

## **HAVZA KAYNAKLI KİRLİLİĞİ AZALTMAK VE ATIKSULARI ARITMAK AMACIYLA KULLANILAN EKİLMİŞ SULAKALANLAR**

**Elif Asuman KORKUSUZ**

Çevre Yüksek Mühendisi  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü  
Oda No: Z-11 06531 ODTÜ Ankara/Türkiye  
E-mail: akelif@metu.edu.tr

### **ÖZET**

Sucul bitki ve doğal sulakalan ekosistemlerinin modellenmesi ile oluşturulmuş “ekilmiş sulakalanlar” (constructed wetlands), son yıllarda 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. Bir eko-teknoloji uygulaması olan ekilmiş sulakalanlar, artık birçok ülkede geleneksel arıtma teknolojilerine umut vadeden alternatifler olarak değerlendirilmektedirler.

Bu bildirinin temel amacı, henüz Türkiye'de tam anlamıyla uygulanmaya başlanmamış olan ekilmiş sulakalan sistemlerinin atıksu arıtımında ve havza kirlilik yüklerini azaltmak amacıyla ülkemizde de kullanılmaya başlayabilmesi ve yaygınlaştırılması için bilimsel bir alt yapı oluşturacak bilgileri sunmaktır.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda yaşam standartlarının yükselmesi ile tüm dünyada evsel, tarımsal ve endüstri kökenli atık ve atıksu miktarında büyük bir artış gözlenmektedir. Birçok bölgede hiçbir arıtım yapılmadan bertaraf edilen atık ve atıksular, toprak, hava ve su kalitesini global ölçekte tehdit etmektedirler. Özellikle okyanuslar ve denizler, uzun yıllar boyunca yeraltı suları, akarsular, göller ve doğal sulakalanlar gibi, insan kaynaklı çeşitli aktiviteler sonucunda ortaya çıkan atık ve atıksuların boşaltıldıkları doğal ortamlar olarak kabul edilmişlerdir (Pomore, 1988). Ancak, ekosistemin çok önemli parçaları olan doğal su kütleleri ve yaşama ortamı sağladıkları canlılar, doğrudan ya da dolaylı yoldan maruz kaldıkları kirliliğin yanısıra, plansız yapılışma, kaynakların aşırı kullanımı, yabancı türlerin ortamlarına salınması, doğal su akışları ile oynanması gibi etkenler yüzünden artık ciddi sinyaller vermektedirler.

Noktasal olarak deşarj edilen ya da havzadan gelen yüksek konsantrasyonlardaki besin tuzlarının (azot, fosfor), organik ve inorganik kirlenticilerin su kalitesini bozması ve doğal döngülerin işleyişini yıkması sonucunda, içkara sularında olduğu gibi, Kuzey Denizi, Karadeniz ve Akdeniz gibi birçok deniz ötrophikleşme problemi ile karşı karşıyadır (Heatwaite and Sharp, 1999). Birçok ülkede halk sağlığını tehdit edebilen ve hatta insanları sosyo-ekonomik açıdan olumsuz yönde etkileyebilen ötrophikasyonu yavaşlatmak ve durdurmak üzere sürdürülebilir kalkınma kriterleri ışığında alınan çevresel kararlarda öncelik, su kütlelerine ulaşan kirliliğin azaltılmasına verilmiştir.

Gelişmiş ülkelerde kirliliğin en aza indirgenmesi için, yüzyıla yakın bir süredir, çeşitli arıtım sistemleri ve teknolojileri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin oldukça yüksek yatırım, inşaat ve işletim maliyetleri yanında yetişmiş işletme personeli gerektirmeleri nedeniyle, gelişmekte olan ülkeler 21. yüzyılda hala halk sağlığını ve çevreyi tehdit eden kirlilik problemleri ile uğraşmaktadır. Bu ülkelerde çevreyi ve insan sağlığını tehdit eden problemlerin ortadan kaldırılabilmesi, ancak basit, ucuz, güvenilir, işletimi kolay ve teknolojik bir dışa bağımlılığı gerektirmeyen arıtım yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulamaya başlaması ile mümkün olabilecektir.

Çeşitli doğal döngü ve proseslerin hızlandırılarak ve kontrollü olarak uygulanması ilkesine dayanan eko-teknolojiler, konvesiyonel arıtım sistemlerine umut veren alternatifler olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Sucul bitki ve doğal sulakalan ekosistemlerinin besinleri ve değişik kirlenticileri tutabilmesi ve tampon bölge olmasının anlaşılması yanısıra, doğal olan bu sistemlerdeki hidrolik parametrelerin, proseslerin ve bitki türlerinin modellenmesi sonucu oluşturulan “ekilmiş sulakalanlar” (constructed wetlands) da arıtım amaçlı eko-teknolojiler arasında yerini almıştır (Tarnocai, 1979).

Günümüzde ekilmiş sulakalanlar 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 (Haberl ve diğerleri, 1997). Ekilmiş sulakalanlar, geleneksel arıtma teknolojilerine göre uygulanabilirliği daha kolay, daha düşük maliyetli, yüksek ve pahalı teknoloji ekipmanı gerektirmeyen, düşük enerji ile çalışan, flora ve fauna habitatlarını destekleyen, hasat edilebilen bitkilerinin biyokütlesinden çeşitli amaçlarla (biyogaz, gübre, hayvan yemi, hasır, vb.) kullanılabilen sistemlerdir.

Gelişmiş ülkelerde ekilmiş sulakalanların su kalitesini iyileştirmek üzere kullanılması konusunda büyük ölçekli projeler sürdürülmektedir (Hamilton ve diğerleri, 1993; Denny, 1997). Ayrıca, doğal sulakalanların restore edilerek ötrofikasyon problemi olan su kütlelerinin kirlilik yükünü hafifletmesi için yapılan uygulamalar da giderek yaygınlaşmaktadır (Reddy, 1982; Szilagy, 1990). Fakat bu sistemler, bir ya da iki deneyel çalışma haricinde (Akca ve diğerleri, 1998) henüz Türkiye'de tam anlamıyla uygulanmaya başlanmamışlardır.

Bu bağlamda, su kirliliği problemi olan birçok bölgemizde ekilmiş sulakalan sistemlerinin evsel, tarımsal ve endüstriyel atıksuları arıtmak ve havza kökeni kirlilik yüklerini azaltmak amacıyla kullanılmaya başlayabilmesi ve yaygınlaştırılması için, ekilmiş sulakalan sistemlerine ilişkin özet literatür bilgileri aşağıda sunulmaktadır.

## **2. EKİLMİŞ SULAKALAN SİSTEMLERİ**

Dünyanın değişik bölgelerinde yıllar boyunca doğal sulakalanlar, birçok insana göre rahatsızlık veren ve hiçbir işe yaramayan, yok edilmesi gereken alanlar olarak kabul edilmişlerdir. Sivrisinek yuvası olarak görülmüş, kurutulmaya çalışılmış, doğal su dengesi ile oynamış, havzadan gelen zehirli ve organik kirleticilerle doldurulmuş, ve ekosistemleri tehdit edilmiştir (Mitsch ve Gosselink, 1993). Fakat bu hatalar yapıldıktan sonra, akarsu, göl ve kıyı şeritlerinde yer alan bu bölgelerin azot ve fosfor gibi besin tuzlarını, sediman yükünü, organik kirleticileri ve toksik kimyasalları etkin bir biçimde tuttuğu anlaşılmıştır (Hutchinson, 1957; Odu 1971; Sather ve Smith, 1984; Bastian ve Hammer, 1993). Böylece yakın bir geçmişe kadar “atık alanlar” olarak algılanmış ve sömürülmüş olan sulakalanlar, artık günümüzde çevresel problemlerin çözülmesinde yer almaya başlamışlardır.

### **2.1. Sulakalan Tanımı**

Doğal ya da ekilmiş sulakalan sistemlerini tanımlayabilmek üzere, birbirinden farklı ve kimi zaman birbirleri ile çelişebilen birçok tanım yapılmıştır. Bilimdeki

evrensellik anlayışı doğrultusunda, uluslararası antlaşmalarda oy birliği ile karar oluşturulan ve yaygın olarak kullanılan sulakalan tanımları bulunmaktadır. Türkiye Çevre Bakanlığı tarafından da kabul edilmiş olan Ramsar Sözleşmesi'ne (1994, IUCN) göre, "doğal veya yapay, suları durgun ya da akıntılı, denizlerin gelgitlerinin çekilmesi sırasında 6 metreyi geçmeyen derinlikleri kapsayan tatlı, tuzlu, acımsı suların bulunduğu alanların tümü sulakalandır".

Daha kapsamlı bir tanım Tarnocai (1979) tarafından yapılmış olup; bu tanım daha çok sulakalan sistemlerinin su kalitesi iyileştirme amacıyla yararlanıldığı sulakalanlar için geçerlidir. Buna göre "sulakalanlar, su tablasının yer yüzeyine yakın ya da üstünde olduğu veya sucul bitkilerin yettiği, birçok biyolojik aktivitenin gerçekleştiği ve suya doygun toprak koşullarının sürekli ya da belirli periyodlarda sağlandığı kara parçalarıdır."

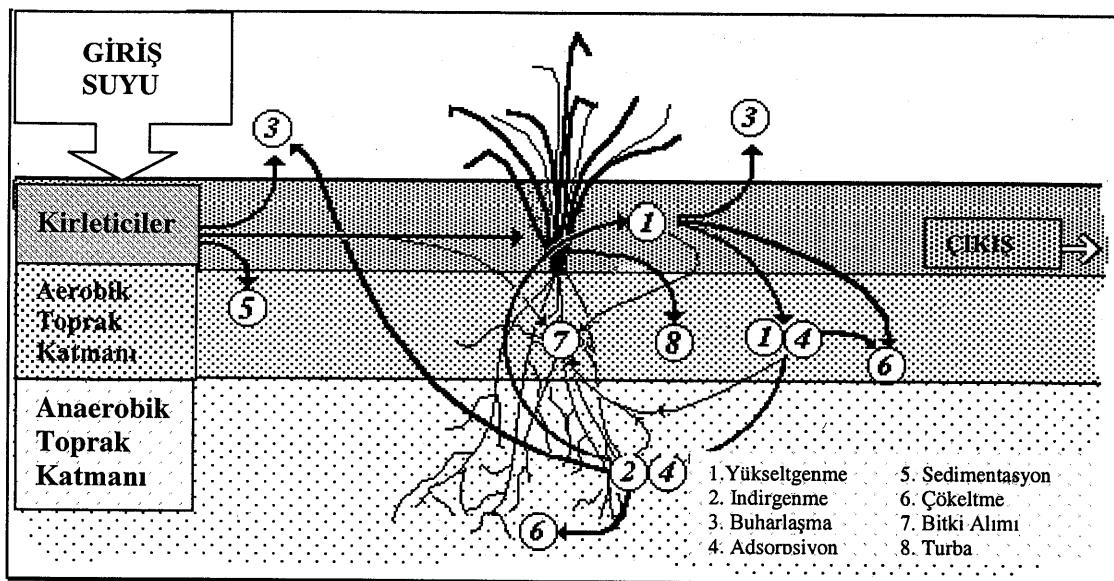
Sulakalan ekosistemlerinin az bilinmekle beraber pek çok faydası vardır. Örneğin sulakalanlar önemli yeraltı suyu deşarj ve reşarj alanlarıdır. Tortuların çökeldiği, suların doğal ortamda filtre edildiği ve taşkınların önlendiği bölgelerdir. Sulakalanlar, nem oranını yükselterek yağış ve sıcaklığı dengeler; yerel iklimi yumusatarak, olumlu etkiler yaratırlar. İçerdikleri su ve besin maddeleri ile sulakalan bitkileri (sazlar ve göl otları gibi) sukuşları başta olmak üzere birçok hayvan ve bitki türü için uygun habitatlar oluştururak, biyolojik çeşitliliği desteklerler. Sosyo- ekonomik kullanıcıları arasında balıkçılık, avcılık, bitkilerin değerlendirilmesi ve rekreatif kullanımı sayılabilir.

## 2.2. Sulakalanlarla İlgili Araştırmalar

Sulakalanlarla ilgili araştırmalar ilk olarak ekologlar ve biyologlar tarafından başlatılmış olup, bu çalışmalar daha çok bu sistemlerdeki canlılar ve cansızlar arasındaki materyal akışını, besin zincirlerini ve ekolojik döngülerini anlamayı hedeflemektedir (Bastian ve Hammer, 1993). Bu çalışmalar, sulakalan sistemlerinin hidrolojik, biyolojik ve biyokimyasal fonksiyonlarının anlaşılmasını sağlamışlardır (Hutchinson, 1957; Odum, 1971; Sather ve Smith, 1984).

Doğal çevre koşullarında su, toprak, bitki, mikrorganizma ve atmosferin etkileşmesi sonucunda ortaya çıkan kimyasal, biyolojik ve fiziksel mekanizmalar, arıtma tesislerinde kullanılan çökeltme, filtrasyon, gaz transferi, adsorbsiyon, iyon değiştirme, kimyasal çökeltme, kimyasal yükseltgenme ve indirgenme, biyolojik çevrim ve ayrıştırma mekanizmalarının tümünü içermesinin yanı sıra, fotosentez, foto-oksidasyon ve bitki alımı gibi özel doğal mekanizmaları da kapsar (Bakınız Şekil 1). Arıtma tesisindeki dizinsel işleyişin tersine bu mekanizmalar, tek bir ekosistem reaktörünün içinde doğal hızlarda ve kendiliğinden yürümektedir (USEPA, 1991). Bu mekanizmaların anlaşılmaya başlanması ile beraber, sulakalanların da diğer ekoteknoloji uygulamalarında (kompostlama, bertaraf

edilmiş olan aktif çamurların arazide kullanılması, pond sistemleri) olduğu gibi, değişik kaynaklı ve farklı karakterdeki atıkların ve atıksuların arıtılması amacıyla kullanılabileceği düşünülmüştür.



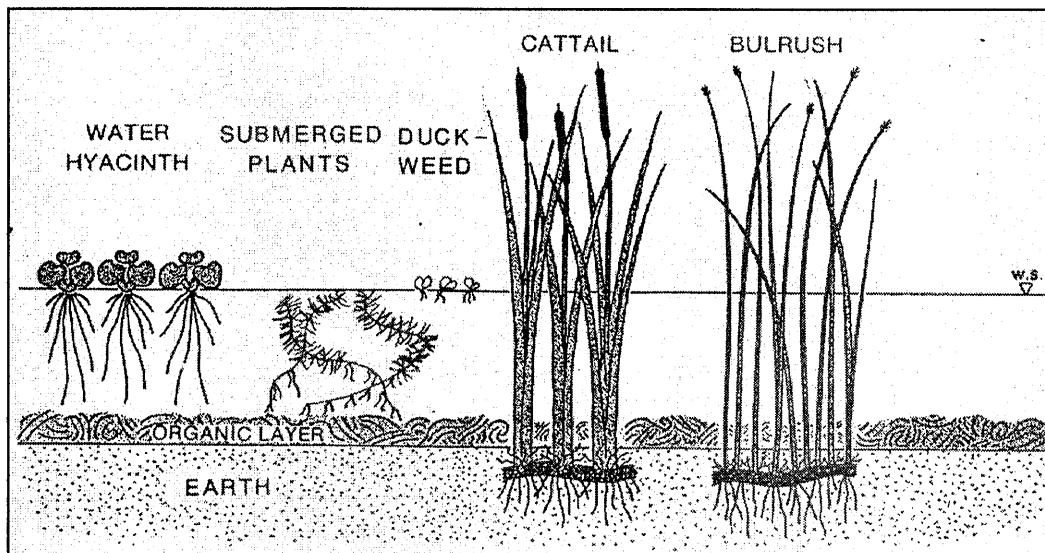
Şekil 1. Sulakalanlardaki önemli prosesler

İlk olarak Seidel, 1952 yılında Almanya Plon'daki Max Planck Enstitüsü'nde, sulakalan bitkilerinin atıksu arıtımında rolünü belirleyebilmek üzere deneyel çalışmalar başlatmış ve o yıllarda birçok çalışmaya imzasını atmıştır (Seidel, 1955, 1961, 1976). Onun öğrencisi olan Kickuth ise 1975 yılından itibaren deneylere ve uygulamalara devam etmiş ve Avrupa'da evsel ve endüstriyel atıksu arıtma amaçlı 200'ü aşkın sulakalan sisteminin kurulmasını sağlamıştır (Kickuth, 1985). Bu tecrübeler sayesinde, artık dünyanın hemen her yerinde ikincil ve üçüncü arıtım amaçlı sulakalanlar üzerine çalışmalar devam etmektedir (Bastian ve Benforado, 1983; Reddy ve Smith, 1987; Reed ve diğerleri, 1988, Hammer, 1989; Cooper ve Findlater, 1990; Etnier ve Guterstam, 1991; Tchobanoglous ve Burton, 1991; Kadlec ve Knight, 1995; Kadlec ve Brix, 1995).

### 2.3. Ekilmiş Sulakalanların Tasarım Kriterleri

Ekilmiş sulakalanların tasarımında önemli rol oynayan birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden biri bitkinin cinsidir. Genel olarak sucul bitkiler, bitkinin sudaki konumuna göre sualtı (submerged), su üstü (cattail, bulrush, vb.) ve yüzen su üstü bitkiler (water hyacinth, duckweed, vb.) olarak üç ana gruba ayrırlırlar (Şekil 2). Ekilmiş sulakalanlarda en yaygın olarak kullanılan bitkiler ise kedicili, kamış, saz, koğalık ve ayakotudur. Bu bitkiler oldukça arsız olup, don koşullarına da dirençlidirler. Bu

bitkilerin arıtım performansları ile ilgili birçok araştırma bulunmaktadır ve bunların bazıları Tablo 1'de verilmiştir. Bitkiler, sağladıkları mekanik direnç sayesinde suyun bekleme süresini artırırlar, ve filtre görevi görerek askıdaki katı maddelerin çökelmesini sağlarlar. Ayrıca, denitrifikasyon gibi mekanizmalar için uygun koşullar yaratarak azot giderimini hızlandırırlar. Kökleri arasında sağladıkları anoksik ortamlar da fosforun sedimana bağlanmasına izin verir.



Şekil 2. Sulakalanlarda bulunan sucul bitkiler

Tablo 1. Sucul makrofit türlerinin özellikleri

Tür	Biokütle (ton/ha)	Büyüme (ton/ha.yıl)	N Giderim Verimi (%)	P Giderim Verimi (%)
<b>SU ÜSTÜ BITKİLERİ</b>				
<i>Eichhornia</i>	20-24	60-110	1.0-4.0	0.14-1.2
<i>Lemna</i>	1.3-3.5	6-26	2.0-7.0	0.2-2
<i>Pistia</i>	6-11	50-80	1.2-4.0	0.15-1.2
<i>Hydrocotyle</i>	7-11	30-60	1.5-4.5	0.2-1.3
<i>Salvinia</i>	2-3	9-45	2.0-5.0	0.2-0.9
<b>SU ALTı</b>				
<i>Myriophyllum</i>	0.5-9	5-90	3.1-6.4	1.3-2.7
<i>Cladophora</i>	-	-	5	0.37
<i>Enteromorpha</i>	2	10-20	-	-
<i>Elodea</i>	-	13-47	2.6-7.3	0.46-2.3
<b>EMERGENT</b>				
<i>Phragmites</i>	6-37	10-60	1.8-2.1	0.2-0.3
<i>Typha</i>	4.3-22.5	8-61	0.5-2.4	0.1-0.4
<i>Glyceria</i>	-	9-12	-	-
<i>Scirpus</i>	-	20-46	0.8-2.7	0.1-0.3
<i>Juncus</i>	2.2	53	1.5	0.2

Kaynak: Gumbrecht, 1993.

Atıksu arıtımı için geliştirilen sulakalan tasarımları birbirinden çok farklı olabilmektedirler (Hammer, 1989; Cooper and Findlater, 1990; Moshiri, 1993). Bitkiler haricinde, bu çeşitliliği yaratan faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Haberl, 1999):

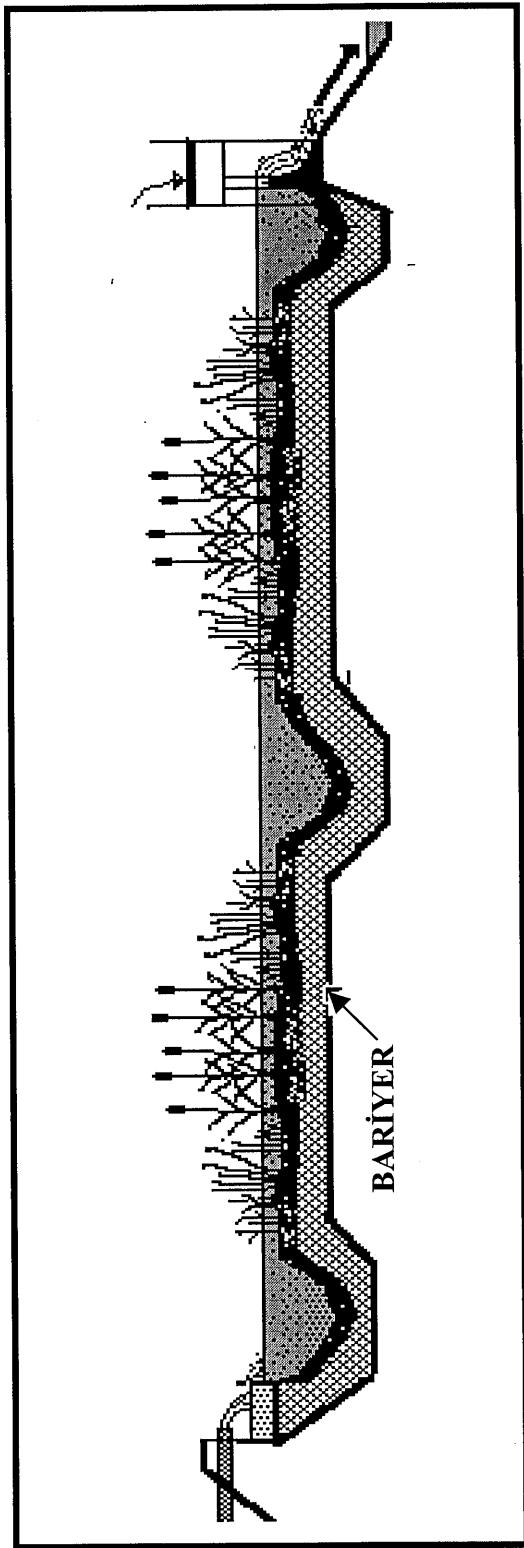
- Atıksuyun cinsi (evsel, endüstriyel ya da tarımsal atıksu, yeraltısu, yüzeysu, yağmursuyu, çöp sızıntı suyu, vb.),
- Suyun akışı ve su dağıtım yapısı,
- Akışın cinsi (kesikli ya da sürekli akış),
- Substrat cinsi (kum, toprak, vb.),
- Sistemin konfigürasyonu (paralel veya seri, hibrit).

İşletilmekte olan ekilmiş sulakalar, genel olarak Serbest Su Yüzeyli (SSY) ve Yüzeyaltı Akış Sistemli (YAS) olmak üzere başlıca ikiye ayrılır (USEPA, 1991). Bu sistemlerin kesitleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir. Serbest su yüzeyli sistemler sığ bir yatak veya kanal içerisinde uygun bir vejetasyon içerirler. İsminden de anlaşılacağı gibi su yüzeyi, kanal boyunca atmosfere açıktır. Yüzeyaltı akış sistemleri ise, 30 cm veya daha derin geçirgen ortama (kaya, çakıl, kum ve çeşitli cinste toprak) sahiptir. Fakat bu sistemde su geçirgen sistemin içinden yüzeye çıkmadan arıtilır. Burada da uygun kök sistemine sahip bitkiler bulunmaktadır. Serbest su yüzeyli sistemlerdeki oksijen kaynağı yüzey havalandırmasıdır. Biyokimyasal bozunma reaksiyonlarının başlıcalarının, bitkilerin su altında kalan bölgeleri ile dip birikim yapısının üzerindeki bölgelerde gerçekleştiği bilinmektedir. Bitkilerin gövdeleri ise, yapraklardan köklere oksijen taşımaktadır. Yüzeyaltı akış sistemlerinde oksijenli ortamı sağlamak üzere sadece bu mekanizma yeterli olmaktadır (USEPA, 1991). Her iki sistem için, su kayiplarını ve olası bir yeraltı kirliliğine sebep olacak su sızıntılarını önlemek için bir bariyere gereksinim vardır. Her iki sistemin de kullanılmak istediği duruma göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır (Reed, 1993). Bazı ekilmiş sulakalan tasarım kriterleri Tablo 2'de verilmiştir.

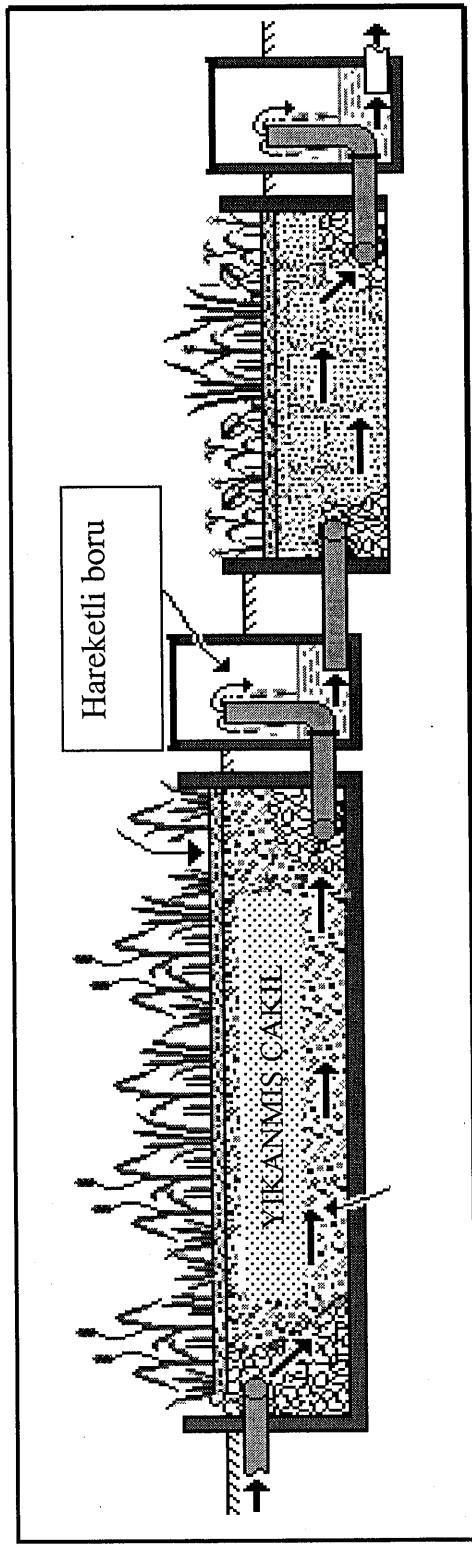
Tablo 2. Ekilmiş sulakalan tasarım parametreleri

Tasarım Faktörleri	Tavsiye Edilen Tasarım Değerleri	
	SSY	YAS
Organik yükleme ( $\text{kg BO}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{gün}^{-1}$ )	80-110	80 - 120
Nitrogen Loading ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{gün}^{-1}$ )	$\text{TN} < 60$	$\text{TN} < 60$
Hidrolik Bekletme Süresi (gün)	5-14	2 - 10
Hidrolik Yükleme (cm/gün)	2.5-5	6 - 8
Su Derinliği (cm)	<10 (sıcak aylarda) <45 (soğuk aylarda)	30 - 90
Uzunluk : En Oranı	2:1, 4:1, 10:1	0.25:1, 5:1
Alan Gereksinimi ( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{gün}^{-1}$ )	20-140	10-70
Konfigürasyon	Seri ve paralel reaktör	Paralel reaktörler

Kaynak: Reed, 1993.



Şekil 3. Serbest Su Yüzeyle Eklimiş Sulan Alan Kesiti



Şekil 4. Yüzeyaltı Akışı Eklimiş Sulan Alan Kesiti

Deneysel amaçlı ya da tam uygulamalı ekilmiş sulakalanlarda arıtım performansı söz konusu olduğunda, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ( $BOI_5$ ) %50-60, askıda katı madde miktarında %40-94, azotda %30-98 ve fosfora %20-90'lara varan arıtım verimliliği elde edilmiştir. Yine aynı sulakalanlardaki fekal koliform giderimi ise %100'leri bulmaktadır (Bastian ve Hammer, 1993). Ağır metallerin, çeşitli kimyasalları ekilmiş sulakalanlarda giderimi konusunda yapılan çalışmaları sayısı gittikçe artmaktadır.

## 2.4. Ekilmiş Sulakalanların Maliyeti

Ekilmiş bir sulakalanın uygulanması sırasında göz ardı edilmemesi gereken bir diğer konu da bu işin maliyetidir. Sistemin maliyeti yöreye ait özelliklere, sistemin büyüklüğüne ve amacına göre değişebilir (Kent, 1994). Birçok faktörün değişken olması ve uygulamaların değişik şekillerde yapılması nedeniyle, ekilmiş sulakalanların maliyetlerinin belirlenmesinde kesin bir yöntem yoktur. Hochheimer'e (1991) göre ilk yatırım maliyeti 1.5-20 ABD Doları /  $m^2$  yüzey alan arasında değişirken, Crites ve Ogden'e (1998) göre serbest su yüzeyli ekilmiş sulakalanlarda ortalama maliyet 1.8 ABD Doları /  $m^2$  yüzey alan; yüzeyaltı akışlı sistemlerde ise 3.2-16 ABD Doları /  $m^2$  yüzey alanıdır. Aynı sistemler için işletme maliyetleri sırasıyla 0.026-0.08 ABD Doları /  $m^3$  ve 0.01-0.02 ABD Doları /  $m^3$ 'dür.

## 2.5. Dünyadaki Ekilmiş Sulakalan Uygulamaları

Bu arıtım sistemlerinin kendini kanıtlamasıyla, son yıllarda bu ekoteknolojiye olan ilgi giderek yükselmiş; buna paralel olarak da ve Avrupa, ABD ve Avustralya'daki uygulama alanları ve sayıları artmıştır (Denny, 1997). Son zamanlarda daha çok evsel atıksuların ikincil ve üçüncü arıtımı amacıyla kullanılan sulakalan sistemleri, örneğin Hollanda'da yağmur suyu drenaj sularını arıtmak üzere kullanılmaktadır (Denny, 1997). Çek Cumhuriyeti'nin değişik bölgelerinde su mercimeğinin evsel atıksuların ileri derecede arıtımında kullanılıp kullanılamayacağı yoğun olarak araştırılmıştır (Zakova, 1990, 1991). Bu çalışmaların devamında ise sazların hakim olduğu yatay ve dikey akışlı sulakalanlar üzerinde yoğunlaşımaya başlanmıştır. Çek Cumhuriyeti'nde 39 adet izlenen ve başarılı sonuçlar elde edilmiş olan ekilmiş sulakalan mevcuttur (Zakova, 1996). Macaristan'da petrokimyasal atıksuların ileri arıtımında kullanılan sulakalanlara ait tasarım kriterleri ve performans verileri Lakatos ve arkadaşları (1997) tarafından sunulurken, soğuk iklim kuşağındaki sulakalan sistemleri Wittgren ve Maehlum (1997) tarafından incelenmiştir. New Delhi'de günde birkaç bin litre atıksu aritan ve %60 civarında azot giderebilen çok küçük sistemlerin (50 m x 50 m) daha büyüklerinin yapılması düşünülmektedir (White ve Burken, 1998). Deneysel ve büyük ölçeklerde uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiş sulakalanların örnekleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Ekilmiş Sulakalan Örnekleri

Uygulamaya Geçiş Tarihi	Atıksuyun Cinsi	Ölçeği	Referans
1956	Hayvan Çiftçiliği	Laboratuar	Seidel, 1961
1975	Petrol Rafine	Tam uygulamalı	Litchfield, 1989
1978	Tekstil	Tam uygulamalı	Kickuth, 1982
1978	Asitli Maden Drenaj	Laboratuar	Huntsman, 1978
1979	Balık Çiftliği	Tam uygulamalı	Hammer ve Rogers, 1980
1982	Asitli Maden Drenaj	Laboratuar	Pesavento, 1985
1982	Ötrofik Göl Suyu	Tam uygulamalı	Reddy, 1982
1982	Yüzey Suları	Tam uygulamalı	Silverman, 1989
1983	Kağıt Fabrikası	Laboratuar	Thut, 1989
1988	Kompost Liçi	Tam uygulamalı	Pauly, 1990
1988	Yergömüt Liçi	Laboratuar	Trautman ve Porter, 1988
1988	Hayvan Çiftliği	Tanı uygulamalı	Hammer ve Pullin, 1989
1989	Ötrofik Göl Suyu	Tam uygulamalı	Szilagy, 1990
1990	Liman Drenaj Atıkları	Laboratuar	Pauly, 1990
1991	Kağıt Fabrikası	Tam uygulamalı	Thut, 1991

*Kaynak: Bastian ve Hammer, 1993.*

Özellikle gelişmekte olan ülkeler için, atıksu arıtımında kullanılan ekilmiş sulakalanların klasik arıtım teknolojilerine alternatif bir yöntem olacağı düşünülmüştür (Hamilton ve diğerleri, 1993). Bu sistemlerin az gelişmiş ülkelerde uygulanmasının olası faydaları Denny (1997) tarafından sunulmuştur. Fakat gelişmekte olan ülkelerin hemen hiçbirinde hala büyük ölçekli sayılabilcek bir uygulama olmadığından, bu sistemlerin verimliliği ve işletim gereksinimleri hakkında yeterli veri bulunmamaktadır (Gopal, 1999).

## KAYNAKLAR

- AKCA, L., TUNA, M., SEVIMLI, M.F., BAYHAN, H. 1998. "Wastewater Treatment in Constructed Wetlands". *First International Workshop on Environmental Quality and Environmental Engineering in the Middle East Region*, Konya, Turkey.
- BASTIAN, R.K., BENFORADO, J. 1983. "Waste Treatment: Doing What Comes Naturally". *Technol. Rev.* 86(2):58.
- BASTIAN, R.K., HAMMER, D.A. 1993. "The Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Recycling". *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, CRC Press, Florida.
- COOPER, P.F., FINDLATER, B.C. 1990. *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Pergoman Press, New York.
- CRITES, R.W., OGDEN, M. 1998. "Costs of Constructed Wetland Systems". *Proceed. Water Environment Federation 71<sup>st</sup> Annual Conference Exposition*, Orlando.
- DENNY, P. 1997. "Implementation of Constructed Wetlands in Developing Countries". *Water Science and Technology*, Vol. 35, No. 5, Elsevier Science, Oxford.
- ETNIER, C., GUTERSTAM, B. 1991. *Ecology Engineering for Wastewater Treatment*. Boksogen/Stensund Folk College, Sweden.
- GOPAL, B. 1999. "Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Potentials and Problems". *Water Science and Technology*, Vol. 40, No 3, Oxford.
- GUMBRICHT, T. 1993. "Nutrient Removal Processes in Freshwater Submersed Macrophyte Systems". *Ecological Engineering*, Vol. 2.
- HABERL, R. 1999. "Constructed Wetlands: A Chance to Solve Wastewater Problems in Developing Countries". *Water Science and Technology*, Vol. 40, No. 3, Oxford.
- HABERL, R., PERFLER, R., LABER, J., COOPER, P. 1997. "Wetland Systems for Water Pollution Control". *Water Science and Technology*, Vol. 35, No. 5, Oxford.
- HAMILTON, H., NIX, P.G., SOBOLEWSKI, A. 1993. "An Overview of Constructed Wetlands as Alternatives to Conventional Waste Treatment Systems". *Water Pollution Research J. Canada*, Vol 28.
- HAMMER, D.A. 1989. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*. Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- HAMMER, D.A., PULLIN, B.P. 1989. "Constructed Wetlands for Livestock Waste Treatment", in *Proc.Natl. Nonpoint Conf.-The Water Quality Act-Making Non-Point Programs Work.*, St. Louis.
- HAMMER, D.A., ROGERS, P. 1980. "Treating Fish Rearing Pond Discharge Waters with Artificial Wetlands". Mimeo, Knoxville, TN.
- HEATWAITE, L. and SHARPLY, A., 1999. "Evaluating Measures to Control the Impact of Agricultural Phosphorus on Water Quality". *Water Science and Technology*, Vol. 39, No. 12, Oxford.
- HOCHHEIMER, J., YATES, C. and CAVACAS, A. 1991. "Constructed Wetlands as a Nonpoint Source Control Practice". *Draft Report prepared for USEPA*.

HUNTSMAN, B.E., SOLCH, J.G., PORTER, M.D. 1978. "Utilization of a *Sphagnum* sp. Dominated Bog for Coal Acid Mine Drainage Abatement". *Geological Society of America*, Toronto, Ontario.

HUTCHINSON, G.E. 1957. *A Treatise on Limnology*. Vol I, II, John Wiley & Sons, New York.

KADLEC, R., BRIX, H. 1995. "Wetland Systems for Water Pollution Control". *Water Science and Technology*, Vol. 32, No 3, Oxford.

KADLEC, R., KNIGHT, R.L. 1995. *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.

KENT, D. M. (ed) 1994. *Applied Wetland Science and Technology*. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.

KICKUTH, R. 1982. "Das Wurzelraum verfahren-ein kostgunstiges Klarverfahren dur den dezentralen Einsatz in Kommunen und Gewerbe". *Der Tropenlandwirt, Zeitschrift fur die Landwirtschaft in den Tropen und Subtropen*, Vol 83.

KICKUTH, R. 1985. "Grundlagen und Praxis Naturnaher Klarverfahren-10 Jahre Othfresen", *Sammelband des Symposiums*, Liebenburg, Germany.

LAKATOS, G., KISS, M.K., JUHAZS, P. 1997. "Application of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Hungary". *Water Science and Technology*, Vol. 35, № 5, Oxford.

LITCHFIELD, D.K., SCHATZ, D.D. 1989. "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment at Amoco Oil Company's Mandan, North Dakota Refinery", in *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*, Lewis Publishing, Chelsea, MI.

MITSCH, W.J., AND GOSELINK, J.G. 1993. *Wetlands (Second Edition)*. Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.

MOSHIRI, G.A. 1993. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

ODUM, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders, Philadelphia.

PESAVENTO, B.G., STONE, R.W. 1985. "Micro- and Macro- Biological Characteristics of Wetlands Removing Iron and Manganese". *Wetlands and Water Management on Mined Lands*, Pennsylvania State University, University Park, PA.

POMARE, M., 1988. "Marine Disposal of Wastewater – A Maori view". *Proc. International Conference on Marine Disposal of Wastewater*, Wellington, New Zealand, 23-25 May.

REDDY, K.R., CAMPBELL, K.L., GRAETZ, D.A., PORTIER, K.M. 1982. "Use of Biological Filters for Agricultural Drainage Water Treatment". *Journal of Environmental Quality*, No 11:591.

REDDY, K.R., SMITH, W.H. 1987. *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*, Magnolia Pub., Orlando, FL.

REED, S.C. 1993. "Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment". *USEPA Report*, EPA 832-R-93-001, Office of Water, Washington, D.C.

REED, S.C. 1993. "Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment". *USEPA Report*, EPA 832-R-93-001, Office of Water, Washington, D.C.

REED, S.C.; MIDDLEBROOKS, E.J., CRITES, R.W. 1988. *Natural Systems for Waste Management*. McGraw-Hill Book Company, New York.

SATHER, J.H., SMITH, R.D. 1984. *An Overview of Major Wetland Functions and Values*. FWS/OBS84/18, Western Energy and Land Use Team, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.

SEIDEL, K. 1955. "Die Flechtnisse Scirpus lacustris, in Ökologie, Morphologie und Entwicklung, ihre Stellung bei den Vögeln und ihre wirtschaftliche Bedeutung". *Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung*, Stuttgart.

SEIDEL, K. 1961. "Zur Problematik der Keim- und Pflanzengewässer", *Verh. International Limnology*, 14:1035.

SEIDEL, K. 1976. "Macrophytes and Water Purification". *Biological Control of Water Pollution*, Pennsylvania University Press, Philadelphia.

SILVERMAN, G.S. 1989. "Development of an Urban Runoff Treatment Wetlands in Fremont, California", in *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*, Lewis Publishing, Chelsea, MI.

SZILAGYI, F., SOMLYODY, L., KONCSOS, L. 1990. "Operation of the Kis-Balaton reservoir: Evaluation of Nutrient Removal Rates". *Hydrobiologia*, No 191:297.

TARNOCAI, C. 1979. "Canadian Wetland Registry". In *Proceedings of a Workshop on Canadian Wetlands*, C.D.A. Rubec and F.C. Pollett (eds), Environment Canada, Lands Directorate, Ecological Land Classification Series, No. 12, Saskatoon, Saskatchewan.

TCHOBANOGLOUS, G.T., BURTON F.L. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw -Hill, New York.

THUT, R.N. 1989. "Utilization of Artificial Marshes for Treatment of Pulp Mill effluents", in *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*, Lewis Publishing, Chelsea, MI.

USEPA, 1991. "Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment", EPA/625/1-88/022, Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, Cincinnati, OH.

WHITE, K.D., BURKEN, J.G. 1998. "Natural Treatment and On-Site Processes". *Water Environment Research*, Vol. 70, No 4.

WITTGREN, H.B., MAEHLUM, T. 1997. "Wastewater Treatment Wetlands in Cold Climates". *Water Science and Technology*, Vol. 35, No 5, Oxford.

ZAKOVA, Z. 1990. *New Biotechnologies for Wastewater Treatment and Production of Organic Matter*. Part I., VUV, Brno.

ZAKOVA, Z. 1991. *New Biotechnologies for Wastewater Treatment and Production of Organic Matter*. Part II., VV, Brno.

ZAKOVA, Z. 1996. "Constructed Wetlands in the Czech Republic-Survey of the Research and Practical Use". *Water Science and Technology*, Vol. 33, No 4-5, Oxford.

## **ABSTRACT**

In many parts of the world, a variety of constructed wetlands that were created by modelling natural wetland and aquatic plant ecosystems have been designed, implemented and operated for the purpose of treating point and diffused source pollution. Being an integral of eco-technology applications, constructed wetlands are now considered as alternatives to the conventional treatment systems. The main objective of this paper is to review the literature and summarize the knowledge of constructed wetland systems in order to develop a scientific base for the future implementations of this technology in Turkey.