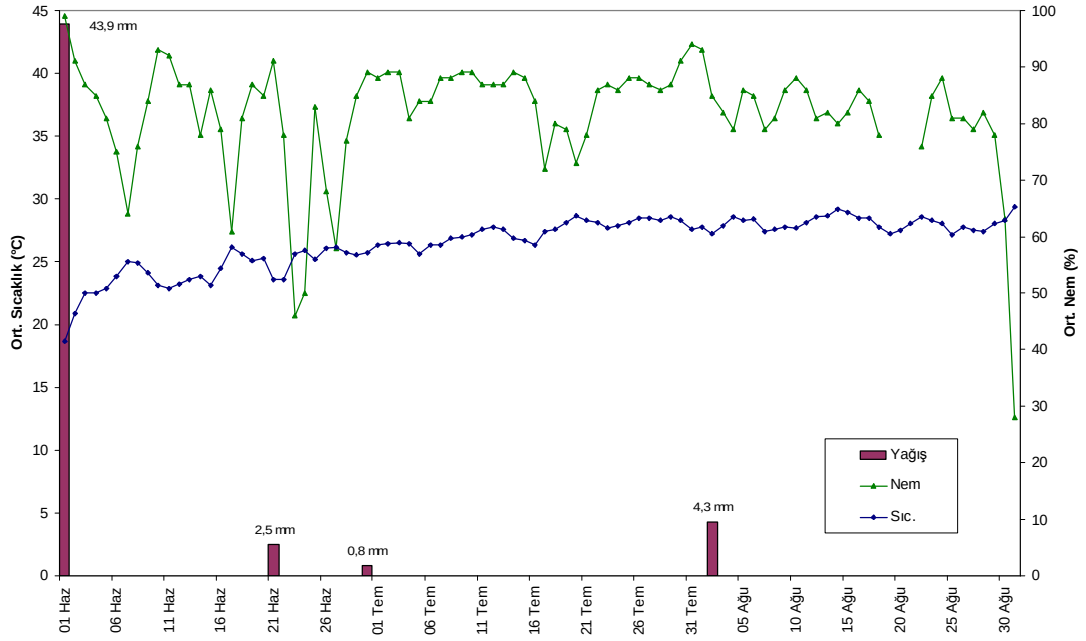
| PARAMETRE                                        | BİRİM  | KOMPOZİT<br>NUMUNE<br>2 SAATLİK | KOMPOZİT<br>NUMUNE<br>24 SAATLİK |
|--------------------------------------------------|--------|---------------------------------|----------------------------------|
| BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI ( $\text{BOI}_5$ ) | (mg/L) | 50                              | 45                               |
| KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOI)                  | (mg/L) | 180                             | 120                              |
| ASKIDA KATI MADDE (AKM)                          | (mg/L) | 70                              | 45                               |
| pH                                               | -      | 6-9                             | 6-9                              |

Çizelge 4.3 Parametre bazında sistem verimleri

| PARAMETERE       | Evsel Atıksu<br>Ort. Kons.<br>(mg/l) | Foseptik Ort.<br>Giderim<br>Verimi ( % ) | Yapay<br>Sulakalan<br>Ort. Giderim<br>(%) | Beklenen Çıkış<br>Suyu Kons.<br>(mg/l) |
|------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| BOİ <sub>5</sub> | 250                                  | 20                                       | 80                                        | 40                                     |
| KOİ              | 350                                  | 20                                       | 70                                        | 84                                     |
| AKM              | 200                                  | 40                                       | 90                                        | 12                                     |
| pH               | 6–9                                  | -                                        | -                                         | 7–7,5                                  |

#### 4.2. İklimsel Şartlar

Çukurova Bölgesinde, 1929–1992 yılları arasındaki iklim sonuçlarına göre; ortalama yıllık sıcaklık 18,7°C, en soğuk ay 9,3°C ile Ocak ayı olup 0°C sıcaklık çok nadir görülür, en sıcak ay 28,0°C ile Ağustos ayıdır. Yılın 195,6 günü yazdır ve yağmurlu gün sayısı 76,4 gündür. Yağış her mevsimde farklı miktarlarda görülmekte ve en çok yağış Ocak, Şubat, Mart aylarında düşmektedir. Ortalama yıllık yağış 648,8 mm olup, en fazla 130,3 mm ile Aralık ayı, en az 4–6 mm ile Ağustos ayında görülmektedir. Bölgedeki yaz kuraklığının nedeni dinamik yüksek basınç alanlarının etkili olması ve bölgenin alçalıcı hava hareketlerinin etkisine girmesinin sonucudur.

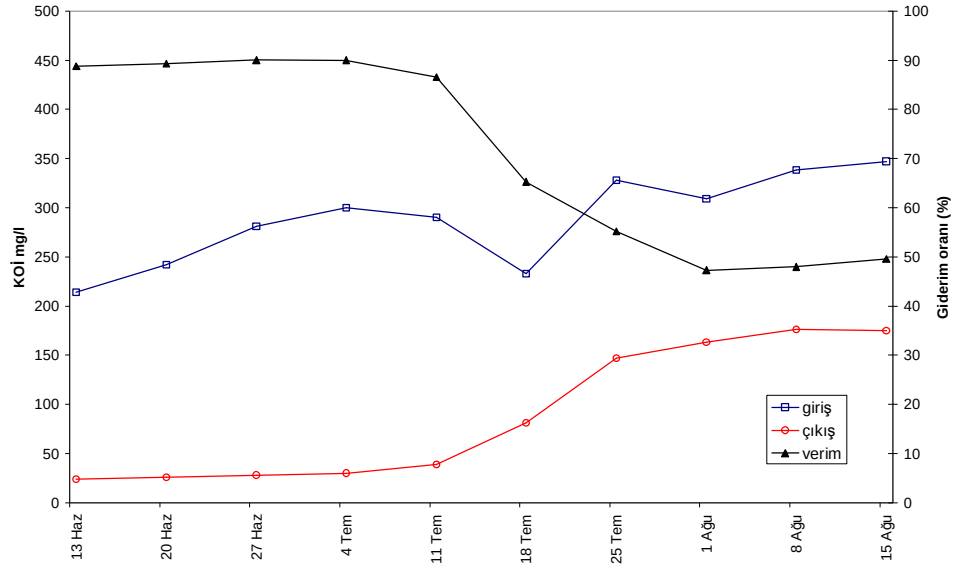


Şekil 4.1. 2005 Yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları günlük ortalama nem, sıcaklık ve yağış verileri (Çukurova Meteo)

Şekil 4.1 çalışmanın yapıldığı aylardaki ortalama nem, sıcaklık ve yağışın günlük olarak değerlerini vermektedir. Havanın en açık olduğu dönem 2005 Temmuz ayı olmuştur ve bölgeye bu ay hiç yağış düşmemiştir.

#### 4.3. Oksijen İhtiyacı Giderimi (KOİ ve BOİ)

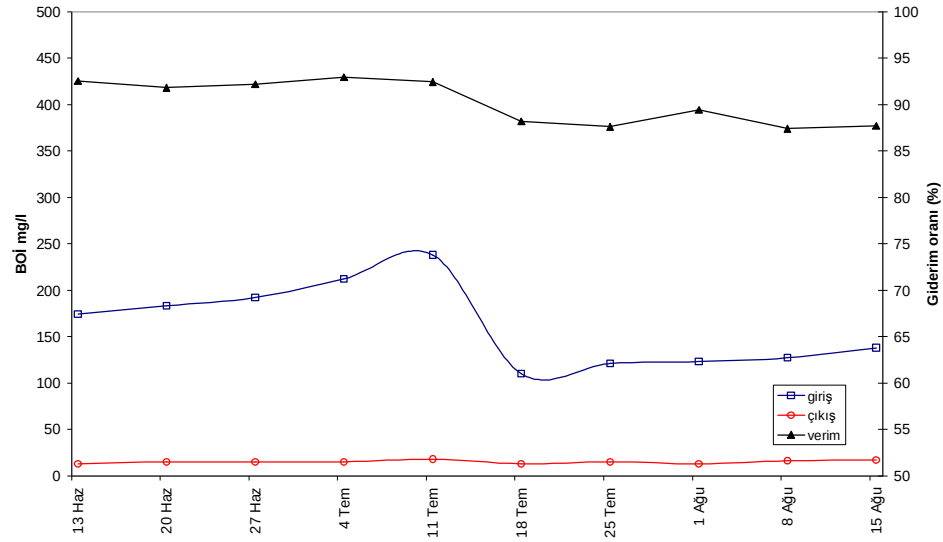
Araştırmanın yapıldığı on haftalık yaz dönemi boyunca sulak alan SKKY’de belirtilen standartları sağlayacak yönde bir çalışma performansı göstermiştir (SKKY, 1988). Sulak alan BOİ giderimine göre tasarlandığı için ve BOİ yüklemesindeki dalgalanmalara sulak alanların daha toleranslı olmasından dolayı (Brix, 1994) sulak alanın BOİ çıkış değerleri standartların altında kalmıştır. Ancak; gerek dönem içerisindeki atıksu değişimlerinden gerekse ara ara sulak alanın giriş yapısının tıkanmasından dolayı çıkış suyunun KOİ değeri Temmuz ayının sonlarından itibaren standartların üstünde kalmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Sulak alanın KOİ konsantrasyonları ve giderim performansı

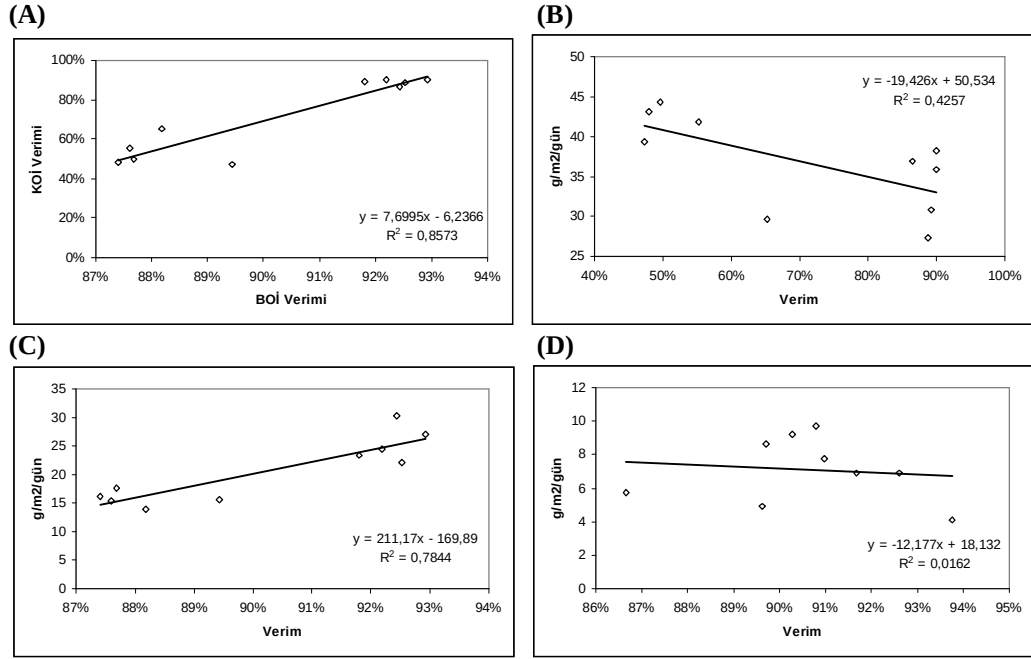
Yapılan analizler sonucunda yapay sulak alanın beklendiği gibi tipik evsel atıksular için oldukça yüksek değerlerde oksijen ihtiyacı giderimi yaptığını görülmüştür (Gómez Cerezo ve ark., 2001, Jenssen ve ark., 1993, Ansola ve ark., 2003, Merlin ve ark., 2002). Oksijen ihtiyacı için ortalama yükleme oranları KOİ için  $36,7 \text{ g/m}^2/\text{gün}$  ve BOİ için  $20,6 \text{ g/m}^2/\text{gün}$  olarak belirlenmiştir. Grafiklerden de görüleceği gibi (Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4) sulak alanda deşarj noktasında  $\pm 68,12$  standart sapmayla en az  $24 \text{ mg/L}$  KOİ çıkış değeriyle ortalama %71 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.  $\pm 1,08$  standart sapmayla en az  $13 \text{ mg/L}$  BOİ çıkış değeriyle de ortalama %91 BOİ giderim verimi elde edilmiştir.





Şekil 4.3. Sulak alanın BOİ konsantrasyonları ve giderim performansı

Sulak alanlardaki BOİ giderimi, sedimantasyonu ve bitki köklerine tutunmuş aerobik bakterilerce gerçekleştirilen mikrobiyal indirgemeyi içeren fiziksel ve biyolojik proseslerce gerçekleştirilmektedir (Ciria ve ark., 2005, Ansolla ve ark., 1995, Tanner ve ark., 1995, Brix, 1997, Naylor ve ark., 2003). Fiziksel ayrıştırma mekanizması ve düşük poroziteli toprak ortamı nedeniyle, organik katılar filtrelenebilir ve sulak alan yatağında uzun süre tutulabilir. Bu da biyolojik indirgemenin kolaylıkla yürümesi için organik maddelerin daha iyi hidrolizini sağlamaktadır. Düşük poroziteli yatak ortamından dolayı, organik biyoindirgemenin anaerobik yollardan gerçekleşmesini sağlayan anoksik şartlar kolaylıkla sulak alan yatağında devreye girer ve bu sayede oksijen sağlanmasından kaynaklanan engellemelerin önüne geçilir. Bu mekanizmalar sayesinde sulak alanlar oldukça üstün bir KOİ ve BOİ giderimi sağlar (Song ve ark., 2006). *Thypha latifolia* gibi sucül bitkilerin varlığı sulak alanların KOİ giderim performanslarını artırmamaktadır. Bu da bu parametrenin gideriminde biyolojik proseslerden ziyade fiziksel proseslerin (sedimantasyon ve filtrasyon) esas rolü oynadığını göstermektedir (Manios ve ark., 2003). Nihai oksijen ihtiyacına göre Tchobanoglous ve Burton (1991) yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlar için en fazla BOİ yükleme oranını  $13,3 \text{ g/m}^2/\text{gün}$  olarak önermiştir.



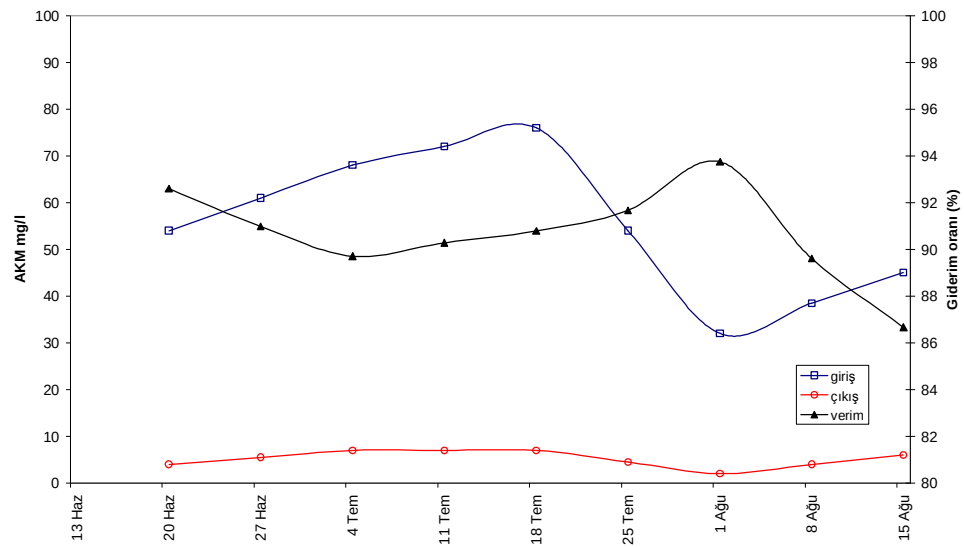
Şekil 4.4. Sulak alandaki yükleme oranlarına karşılık giderim verimleri

#### 4.4. Askıda Katı Madde Giderimi (AKM)

Her ne kadar hidrolik bekletme süresi AKM gideriminde önemli bir rol oynasa da KOİ gideriminde olduğu gibi AKM gideriminde de asıl giderim mekanizması bitkilere veya mikroorganizmalara bağlı biyolojik proseslerden çok sedimentasyon ve filtrasyon gibi fiziksel proseslerle sağlanmaktadır (Kadlec ve Knight, 1996, Lee ve ark., 2004). Giderimin etkinliğini bitkilerle yatak ortamının temas alanı etkilerken (Kadlec ve Knight, 1996), giderim oranını yapay sulak alanın en/boy oranı etkilememektedir (EPA, 2000). AKM giderimiyle BOİ giderimleri birbirine benzer desenler sergilemektedir. Bu nedenle özellikle BOİ giderimi için tasarlanan sistemlerde BOİ giderimiyle kıyaslanabilen bir AKM giderimi de meydana gelmektedir (Reed, 1993).

Yapısı itibarıyla Yeniyayla'daki atıksu çok yüksek konsantrasyonda askıda katı içermemektedir. Bu nedenden dolayı hem giriş suyunun hem de çıkış suyunun AKM konsantrasyonları standartların altında kalmıştır (Şekil 4.5). Buna rağmen sistemde zaman zaman tıkanmalar görülmektedir. Bu tıkanmalara ise sebep olarak,

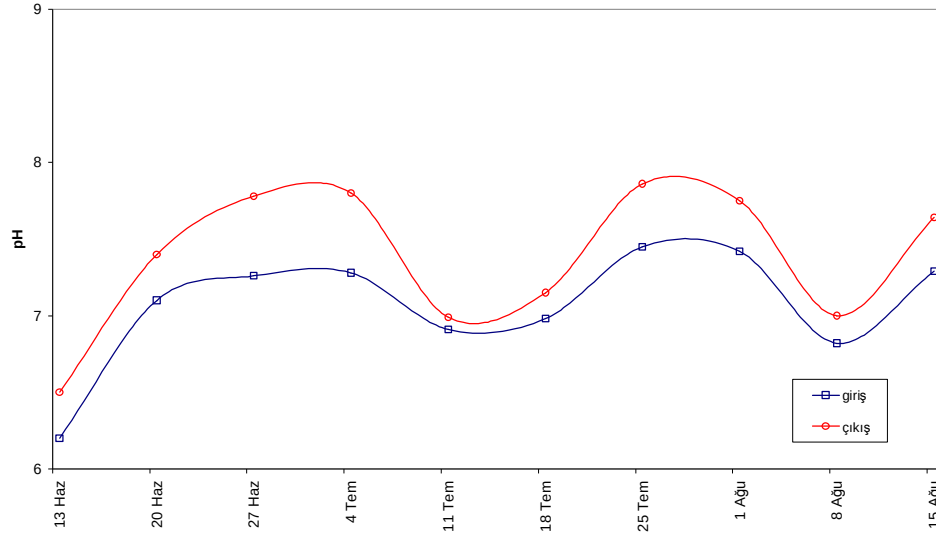
sulak alanın giriş yapısını oluşturan kaba çakılın yeterince yıkanmamış olması, boyutunun gerekenden küçük seçilmiş olması gösterilebilir. Bölgenin tarım alanı olması ve sürekli değişen karakterde atıksuya sahip olmasına karşın, sudaki kaba partikülleri tutmak için ne foseptikten önce ne de sulak alandan önce bir ızgara yapısı konulmamıştır. Bunun sonucu olarak foseptiği aşan bütün kaba partiküller (anız yakma dönemindeki küller v.b) doğrudan sulak alana girmekte ve giriş yapısının hızla tıkanmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.5. Sulak alanın AKM konsantrasyonları ve giderim performansı

#### 4.5. pH ve Elektriksel İletkenlik

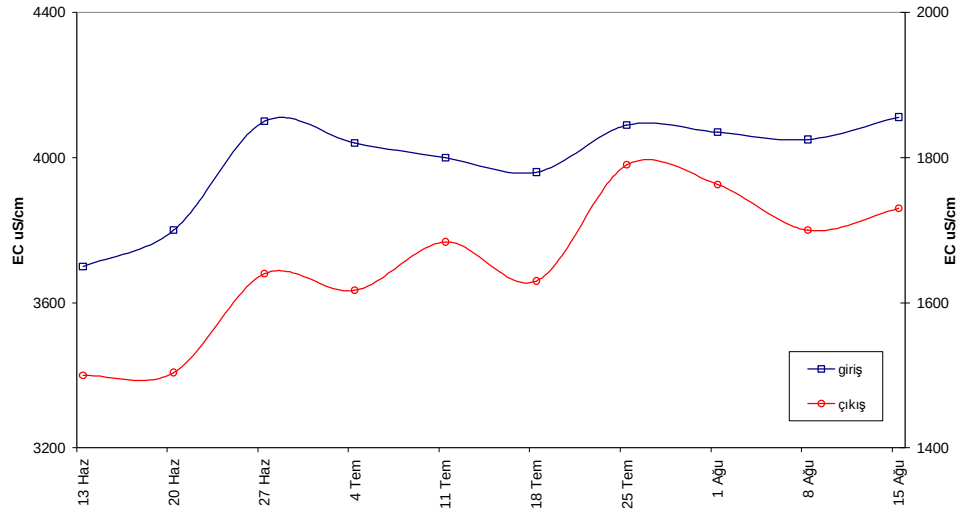
Bölgenin 2000 yılı nüfus sayımına göre 850 kişi olan nüfusuna karşın 1500 kişilik foseptiğe sahip olması atıksuyun yeterince beklemesine ve pH açısından dengelenmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle araştırma süresi boyunca yapılan giriş ve çıkış pH ölçümlerinin SKKY'de belirtilen limit değerler arasında kaldığı saptanmıştır (SKKY, 1988).



Şekil 4.6. Sulak alanın pH değerleri

pH değerleri çıkış suyu için çalışma süresi boyunca 6,5–7,9 arasında kalmıştır (Şekil 4.6). Besin maddelerinin bakteriyolojik gideriminde, nitrifikasyon için 6,6 üzerinde pH değeri ve denitrifikasyon içinde 6,5–9,5 arasında pH değeri idealdir (Cossu ve ark., 2001). Toprak pH'sı 6,5–8,5 arasında olmalıdır. Çünkü toprak pH'sı ağır metallerin ve besin maddelerinin alınımını ve tutulumunu etkiler.

Toprağın EC değeri bitkilerin ve mikroorganizmaların sulak alana giren atıksuyu işlemelerini etkiler. 4 mmho/cm'den daha az EC değerine sahip toprak en iyi gelişme ortamını sağlar (SCS, 1992).



Şekil 4.7. Sulak alanın EC değerleri

Elektriksel iletkenlik ise çalışma süresi boyunca hem giriş suyunu hem çıkış suyunu artış eğiliminde olmuştur. Sulak alanın deşarj suyunu iletkenlik değerleri 1500–1800 uS/cm arasında değişmiştir (Şekil 4.7). Elektriksel iletkenliğin sıcaklık, çözünmüş oksijen ve redoks potansiyeli tarafından etkilendiği bilinmektedir (Scholz 2003). Ancak elektriksel iletkenlikle ilgili tam yargıya varabilmek için suyun Alkalinite, Toplam Çözünmüş Katı ve klorür değerlerini de bilmek gerekmektedir.

#### 4.6. Sulak Alanın Teorik Hesabı

Yeniyayla'daki sulak alan sistemi ilk kez Kickuth (1977) tarafından ortaya konulan ve yüzeyaltı akışlı sistemlerin tasarımında oldukça fazla kullanılan bir yöntemle tasarlanmıştır. Bu yöntem ilk kez ortaya atıldığında  $K_{BOI}$  parametresiyle ilgili oldukça fazla tartışma yaratmıştır. Bu tartışmalardan sonra Kickuth tarafından  $K_{BOI}$  için 0,19 m/gün değeri ortaya konmuştur. Ancak bu değerde daha küçük yüzey alanı vermesinden ötürü verim kalitesinin düşmesine sebep olmuştur (Vymazal, 2005). Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar  $K_{BOI}$  değerinin genellikle küçük bir değer olduğunu göstermiştir. Schierup ve ark. (1990) Danimarka'daki 49 sistem için ortalama 0,083 m/gün değerini belirlemişlerdir. Cooper (1990) İngiltere'de 0,067–0,1 m/gün arasında değişen değerler bildirmiştir. Teoride bu değerlerin bir sabit olması

gerekirken (Brix, 1998) hidrolik yükleme oranı ve BOİ yükleme oranıyla değiştiği saptanmıştır. Günümüzde ise çalışan birçok sistemde yapılan çalışmalar sonucu 0,1 m/gün (36,5 m/yıl) değeri yeterli görülmektedir (Cooper ve ark., 1996). Bu da yaklaşık olarak kişi başına 5 m<sup>2</sup> yüzey alanına tekabül etmektedir. Bu alan değeri BOİ ve AKM için yeterli olsa da Azot ve Fosfor giderimi için yeterince etkili olamamaktadır (Vymazal, 2005).

Kickuth yöntemine göre Yeniyayla'daki sulak alanın boyutlandırması şu şekilde yapılmıştır:

$$A_y = \frac{q_o (\ln C_g - \ln C_\phi)}{K_{BOI}} \quad (4.1)$$

$A_y$ : Kişi başına düşen yüzey alanı

(m<sup>2</sup>/kişi)

$q_o$ : Ortalama debi (m<sup>3</sup>/kişi/gün)

$C_g$ : Giriş suyu BOİ değeri (mg/l)

$C_\phi$ : Çıkış suyu BOİ değeri (mg/l)

$K_{BOI}$ : Oran sabiti (m/gün)

$$A_y = \frac{q_o (\ln C_g - \ln C_\phi)}{K_{BOI}} \quad \text{è} \quad A_y = \frac{0,06 (\ln 90 - \ln 40)}{0,12} = 0,5 \text{ m}^2/\text{kişi}$$

Kişi başına tüketilen ortalama su miktarı ( $q_o$ ) 0,06 m<sup>3</sup>/kişi/gün olarak kabul edilmiştir. Toplam yüzey alanı = 0,5 m<sup>2</sup>/kişi × 850 kişi = 425 m<sup>2</sup> Yatak derinliği 0,6 m olarak seçilmiştir. Yatak en:boy oranı 1:4 olarak seçilmiş ve en = 10 m, boy = 40 m olarak belirlenmiş, toplam yatak hacmi ise 240 m<sup>3</sup> olarak (10 m × 40 m × 0,6 m) bulunmuştur. Çizelge 4.4 sulak alanın tasarımında kullanılan parametreleri vermektedir.

BOİ Yükleme Hızı:

$$\frac{C_g}{A_y} \times Q \quad (4.2)$$

$$\frac{C_g}{A_y} \times Q = \frac{0,09Kg / m^3}{400m^2} \times 51m^3 / gün = 0,0115Kg/m^2 / gün = 115Kg / ha / gün$$

Hidrolik Yükleme Hızı:

$$\frac{Q}{A_y} = \frac{51m^3 / gün}{400m^2} = 0,13m^3/m^2 / gün \quad (4.3)$$

Spesifik Alan Gereksinimi:

$$\frac{A_y}{Q} = \frac{400m^2}{51m^3 / gün} \cong 8m^2/m^3 / gün \quad (4.4)$$

Hidrolik Bekletme Süresi:

$$\frac{V_{ysa} \times h}{Q} = \frac{240m^3 \times \%39}{51m^3 / gün} = 1,84gün \quad (4.5)$$

Çizelge 4.4 Sulak alanların dizayn parametreleri (Metcalf and Eddy, 1991)

| Dizayn Parametresi       | Birimi                              | Sistemin Tipi   |                  |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------------|------------------|
|                          |                                     | Serbest Yüzeyle | Yüzeyaltı Akışlı |
| Hidrolik Bekletme Süresi | Gün                                 | 4–15            | 4–15             |
| Su Derinliği             | m                                   | 0,09–0,61       | 0,30–0,76        |
| BOİ Yükleme Hızı         | Kg/m <sup>2</sup> .gün              | <0,0067         | <0,0067          |
| Hidrolik Yükleme Hızı    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .gün | 0,014–0,047     | 0,014–0,047      |
| Spesifik Alan            | m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> /gün | 71,6–21,4       | 71,6–21,4        |

Bu yöntemin haricinde bugün dünyada oldukça geçerli olan ve yapay sulak alan tasarımı için kullanılan 5 ayrı yöntem daha vardır:

1. Crites & Tchobanoglous
2. USEPA
3. Kadlec & Knight
4. Reed, Crites & Middlebrooks
5. TVA

Bu yöntemler tasarım parametresi olarak yalnızca BOİ değerini değil AKM, Azot ve Fekal koliform gibi parametreleri de kullanmaktadırlar.

Çizelge 4.5 Çeşitli yöntemlere göre Yeniyayla köyü için gerekli sulak alan boyutları

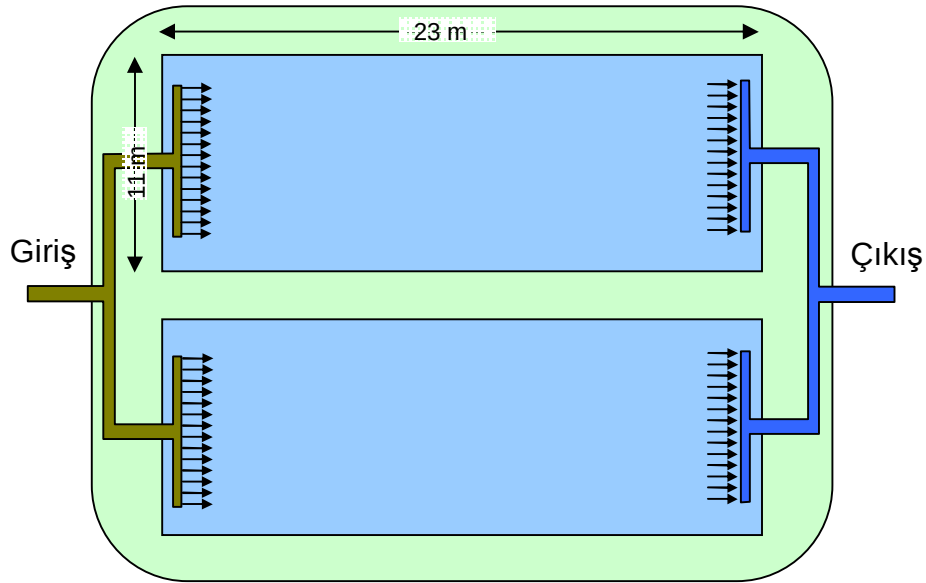
| Metot                       | Giriş-Çıkış BOİ (mg/L) | Hidrolik Yükleme Hızı (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /gün) | Spesifik Alan (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> /gün) | Kişi Başına Düşen Alan (m <sup>2</sup> /kişi) | BOİ Yüğü (Kg/ha/gün) | Gerekli Alan (m <sup>2</sup> ) |       |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-------|
|                             |                        |                                                             |                                                     |                                               |                      | BOİ                            | AKM   |
| Kickuth                     | 90–25                  | 0,08                                                        | 12,8                                                | 0,77                                          | 70                   | 653                            | -     |
| Crites & Tchobanoglous      |                        | 0,11                                                        | 9,57                                                | 0,57                                          | 94                   | 488                            | 679,5 |
| USEPA                       |                        | 0,07                                                        | 15                                                  | 0,9                                           | 60                   | 767                            | 132,5 |
| Kadlec & Knight             |                        | 0,13                                                        | 7,5                                                 | 0,45                                          | 121                  | 381                            | 2238  |
| Reed, Crites & Middlebrooks |                        | 0,10                                                        | 10,4                                                | 0,62                                          | 86,6                 | 531                            | 191,7 |
| TVA, 1993                   |                        | 0,03                                                        | 30                                                  | 1,81                                          | 30                   | 1542                           | -     |

Arazi kısıtının olduğu ve arazinin tarımsal olarak değerli olduğu bir bölgede yukarıda verilen yöntemlerden en fazla arazi ihtiyacına sahip olanlar hem ekonomik hem de mühendislik açıdan uygulanabilir değildir. Standartların BOİ deşarjı için 45–50 mg/lt’yi gösterdiği bir durumda ise güvenli aralıkta kalmak ve gerekli deşarj standartlarını sağlamak açısından sistemin tasarım aşamasında çıkış değeri standardın yaklaşık yarısı olan bir değer seçilebilir (Örn: 25 mg/lt BOİ deşarjı). Seçilen bu değer sulak alanın rahatlıkla sağlayabileceği bir aralıkta olmalıdır ki zira çok düşük deşarj değerleri ileri arıtmaya girdiği için herhangi bir sulak alan bu değerleri sağlamakta zorlanabilir.

Literatürde yüzeyaltı akışlı sulak alanların boyutlandırılmasına dair tek bir tasarıma yönelik birlik mevcut değildir. Yukarıdaki metotlarda (Çizelge 4.5) her boyutlandırma yönteminin farklı sonuçlar içerdiği ortaya çıkmaktadır. Bu tablodan yararlanılarak bir bölge için yapılacak olan sulak alanın boyutunun seçiminde en doğru karar verilebilir. Gerçekçi olmayan tasarım seçimlerinden kaçınmak için birbirine en yakın değerleri veren yöntemler göz önüne alınırken bölge için uygulanamaz büyüklükte alan veren veya gereğinden küçük alan değerine sahip olan metotlar göz ardı edilebilir.



Her ne kadar tablodaki kişi başına düşen alan değerleri küçük görünse de bunun sebebi Yeniyayla'daki sulak alan tasarım normlarına bağlı kalındığından, tablo oluşturulurken kişi başı günlük ortalama debi değerlerinin düşük kabul edilmesidir ( $q_0 = 0,06 \text{ m}^3/\text{kişi/gün}$ ). Yeniyayla için Çizelge 4.5 kullanılarak gerçekçi bir alan seçilmek istenirse “Crites & Tchobanoglous” ve “Reed, Crites & Middlebrooks” yöntemlerinin birbirine yakın ve bölge için uygulanabilir değerler verdiği gözlenir. İnşa kolaylığı açısından 11 m genişliğinde, 23 m uzunluğunda ve 60 cm derinliğinde birbirine paralel çalışan, tek bir çakıl ortamdan oluşmuş ve aynı bitkilerle aynı yoğunlukta bitkilendirilmiş iki sulak alan toplamda  $506 \text{ m}^2$  alanla önceki inşa edilenin aksine bölge atıksuyu için daha verimli ve daha tutarlı bir arıtmayı sağlayacaktır.



Şekil 4.8 Yeniyayla için önerilen sulak alan yapısı

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yakın zamana kadar kırsal kesimde yaşayan halkın öncelikli ihtiyaçları yol ve içme suyu gibi konular olmuştur. Bu dönemde köy yerleşimleri için kanalizasyon sistemleri lüks olarak görülmüştür. Ancak, şebekeli içme suyuna kavuşan köy yerleşimlerinin sayısı arttıkça kanalizasyon ihtiyacı, kullanılan suyun yerleşim yerlerinden uzaklaştırılması noktasında kendini göstermeye başlamıştır. Yakın zamana kadar atıksular, yerleşim alanlarından uzaklaştırılarak veya foseptiklerde toplanarak konuya kısa vadeli çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Fakat bu yöntemlerin yetersiz olduğu insanların atıklardan uzaklaşarak kurtulamayacağı doğayla barışık bir yaşamın gerektiği görülmüştür.

Bu çalışmada, yapay sulak alan teknolojisinin kırsal alanda uygulamasına bir örnek olan Yeniyayla Köyü yapay sulak alanıyla ilgili on haftalık gözlemler ve analizler yapılmıştır. Köy Hizmetlerinin bu bölgedeki ilk çalışmalarından biri olan sulak alan, her ne kadar Köy Hizmetlerinin kısıtlı imkânlarıyla yapılmış ve bu konu üzerine yeterince tecrübe edinilmeden tasarlanmış bir sistem olsa da yapılan analizler sistemin oldukça verimli çalıştığını göstermiştir.

Yapılan analizlere göre, sistemin giriş suyunun aylara göre çok farklı özellikler gösterdiği ve çok geniş aralıklarda salınımına sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak; yapay sulak alanların organik ve hidrolik yüklemelerdeki ani değişimlere karşı oldukça toleranslı olmasından dolayı çalışma periyodu içerisinde sistemin tıkanma gibi sorunlar yaşamadığı dönemlerde, sulakalan giriş suyundaki bu salınımları tolere etmiş ve çıkış suyu, giriş suyuna göre çok daha az salınım göstermiştir.

Sistem, BOİ giderimine yönelik bir tasarım olmasından dolayı BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonunda ortalama %90 oranında giderim sağlamıştır. Ancak sistem aynı başarıyı KOİ gideriminde gösterememiştir. Çalışma süresince ortalama KOİ giderim verimi ancak %70 oranında kalmıştır. Bu giderim oranını yükseltmek birkaç küçük değişiklikle mümkün olabilir. KOİ, BOİ'ye kıyasla daha zor giderilen bir parametredir. Bu nedenle ilk düşünülmesi gereken değişiklik sistemin bekletme süresiyle ilgili olandır. Sistemin kurulu olduğu alan değiştirilemeyeceğinden dolayı

sistemin yatak derinliğiyle veya yatak ortamıyla ilgili değişiklik yapılabilir. 60 cm seçilen yatak derinliğinin 100 cm'ye kadar artırılması düşünülebilir. Bu durumda vejetasyon için kök derinliği sırasıyla 60 ve 75 cm'ye kadar uzanabilen kamış (*Phragmites communis*) ve hasırotu (*Juncus*) bitkileri kullanılmalıdır. Yatak ortamında kullanılan çakılların dane çapları artırılarak daha fazla poroziteye ve dolayısıyla daha fazla su tutma hacmine sahip olma yolu da seçilebilir. Drenfleks boruların konulduğu giriş ve çıkış yapısındaki çakılların boyutu da yatak ortamıyla doğru orantılı olarak artırılırsa tıkanmaların önüne geçilmiş olur.

Araştırma süresince foseptiğin yeterli düzeyde çalışmadığı ve oldukça fazla katı maddeyi kaçırarak bunların sulak alana girmesine sebep olduğu ve bu nedenle sulak alanın girişinde bir ızgara yapısının eksikliğinin açığa çıktığı görülmüştür. Çok çeşitli yüzücü kaba partiküller ve anız külleri tıkanmaya sebep olan belli başlı maddeler arasında sayılabilir. Var olan foseptiğin düzeltilmesiyle veya daha sağlıklı çalışan bir foseptik yapısıyla ya da boyutları en azda tutulacak seviyede düşünülen bir ızgara kanalı ve ince ızgara yapısıyla sistemin giderim veriminin artması sağlanabilir.

Sistemde görülen bir diğer olumsuzluk ise gereğinden fazla meydana gelmiş olan vejetasyondur. Buna sebep olarak sulak alanın filtre yatak ortamında bitki yetişmesi için ortam oluşturması amacıyla kullanılmış olan toprak katman gösterilebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda toprak katman kullanmanın vejetasyonu aşırı derecede artırması ve dolayısıyla sistemin sağlıklı çalışması açısından çok önemli olan boşluk hacmini azaltması nedeniyle vazgeçilmiştir. Bunun yerine tek bir ortama sahip filtre yatakları tercih edilmektedir.

Yeniyayla için yapılan bütün bu öneriler ek bir maliyet getirmektedir. Ancak en azından sistemin dönemsel olarak takip edilmesi ve tıkanıklıkların giderilmesiyle sistem deşarj standartlarını sağlayacak kapasitededir. Bundan sonra Adana İline yapılacak sulak alan sistemleri için Yeniyayla Köyündeki eksiklikler doğru tespit edilirse ve yeni yatırımlarda bunlara dikkat edilirse Çukurova Bölgesinde kırsal alanda yapay sulak alan teknolojisinin kullanımına ilişkin herhangi bir sıkıntı görülmeyecektir.

Daha sonra yapılacak çalışmalar açısından bu çalışmayla ortaya çıkan eksiklikler iyi gözlemlenirse ve bu çalışmada kısıtlı imkânlardan dolayı değinilemeyen gerçek günlük debi, yatak boşluk hacmi, atıksu sıcaklığı gibi önemli parametreler incelenirse bölge için daha sağlıklı tasarımlara gidilebilir.

Yeniyayla için Çizelge 4.5 kullanılarak boyutsal olarak makul ve uygulanabilir bir sulak alan seçilmek istenirse “Crites & Tchobanoglous” ve “Reed, Crites & Middlebrooks” yöntemleriyle elde edilen alanlardan biri kullanılabilir. İnşa kolaylığı açısından 11 m genişliğinde ve 23 m uzunluğunda birbirine paralel çalışan iki sulak alan toplamda 506 m<sup>2</sup> alanla önceki inşa edilenin aksine bölge atıksuyu için daha verimli ve daha tutarlı bir arıtmayı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- AL-OMARI, A., FAYYAD, M., 2003. Treatment of Domestic Wastewater by Subsurface Flow Constructed Wetlands in Jordan. *Desalination*, 155 pp 27–39.
- ANSOLA, G., GONZÁLEZ, J.M., CORTIJO, R., De LUIS, E., 2003. Experimental and Full-Scale Pilot Plant Constructed Wetlands for Municipal Wastewaters Treatment. *Ecol. Eng.* 21, 43–52.
- ANSOLLA G., FERNÁNDEZ C., De LUIS E., 1995. Removal of Organic Matter and Nutrients from Urban Wastewater by Using an Experimental Emergent Aquatic Macrophyte System. *Ecological Engineering*, 5, 13–19.
- APHA, AWWA, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Analysis. 19th ed., New York.
- AYAZ, S. Ç., AKÇA, L., 2001. Treatment of Wastewater by Natural Systems. *Environment International*, 26 pp 189–195.
- BAHR, T. G., BALL, R. C., ve TANNER., H. A., 1974. The Michigan State University Water Quality Management Program, In *Wastewater Use in the Production of Food and Fiber–Proceedings*. U.S.EPA, 660/2–74–041.
- BATTY, L. C., YOUNGER, P. L., 2004. Growth of *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex. Steudel in Mine Water Treatment Wetlands: Effects of Metal and Nutrient Uptake. *Environmental Pollution*, 132 85e93.
- BOUTIN, C., LIÉNARD, A., ve ESSER, D., 1997. Development of a New Generation of Reed–Bed Filters in France: First Results. *Water Science and Tech.*, 35(5) pp 315–322.
- BRIX, H., 1993. Macrophyte–Mediated Oxygen Transfer in Wetlands: Transport Mechanisms and Rates, In: Moshiri, G.A. (Ed.), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers, London, pp. 391–398.
- BRIX, H., 1994. Functions of Macrophytes in Constructed Wetlands. *Water Sci Technol*; 29(4):71–8.
- BRIX, H., 1997. Do Macrophytes Play a Role in Constructed Treatment Wetlands? *Water Science and Tech.*, 35(5) pp 11–17.

- BRIX, H., 1998. Denmark. In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. F., Green, M.B., Haberl, R. (Eds.), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 123–152.
- CAMPBELL, C. S., ve OGDEN, M. H., 1999. *Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 270 p.
- CIRIA, M.P., SOLANO, M.L., SORIANO, P., 2005. Role of Macrophyte *Typha latifolia* in a Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Assessment of Its Potential as a Biomass Fuel. *Biosystems Engineering*, 92(4) pp 535–544.
- COOPER, P. F. (Ed.), 1990. *European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems*. Prepared for the European Community/European Water Pollution Control Association Emergent Hydrophyte Treatment System Expert Contact Group. WRc Report UI 17, Swindon, UK.
- COOPER, P. F., JOB, G. D., GREEN, M. B., SHUTES, R. B. E., 1996. *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. WRc Publications, Medmenham, Marlow, UK.
- COSSU, R., HAARSTAD, K., LAVAGNOLO, M. C., LITTARRU, P., 2001. Removal of Municipal Solid Waste COD and  $\text{NH}_4\text{-N}$  by Phyto-reduction: A Laboratory-scale Comparison of Terrestrial and Aquatic Species at Different Organic Loads. *Ecological Engineering*, 16, pp 459–470.
- ÇUKUROVA METEO, 2005. <http://www.cukurova.edu.tr/Content/Asp/Turkish/cuMeteo.asp>, Çukurova Üniversitesi., Adana.
- DUNNE, E. J., CULLETON, N., O'DONOVAN, G., HARRINGTON, R., ve OLSEN, A. E., 2004. An Integrated Constructed Wetland to Treat Contaminants and Nutrients From Dairy Farmyard Dirty Water. *Ecological Engineering*, 24 pp 221–234.
- EDDY, K. R., ve ANGELO, E. M., 1997. Biogeochemical Indicators to Evaluate Pollutant Removal Efficiency in Constructed Wetland. *Water Science and Tech.*, 35(5) pp 1–10.

- EPA, 1999. Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A technology Assessment. Washington. D. C.
- EPA, 2000. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. Manual of EPA/625/R-99/010. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- EPA, 2001. Guiding Principles for Constructed Treatment Wetlands: Providing Water Quality and Wild Life Habitat.
- EREMEK TAR, G., TANIK, A., ARSLAN-ALATON, İ., GÜREL, M., ÖVEZ, S., ve ORHON D., 2005. Türkiye’de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri, Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı, MEDAWARE Projesi. Odtü, Ankara.
- GARCÍA, J., AGUIRRE, P., MUJERIEGO, R., HUANG, Y., ORTIZ, L., ve BAYONA J. M., 2004. Initial Contaminant Removal Performance Factors in Horizontal Flow Reed Beds Used for Treating Urban wastewater, Water Research, 38 pp 1669–1678.
- GARCÍA, J., AGUIRRE, P., BARRAGÁN, J., MUJERIEGO, R., MATAMOROS, V., ve BAYONA, J. M., 2005. Effect of Key Design Parameters on the Efficiency of Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands. Ecological Engineering, 25 pp 405–418.
- GELT, J., 1997. Constructed Wetlands: Using Human Ingenuity, Natural Processes to Treat Water, Build Habitat. Arroyo, 9(4).
- GÓMEZ CERREZO, R., SUÁREZ, M.L., VIDAL-ABARCA, M.R., 2001. The Performance of a Multistage System of Constructed Wetlands for Urban Wastewater Treatment in a Semiarid Region of SE Spain. Ecol. Eng., 16, 501–517.
- GOPAL, B., 1999. Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Potentials and Problems. Water Science Tech.
- HALL, K. J., MASBOUGH, A., FRANKOWSKI, K., ve DUFF, S. J. B., 2005. The Effectiveness of Constructed Wetland for Treatment of Woodwaste Leachate. Ecological Engineering, 25 pp 552–566.

- HAMMER, D. A., 1989a. Constructed Wetlands for Treatment of Agricultural Waste and Urban Stormwater, pp 333–348, In S.K. Majumdar, R.P. Brooks, F.J. Brenner, and R.W. Tiner, Jr. (Eds.), Wetlands Ecology and Conservation: Emphasis in Pennsylvania, The Pennsylvania Academy of Science.
- HAMMER, D. A., 1989b. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Chelsea, MI: Lewis Publishers.
- HEO J. S., LEE, H. J., CHO, J. S., ve SEO, D. C., 2005. Phosphorus Retention Capacity of Filter Media for Estimating The Longevity of Constructed Wetland. Water Research, 39 pp 2445–2457.
- HERSKOWITZ, J., 1986. Listowel Artificial Marsh Project Report. Ontario Ministry of the Environment. Water Resources Branch, Toronto.
- HILL, D. T., ve PAYTON, J. D., 2000. Effect of Plant Fill Ratio on Water Temperature in Constructed Wetlands. Bioresource Technology, 71, pp 283–289.
- JENSSEN, P., MAEHLUM, T., KROGSTAD, T., 1993. Potential Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments. Water Sci. Technol. 28, 149–157.
- KADLEC, R. H., ve KNIGHT, R. L., 1996. Treatment Wetlands, Lewis Publishers. Boca Raton, Florida.
- KAO, C. M., CHEN, T.Y., YEH, T.Y., CHIEN, H.Y., ve CHAO, A.C., 2006. Application of a Constructed Wetland for Industrial Wastewater Treatment: A pilot-scale study. Chemosphere, 64 pp 497–502.
- KARUL, C., SOYUPAK, S., TUNCER, A., MUKHALLATATI, L., ve ÇİLESİZ, A. F., 1995. A Comprehensive Evaluation of Possible Eutrophication Control Methods for Keban Dam Reservoir with Special Emphasis on Pre-dam Construction.
- KHGM, 2003. TARIM ve KÖY İŞLERİ BAKANLIĞI KÖY HİZMETLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, Yapay Sulak Alanlarla Atıksu Arıtma Projesi, Tanıtım Toplantısı Notları.
- KICKUTH, R., 1977. Degradation and Incorporation of Nutrients from Rural Wastewaters by Plant Rhizosphere Under Limnic Conditions, In:



- Utilization of Manure by Land Spreading, Comm. Europ. Commun., EUR 5672e, London, UK, pp. 335–343.
- KNIGHT, R. L., 1997. Wildlife Habitat and Public Use Benefits of Treatment Wetlands. *Water Science and Technology*, 35: 35-43.
- KOOTTATEP, T., POLPRASERT C., KOANH, N. T., HEINSS, U., MONTANGERO, A., STRAUSS, M., 2001. Septage Dewatering in Vertical-Flow Constructed Wetlands Located in the Tropics. *Water Science and Tech.*, 44 (2–3) pp181–8.
- KOSKIAHO, J., 2003. Flow Velocity Retardation and Sediment Retention in Two Constructed Wetland-Ponds. *Ecological Engineering*, 19 pp 325–337.
- KOSKIAHO, J., EKHOLM, P., RÄTY, M., RIIHIMÄKI, J., ve PUUSTINEN, M., 2003. Retaining Agricultural Nutrients in Constructed Wetlands—Experiences Under Boreal Conditions. *Ecological Engineering*, 20 pp 89–103.
- KUSCHK, P., WIEßNER, A., KAPPELMEYER, U., WEIßBRODT, E., KÄSTNER, M., ve STOTTMEISTER, U., 2003. Annual Cycle of Nitrogen Removal by a Pilot-Scale Subsurface Horizontal Flow in a Constructed Wetland Under Moderate Climate. *Water Research*, 37 pp 4236–4242.
- LEADY, B., 1997. Constructed Subsurface Flow Wetlands for Wastewater Treatment. A Non-Thesis Project Submitted to The Faculty of the School of Civil Engineering of Purdue University Indiana, USA.
- LEE C-Y; LEE C-C; LEE F-Y; TSENG S-K; LIAO C-J; 2004. Performance of Subsurface Flow Constructed Wetland Taking Pretreated Swine Effluent Under Heavy Loads. *Bioresource Technology*, 92, 173–179.
- LIANG, W., WU Z., CHENG S., ZHOU Q., ve HU, H., 2003. Roles of Substrate Microorganisms and Urease Activities in Wastewater Purification in a Constructed Wetland System. *Ecological Engineering*, 21 pp 191–195.
- LIN, Y. F., JING, S. R., LEE, D. Y., ve WANG, T. W., 2002. Nutrient Removal From Aquaculture Wastewater Using a Constructed Wetlands System. *Aquaculture*, 209 pp 169–184.

- MANIOS, T., STENTIFORD, E. I., MILLNER, P., 2003. The Removal of Chemical Oxygen Demand from Primary-Treated Domestic Wastewater in Surface-Flow Reed Beds Using Different Substrates. *Water Environment Research*, 75(4), 336–341
- MATAGI, S. V., SWAI D., ve MUGABE, R., 1998. A Review of Heavy Metal Removal Mechanism In Wetlands.
- MERLIN, G., PAJEAN, J.L., LISSOLO, T., 2002. Performances of Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment in Rural Mountainous Area. *Hydrobiologia* 469, 87–98.
- METCALF ve EDDY, 1991. *Wastewater Engineering*. 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
- MITSCH, W. J., ve GOSSELINK, J. G., 1993. *Wetlands*, New York.
- NAYLOR, S; BRISSON, I.; LABELLE, M. A., DRIZO, A., COMEAU, Y., 2003. Treatment of Freshwater Fish Farm Effluent Using Constructed Wetlands: the Role of Plants and Substrate. *Water Science and Technology*, 48(5), 215–222
- OEMC, 2001. *Treating Wastewater with Constructed Wetlands*, Wetlands Project Final Report. Governor's Office of Energy Management and Conservation 225 E. 16th Avenue, Suite 650, Denver, CO 80203
- ORON, G., RAN, N., ve AGAMI, M., 2004. A Pilot Study of Constructed Wetlands Using Duckweed (*Lemna gibba* L.) for Treatment of Domestic Primary Effluent in Israel. *Water Research*, 38 pp 2241–2248.
- OTTOVÁ, V., BALCAROVÁ J., ve VYMAZAL J., 1997. Microbial Characteristics of Constructed Wetlands. *Water Science and Tech.*, 35(5) pp 117–123.
- PERKINS, J., HODGSON, C. J., ve LABADZ, J. C., 2004. The Use of Microbial Tracers to Monitor Seasonal Variations in Effluent Retention in a Constructed Wetland. *Water Research*, 38 pp 3833–3844.
- PETERSON, E. L., HALIDE, H., RIDD, P. V., ve FOSTER, D., 2003. Assessing Sediment Removal Capacity of Vegetated and Non-Vegetated Settling Ponds in Prawn Farms. *Aquacultural Engineering*, 27 pp 295–314.

- PINNEY, M. L. et al., 2000. Transformations in Dissolved Organic Carbon Through Constructed Wetlands. *Water Res.*, Vol. 34, No. 6, pp. 1897–1911.
- REDDY, K.R. ve W.F. De BUSK. 1985. Nutrient Removal Potential of Selected Aquatic Macrophytes. *Journal of Environmental Quality* 14(4): 459-462.
- REED, S. C., 1993. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment– A Technology Assessment. U.S. EPA, EPA 832–R–93–008.
- REED, S. C., ve CRITES, R. W., 1984. Handbook of Land Treatment Systems for Industrial and Municipal Wastes, Park Ridge, NJ.
- SCHIERUP, H.-H., BRIK, H., LORENZEN, B., 1990. Wastewater Treatment in Reed Beds, Spildevandsforkning fra Miljøstyrelsen (Danimarkaca).
- SCHOLZ, M., 2003. Performance Predictions of Mature Experimental Constructed Wetlands Which Treat Urban Water Receiving High Loads of Lead and Copper II. *Water Research*, 37 pp 1270–1277.
- SCHÖNBORN, A., ZÜST, B., ve UNDERWOOD, E., 1997. Long Term Performance of the Sand–Plant–Filter Schattweid (Switzerland). *Water Science and Tech.*, 35(5) pp 307–314.
- SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE). 1992. Engineering Field Handbook, Chapter 13: Wetland Restoration, Enhancement, or Creation. 210-EFH, 1/92.
- SEIDEL, K., 1955. Die Flechtbinse *Scirpus lacustris*. In: *Ökologie, Morphologie und Entwicklung, ihre Stellung bei den Volkern und ihre Wirtschaftliche Bedeutung*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Germany, pp. 37–52.
- SHRESTHA, R. R., 2001. A New Step Towards Wastewater Treatment in Nepal. *A Journal of the Environment*, 6(7), Ministry of Population and Environment, Nepal.
- SKKY, 1988. SU KİRLİLİĞİ KONTROL YÖNETMELİĞİ. Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazetesi: 4 Eylül 1988 Tarih ve 19919 Sayı.
- SLOEY, W. E., SPANGLER, F. L., ve FETTER C. W., Jr., 1978. *Freshwater Wetlands for Nutrient Assimilation*. New York.

- SONG, Z., ZHENG, Z., LI, J., SUN, X., HAN, X., WANG, W., XU, M., 2006. Seasonal and Annual Performance of a Full-Scale Constructed Wetland System for Sewage Treatment in China. *Ecological Engineering*, 26, pp 272–282.
- STOTTMEISTER, U., WIEßNER, A., KUSCHK, P., KAPPELMEYER, U. KÄSTNER, M., BEDERSKI, O., MÜLLER, R.A., ve MOORMANN H., 2003. Effects of Plants and Microorganisms in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Biotechnology Advances*, 22 pp 93– 117.
- TANNER, C. C., CLAYTON, J. S., UPSDELL, M. P., 1995. Effect of Loading Rate and Planting on Treatment of Dairy Farm Wastewater in Constructed Wetlands—I. Removal of Oxygen Demand, Suspended Solids and Faecal Coliforms. *Water Research*, 29, 17.
- TAYLOR, G. J., ve CROWDER, A. A., 1983. Uptake and Accumulation of Heavy Metals by *Typha latifolia* in Wetlands of The Sudbury, Ontario Region.
- TCHOBANOGLOUS G., BURTON F. L., 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse* 3rd ed. New York: McGraw-Hill, p. 1334.
- TCHOBANOGLOUS, G., ve CULP, G., 1980. *Aquaculture Systems for Wastewater Treatment: An Engineering Assessment*. U.S. EPA, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. EPA/430/9–80–007, NTIS No. PB 81–156689, pp. 13–42.
- VYMAZAL, J., 1995. *Algae and Element Cycling in Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- VYMAZAL, J., BRIX, H., COOPER, P.F., HABERL, R., PERFLER, R., ve LABER, J., 1998. Removal Mechanisms and Types of Constructed Wetlands, In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R. (Eds.), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Pub, Leiden, pp. 18–66.
- VYMAZAL, J., 1999. Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands. Backhuys, Leiden, The Netherlands, pp. 1–17.

- VYMAZAL, J., 2005. Horizontal Sub-Surface Flow and Hybrid Constructed Wetlands Systems for Wastewater Treatment. *Ecological Engineering*, 25, pp 478–490.
- WETZEL, R. G., 1993. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- WITTGREN, H. B., ve MÆHLUM, T., 1997. Wastewater Treatment Wetlands in Cold Climates. *Water Science and Tech.*, 35(5) pp 45–53.
- WORRALL, P., PEBERDY, K. J., ve MILLETT, M. C., 1997. Constructed Wetlands and Nature Conservation. *Water Science and Tech.*, 35(5) pp 205–213.
- WÖRMAN, A., ve KRONNÄS, V., 2005. Effect of Pond Shape and Vegetation Heterogeneity On Flow and Treatment Performance of Constructed Wetlands. *Journal of Hydrology*, 301 pp 123–138.
- YÜCEL, İ. H., 1997. *Bilim–Teknoloji Politikaları ve 21. Yüzyılın Toplumu*, Devlet Planlama Teşkilatı. Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Temmuz, Ankara, ii, 123 s. tab. ISBN 975–19–1806–5.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1979 yılında Niğde’de doğdum. Lise öğrenimimi Niğde Anadolu Lisesinde tamamladıktan sonra 1999 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimime ve 2003 yılında da Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimime başladım.