



T.C.
Çevre ve Orman
Bakanlığı



TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ

ÇEVRE ENSTİTÜSÜ

YAPAY SULAKALANLAR EL KİTABI

105G047



MART, 2011
GEBZE, KOCAELİ



HAZIRLAYANLAR

TÜBİTAK MAM

Adı Soyadı	Çalıştığı Birim	E-Posta Adresi
Dr. Selma AYZAZ	ÇE	Selma.Ayaz@mam.gov.tr
Dr. Nur Fındık	ÇE	Nur.Fındık@mam.gov.tr

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ (İTÜ)

Prof. Dr. Cumali KINACI		ckinaci@cevreorman.gov.tr
Dr. Bilal TUNÇSİPER		tuncsiper@itu.edu.tr
Elis Güneş		Elis.gunes@hotmail.com

Bu raporlardaki verilere uyulmaksızın üretilecek ürünlerden TÜBİTAK MAM sorumlu değildir.
Bu rapor kurumdan izin alınmadan reklam amaçlı kullanılamaz.

Yazışma Adresi:

P.K. 21 41470 Gebze KOCAELİ
T 0 262 677 20 00 F 0 262 641 23 09
<http://www.mam.gov.tr>

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	5
TABLO LİSTESİ	7
1. BÖLÜM: KILAVUZUN KAPSAMI	9
2. BÖLÜM: YAPAY SULAKALAN SİSTEMLERİ	11
2.1. Sulakalan Sistemleri Hakkında Genel Bilgi	11
3. BÖLÜM: SULAKALANLARIN SINIFLANDIRILMASI	13
3.1. Doğal Sulakalanlar	13
3.2. Yapay Sulakalanlar	13
3.3. Sucul Bitki Sistemleri	16
4. BÖLÜM: YAPAY SULAKALANLARIN ÇEVRE SAĞLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	17
4.1. Giriş	17
4.2. AKM Giderimi	18
4.3. Organik Madde Giderimi	18
4.4. Azot Giderimi	18
4.5. Fosfor Giderimi	18
4.6. Patojen Giderimi	19
4.7. Toksinler	19
5. BÖLÜM: YAPAY SULAKALAN TİPLERİ	21
5.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulakalanlar	21
5.1.1. Köklü Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemleri	21
5.1.2. Yüzücü Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemleri	21
5.1.3. Batık Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemleri	22
5.2. Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulakalanlar	22
5.2.1. Yatay Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan Sistemi (Y-YAS)	23
5.2.2. Düşey Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan Sistemi (D-YAS)	23
6. BÖLÜM: YAPAY SULAKALANLAR İÇİN YER SEÇİMİ VE TASARIM	25



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

6.1. Topoğrafya	25
6.2. Zemin	25
6.3. Taşkın Tehlikesi.....	26
6.4. Arazi Kullanımı	26
6.5. İklim.....	26
6.6. Arazinin ve Sistemin Fiziksel Özellikleri	26
6.6.1. Arazinin Hazırlanması	26
6.6.2. Arazi İhtiyacı	27
6.6.3. Ön Arıtma İhtiyacı	27
6.6.4. Besleme ve Pompa İhtiyacı	28
6.6.5. Taban İzolasyonu.....	28
6.6.6. Dolgu Malzemesi.....	29
6.6.7. Borulama, Seviye Kontrol Borusu ve Rogarı	29
6.6.8. Bitki Seçimi ve Yönetimi	30
6.6.9. Serbest Yüzey (Yüzeysel) Akışlı Sistemlerde Sivrisinek ve Kontrolü	32
7. BÖLÜM: YAPAY SULAKALANLARDA BOYUTLANDIRMA PARAMETRELERİ	35
7.1. Hidrolik Bekletme Süresi.....	36
7.2. Su Derinliği	40
7.3. Havuz Alanı ve Geometrisi	41
7.3.1. Serbest Yüzey Akımlı Sulakalan Sistemleri.....	41
7.3.2. Yüzeysel Akışlı Sulakalan Sistemleri	41
7.4. BO ₅ Yükleme Hızı	42
7.5. Hidrolik Yükleme Hızı	43
7.6. Pilot Ölçekli ve Arazi Ölçekli Çalışma Sonuçları.....	44
8. BÖLÜM: YAPAY SULAKALANLARDA İŞLETME VE İZLEME	53
9. BÖLÜM: DÜNYADAN ÖRNEK TASARIMLAR.....	55
9.1. Sulakalan Parametre Değerlerinin Bölgesel Değişimi	55
9.2. Akdeniz İkliminin Hakim Olduğu Bölgelerdeki Yapay Sulakalanlar	56
9.3. Karasal ikliminin hakim olduğu bölgelerdeki yapay sulakalanlar	66



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

9.4. Karadeniz İkliminin Hakim Olduğu Bölgelerdeki Yapay Sulakalanlar	68
9.5. Soğuk İklimlerin Hakim Olduğu Bölgelerdeki Yapay Sulakalanlar	69
10. BÖLÜM: MALİYET ANALİZİ	71
10.1. Sulakalan Maliyetleri İle İlgili Olarak Dünyadan Bazı Örnekler	72
10.1.1. Serbest Yüzey Akışlı Sulakalan sistemlerinin (SYS) maliyet analizi	74
10.1.2. Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan sistemlerinin (YAS) maliyet analizi	75
10.2. Türkiye'den Sulakalan Maliyetlerine Örnekler	78
11. BÖLÜM: SU BİTKİLERİ İLE ARITMA SİSTEMLERİ	85
11.1. Giriş	85
11.2. Atıksu Arıtımında Kullanılan Su Bitkileri	86
11.3. Su Bitkileri İle Arıtmada Boyutlandırma Esasları	92
11.3.1. Ön Tasarım Esasları	92
11.3.2. Yüzücü Su Bitkileri Arıtma Sistemlerinin Tipleri	93
11.3.3. Su Bitkileri İle Arıtma Boyutlandırma Parametreleri	94
11.3.4. Su Bitkileri İle Arıtmada Proses Kinetiği	99
11.3.5. Su Bitkilerinin Hasadı ve Değerlendirilmesi	100
12. BÖLÜM: BOYUTLANDIRMA ÖRNEĞİ	103
KAYNAKLAR	107



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1.Yapay Sulakalan Uygulaması – TÜBİTAK MAM Kampüsü	14
Şekil 3.2. Sulakalan Enkesiti ve Yaygın Olarak Karşılaşılan Sucul Bitkiler (Metcalf & Eddy, 1991).....	15
Şekil 3.3. Tipik Bir YüzeYaltı Akımlı Sulakalan Sistemi (YAS) Enkesiti (Metcalf & Eddy, 1991).....	16
Şekil 5.1. YAS sistemleri (a-yatay akışlı, b-düşey akışlı)	22
Şekil 5.2. Yapay Sulakalan Sisteminin Şematik Planı ve Fotoğrafı (Ayaz, vd. 2008)	24
Şekil 7.1. Yapay Sulakalan Sisteminin Tipik Azot Giderme Performansı	40
Şekil 7.2. Tamamen Bitki İle Kaplanmış Serbest YüzeY Akışlı Sulakalan Sisteminde Tipik BOİ Giderme Performansı (MetCalf & Eddy, 1991).	44
Şekil 7.3. Pilot Ölçekli Sistem Akım Şeması	45
Şekil 7.4. Arazi Ölçekli Sistem Akış Diyagramı	49
Şekil 11.1. Su Sümbülü Atıksu Arıtma Sistemi Havuzlarının Şekillerinin Gelişimi	98
Şekil 11.2. Kademeli Beslemeli Ve Geri Devirli Su Sümbülü İle Atıksu Arıtma Sisteminin Kinetik Analizi İçin Temsili Şekil, (A) Geri Devirli Ve Kademeli Beslemeli Bir Su Sümbülü Sisteminin Şematik Gösterimi, (B) Proses Analizi İçin Seri Haldeki Tam Karışımli Reaktörlerden Oluşan Eşdeğer Sistem.....	100



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1. Kirleticiler ve Etkili Olma Şekilleri	17
Tablo 6.1. Yapay Sulakalanlarda Bitkilerin Fonksiyonu (USEPA, 1988)	31
Tablo 7.1. Yapay Sulakalanlar İçin Tipik Boyutlandırma Değerleri (MetCalf & Eddy, 1991)	35
Tablo 7.2. Yüzeysel Akımlı Sulakalan Sistemleri İçin Tipik Ortam Karakteristikleri	38
Tablo 7.3. YAS'a ait Sistem Tasarım ve İşletme Kriterleri.....	46
Tablo 7.4. DAS'a ait Sistem Tasarım ve İşletme Kriterleri.....	46
Tablo 7.5. . Balçık AAT HÇYR için Tasarım ve İşletme Kriterleri	47
Tablo 7.6. Balçık AAT YAS'a ait Sistem Tasarım ve İşletme Kriterleri	47
Tablo 7.7. Balçık AAT DAS'a ait Sistem Tasarım ve İşletme Kriterleri	48
Tablo 9.1. YAS ve SYS Sistemlerin Farklı Kaynaklardan Alınan Tasarım Parametreleri...57	
Tablo 9.2. İtalya Catania, San Michele di Ganzaria'daki Tam Ölçekli YAS Sistemi (AVKR9 – Technical Report, 2003)	58
Tablo 9.3 İtalya için Pilot Ölçekli YAS Sisteminin Tasarım Parametreleri (AVKR 9 – Tech. Report, 2003)	58
Tablo 9.4. Yapay Sulakalan Sistemlerinin İtalya İçin Tasarım Parametreleri (Conte vd., 2001).....	59
Tablo 9.5. Tuscany, Winery'deki YAS Sistemlerinin Tasarım Parametreleri (Masi vd., 2002).....	60
Tablo 9.6. İtalya Dicomano'daki YAS Sistemlerinin Tasarım Parametreleri (AVKR 9 - Technical Report . 2003)	61
Tablo 9.7. Arzignano-Vicenza; Ferrara, Florence Ferrara, Northern Italy'de 1., 2. ve 3. Kademe Arıtma Yapan Kesikli ve Sürekli Akışlı, Pilot ve Tam Ölçekli Seri SYS ve YAS Sistemlerine ait Tasarım ve İşletme Değerleri	62
Tablo 9.8. Portekiz, Evora'da 2. Kademe Arıtma Yapan Kesikli, Laboratuvar Ölçekli D-YAS Sistemine ait Veriler	63
Tablo 9.9. Portekiz Lizbon'da 2. Kademe Arıtma Yapan Kesikli, Laboratuvar Ölçekli D-YAS Sistemine Ait Veriler	63
Tablo 9.10. İspanya Mansilla De Las Mulas, Southern Province León'da 2.Ve 3. Kademe Arıtım Yapan Sürekli Akışlı, Pilot Ölçekli Seri SYS ve YAS Sistemlerine Ait Veriler.....	64



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

Tablo 9.11. İspanya Bustillo De Cea, Southern Province León'da 1. 2. Ve 3. Kademe Arıtım Yapan Sürekli Akışlı, Tam Ölçekli Seri SYS ve YAS Sisteme Ait Veriler	65
Tablo 9.12. İspanya Seva'da 1. 2. ve 3. kademe arıtım yapan sürekli akışlı, tam ölçekli seri SYS ve YAS sisteme ait veriler	65
Tablo 9.13. İsrail Ben Gurin'deki Evler Ve Negev'deki Çiftlik Evlerinde Kurulmuş, 3. Kademe Arıtım Yapan Kesikli, Pilot Ölçekli Hibrid D-YAS System.....	66
Tablo 9.14. Çek Cumhuriyeti Tam Ölçekli YSA Sistemlerinin Tasarım Parametreleri (Vymazal, 1993)	67
Tablo 9.15. Balandran-Nîmes, Sollac-Usinor, Barjols (Doğu Fransa) Tesisinin Tasarım Ve İşletme Parametreleri	68
Tablo 9.16. NERRC Ve Grand Lake İçin BOİ (Kadlec, R.H. Vd. 2003)	70
Tablo 10.1. Sulakalan Sistemlerin İnşaat Ve İşletme-Bakım Maliyetleri Açısından Karşılaştırılması (Kadlec Ve Knight, 1996)	74
Tablo 10.2. Serbest Yüzey Akışlı Sulakalan Sistemi Ile Konvansiyonel Atıksu Arıtım Sistemlerinin Maliyet Karşılaştırması (WEF, 2000).....	75
Tablo 10.3. Sulakalan Sistemlerinin İnşaat Maliyetlerinin Karşılaştırması (USEPA, 2000a; 2000b).....	76
Tablo 10.4. Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan Sistemi Ile Konvansiyonel Atıksu Arıtım Sistemlerinin Maliyet Karşılaştırması (WEF, 2000).....	76
Tablo 10.5. Yüzeyaltı Akışlı (YAS) Ve Serbest Yüzey Akışlı (SYS) Sulakalan maliyeti (WEF, 2000).....	77
Tablo 11.1. İki Ayrı Çalışmada 700 M3/Ha-Gün Hidrolik Yük Altında Elde Edilen Arıtma Verimleri.....	91
Tablo 11.2. Yüzücü Su Etkileriyle Arıtma Sistemleri İçin Tipik Boyutlandırma Kriterleri Ve Sağlanan Çıkış Suyu Kaliteleri (Metcalf And Eddy, 1991).....	96



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

1. BÖLÜM: KILAVUZUN KAPSAMI

Bu kılavuz, TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenen, TÜBİTAK MAM ve İTÜ tarafından yürütülen 105G047 kodlu "Düşük Masraflı Arıtma Teknolojilerinin Türkiye Şartlarına göre Geliştirilmesi ve Marmara Bölgesi için Örnek Uygulama" başlıklı TARAL projesi kapsamında Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün talebi üzerine hazırlanmıştır. Yerel yönetimlere yapay sulakalan inşaatında ve işletmesinde yol göstereceği düşünülmektedir.

26.04.2006 tarih ve 5491 sayılı Çevre Kanununda değişiklik yapılmasına dair Kanunla 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun Geçici 4. maddesi çerçevesinde 10.000 nüfusun altındaki yerleşim birimlerine 2016 yılına kadar atıksu arıtma tesisi kurma ve işletmeye alma zorunluluğu getirilmiş olup, 26047 sayılı Kentsel Atıksu Yönetmeliği ve 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde nüfusu 2000'den büyük ve nüfusu 2000'den küçük olmakla birlikte kanalizasyona bağlı yerleşimler için arıtma tesisi yaptırma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu gelişmeler sonucunda Türkiye'de küçük yerleşim yerlerinde uygulanacak arıtma sistemlerinin önemi ve aciliyeti nedeniyle karar mercilerine yol gösterecek kılavuzların hazırlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kılavuz yapay sulakalan sistemleri için bu ihtiyacı karşılamak üzere hazırlanmıştır.

Yapay Sulak Alanlar El Kitabı, on temel bölümden oluşmaktadır. El kitabı kapsamında atıksu arıtımında kullanılan yapay sulakalanların ve sucul bitki sistemlerinin genel özellikleri, sistem tipleri, çevre sağlığına etkileri, sistemlerin tasarım ve işletme kriterleri, Türkiye'den ve dünyadan uygulama örnekleri, arıtma performansı, maliyet analizi başlıkları altında bilgi sunulmaktadır.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

2. BÖLÜM: YAPAY SULAKALAN SİSTEMLERİ

2.1. Sulakalan Sistemleri Hakkında Genel Bilgi

Yapay sulakalanlarda arıtma su - dolgu malzemesi - bitkiler ve mikroorganizmalar arasında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerden faydalanılan basit ve düşük maliyetli atıksu arıtma yöntemidir. Bu sistemler, sadece işletme aşamasındaki enerji ve kimyasal madde kullanımında değil; inşaat açısından da ekonomiktir. Ancak sulakalan sistemleri mekanik işleyen tesislere göre çok yer kaplamaktadır. Bu sistemler, sadece atıksuda BOİ, AKM, NH₃-N ve TP gibi parametreleri oldukça yüksek bir verimle gidermekle kalmaz; çıkış suyunun özellikle tarımsal sulamada geri kullanımı gibi avantajlar da sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, bu arıtım sistemlerinde yetişen suya bağımlı bitkilerin yüksek besi içeriği ile hayvan yemi olarak kullanılması ve su kamışının çeşitli eşyaların yapımında kullanılması gibi faydalar da söz konusudur.

Konvansiyonel arıtma teknolojileriyle kıyaslandığında daha düşük ilk yatırım, işletme ve bakım masraflarına sahip olması, doğal olarak çalışıp enerjiye bağımlı olmaması gibi özellikleriyle ve karbonlu maddelerin yanında azot, fosfor, iz organikler, iz elementler ve fekal koliformların gideriminde oldukça tatminkar sonuçların elde edilmesinden dolayı yapay sulakalanlar son 20 yıl içerisinde tüm dünyada atıksu arıtımında çok geniş bir kullanım sahası bulmuştur. Bu tür sistemler küçük ve orta ölçekli yerleşim bölgeleri, ticari ve endüstri atıksuları için oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Yapay sulakalan sistemleri, atığın sisteme taşınımında kullanılan pompa ve borular gibi ekipmanlar dışında, arıtım proseslerini gerçekleştirmek için dışarıdan bir enerji kullanımı gerektirmeyen hem ekolojik hem de ekonomik öneme sahip doğal arıtım sistemleridir (Ayaz ve Akça 2001). Atıksuların yapay sulakalan sistemleri ile arıtımı, çeşitli üstünlükleri dolayısıyla son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Uygun koşullar sağlandığı takdirde düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetle nutrient organik madde ve ağır metallerde yüksek giderim elde edilebilmektedir. Bu tür sistemler kullanılarak pek çok yerleşimin veya



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

endüstriyel tesisin atıksu arıtma sorunu oldukça ekonomik bir biçimde çözülebilir. Özellikle arazinin bol ve ucuz olduğu yerlerde yapay sulakalan sistemlerinin uygulanması çok ekonomiktir.

3. BÖLÜM: SULAKALANLARIN SINIFLANDIRILMASI

1. Doğal Sulakalanlar
2. Yapay Sulakalanlar
3. Sucul Bitki Sistemleri

3.1. Doğal Sulakalanlar

Doğal sulakalanlar çoğunlukla alıcı su ortamları olarak düşünülmektedir. Bu bakımdan çoğu durumlarda doğal sulakalanlara atıksu deşarjlarında, tipik olarak ikinci veya ileri kademe arıtmanın şart koşulduğu yürürlükteki yönetmelik hükümlerine uyulması, başka bir deyişle alıcı ortam standartlarının sağlanması gerekmektedir. Hatta doğal sulakalanlara arıtılmış atıksu boşaltımının esas amacı, mevcut habitatın zenginleştirilmesi olmalıdır. Arıtma kapasitesini geliştirmek için mevcut doğal sulakalanların modifiye edilmesi (değiştirilmesi), doğal ekosistemi bozmaktadır; bu sebeple doğal sulakalanlara müdahale edilmemelidir.

Doğal sulakalanlar genellikle ikinci veya ileri kademe arıtmadan geçmiş atıksuların daha ileri arıtımı ile sınırlanmış olmakla birlikte atıksu arıtımında hem doğal ve hem de yapay sulakalanlar kullanılmaktadır.

3.2. Yapay Sulakalanlar

Yapay sulakalanlar doğal sulakalan sistemlerine benzer şekilde inşa edilen atıksu arıtma sistemleridir. Yapay sulakalan sistemlerinde su seviyesi ve akım kontrol altında tutularak arıtma performansı yükseltilmektedir.



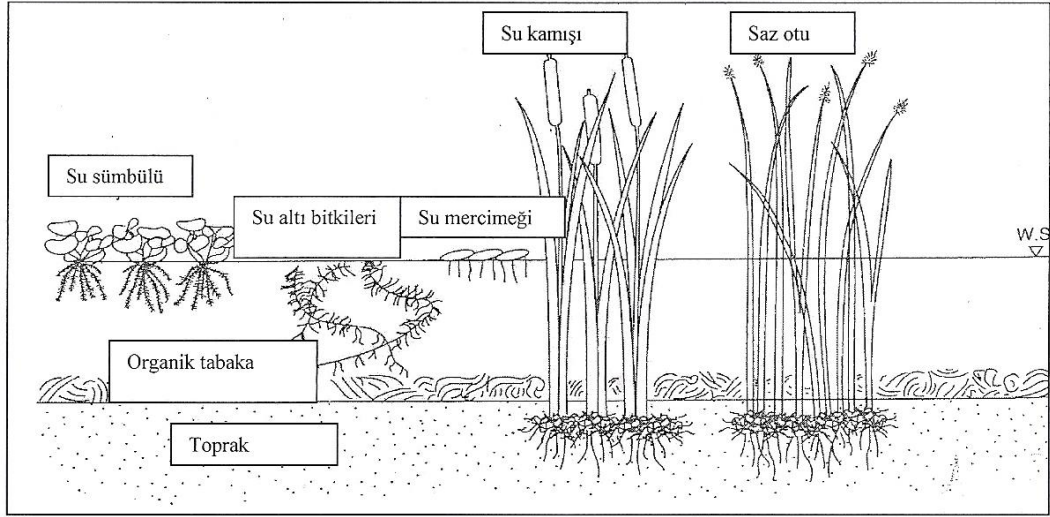
Şekil 3.1.Yapay Sulakalan Uygulaması – TÜBİTAK MAM Kampüsü

Son yıllarda yapay sulakalanlar üzerinde çok araştırma yapılmış ve fazla sayıda uygulama alanı bulmuştur. Bu yeni arıtma sistemleri sadece evsel atıksu arıtımında değil, ön arıtmadan geçmiş kağıt endüstrisi gibi endüstriyel atıksuların yanında, asitli maden drenaj suları ve çöp sızıntı sularının arıtımında da kullanılmaktadır. Yapay sulakalanlar için, doğal ekosistem için getirilen kısıtlamalar olmadığı gibi doğal sulakalanların sahip olduğu arıtma kapasitesinin tamamına sahiptir. Atıksu arıtımı için yapay sulakalanın iki türü geliştirilmiştir: (1) serbest yüzey akımlı sulakalan sistemleri (SYS) ve (2) yüzey altı akımlı sulakalan sistemleri (YAS).

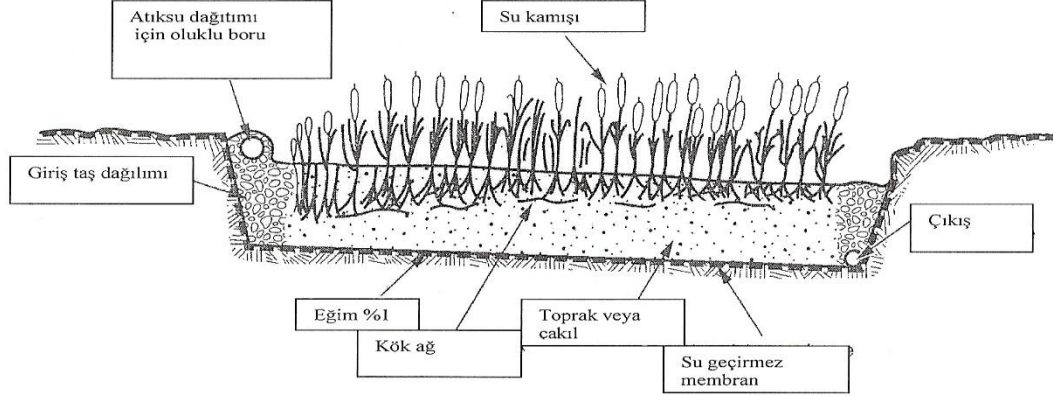
Serbest yüzey akımlı sulakalan sistemleri (SYS) ikinci veya ileri kademe arıtma için kullanıldığında, izafi olarak geçirimsiz tabana veya yüzeyaltı bariyerine sahip, evreli bitkili ve 0,1 – 0,6 metre derinlikli paralel havuzlar veya kanallardan ibarettir (Şekil 3.2). Ön arıtmadan geçmiş atıksular bu sistemlere normal olarak sürekli olarak verilmekte, evreli bitkilerin sap, gövde ve köklerinden dolayı atıksu yavaşça akarken arıtma meydana gelmektedir. SYS yeni bir yaban hayatı oluşturma veya yakındaki mevcut doğal sulakalanı zenginleştirme amaçlarıyla da boyutlandırılabilir. Böyle sistemler normal olarak bitkileri,

açık su alanlarını ve yeni üremiş habitat ile su kuşlarını üretmek için uygun bitkili adacıkları kapsamaktadır.

Yüzey altı akımlı sulakalan sistemleri (YAS), ikinci veya ileri kademe arıtma amacıyla boyutlandırılmaktadır. Bu sistemler, “kök bölgesi” veya “çakıl – su kamışı filtreleri” olarak da adlandırılmaktadır. YAS, evreli bitkileri desteklemek için kum veya kaya ile doldurulmuş izafi olarak geçirimsiz tabanlı kanallardan veya hendeklerden ibarettir (Şekil3.3).



Şekil 3.2. Sulakalan Enkesiti ve Yaygın Olarak Karşılaşılan Sucul Bitkiler (Metcalf & Eddy, 1991)



Şekil 3.3. Tipik Bir Yüzealtı Akımlı Sulakalan Sistemi (YAS) Enkesiti (Metcalf & Eddy, 1991)

3.3. Sucul Bitki Sistemleri

Su bitkileri ile arıtma prosesleri esas itibarıyla serbest yüzeyle atıksu arıtma sistemlerine benzemektedir. Evsel atıksu ve gıda endüstrisi atıksuyu gibi bazı endüstriyel atıksuların arıtılmasında başarıyla kullanılmaktadırlar. Su bitkilerinin büyüme hızları oldukça yüksektir. Hızla büyüyerek su yüzeyini tamamen kaplayabilmektedirler. Alansal yenilenme hızları 6 gün civarındadır. Bu demektir ki 6 günde su yüzeyini tamamen yeniden kaplayabilmektedir. Su yüzeyinin tamamen bitkilerle kaplanması güneş ışığının derinlere nüfuz etmesini önlemekte, bu ise alglerin çoğalmasını sınırlamakta, hatta alglerin tamamen ölmesine sebep olmaktadır.

4. BÖLÜM: YAPAY SULAKALANLARIN ÇEVRE SAĞLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Giriş

Halk sağlığının korunması, atık arıtımının en temel amacıdır. Çevre koruma ikinci ana amaçtır. Mühendisler, bilim adamları ve kamu çalışanları, atık arıtım sistemlerinin bu amaca hizmet etmesini sağlamakla mükelleftirler. (USEPA, 1988)

Sağlıkla ilgili başlıca kirleticiler azot, fosfor, patojenler, metaller ve organiklerdir. Bu kirleticiler ve etkili olma şekilleri Tablo 4.1'de verilmiştir. (USEPA, 1988)

Tablo 4.1. Kirleticiler ve Etkili Olma Şekilleri

Kirleticisi		Taşınım yolu / Etkili olma şekli
Azot	✓ Sağlık	Sağlıksız su kaynağı
	✓ Çevre	Ötrofikasyon
Fosfor	✓ Sağlık	Direk etkisi yok
	✓ Çevre	Ötrofikasyon
Patojenler	✓ Sağlık	Su kaynakları, bitkiler, aerosoller
	✓ Çevre	Toprakta birikim, doğal hayata zarar
Metaller	✓ Sağlık	Su kaynakları, bitkiler, besin zincirindeki hayvanlar
	✓ Çevre	Uzun dönemde toprakta zarar, bitkilere ve doğal hayata zehirli
İz Organikler	✓ Sağlık	Su kaynakları, besin zinciri, bitkiler ve hayvanlar
	✓ Çevre	Toprakta birikim

Yapay sulakalanlarda kirleticisi giderimiyle ilgili altı temel biyolojik reaksiyon şunlardır; bitki solunumu, fotosentez, fermentasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve mikrobiyolojik fosfor giderimi (Mitchell, 1996). Belirli maddeler ise (özellikle metaller) kimyasal reaksiyonlarla

çözünemeyen bileşiklere dönüşür ve çökeltilerek giderilir. Giderimi gerçekleşen başlıca kirletici parametreler şu şekilde sıralanmaktadır;

4.2. AKM Giderimi

Bitkiler su akımını bloke edip hızlarını düşürürken askıdaki maddelerin çoğu çökeltme ve filtrasyonla giderilir. Daha iri boyutlu askıda maddelerin giderimini sağlamak ve sulakalanın tıkanmasını önlemek için sulakalan girişine bir çökeltim havuzu konur. Havuz aynı zamanda çok kirli ise giriş suyunu seyreltmek için de kullanılabilir. Bu proses belirgin bir derecede BOİ, nutrientler (ekseriya azot ve fosfor) ve patojenlerin giderimini sağlar.

4.3. Organik Madde Giderimi

Çökeltmeden sonra kalan çözünebilir organik maddeler bitkilerle temas halindeki bakteriyel biyofilmlerle (konvansiyonel sistemlerdekine benzer) aerobik olarak giderilir. Bitkilerin bu biyofilm tabakasına kökleri vasıtasıyla temin ettikleri oksijen aerobik ayrışmaya yardımcı olur. Organik maddelerin anaerobik ayrışımı ise taban kısmında olur.

4.4. Azot Giderimi

Azot, içme suyu kaynaklarında insan sağlığını korumak için, diğer yüzeysel su kaynaklarında ötrofikasyona mani olmak için kontrol edilmesi gereken bir parametredir. Azot giderimi nitrifikasyon ve denitrifikasyon başta olmak üzere bitkiler tarafından alınma, amonyak uçuculaşması yoluyla gerçekleşmektedir.

4.5. Fosfor Giderimi

Sulakalanlarda fosforun en temel giderimi; adsorpsiyon, filtrasyon, fiziksel çökeltme (yerçekimiyle), kimyasal çökeltme (kompleks oluşumuyla) ve bitki bünyesine alınma yolları ile yapılır.

4.6. Patojen Giderimi

Patojenlerin giderimi suyun sıcaklığına ve kimyasına ve güneş ışığına (ultraviyole) bağlı olarak gelişir. Bu faktörlere bağlı olarak doğal yollarla ölüm, bakteri yiyen mikroorganizmaların (zooplankton) bünyesine geçmesiyle ve çökelmeyle (partiküllere temasla) giderim de önemli bir yer tutar.

Bir sulakalan sistemindeki patojen mikroorganizmalar genelde parazitler, bakteriler ve virüslerdir. Tüm patojenlerin izlenmesi pratik olmadığından Fekal koliform gibi indikatör organizmalar izlenir. Fekal streptococci ve MS-2 bir arıtma sistemlerinin giderim performansını ölçmede kullanılmaktadır. Doğal sulakalanlar patojenlerin yaşamaları için çok uygun bir ortam olduğundan tam olarak giderilmeleri için dezenfeksiyona ihtiyaç duyulur. Yapay sulakalanlarla patojen giderimi %80 ile %90 arasında değişmektedir.

4.7. Toksinler

Sulakalanlar toksinler için mükemmel bir tamponlayıcılardır. Hidrokarbon, fenol, benzen, toluen ve ham yağların yapay sulakalanlarda çok yüksek verimlerle giderildiği kaydedilmiştir (White ve diğ., 1995).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

5. BÖLÜM: YAPAY SULAKALAN TIPLERİ

5.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulakalanlar

5.1.1. Köklü Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemleri

SYS sistemleri içerisinde en yaygın olan türüdür. Seri halinde kanallardan ya da havuzlardan ibaret olup yeraltına sızmanın önlenmesi için taban yapısı kil gibi sızdırmaz bir materyalle kaplıdır. Köklü bitkilerin (Kamış:Cattail ve Saz:Bulrush gibi) dikilmesi ve desteklenmesi için geçirimsiz tabakanın üzerinde belirli bir kalınlıkta toprak tabakası bulundurulur. Sığ derinlikli olduğu için yavaş akım şartları uygulanmaktadır (Hamilton ve diğ., 1993).

Çökeltme işlemiyle atıksudaki çökebilir katılar ve partikül formundaki N ve P giderilir ve sonuçta atıksuyun BOİ5 değeri düşürülür. Zamanla tabanda nutrientce zengin bir çamur tabakası hasıl olur. Makrofitler (gözle görülebilen damarlı bitkiler) kökleriyle bu çamur bölgesine oksijen transfer ederek mikroorganizmaların kirleticileri aerobik olarak ayrıştırmasına yardımcı olurlar. Makrofitler kirleticilerin giderilmesini sağlayan mikroorganizmalar için fiziksel destekleyiciler konumundadırlar (Tousignant, 1999).

5.1.2. Yüzücü Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemleri

Atıksudaki nutrientleri gidermek ve algleri kontrol altına almak için baskın olarak Su mercimeği (Duckweed) ve Su sümbülü (Water hyacinth) gibi yüzücü bitkilerin kullanıldığı SYS sistemleridir. Bu tür sistemlerde genelde bitkilerin sürüklenerek bir yöne yığılmasını önlemek ve bitkiler üzerine rüzgarın olumsuz etkisini azaltmak için yüzücü bariyerler kullanılmaktadır.

Yüzücü bitkiler yüzeyi tamamen kapladıklarından güneş ışığını bloke ederek alglerin gelişimini önlerler (Lemna Corporation, 1994). Bitki gövdeleri ve bariyerler türbülansı azaltarak asılı maddelerin daha kolay çökebilmelerini sağlarlar. Nutrient yüküne, iklime ve

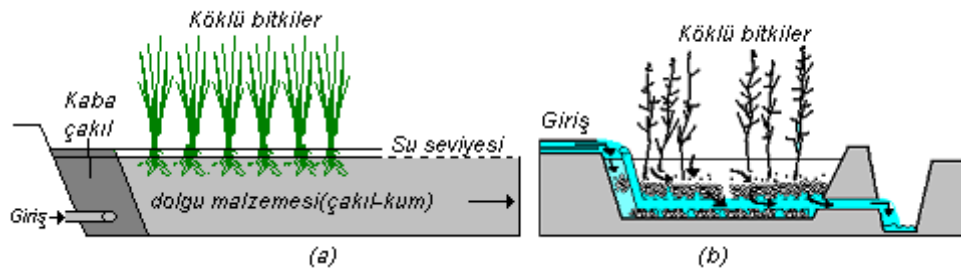
arzu duyulan arıtımın derecesine bağlı olarak bitkilerin periyodik olarak hasatlanmaları önerilmektedir (Lemna Corporation, 1994).

5.1.3. Batık Bitkilerin Hakim Olduğu SYS Sistemleri

Bu tür sistemler henüz deney aşamasındadırlar. Genelde birinci ve ikinci arıtımı takiben nihai arıtım kademesi olarak kullanılmaktadırlar (Brix, 1994). Bu tür sistemler hakkında çok az bilgi mevcuttur.

5.2. Yüzealtı Akışlı Yapay Sulakalanlar

YAS sistemler SYS sistemler gibi benzer giderim mekanizmalarını kullanmaktadır. Yüzealtı akışlı sistemlerde atıksu yüzealtından aktığı için çakıl gibi bir dolgu malzemesi ile temas halindedir. Bu sebeple de bakterilerin büyümesi için daha yüksek bir yüzey alanı ve daha yüksek bir organik yüke müsaade etmektedir. Temel giderim mekanizmaları; filtrasyon, çökeltme ve mikrobiyolojik ayrışım olup serbest yüzey akışlılarla benzer niteliktedir. Atkısuyun akışına göre yatay veya düşey akışlı olarak ikiye ayrılırlar. Düşey akışlılar daha çok kesikli olarak (batch process) işletilip sistemin tam doygun hale getirilmesi önlenerek atmosferden difüzyonla daha kolay oksijen transfer edilmesini sağlar. Şekil 5.1'de yatay ve düşey yüzealtı akışlı sulakalan sistemi görülmektedir (Moshiri, 1993).



Şekil 5.1. YAS sistemleri (a-yatay akışlı, b-düşey akışlı)

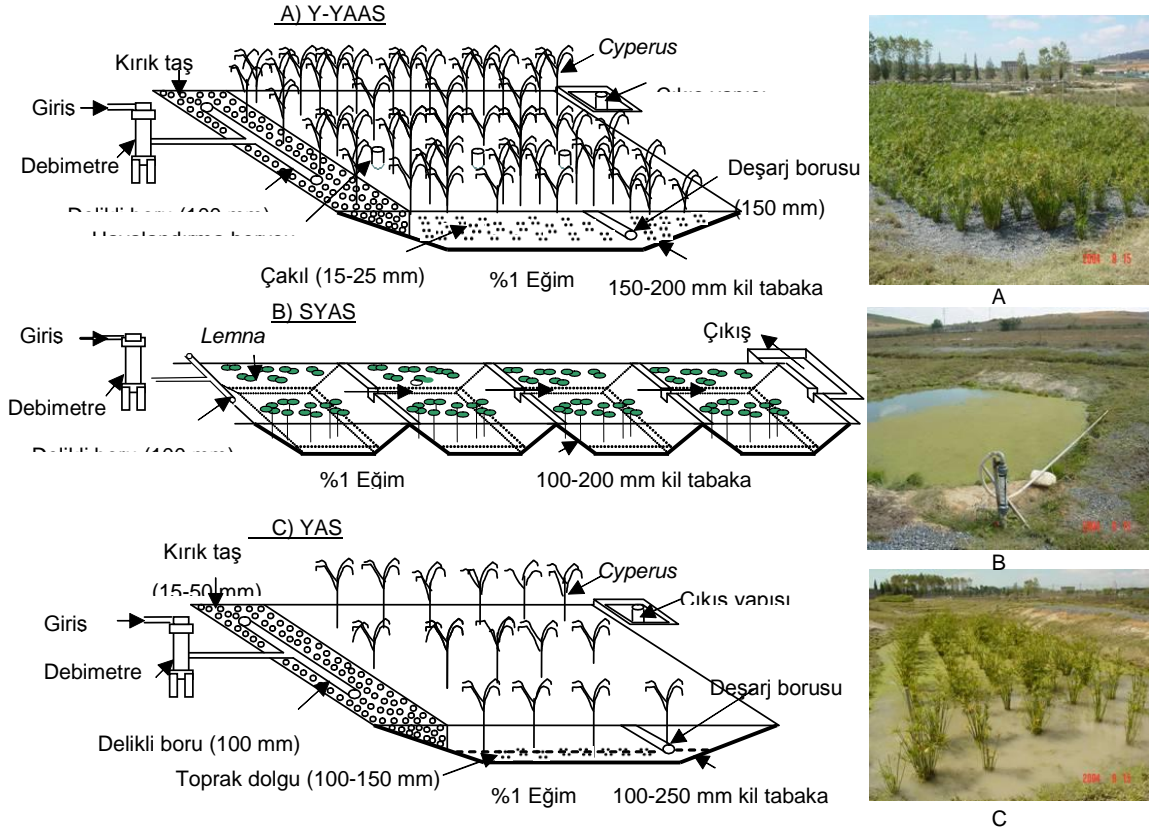
5.2.1. Yatay Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan Sistemi (Y-YAS)

Yüzeyaltından giren atıksu çıkış bölgesine (genelde taban kısmında) ulaşana kadar gözenekli yatak malzemesi içerisinde (yüzeyi geçmeyecek şekilde) yavaşca akmaktadır. Bu yavaş akım sayesinde atıksu aerobik, anoksik ve anaerobik bölgelerle temas eder. Aerobik bölge olarak tanımladığımız yerler substrat ortamına oksijen transferi yapan kökler ile rizomların yakın çevresidir (Tousignant, 1999).

5.2.2. Düşey Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan Sistemi (D-YAS)

Düşey akışlı sistemler klasik biyolojik filtrelere (damlatmalı filtreler) prensip olarak çok benzerdir (Cooper ve diğ., 1996). Yatay akışlılarda olduğu gibi düşey akışlı sistemlerde de kullanılan en yaygın bitki türü su sazları (*Common reeds*)'dır. Bununla birlikte büyük su kamışları (*Cattail*) ve sazlıklar (*Bulrush*) da çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Moshiri, 1993).

Tabandaki drenaj sistemiyle atıksu toplanır. Hızlı drenaj yapıldığında atmosferden atıksu hacmine eşit hacimde oksijen çekilir. Böylece yatak çok iyi oksijenlendirilerek BOİ ve amonyak giderimi için gerekli oksijen sağlanmış olur (Cooper ve diğ., 1996).



Şekil 5.2. Yapay Sulakalan Sisteminin Şematik Planı ve Fotoğrafi (Ayaz, vd. 2008)

6. BÖLÜM: YAPAY SULAKALANLAR İÇİN YER SEÇİMİ VE TASARIM

Sulakalan sistemlerinin yer seçiminde ve tasarımında özellikle; topoğrafya, toprak özellikleri, sel tehlikesi ve iklim içeren yer özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tür sistemlerin tasarımında öncelikle aşağıdaki koşulların değerlendirilmesi yapılmalıdır.

6.1. Topoğrafya

Sulakalan için arazi olarak üniform topografyaya sahip düz veya hafif eğimli alanlar tercih edilmelidir; çünkü SYS ler genellikle düz havuz veya kanallarda, YAS lar ise % 1 veya biraz daha fazla eğimli yerlerde inşa edilmektedirler. Havuzlar daha dik ve düz olmayan alanlarda inşa edilebilmelerine rağmen, gerekli hafriyat işi sistemin maliyetini etkilemektedir. Bundan dolayı sulakalan için gerekli eğim dereceleri normal olarak % 5'ten daha azdır.

6.2. Zemin

Sulakalan sistemleri için düşük geçirimli (< 5 mm/ssat) yüzeye veya yüzeyaltı tabakasına sahip alanlar en çok tercih edilenlerdir; çünkü burada amaç zemin profili üzerindeki su tabakasında atıksuyu arıtmaktır. Bundan dolayı zemin profili boyunca sızma kayıpları minimize edilmelidir. Arazi yüzeyinden akıtma sistemlerinde olduğu gibi zemin yüzeyi, atıksu içindeki katı tortular ve oluşan bakteriyel balçıklarla, zamanla boşlukları doldurma eğilimindedir. Doğal zeminlerin geçirgenliği, inşaat esnasında sıkışma yoluyla önemli ölçüde azalabilmektedir. Daha geçirgen zeminli alanlarda kil veya suni geçirimsiz astarlar kullanılarak, küçük sistemler için, taban geçirimsiz hale getirilebilir. Zemin yüzeyinin yer altı suyuna veya ana kayaya uzaklığı, arazi yüzeyinden akıtma sistemlerinde olduğu gibidir; yani bu mesafe en az 0,3 ila 0,6 m civarında olmalıdır.

6.3. Taşkın Tehlikesi

Genel olarak sulakalanların taşkın alanların dışında teşkil edilmesi veya sulakalanın taşkından korunması gerekir. Taşkınların sadece kış aylarında meydana geldiği ve sistemin işletilmediği dönemler için nadir oluşan taşkınlardan korunma gerekmeyebilir.

6.4. Arazi Kullanımı

Sulakalanlar için özellikle doğal sulakalanların yakınındaki boş araziler veya tarım alanları tercih edilmelidir. Yapay sulakalanlar, ilave yaban hayatı ve bazı durumlarda çok daha uygun su temini sağlayarak mevcut doğal sulakalanları zenginleştirebilir.

6.5. İklim

Sulakalanların soğuk iklimlerde de kullanılması mümkündür. Listowel, Ontario (Kanada) da 3 °C gibi düşük sıcaklıklarda bile bir serbest yüzey akımlı sulakalan sistemi (SYS) yıl boyunca işletilebilmiştir. Bununla birlikte kış boyunca bu sistemi işletmenin fizibilitesi havuzdaki suyun sıcaklığı ve arıtma maksatlarına bağlıdır. Çünkü esas arıtma mekanizması, arıtma veriminin sıcaklığa karşı çok hassas olduğu, biyolojiktir. Su sümbülü gibi sıcaklık değişimine karşı çok hassas bazı bitkilerin görev yaptığı sulakalanların arıtma maksatları karşılayamadığı düşük sıcaklıklarda depolama gerekecektir.

6.6. Arazinin ve Sistemin Fiziksel Özellikleri

6.6.1. Arazinin Hazırlanması

- Arazide bitkilerin kaldırılmasının kaçınılmaz olduğu yerlerde ağaçlar, otlar vb. ortamdaki uzaklaştırılmalıdır. Ancak olabildiğince arazideki doğal bitki örtüsü korunmalıdır.
- Toprağın kazılmasının ve kaldırılmasının gerekli olduğu durumlarda kaldırılan toprak daha sonra arıtma havuzlarında dolgu toprağı olarak kullanılabilir. Dolgu toprağı taş, bitki artığı vb. içermemelidir.

- Olabildiğince arazinin eğiminden faydalanılarak tasarım ve inşaa gerçekleştirilmelidir. Arazide kademelendirme yapılmalıdır. Gerekli kot oluşturulmalıdır. Uygun havuz tabanının hazırlanması için mekanik sıkıştırma gerekmektedir (Taylor, C. 2009).

6.6.2. Arazi İhtiyacı

Sistem boyutlarının belirlenmesinde Bölüm 7'de özetlenen hesap yöntemleri esas alınmalıdır.

6.6.3. Ön Arıtma İhtiyacı

Sulakalan sistemleri için minimum ön arıtma düzeyi, birinci kademe arıtma, kısa bekletme süreli havalandırılmalı havuzlar veya bunların eşdeğeridir. Bu seviyenin ötesindeki arıtma, deşarj standartlarına ve sulakalan sistemlerinin kirletici giderme kapasitesine bağlıdır. Bir çok yerde sulakalanlar, çok daha sıkı yönetmelik gereklerini karşılamak için, mevcut ikinci kademe arıtma tesislerinden çıkan su kalitesini iyileştirmede kullanılmaktadır. Sulakalanlar ile arıtmadan önce, yüksek konsantrasyonda alg üreten oksidasyon havuzları veya lagünlerin kullanımından kaçınılmalıdır; çünkü, arazi yüzeyinden akıtma sistemlerinde olduğu gibi sulakalanlar vasıtasıyla alg giderimi uygun değildir. Fosfor için deşarj standartlarının sıkı olduğu yerler için ön arıtmada fosfor giderilmesi tavsiye edilmektedir ; çünkü sulakalanlarda fosfor giderimi sıkı deşarj standartlarını sağlayacak kadar yüksek değildir. Sulakalanlardan önce fosfor giderimi için ön çökeltim tanklarına kimyasal madde uygulanabilir.

Yaygın uygulama yapay sulakalanlar öncesinde ön arıtma olarak foseptiklerin kullanımınıdır. Katı maddelerin ve köpüğün foseptikten sulakalana kaçışının önlenmesi için foseptikler en az iki bölmeli olmalı veya çıkışta filtre kullanılmalıdır (Taylor, C. 2009). Foseptiğin izolasyonu yapılarak sızdırmazlığı sağlanmalıdır. Mevcut bir foseptik kullanılacaksa foseptiğin fonksiyonunu ne ölçüde yerine getirdiğinin kontrolü yapılmalıdır.

6.6.4. Besleme ve Pompa İhtiyacı

Yapay sulakalana atıksu girişi cazibeyle sağlanabileceği gibi pompa kullanımı da gerekebilmektedir. Olabildiğince atıksuyun cazibeyle akışı tercih edilmeli ve sağlanmalıdır. Eğer pompa ihtiyacı mevcutsa atıksuyun uygun dağıtımı ve kot farkı için yeterli olacak pompa seçilmelidir. Pompalar otomatik devreye girebilen pompalar olmalıdır. Pompaların elektriksel ve mekanik olarak korunmasına dair tedbirler alınmalıdır ve periyodik olarak kontrolleri yapılmalıdır. Sistemin beslenme şekli belirlenirken düşük dozlarla beslemenin dolgu yatağını tıkanmaya karşı koruyucu olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (**Taylor, C. 2009**).

6.6.5. Taban İzolasyonu

Yapay sulakalanhavuzlarının dipleri ve yanal yüzleri izole edilecektir. Yapay sulakalantabanı, PVC, HDPE, PPE gibi geçirimsiz bir malzeme (jeomembran) ile kaplanmalıdır. Taban astarının/jeomembranın güneşe ve hava koşullarına karşı dirençli olması, yıpranmaması önem taşımaktadır (**Taylor, C. 2009**). Taban jeomembranı yerleştirilirken havuzun eğiminin korunması, jeomembranda delik, aşınma vb. zararlar oluşmaması önemlidir

Jeomembranın boru bağlantı noktaları sızma açısından kritik bölgelerdir. Üst bitiş noktaları köşe tespit profilleri ile sabitlenmeli ve yine bu noktalar da izole edilmelidir. Bu işlemler için paslanmaz dübel, pul, civata vb. malzeme kullanılmalıdır. Bu noktaların daha titiz kontrolü gerekmektedir.

İzolasyon için polietilen jeomembran kullanılması durumunda membranın ek yerleri birbirinin üzerine binerek kaynaklanmalıdır. Jeomembran kaplama tamamlandıktan sonra su sızdırmazlık testi yapılmalı, havuzlar temiz su ile doldurulup minimum 24 saat bekletildiğinde su miktarında havuz hacminin %0,6'sından fazla azalma olmadığı görülmelidir.

Jeomembranın zarar görmemesi için dolgu malzemesi yerleştirilmeden önce sistemin tabanı 5-10 cm kum ile kaplanarak kumun tampon görevi yapması böylelikle astarın zarar görmesi engellenmelidir **(Taylor, C. 2009)**.

Geotekstil keçe ile havuzların dipleri ve yanal yüzleri izole edilecektir. Bu işlem polietilen jeomembran serilmeden önce ve sonra olmak üzere her bir havuz için iki kere uygulanmalıdır.

6.6.6. Dolgu Malzemesi

Sulakalanda dolgu malzemesi seçiminde şu hususlar dikkate alınmalıdır;

1. Yatay yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemlerinde sistem giriş ve çıkışları büyük dane boyutlu çakıl malzeme ile doldurulmaktadır.
2. Yatay yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemlerinde sistemin ortada kalan bölgesi (girişten 1m ve çıkıştan 1m bırakıldığında kalan orta bölge) orta boyutta çakıl ile doldurulmaktadır. Bu boyutların belirlenmesinde sistemin kaçınıcı kademe olarak iletildiği önem taşımaktadır.
3. Sahaya getirilen dolgu malzemesinin en azından %94'ü #10 elekten küçük malzemeleri içermemelidir **(Taylor, C. 2009)**.
4. Dolgu malzemesi, uygun boyutlara getirilmiş, elenmiş ve/veya yıkanmış olarak sulakalana yerleştirilmelidir. Dolgu malzemesi içinde yer alan küçük daneli malzemeler ve toprak sulakalanın daha kısa sürede tıkanmasına ve fonksiyonunun azalmasına sebep olabilir.

6.6.7. Borulama, Seviye Kontrol Borusu ve Rogarı

Borulama genellikle PVC ile yapılmaktadır. Borular dolgu içine gömülmeden önce işletme basıncı altında çalıştırılarak test edilmelidir.

Yapay sulakalan havuzları içinde su seviyesinin, kontrol rogarı veya borusu ile istenen seviyede tutulması sağlanmaktadır. Çıkış borusunda farklı seviyelerde çıkış

sağlanabilmekte, su seviyesi kontrol edilebilmekte ve gerekli durumlarda sistem hızlı bir şekilde tamamen boşaltılabilmektedir.

Su seviyesi kontrolünde kullanılan çıkış borusunu bulunduğu noktada yapıştırmak veya başka yöntemlerle sabitlemek uygun olmayacaktır. Bu noktada boru yerinden çıkarılabilir şekilde tasarlanıp uygulanmalıdır ki gerektiğinde sulakalan sıfır kotundan tamamen boşaltılabilsin (Taylor, C. 2009).

6.6.8. Bitki Seçimi ve Yönetimi

Sulakalan arıtma sistemlerinde, zemin veya granüler destekli ortamda köklenerek zemin yüzeyine çıkan veya su yüzeyine penetre olan, hızlı büyüyen (emergent) bitkiler kullanılabilir. Doğal sulakalanlarda görülen ve yapay sulakalanlarda kullanılan başlıca bitki türleri büyük su kamışı (cattail), saz otu (bulrush), kamışlar (reeds) ve ayak otları (sedges) gibi hızla gelişen bitkilerdir. Bu bitkilerin kök derinliklerinin fazla olması sulakalan sistemlerinde avantaj yaratmaktadır. Sulakalanlardaki bitkilerin görevleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- a) bakteri filmlerinin tutunması için yüzey teşkil etmek,
- b) atıksudaki kirletici bileşenlerin filtrasyonuna ve adsorbsiyonuna katkıda bulunmak,
- c) fotosentezle su ortamının oksijenlenmesini sağlamak,
- d) güneş ışığının suya penetrasyonunu sınırlayarak alg büyümesini kontrol etmek,
- e) nutrient giderimi sağlamak.

Bitkiler, kökleri ve toprak altındaki gövdeleri vasıtasıyla arıtma havuzunun tabanına oksijen vermek ve biyolojik arıtmada esas görevi üstlenen biyofilmler için su yüzeyinin altında uygun bir tutunma ortamı sağlamak gibi sulakalan arıtımında iki önemli role sahiptirler.

Sulakalanbitkileri, her yerde yetişebilmekte ve donma şartlarını tolere edebilmektedir. Serbest Yüzey Akışlı Sistem (SYS) için optimum su derinliği, Yüzeyaltı Akışlı Sistemler (YAS) için ise toprak altındaki gövde ve kök derinlikleri, bitkilerin boyutlandırma ile ilgili

önemli özellikleridir. 15 cm'den daha büyük su derinliklerinde su kamışları (cattail), ortama hakim olma (dominant hale gelme) eğilimindedir. Hasır sazları (bulrush), 5 ila 25 cm'lik su derinliklerinde çok iyi büyümektedirler. Kamışlar (reeds), kıyı çizgisi boyunca ve 1,5 metreye kadar su derinliklerinde büyümektedirler; fakat sığ sularda diğer bitkilerle rekabet etmede zayıf kalmaktadırlar. Ayak otları (sedges), normal olarak kıyı çizgisi boyunca ve hasır sazlarından daha sığ sularda gelişmektedir. Kamışların (reeds) kök gövdeleri ve kökleri 60 cm den, hasır sazlarının ki 75 cm den daha derine inerken, büyük su kamışlarının (cattail) ki yaklaşık olarak 30 cm civarında kalmaktadır. Yüzealtı akışlı sistem (YAS) için kamışlar (reeds) ve hasır sazları (bulrush) tercih edilmektedir ; çünkü toprak altında kalan gövdelerinin derinliği, daha derin havuzların kullanılmasına izin vermektedir.

Özellikle yüzealtı akışlı sistem (YAS) için sulakalan bitkilerinin hasatlanmasına genellikle ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla birlikte, serbest yüzey akışlı sistemdeki kurumuş otlar serbest akış şartlarını muhafaza etmek ve akışın kanallanmasını önlemek için periyodik olarak biçilip dışarıda yakılmaktadır. Nutrient giderimi için bitki biyokütlesinin giderilmesi normal olarak pratik değildir.

Tablo 6.1. Yapay Sulakalanlarda Bitkilerin Fonksiyonu (USEPA, 1988)

Bitki bölgesi	Fonksiyonu
Su sütunu içindeki kökler ve gövde	Bakteri kütlelerinin büyüdüğü yüzeyi oluşturur.
	Katıların filtrasyonu ve adsorpsiyonu için ortam oluşturur.
Su yüzeyindeki ve üzerindeki gövde ve yapraklar	Güneş ışığının yüzeye düşmesini engelleyerek veya azaltarak alg oluşumunu engeller.
	Rüzgarın su üzerindeki etkisini azaltır. (ör : atmosfer ile su arasında gaz transferini azaltır.)
	Bitkinin su altındaki bölgeleri ile diğer kısımlar

arasında gaz transferini sağlar.

6.6.9. Serbest Yüzey (Yüzeysel) Akışlı Sistemlerde Sivrisinek ve Kontrolü

Sulakalanlar, özellikle serbest yüzeyli sistemler, sivrisinekler için ideal üreme ortamlarıdır. Yapay sulakalan sistemi kullanımının fizibilitesinin tesbitinde vektör kontrolü hususu, en kritik faktör olabilmektedir. Boyutlandırmada, sivrisinek balığının (*Gambia ofinis*'in) kullanılmasıyla sivrisineklerin biyolojik kontrolüne ilave olarak gerekirse kimyasal kontrol maddelerine de ihtiyaç olacağı dikkate alınmalıdır. Balık sayısını belirli bir seviyede muhafaza etmek için, çözünmüş oksijen seviyesini 1 mg/l'nin üzerinde tutmak gerekmektedir. Balıkların ulaşamadığı su ceplerini (kıyımlarını) elimine etmek için bitkilerin seyrekleştirilmesi de gerekebilmektedir. Yüzeysel su bölgesine sivrisinek girişini önleyecek şekilde boyutlandırıldığında, yüzeysel akışlı sulakalan sistemleri için, sivrisinek üremesi bir problem olmamaktadır. Bu maksatla sulakalan yüzeyi normal olarak, çakıl veya kuvars kumu ile kaplanmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde su bitkilerinin kullanılıp kullanılmamasına karar verilmesinde en kritik faktör sivrisinek üremesi olmuştur (Metcalf and Eddy, 1991). Sivrisinek kontrolünden amaç, sivrisinek nüfusunu, hastalık taşıma eşiğinin ve rahatsızlık verecek seviyenin altında tutmaktır. Sivrisinek kontrolü için aşağıdaki önlemler alınabilir:

- a) havuzda sivrisinek balıkları (*Gambusia spp.*) yetiştirmek,
- b) havuzda aerobik şartların sağlanmasına yardım etmek için su bitkisi ile arıtma birimine gelen toplam organik yükü azaltmak amacıyla etkili bir ön arıtma uygulamak,
- c) kademeli besleme ve havuz girişine geri devir yapmak,
- d) daha sık su bitkisi hasatlamak,
- e) akşam saatlerinde havuz yüzeyine su püskürtmek,
- f) havuza kimyasal kontrol maddeleri (larvisit) uygulamak,



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

g) havalandırıcı ile havuza oksijen vermek,

h) biyolojik kontrol maddeleri (*BT israelensis* gibi) uygulamak

Sivrisinek kontrolü için kullanılan balıklar organik olarak aşın yüklenmiş havuzlarda anaerobik şartlar oluşması sonucu ölebilmektedirler. Ayrıca havuzda çok sık su sümbülü yetiştirilmiş olmasıyla sivrisinek balıkların inhibe olmakta ve bunun sonucunda sivrisinek üremesi hızlanmaktadır.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

7. BÖLÜM: YAPAY SULAKALANLARDA BOYUTLANDIRMA PARAMETRELERİ

Yapay sulakalan sistemleri için temel boyutlandırma parametreleri,

- hidrolik bekletme süresi,
- havuz derinliği,
- havuzun geometrisi (genişlik ve uzunluğu),
- **BOİ₅ yükleme hızı**
- hidrolik yükleme hızıdır.

Boyutlandırma için önerilen tipik aralıklar Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Yapay Sulakalanlar İçin Tipik Boyutlandırma Değerleri (MetCalf & Eddy, 1991)

Boyutlandırma Parametresi	Birimi	Sistemin Tipi	
		Serbest yüzey akışlı sistem (SYS)	Yüzeyaltı akışlı sistem (YAS)
Hidrolik bekletme süresi	gün	4 – 15	4 – 15
Su derinliği	metre	0,1 – 0,6	0,3 – 0,75
BOİ ₅ yükleme hızı	kg/ha-gün	< 67	< 67
Hidrolik yükleme hızı	m ³ /m ² -gün	0,014 – 0,05	0,014 – 0,05
Spesifik alan	ha/1000 m ³ -gün	7 – 12	7 – 12

7.1. Hidrolik Bekletme Süresi

BOİ giderimi amacıyla boyutlandırılan serbest yüzey akışlı sulakalan sistemi için gerekli bekletme süresi aşağıdaki birinci derece giderme modelinin kullanılmasıyla bulunabilir (Reed ve diğ., 1988) :

$$C_E / C_0 = A \exp (- 0,7 K_T (A_V)^{1,75} t) \quad (7.1)$$

C_E = Çıkışta istenen BOİ₅ konsantrasyonu, mg/l

C_0 = Giriş BOİ₅ konsantrasyonu, mg/l

A = Sulakalan girişinde ön çökeltme ile giderilememiş BOİ₅ fraksiyonunu temsil eden ampirik olarak tespit edilmiş bir katsayı

0,7 = ampirik bir sabit

K_T = Sıcaklığa bağlı 1. derece hız sabiti, (gün)⁻¹

A_V = Mikrobiyolojik aktivite için spesifik yüzey alanı, m² / m³

t = Hidrolik bekletme süresi, gün

Hidrolik bekletme süresi boyutlandırma debisinin bir fonksiyonu olup sistem geometrisine bağlı olarak aşağıdaki denklemle ifade edilebilir :

$$t = L W n d / Q \quad (7.2)$$

L = Havuz uzunluğu, m

W = Havuz genişliği, m

n = Bitkiler tarafından kapatılmamış enkesit alanının oranı,

d = Havuz derinliği, m

Q = Sistemden geçen ortalama debi [$Q_{\text{giriş}} + Q_{\text{çıkış}}$] / 2], m³/gün

Denklem (7.1) ve Denklem (7.2) deki katsayılar için aşağıdaki değerler kullanılabilir (Reed ve diğ., 1988), bununla birlikte sınırlı data ile geliştirilmiş olmalarından dolayı bu değerlerin kullanılmasında ihtiyatlı olunmalıdır.

$$A = 0,52$$

$K_T = K_{20} (1,1)^{T-20}$ olup burada T, °C olarak yerine konulmalıdır. $K_{20} = 0,0057$ (gün)⁻¹ alınabilir.

$A_V = 15,7$ m²/m³ (bu değer 1 m³ sulakalan hacminde mikroorganizmaların tutunabilmesi için gerekli yüzey alanını, yani bitki yüzeyini göstermektedir)

n = 0,75 (bu değer enkesitin % 25'inin bitkilerle kapatıldığının kabul edildiğini göstermektedir)

BOİ giderimi amacıyla kullanılan yüzeyaltı akışlı sulakalan sisteminde gerekli bekletme süresi tesbiti için benzer bir model önerilmektedir (Reed ve diğ., 1988) :

$$C_E / C_0 = \exp (- K_T t') \quad \dots\dots\dots (7.3)$$

Denklem (7.3)'teki t' parametresi, ortamın porozitesine veya delik boşluklarındaki bekletme süresine bağlı teorik bekletme süresini göstermekte olup aşağıdaki denklemle tanımlanmaktadır :

$$t' = L W \alpha d / Q \quad \dots\dots\dots (7.4)$$

t' = atıksuyun boşluklardaki bekletme süresi, gün

α = havuz ortamının porozitesi

Gerçek bekletme süresi t, ortamın hidrolik iletkenliğinin ve havuz uzunluğunun fonksiyonudur :

$$t = L / (k_S S) \quad \dots\dots\dots (7.5)$$

k = hidrolik iletkenlik, m³/m² – gün

S = havuzun eğimi

Yüzeyaltı akımlı sulakalan (SYS) sistemlerinde tipik olarak kullanılan dolgu ortamının özellikleri Tablo 7.2’de verilmiştir. Sulakalan boyutlandırılması için yukarıda verilen denklemlerin herhangi birisinin kullanılmasında ihtiyatlı davranılması tavsiye edilmektedir ; çünkü bu denklemler sınırlı sayıdaki tam ölçekli tesis veriminin değerlendirilmesinden türetilmiştir. Tüm parametreler için boyutlandırma değerlerinin Tablo 7.1’de verilen aralıklarda kalıp kalmadığı kontrol edilmeli ve büyük projeler için pilot tesis çalışmaları yapılmalıdır.

Sulakalanların azot giderme verimi doğrudan hidrolik bekletme süresiyle ilgilidir ; fakat azot giderme verimlerini tahmin etmede, genel olarak, BOİ için kullanılan birinci derece modelleri iyi sonuç vermemektedir. Diğer taraftan mevcut azot formları gibi, C/N oranı, sistemin geometrisi ve

bitki cinsi de azot giderimini kuvvetli bir şekilde etkilemektedir. Sulakalan sistemlerinde azot giderimi için gerekli, boyutlandırmaya esas bekletme süreleri, günümüzde, pilot tesis verilerine veya benzer atıksu özellikleri ve arazi şartlarına sahip sistemleri performanslarına dayanmaktadır. Dönüşümlü (münavebeli) olarak kullanılan, büyük su kamışı / serbest yüzeyli su / çakıl sistemine ait tipik TKN Giderimi – Hidrolik Bekletme Süresi verileri Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Serbest yüzey akımlı sistemler için bitkilendirilmiş ve açık su bölgelerinin dönüşümlü olarak kullanılmasının, azot giderimini optimize etmek gerekli en uygun çevresel şartların kombinasyonunu sağlayabileceği açıktır. Böyle bir konfigürasyonun muhafazası, açık su bölgelerinde gelişecek bitkilerin en azından yılda bir defa periyodik olarak hasatlanmasını gerektirmektedir.

Tablo 7.2. Yüzeyaltı Akımlı Sulakalan Sistemleri İçin Tipik Ortam Karakteristikleri

Ortamın Tipi	Maksimum % 10 Dane	Porozite	Hidrolik	K ₂₀
	Büyüklüğü, (mm)	α	İletkenlik, (k _s), m ³ /m ² -gün	

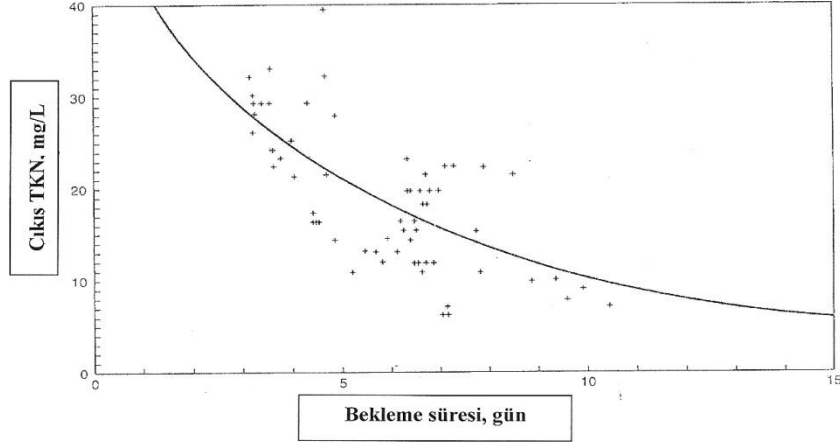


TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

Yapay Sulakalanlar El Kitabı

39 / 111

Orta kum	1	0,42	420	1,84
Kuvars kum	2	0,39	480	1,35
Çakıllı kum	8	0,35	500	0,86



Şekil 7.1. Yapay Sulakalan Sisteminin Tipik Azot Giderme Performansı

Typha / Açık Su / Çakıl Sisteminin Değişimli Olarak Kullanılması Durumu İçin Hidrolik Bekletme Süresine Bağlı Olarak Çıkış Suyundaki TKN Konsantrasyonunun Değişimi (Metcalf & Eddy, 1991).

7.2. Su Derinliği

Serbest yüzey akışlı sulakalan sistemleri için boyutlandırmaya esas su derinliği, seçilmiş bitki için optimum derinliğe bağlıdır. Soğuk iklimlerde işletme derinliği normal olarak, su yüzeyinde buz oluşmasına izin vermek ve daha soğuk sıcaklıklarda gerekli fazla bekletme süresini sağlamak için kış aylarında artırılmaktadır. Bu sebeple sulakalan sistemleri için, değişen işletme derinliklerine izin verecek bir çıkış yapısı boyutlandırılmalıdır. Listowel, Ontario'daki sistem, yaz aylarında 10 cm ve kış aylarında 30 cm su derinliğinde çalıştırılmaktadır.

Yüzeyaltı akımlı sulakalan sistemlerinde boyutlandırmaya esas alınacak derinlik, bitki kökleri ve kök gövdelerinin penetrasyon derinliği ile kontrol edilmektedir ; çünkü bitkiler rizom/kök sistemi ile suya oksijen vermektedirler.

7.3. Havuz Alanı ve Geometrisi

Havuzun geometrisi, hangi sistemde (SYS'mi YAS' mı) inşa edileceğine bağlıdır. Bu iki sistem için aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

7.3.1. Serbest Yüzey Akımlı Sulakalan Sistemleri

Bu sistemler için, yüzey alanı (L x W) Denklem (2) ye göre hidrolik bekletme süresi ve derinliğe göre belirlenmektedir. Bir çalışmada, uzun dar havuzlarda mükemmel verimler elde edildiği rapor edilmesine ve L/W oranının en azından 10/1 olması tavsiye edilmesine rağmen, optimum L/W oranı kesin olarak tesbit edilememiştir. Uzun dar havuzların kullanımı, potansiyel kısa çevrimleri azaltmaktadır ; ancak, havuz girişindeki organik yük sık sık maksimum organik yükleme değerini aşabilmektedir. Girişteki aşırı yüklemekten kaçınmak için **kademeli beslemeli** yilankavi bir kanal düzenlemesi kullanılabilir. Mevcut sistemler, yaklaşık olarak, havuz uzunluğuna eşdeğer toplam genişliğe sahiptir. Sistemin genişliği, daha iyi bir hidrolik kontrol ve işletme esnekliği sağlamak için kısa toprak bölge (berm) ile ayrılmış çok sayıda (en az iki) paralel havuza bölünmüştür. Çok bölmeli havuzlar sayesinde bitki yönetimi ve havuzun yenilenmesi için sistemin bir kısmı işletme (servis) dışı bırakılabilmektedir.

7.3.2. Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan Sistemleri

Bu sistemlerin enkesit alanı (A_C), aşağıdaki denkleme göre gerekli hidrolik kapasiteye göre belirlenir :

$$A_C = Q / (k_S S) \dots\dots\dots 7.6)$$

($k_S S$) olarak tanımlanan akım hızı, bakteriyel filmlerin lokalize koparılmalarını minimize etmek için 6,8 m/gün değeriyle sınırlanmıştır (Reed ve diğ., 1988). Sistemin genişliği, enkesit alanının ve boyutlandırma derinliğinin fonksiyonudur ve aşağıdaki denkleme hesaplanmaktadır :

$$W = A_C / d \dots\dots\dots (7.7)$$

Genişlik belirlendikten sonra gerekli uzunluk Denklem (4) den hesaplanabilir. Yüzeyaltı sulakalan sistemlerinin genişliği, aslında, genişliğinden daha az olacaktır.

7.4. BOİ₅ Yükleme Hızı

Arazi yüzeyinden akıtma sistemlerinde olduğu gibi, BOİ₅ yükleme hızı, uygulanan atıksuyun oksijen ihtiyacı sulakalandaki bitkilerin oksijen transfer kapasitesini aşmayacak şekilde sınırlanmalıdır. Alan yükleme kriterinin (kütle/alan-zaman) kullanılmasıyla kontrol yapılmalıdır ; çünkü gerçek yük havuz içerisine üniform olarak uygulanamamaktadır. Biyokütle yüzeyine oksijen üniform olarak temin edilirken, organik yük havuzun giriş kısmında daha konsantredir. Hızlı büyüyen (emergent) bitkiler için değerlendirilmiş oksijen transfer hızları, 5 - 45 gr/m²-gün arasında değişmekte olup çoğu sistemler için tipik olarak düşünülen ortalama değer 20 gr/m²-gün (200 kg/ha-gün) dür. Bu oksijen transfer hızı, damlatmalı filtre için 28,5 gr/m²-gün lük oksijen transfer hızı ile karşılaştırılabilir. Oksijen, açıktaki yaprak ve gövdeden toprak altındaki gövde ve kök kısmına transfer edilmektedir. Bitki köklerinin akan su kolonu ile temas ettiği yüzeyaltı akışlı sistemler için köklere transfer edilen oksijen, su kolonu içinde çözülmüş formdaki BOİ ile ifade edilen organik maddeleri ayrıştıran biyofilmler tarafından kullanılacaktır.

Oksijen ihtiyacı, nihai oksijen ihtiyacı bazında tesbit edilmelidir. Yüzeyaltı akışlı sistemler için maksimum BOİ₅ yükleme hızı, BOİ_U/BOİ₅ = 1,5 alınarak, 133 kg/ha-gün ile sınırlanmıştır. JWPCF (1990) bu değeri daha emniyetli olarak 110 kg/ha-gün olarak vermektedir. BOİ yükü sistem girişinde daha konsantre olduğundan, boyutlandırmaya esas nihai BOİ yükleme hızının, oksijen transfer hızının yarısını aşmaması tavsiye edilmektedir (Hammer, 1989 ve Reed et all, 1988). Bu durumda BOİ_U/BOİ₅ = 1,5 kabulüyle maksimum BOİ₅ yükleme hızı $0,5 \times 200 / 1,5 = 66,5$ kg / ha – gün ile sınırlanmış olmaktadır. Çökebilir organik maddelerin önemli bir kısmını ön arıtmada gidermeden sulakalana veren sistemler için yükleme hızı ya daha düşük alınmalı veya havuzun başında anaerobik şartların oluşmasını önlemek için kademeli besleme ile atıksu havuz uzunluğu boyunca sulakalana verilmelidir.

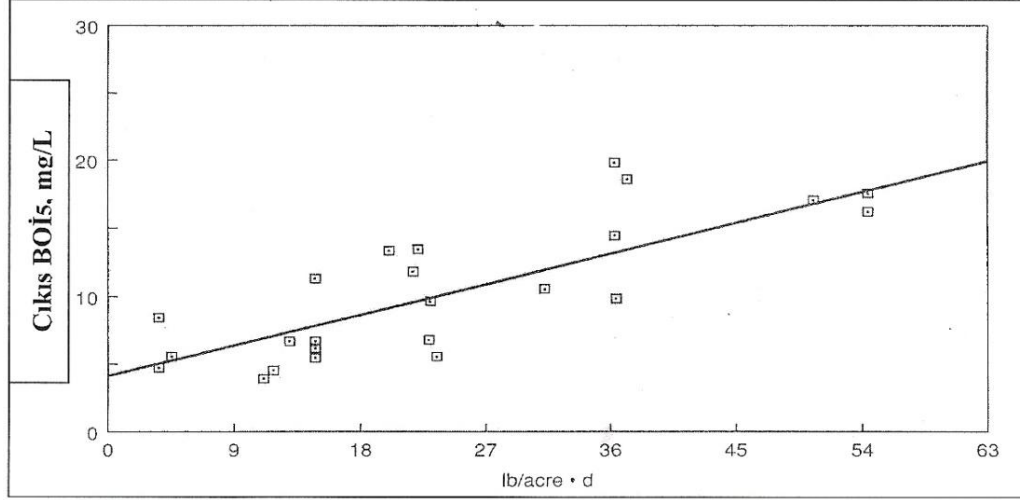


TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

Serbest yüzeyli sulakalan sistemleri için su kolonuna oksijen transferi, serbest yüzey akışlı sistemlere nazaran sınırlıdır ; çünkü kök bölgesi su kolonunun altındaki zemin profili içindedir ve kök bölgesine transfer edilen oksijen büyük ölçüde, sulakalanda normal olarak mevcut olan bentik oksijen ihtiyacı için tüketilecektir. İlave olarak, rüzgarın sebep olduğu yeniden havalanma ve fotosentez yoluyla su yüzeyinden oksijen transferi, sulakalan yoğun bitki ile kaplandığı zaman minimuma inmektedir. Bu sebeple, tamamen bitkiyle kaplanmış serbest yüzey akımlı sulakalan sistemleri, sadece orta seviyede BOİ yükleme hızları için uygundur. Mevcut literatürdeki spesifik tavsiyelerin ışığında, böyle sistemler için boyutlandırmaya esas organik yükleme hızları, yüzeyaltı akımlı sistemler için tavsiye edilen 66,5 kg / ha – gün değerini aşmamalıdır. Şekil 7.2’de gösterildiği gibi, oksidasyon havuzu çıkış sularının verildiği tamamen bitkiyle kaplanmış sulakalan sistemi, 60 kg / ha – gün değerine kadarki BOİ₅ yükleme hızlarında başarılı bir arıtma gerçekleştirmiştir. Azot giderme veriminin artırılması için daha önce de belirtildiği üzere, bitkilendirilmiş ve açık su hücrelerinin dönüşümlü olarak kullanılmasıyla sistemin genişliği boyunca oksijen transferinde de artış sağlanmıştır

7.5. Hidrolik Yükleme Hızı

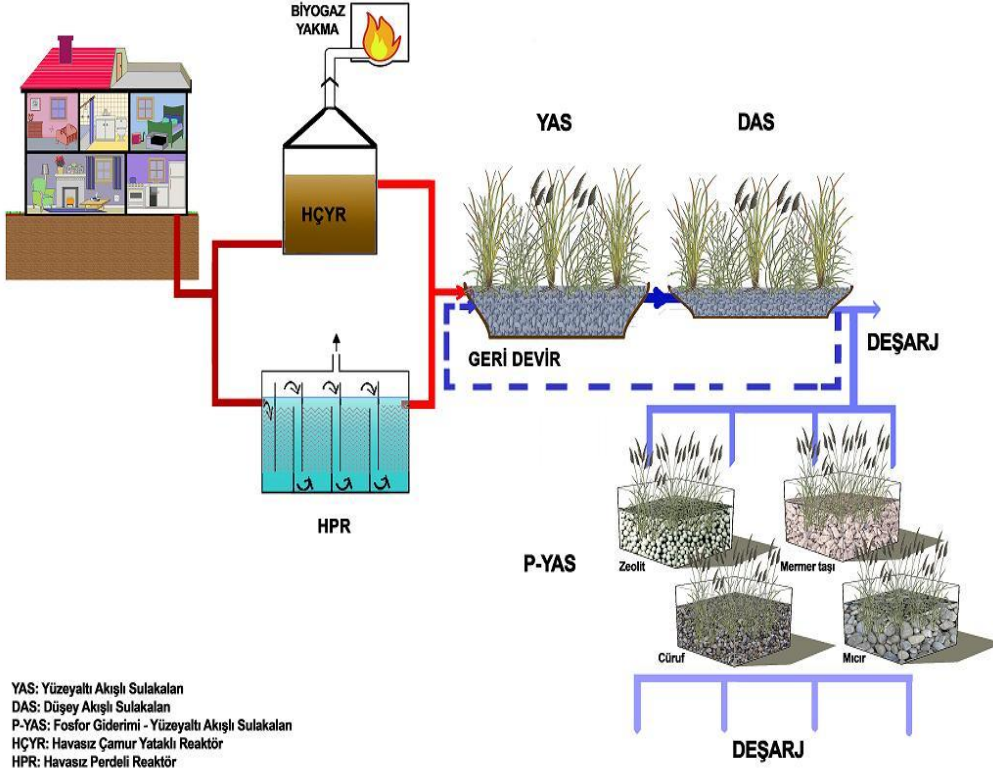
Sulakalan sistemleri için L_w hidrolik yükleme hızı, çoğunlukla, esas boyutlandırma parametresi değildir, fakat farklı sistemler arasında bir mukayese yapmak için uygun bir parametredir. Uygulamada kullanılan hidrolik yükleme hızları, 150 ila 500 m³/ha-gün arasında değişmektedir (Reed ve diğ, 1988). Sistem boyutlandırmalarını karşılaştırmak ve arazi alanı ihtiyaçlarının ön tesbitini hızlı bir şekilde yapmak için hidrolik yükleme hızı yerine spesifik alan ihtiyacı (A_{SP}) da kullanılmaktadır. Uygulamada kullanılan spesifik alan ihtiyaçları 2,1 ila 6,9 ha / (1000 m³-gün) arasında değişmektedir. Biyolojik veya ileri arıtmadan çıkmış atıksuları daha da ileri derecede arıtmak ve California’nın merkezi sahil vadilerinde yaban ve sucul hayatı (habitatı) desteklemek için boyutlandırılan sulakalanlar için 2,1 ha / (1000 m³-gün) lük spesifik alan değerinde optimum faydanın sağlandığı tesbit edilmiştir.



Şekil 7.2. Tamamen Bitki İle Kaplanmış Serbest Yüzey Akışlı Sulakalan Sisteminde Tipik BOİ Giderme Performansı (MetCalf & Eddy, 1991).

7.6. Pilot Ölçekli ve Arazi Ölçekli Çalışma Sonuçları

TUBİTAK MAM'da 105G047 kodlu TARAL Projesi kapsamında kurularak işletilen sistemlerde elde edilen tasarım ve işletme kriterleri bu bölümde sunulmaktadır. Havasız (Anaerobik) Perdeli reaktör (APR)/ Havasız Çamur Yataklı Reaktör (HÇYR) – Yatay Akışlı Sulakalan – Düşey Akışlı Sulakalan – Fosfat giderim havuzu şeklinde kombine edilerek kurulan arıtma sistemine ait akış diyagramı kesit olarak Şekil 7.3'te sunulmaktadır.



Şekil 7.3. Pilot Ölçekli Sistem Akım Şeması

Pilot ölçekli yapay sulakalan sistemleri, TÜBİTAK MAM kampüsünde yer alan havasız reaktörlerin (HÇYR ve APR) ardına kurulmuş olan sistemlerdir. Her iki havasız reaktörün çıkışı ortak bir rogarda toplanmakta ve Yatay Akışlı Sulakalan Sistemi (YAS) bu atıksu ile beslenmektedir. Her iki reaktörün tasarım ve işletme kriterleri Tablo 7.3 ve 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.3. YAS'a ait Sistem Tasarım ve İşletme Kriterleri

Sistem tipi / sayısı	Hibrid sistem / YAS + DAS
Nüfus	13-20 kişi
Debi,	2 - 3 m ³ /gün
Yüzey alanı	18 m ²
Ortam malzemesi	Mıdır
Taban eğimi	% 0.001
Hidrolik bekletme süresi; gün	1,4 – 2,2
Hidrolik Yükleme Hızı	111 - 167 lt/m ² .gün
Bitki yoğunluğu	4 rizom/m ²

* porozite %30 esas alınmıştır

Tablo 7.4. DAS'a ait Sistem Tasarım ve İşletme Kriterleri

Sistem tipi / sayısı	Hibrid sistem / YAS + DAS
Nüfus	13-20 kişi
Debi,	2 - 3 m ³ /gün
Yüzey alanı	13,7 m ²
Ortam malzemesi	Mıdır
Taban eğimi	% 0.001
Hidrolik bekletme süresi	0,5 - 1
Hidrolik Yükleme Hızı	146 - 219 lt/m ² .gün
Bitki yoğunluğu	4 rizom/m ²

* porozite %30 esas alınmıştır

Arazi ölçekli yapay sulakalan sistemleri, Balçık Köyü evsel atıksularının arıtımı için havasız reaktör (HÇYR) ardına kurulmuş olan sistemlerdir. Havasız reaktörün çıkışı dağıtım yapısında toplanarak önce yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminde ardından düşey yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sisteminde arıtılarak dereye deşarj edilmektedir. HÇYR'ye ve her iki yapay sulakalan sistemine ait tasarım ve işletme kriterleri Tablo 7.5,

Tablo 7.6 ve 7.7’de verilmiştir. Arazi ölçekli sisteme ait akış diyagramı kesit olarak Şekil 7.4’te sunulmaktadır.

Tablo 7.5. . Balçık AAT HÇYR için Tasarım ve İşletme Kriterleri

Nüfus	2000 kişi
Debi	300 m ³ /gün
En (w)	6 m
Boy (L)	11,5 m
Yükseklik (h)	4,3 m
Hacim (V)	297 m ³

Tablo 7.6. Balçık AAT YAS’a ait Sistem Tasarım ve İşletme Kriterleri

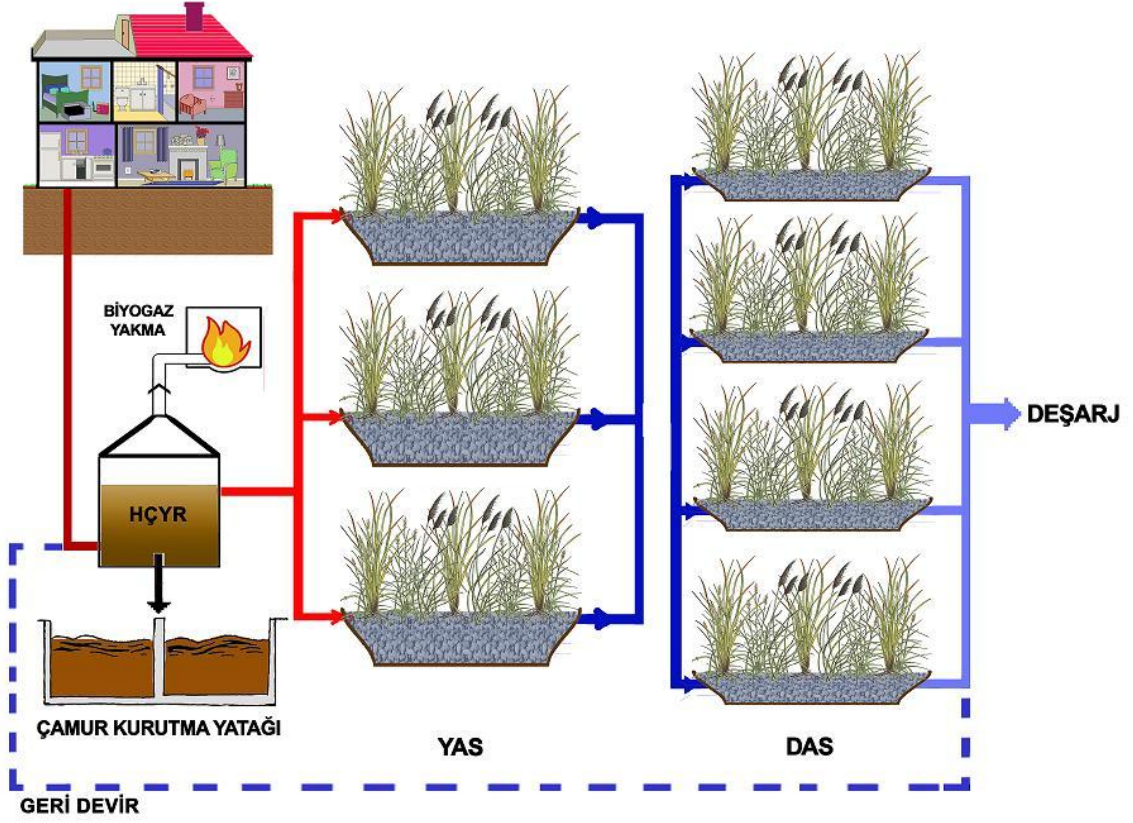
Sistem tipi / sayısı	Hibrid sistem / YAS + DAS
Nüfus	2000 kişi
Debi,	250 - 400 m ³ /gün
Yüzey alanı	675 m ² x 3
Ortam malzemesi	Mıdır
Taban eğimi	% 1
Hidrolik bekletme süresi; gün	
Hidrolik Yükleme Hızı	125 - 200 lt/m ² .gün
Bitki yoğunluğu	4 rizom/m ²

* porozite %30 esas alınmıştır

Tablo 7.7. Balçık AAT DAS'a ait Sistem Tasarım ve İşletme Kriterleri

Sistem tipi / sayısı	Hibrid sistem / YAS + DAS
Nüfus	2000 kişi
Debi,	250 - 400 m ³ /gün
Yüzey alanı	750 m ² x 4
Ortam malzemesi	Mıdır
Taban eğimi	% 1
Hidrolik bekletme süresi	
Hidrolik Yükleme Hızı	85 – 135 lt/m ² .gün
Bitki yoğunluğu	4 rizom/m ²

* porozite %30 esas alınmıştır



YAS: Yüzeysel Akışlı Sulakalan
DAS: Düşey Akışlı Sulakalan
HÇYR: Havasız Çamur Yataklı Reaktör

Şekil 7.4. Arazi Ölçekli Sistem Akış Diyagramı

Örnek 1. Yüzealtı Akışlı Sulakalan Sistemi İçin Havuzun Boyutlandırılması :
Aşağıdaki bilgileri kullanarak bir yüzealtı akışlı sulakalan sistemini boyutlandırınız.

1. Giriş BOI_5 değeri $C_0 = 130$ mg/l
2. İstenen çıkış BOI_5 değeri $C_E = 20$ mg/l
3. Atıksu debisi $Q = 950$ m³/gün
4. Bitkinci cinsi = Büyük su kamışı (cattail)
5. Minimum su sıcaklığı = 6 °C
6. Havuz Dolgu Malzemesi = Kuvars kumu
7. Havuz eğimi $S = 0,01$

Çözüm :

1. Büyük su kamışı kullanıldığına göre havuz derinliğini 0,3 metre seçilir.
2. Kuvars kumu için Tablo 7.2'den porozite $\alpha = 0,39$; hidrolik iletkenlik $k_S = 480$ m³/m²-gün ve $K_{20} 0 1,35$ alınır.
3. 6 °C için K_T değeri $K_T = 1,35 (1,1)^{(6-20)} = 0,36$ (gün)⁻¹ olarak hesaplanır.
4. Denklem (3) ün aşağıdaki yeniden düzenlenmiş şekli kullanılarak atıksuyun boşluklardaki bekletme süresi, $t' = -\ln(C_E / C_0) / K_T = -\ln(20 / 130) / 0,36 = 5,2$ gün
5. Denklem (6) nın kullanılmasıyla enkesit alanı $A_C = Q / (k_S S) = 950 / 480 \times 0,01 = 198$ m²
6. Denklem (7) den havuz genişliği $W = A_C / d = 198 / 0,3 = 660$ m
7. Denklem (4) kullanılarak havuz uzunluğu $L = t' Q / W d \alpha = (5,2) (950) / (660) (0,3) (0,39) = 64$ m olarak bulunur.
8. Gerekli yüzey alanı $A_S = L \times W = 64 \times 660 = 42\ 240$ m² = 4,224 ha
9. Hidrolik yük veya özgül alan ihtiyacının kontrolü



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

$L_W = Q / A_S = 950 / 4,224 = 225 \text{ m}^3/\text{ha-gün}$ değeri $150 < L_W = 225 \text{ m}^3/\text{ha-gün} < 500$, uygun

$A_{SP} = 1 / L_W = 1 / 225 = 0,0044 \text{ (ha-gün/m}^3\text{)} = 4,44 \text{ (ha-gün/1000 m}^3\text{)}$ değeri $2,1 < A_{SP} < 6,9$ olduğundan uygundur.

10. BOI_5 yükleme hızının kontrolü :

$$LBOI_5 = (950 \text{ m}^3/\text{gün}) (130 \text{ gr/m}^3) (10^{-3} \text{ kg/gr}) = 123,5 \text{ kg/gün}$$

BOI_5 yükleme hızı = $(123,5 \text{ kg/gün}) / (4,224 \text{ ha}) = 29,2 \text{ kg/ha-gün} < 66,5 \text{ kg/ha-gün}$, uygun



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

8. BÖLÜM: YAPAY SULAKALANLARDA İŞLETME VE İZLEME

Yapay sulakalan uygulamalarında dikkat edilecek birkaç önemli unsur aşağıda belirtildiği gibidir.

- Uygun arazi seçimi,
- Geçirimsizliğin sağlanması,
- İnşaa sırasında sistemin hidrolik hesaplarına esas iş yapılması (eğimin doğru uygulanması)
- Uygun bitki seçimidir.

Yapay sulakalanların inşaatında uygun arazi seçimi önemli bir husustur. İnşaatın yapılacağı arazide, arazinin inşaata elverişliliği zemin etüdü çalışması ile ortaya konmalıdır. Sistem deşarj kotunun, su kaynağı kotu ile uyumu göz önüne alınmalı ve kazı – dolgu maliyeti minimum düzeyde tutularak projelendirme yapılmalıdır. Pompa kullanımını olabildiğince sınırlı tutmak ve sistemde cazibeli akışı sağlamak önemli bir husustur. Pompa kullanımını sınırlandırmak, ilk yatırım ve işletme maliyetini azaltarak avantaj sağlamaktadır.

Sulakalanlarda izleme ihtiyacı duyulduğunda sulakalana giren ve çıkan debinin ölçümü kütle dengesinin hesaplanmasını sağlayacaktır. Sistem giriş çıkış konsantrasyonları ile debi bilgileri sistem performansının ortaya konmasını sağlayacaktır.

Yapay sulakalanların işletilmesinde personel ve zaman ihtiyacı çok düşüktür. Sistemlerin özellikle pompa kullanıldığı durumlarda haftalık kontrol edilmesi yerinde olacaktır. İşletme sırasında yapılacak başlıca işlemler şunlardır;

- Sistemden istenmeyen bitki türlerinin, ölü bitki artıklarının uzaklaştırılması
- Borularda tıkanma durumunun kontrolü ve tıkanmanın giderilmesi
- Pompaların ve varsa ızgaraların kontrolü ve temizlenmesi; giriş ızgaralarının periyodik olarak temizlenmesi



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

-
- Büyükbaş hayvanların sisteme zarar vermesinin önlenmesi için bariyer, çit vb. inşası ve korunması
 - Eğer ön arıtma olarak fosseptik kullanılıyorsa septik tankın kontrolü ve tank boyutuna göre uygun periyotta boşaltılması

9. BÖLÜM: DÜNYADAN ÖRNEK TASARIMLAR

9.1. Sulakalan Parametre Değerlerinin Bölgesel Değişimi

Yapay sulakalanlar atıksuları doğal koşullarda biyolojik olarak arıtan sistemler olduğundan dolayı arıtım mekanizmaları çevre şartlarından oldukça etkilenmektedir. İklim şartları ya da sıcaklık faktörü yapay sulakalanların performansını etkileyen en önemli unsurlardan sadece birisidir. Yapay sulakalanların tasarımı yapılır ve maliyetleri hesaplanırken sıcaklık faktörünü yada iklimsel şartları göz önünde bulundurmak gerekir. Örneğin ılıman iklim kuşağına sahip bir bölgede uygulanan yapay sulakalanı karasal ya da kışları çok soğuk geçen bir iklime adapte etmek oldukça zordur. Farklı iklimlerin yaşandığı bölgelerde arıtım yapan yapay sulakalanların arıtım mekanizmaları ve tasarım esasları, dolayısıyla maliyetleri de farklı olmaktadır.

Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili ve yükseltisinin fazla olması, aynı zamanda kuzeyinde ve güneyinde dağların denize paralel uzanması sebepleriyle çok farklı iklim tipleri görülmektedir. Türkiye genelde Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. İklim genelde yazlar kurak, kışlar yağışlıdır. Akdeniz iklimiyle birlikte Türkiye'de, birbirlerinden belirgin farklarla ayrılabilen Karasal ve Karadeniz iklimleri de etkilidir. Bu sebeplerle Türkiye'nin tamamı için standart sulakalan tasarım esasları vermek oldukça güçtür.

Bu bölümde, Avrupa'nın çeşitli ülkelerinin Akdeniz, Karadeniz ve Karasal ikliminin yaşandığı bölgelerinde kurulmuş ve işletilmekte olan pilot ya da tam ölçekli yapay sulakalanlarla ilgili tasarım parametreleri ve maliyetleriyle ilgili bilgiler sunulmuştur. Bunlara ilave olarak Türkiye'de kurulmuş ve işletilmekte olan tam ölçekli bir yapay sulakalanın tasarım parametreleri ve maliyetleriyle ilgili bilgiler de örnek olarak verilmiştir.

Yapay sulakalan sistemleri için kullanılan tasarım parametreleri ve değerleri ile ilgili farklı kaynaklardan derlenen bilgilerin bir özeti Tablo 9.1'de sunulmuştur. Tablo 9.1'de farklı kaynaklardan elde edilen değerlerdeki önemli farklılıklar dikkati çekmektedir. Bu durum



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

bölgenin çevresel şartlarına bağlı olarak tasarım parameterelerinin de değişmesinden kaynaklanmaktadır.

9.2. Akdeniz İkliminin Hakim Olduğu Bölgelerdeki Yapay Sulakalanlar

Tipik akdeniz iklimine sahip olan ve iklim bakımından Türkiye'ye çok benzeyen İtalya'daki tam ve pilot ölçekli tesislere ait değerler Tablo 9.2, Tablo 9.3, Tablo 9.4, Tablo 9.5, Tablo 9.6 ve Tablo 9.7'de verilmiştir. Değerlerin alındığı kaynaklar farklı olduğu için verilen parametreler de farklıdır.

Türkiye'ye benzerlik gösteren Portekiz'deki laboratuvar ölçekli sulakalan sistemlerine ait değerler Tablo 9.8'de ve Tablo 9.9'da, yine Türkiye'ye benzerlik gösteren bir diğer Akdeniz ülkesi olan İspanya'daki laboratuvar ölçekli sulakalan sistemlerine ait veriler ise Tablo 9.10, Tablo 9.11 ve Tablo 9.12'de sunulmuştur. Bir Akdeniz ülkesi olan İsrail'deki bir çalışmaya ait veriler ise Tablo 9.13'te sunulmuştur.

Tablo 9.1. YAS ve SYS Sistemlerin Farklı Kaynaklardan Alınan Tasarım Parametreleri

Parametreler	ITRC(2003); Tchobanoglous and Buton (1991)	WPCF (1990)	Wood (1995)	Kadlec & Knight (1996)	Knight et al., 1993
YAS Sistemi					
Hidrolik Bekletme Süresi, gün	4-15	-	2-7	2-4	2-7
Hidrolik Yükleme Hızı, cm/gün	-	2-20	0.2-3.0	8-30	0.2-3.0
Derinlik, cm	49-79	-	-	30-60	10-100
Alan ihtiyacı, m ² /m ³ -gün	4-30	4-40	8-70	3-12	10-70
En/Boy Oranı	-	-	-	-	0.25/1-5/1
Hasat Sıklığı (yıl)	-	-	-	-	3-5
SYS Sistemi					
Hidrolik Bekletme Süresi, gün	4-15	-	-	7-10	5-14
Hidrolik Yükleme Hızı, cm/gün	-	-	-	-	0.7-6.0
Derinlik, cm	-	-	-	-	10-50
Alan ihtiyacı, m ² /m ³ -gün	8-160	20-120	-	16-80	20-140
En/Boy Oranı	-	-	-	-	2/1-10/1
Hasat Sıklığı (yıl)	-	-	-	-	3-5

Tablo 9.2. İtalya Catania, San Michele di Ganzaria'daki Tam Ölçekli YAS Sistemi (AVKR9 – Technical Report, 2003)

Hizmet ettiği nüfus	1100 kişi
YAS yüzey alanı	1950 (25 x 78) m ²
YAS yüzey alan/kişi	1.7 m ² / kişi
Yatak derinliği	0.6 m
Yatak eğimi	% 1
Dolgu malzemesi olarak kullanılan çakıl çapı	8-10 mm
Çakıl porozitesi	0.38
Nominal hidrolik bekletme süresi (HBS)	2.0 gün
Hidrolik yükleme hızı (HYH)	7.7 cm/gün
Organik yük	30 kg KOİ/ha.gün
Debi	151 m ³ /gün

Tablo 9.3 İtalya için Pilot Ölçekli YAS Sisteminin Tasarım Parametreleri (AVKR 9 – Tech. Report, 2003)

Yüzey alan (m ²)	4.5 (1.50 x 3.00)	4.5 (1.50 x 3.00)
Yatak derinliği (m)	0.60	0.80
Çakıl çapı (mm)	12	2 (üst kısımda 55 cm) 12-16 (tabanda 25 cm)
Debi (m ³ /gün)	1.08	1.08

Tablo 9.4. Yapay Sulakalan Sistemlerinin İtalya İçin Tasarım Parametreleri (Conte vd., 2001).

Tasarım parametreleri	Moscheta (Florence)	Gorgona (Livorno, Gorgona adası)	Spannochia (Siena)	Pentolina (Siena)
Kişi sayısı	150	350	60	500
YAS yüzey alanı, (m ²)	375	700	160	550
YAS, (yüzey alan/kişi)	2.5	2.0	2.6	1.1
Yüzey alan, 3.kademe (m ²)	-	450	20	-
Yatak derinliği (m)	0.5	0.6	0.5	0.6
Çakıl çapı(mm)	10-15	5-20	5-10	5-10
Hidrolik yükleme hızı (cm/gün)	4.8	8	5.6	22.7
Organic yük(kg KOİ/ha.gün)	220	200	340	450
Debi (m ³ /gün)	18	56	9	125

Tablo 9.5. Tuscany, Winery'deki YAS Sistemlerinin Tasarım Parametreleri (Masi vd., 2002).

Tasarım parametreleri	Cecchi	Ornellaia	La Croce
Kişi sayısı	730	370	127
Yüzey alan,1.kademe (m ²)	480 (Y-YAS)	2x90 (D-YAS)	215 (Y-YAS)
Yüzey alan,2.kademe (m ²)	850 (SYS)	102 (Y-YAS)	-
Yüzey alan,3.kademe (m ²)	-	128 (SYS, V=128 m ³) 338 (Havuz, V=440 m ³)	-
Y-YAS yatak derinliği (m)	0.7	0.7	0.7
D-YAS yatak derinliği (m)	-	0.9	-
Y-YAS çakıl çapı (mm)	5-10	8-12	5-10
D-YAS kum ve çakıl çapı, (mm)		8-12 (Üst 5 cm) 0-4 (20 cm) 4-8 (20 cm) 8-12 (15 cm) 12-18 (10 cm) 30-40 (taban,10 cm)	
Hidrolik yükleme hızı(cm/gün)	2.6	2.3	3.7
Organik yük (kg KOİ /ha.gün)	329	336	352
Debi (m ³ /gün)	35	10	8

D-YAS: Doğal Yüzey Akışlı Sulakalan

Y-YAS: Yapay Yüzey Akışlı Sulakalan

Tablo 9.6. İtalya Dicomano'daki YAS Sistemlerinin Tasarım Parametreleri (AVKR 9 - Technical Report . 2003)

Tasarım parametreleri	Y-YAS, 1.kademe	D-YAS	Y-YAS, 1.kademe	SYS
Yüzey alan (m ³)	500 (toplam alan=1000)	210 (toplam alan = 1680)	900 (Toplam alan =1800)	1600 (V=1000 m ³)
Çakıl çapı (mm)	5-10	10 (üst,5 cm) 0-4 (kum,25 cm) 10 (15 cm) 20 (15 cm) 40-70 (taban, 30 cm)	5-10	-
Yatak derinliği(m)	0.8	0.9	0.8	-

Tablo 9.7. Arzignano-Vicenza; Ferrara, Florence Ferrara, Northern Italy'de 1., 2.. ve 3. Kademe Arıtma Yapan Kesikli ve Sürekli Akışlı, Pilot ve Tam Ölçekli Seri SYS ve YAS Sistemlerine ait Tasarım ve İşletme Değerleri

	Pilot ölçekli-SYS Vicenza 3.arıtım, kesikli	Pilot ölçekli-paralel 2 yatak- Y-YAS Ferrara 1., 2., 3. kademe arıtım, sürekli	Tam ölçekli-YAS Florence 2.3. arıtım, kesikli
Nüfus	-	60	140
Debi, m ³ /gün	7.68	13	28
Yüzey alan, m ²	120	56	340
LxWxD, m	15x4x1.30	28x1x0.7	9x20x0.8 (H-SSF) 5x18x0.75 (V-SSF)-2yatak
Dolgu malzemesi	Toprak	Çakıl, Çakıl ve kil	Çakıl(H-SSF),kum(V-SSF)
Porozite,%	-	30(teorik)	-
Taban eğimi,%	0.1	2	1
Hidrolik Yük. Hızı, (m ³ /m ² -gün)	0.064	0.46	0.175
Hidr. Bekl. Süresi, gün	3.5-4	0.5	2.2
Organik Yük g/m ² -gün	61.44		45
Bitki yoğunluğu (rizom/m ²)	5.6	-	4
Yıllık işletme ve bakım masrafları, €/yıl	-	-	250

Tablo 9.8. Portekiz, Evora'da 2. Kademe Arıtma Yapan Kesikli, Laboratuvar Ölçekli D-YAS Sistemine ait Veriler

İkincil arıtım yapan	
Yüzey alan, m ²	0.06
LxWxD, m	0.3x0.2x0.40
Dolgu malzemesi	Hafif yoğunluklu kil agregat
Porozite,%	37
Hidrolik Bekletme Süresi ,gün	5
Bitki yoğunluğu (rizom/m ²)	80

Tablo 9.9. Portekiz Lizbon'da 2. Kademe Arıtma Yapan Kesikli, Laboratuvar Ölçekli D-YAS Sistemine Ait Veriler

İkincil arıtım yapan kesikli, laboratuvar ölçekli YAS system	
Yüzey alan, m ²	0.24
LxWxD, m	0.6x0.4x0.60
Dolgu malzemesi	Kum/çakıl
Hidrolik Bekletme Süresi ,gün	14
Bitki yoğunluğu (rizom/m ²)	32

Tablo 9.10. İspanya Mansilla De Las Mulas, Southern Province León'da 2.Ve 3. Kademe Arıtım Yapan Sürekli Akışlı, Pilot Ölçekli Seri SYS ve YAS Sistemlerine Ait Veriler

Sistem sayısı	9 adet
Nüfus	0.5 – 2 kişi
Debi	0.08 - 0.25 m ³ /gün
Yüzey alan	3.3 m ²
LxWxD	130 m x 85 m x 55 m
Dolgu malzemesi	Çakıl
Porozite,	% 51
Taban eğimi,	% 0.001
Hidrolik Yükleme Hızı	0.08 m ³ /m ² /gün
Hidrolik Bekletme Süresi	6 - 18.7 gün
Organik Yük	6.7 - 20.7 g BOI ₅ /gün
Bitki yoğunluğu	15 rizom/m ²
Yıllık işletme ve bakım masrafları,	30 €/yıl

Tablo 9.11. İspanya Bustillo De Cea, Southern Province León'da 1. 2. Ve 3. Kademe Arıtım Yapan Sürekli Akışlı, Tam Ölçekli Seri SYS ve YAS Sisteme Ait Veriler

Sistem sayısı	3 adet
Nüfus	350 - 1590 kişi
Debi,	52 - 278 m ³ /gün
Yüzey alanı	878 - 890 m ²
Ortam malzemesi	Çakıl
Porozite	% 51
Taban eğimi	% 0.001
Hidrolik Yükleme Hızı	0.06 - 0,32 m ³ /m ² /gün
Hidrolik Bekletme Süresi	8.3-26 gün
Organik Yük	7600 - 8000 g BOİ5/gün
Bitki yoğunluğu	15 rizom/m ²
Yıllık işletme ve bakım masrafları	3000 - 9000 €/yıl

Tablo 9.12. İspanya Seva'da 1. 2. ve 3. kademe arıtım yapan sürekli akışlı, tam ölçekli seri SYS ve YAS sisteme ait veriler

Nüfus	1300 kişi
Yüzey alan,	226 m ²
LxWxD	6.6 m x 4.27 m x 1 m (8 adet)
Ortam malzemesi	Çakıl
Taban eğimi	% 1
Hidrolik Yükleme Hızı	15 m ³ /saat
Bitki yoğunluğu	4 rizom/m ²

Tablo 9.13. İsrail Ben Gurin'deki Evler Ve Negev'deki Çiftlik Evlerinde Kurulmuş, 3. Kademe Arıtım Yapan Kesikli, Pilot Ölçekli Hibrid D-YAS System

Nüfus	6 kişi	Pilot-ölçekli SYS sistem
Debi,	2 m ³ /gün	-
Yüzey alan	1 m ² (çökeltim tankından sonra)	1.6
UzunlukxGenişlikxDerinlik	1m x 1m x 1m	20
Dolgu malzemesi	Çakıl+plastik astar	2x5x0.4 (1.hücre), 2x5x0.1(2.hücre)
Porozite,%	-	
Taban eğimi,%	düz	
HYH, m3/saat	0-2	
HBS,gün	0.33-1	0.1
Organik Yük g BOI ₅ /gün	10-150, ortalama 100	-
Bitki türü		<i>Eichhornia crassipes</i>
Bitki yoğunluğu (rizom/m ₂)	-	-
Yıllık işletme ve bakım masrafları, \$/yıl	150	-

9.3. Karasal ikliminin hakim olduğu bölgelerdeki yapay sulakalanlar

Karasal iklimin hüküm sürdüğü Çek Cumhuriyeti'ndeki YAS sistemlere ait veriler Tablo 9.14'te Doğu Fransa'daki pilot ve tam ölçekli SYS ve YAS sulakalanlara ait veriler ise Tablo 9.15'te özetlenmiştir.

Tablo 9.14. Çek Cumhuriyeti Tam Ölçekli YSA Sistemlerinin Tasarım Parametreleri (Vymazal, 1993)

Parametre	Ondrejov	Kacice	Rataje	Zbizuby	Zasmuky	Ceske Mezirici
Nüfus	300			300		
Alan, m ²	800	600	200	1560	7760	10500
Debi, m ³ /gün	54.3	50	20.5	130	604	432,263
HYH, cm/gün	6.8	8.3	10.3	8.9	7.8	4.1, 2.5
Organik yük, kgBOİ ₅ /ha-gün	176	292	40.9	68.6	24.2	74.1,200
Ortalama derinlik,m	1.0	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6
Eğim,%	2.5	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0
Dolgu malzemesi	Çakıl (8-12mm)	Çakıl (2-10mm)	Çakıl (8-12mm)	Çakıl (5-20cm)	Çakıl (5-20mm)	Çakıl (8-16mm)
Ön arıtım	Primer çökeltme, imhof tankı	Primer çökeltme, aktif çamur	Primer çökeltme, döner biyolojik disk	Izgara, primer çökeltme	Primer çökeltme, aktif çamur	Imhoff tankı,çök eltme havuzu
Bitkiler	Phragmit es	Phragmites	Typhia	Phragmites	Phragmites	Phragmit es
Yapay geçirimsizlik	Polietilen (0.7mm)	PVC (0.8mm)	Polietilen (0.7mm)	Polietilen (0.7mm)	PVC(0.8m m)	kil

Tablo 9.15. Balandran-Nîmes, Sollac-Usinor, Barjols (Doğu Fransa) Tesisinin Tasarım Ve İşletme Parametreleri

1.2.ve 3. derece arıtım yapan sürekli akışlı, pilot ve tam ölçekli seri SYS and YAS system; sayı 4

	Pilot ölçekli	Tam ölçekli
Nüfus		1000
Debi, m ³ /gün	0.3-0.75	0.3-2.7
Yüzey alan, m ²	1-24	400
LxWxD, m	1.8x0.60x0.67- 2x6x0.6	19.4x4.5x0.6- 20x6x2
Dolgu malzemesi	Çakıl	çakıl
Porozite,%	33-35	33
Taban eğimi,%	1	1
Hidrolik Yükleme Hızı, m ³ /m ² -gün	0.031	0.031 - 0.3
HBS,gün	5-10	10
Organik Yük g/m ² -gün	20 gKOİ/m ² -gün; 10 gBOİ/m ² -gün	20 gKOİ/m ² -gün; 20-40kg SS/m ² -yıl
Bitki yoğunluğu (rizom/m ²)	4	4-9

9.4. Karadeniz İkliminin Hakim Olduğu Bölgelerdeki Yapay Sulakalanlar

Karadeniz iklimine sahip Avrupa ülkeri Ukrayna, Rusya, Romanya, Bulgaristan ve Gürcistan için yapılan araştırmalarda gerek pilot gerekse tam ölçekli sulakalan örneklerine rastlanılmamıştır.

9.5. Soğuk İklimlerin Hakim Olduğu Bölgelerdeki Yapay Sulakalanlar

Soğuk iklimlerde etkili faktörler aşağıda sıralanmaktadır (Hiley, P. 2003) :

- Buz, havaya karşı geçirimsiz bir tabaka oluşturup, günlük su döngüsü sırasında sulakalan içinde su tabakası yükselip alçaldıkça havalanma sağlar.
- Hava sıcaklığının sıfırın altına düştüğü dönemlerde, evsel atıksu sıcaklığı sıfırın birkaç derece üzerindedir. Yüzeyaltı akışlı sistemler, suyun hava ile temasını engellemeye yönelik olmakla beraber sulakalanlarda ısı kaybını azaltmaya yönelik imkanlar kısıtlıdır.
- Buz, kar ve saz artıkları atıksuyun havadan izole edilmesini sağlar.
- Soğuk iklimlerde, suda çözünebilen oksijen miktarı büyük ölçüde artmaktadır.
- Düşük atıksu sıcaklığı, azaltacak kanalda daha az anaerobik koşulların oluşması ile sonuçlanacaktır. Bu durum sulakalanda toksik inhibisyonu azaltacaktır.
- Askıdaki maddenin ayrışmasından kaynaklanan çözünmüş BOİ'nin salınımı en düşük seviyede olma eğilimindedir ve böylelikle sulakalanın efektif yükü azalacaktır.

İki faktör birlikte ve ters yönde etki ettiğinden, azot giderimi soğuk havadan olumsuz etkilenmektedir. Sulakalanda denitrifikasyon kademesinden önce gelmesi gereken, amonyağı nitrata dönüştüren konvansiyonel proses 5 derecenin altındaki sıcaklıklarda inhibe olmaktadır ve soğuk dönemlerde daha az nitrata ihtiyaç vardır. Kimyasal proses olarak tavsiye edilen fosfor gideriminin soğuk havadan etkilenmesi muhtemel görülmektedir (Hiley, P. 2003).

Eğer uygun tasarım kriterleri sağlanırsa soğuk iklim, yapay sulakalanların atıksu arıtımında kullanımını kısıtlayamaz. Soğuk iklimlerde sıcak iklimlere göre daha geniş ve daha derin sistemler gerekmektedir. Kesikli yükleme ile çalışan düşey akışlı sistemden oluşan aerobik ön arıtmayı içeren entegre sistemler tavsiye edilmektedir.

Tablo 9.16. NERRC Ve Grand Lake İçin BOİ (Kadlec, R.H. Vd. 2003)

	BOİ giriş kons. mg/l	BOİ çıkış kons. mg/l	BOİ yükü gm/m ² .gün	Kons. cinsinden Giderim %	Kütle cinsinden Giderim %
<i>NERRC Sulakalan 1</i>					
ort. FA	271	24	3,14	91,3	90
ort. WI	266	58	3,21	78,2	78,1
ort. SP	293	64	3,21	78,2	66,2
ort. SU	254	23	2,52	90,9	94,4
Yıllık	271	42	3,02	84,4	82,6
<i>NERRC Sulakalan 2</i>					
ort. FA	271	24	3,83	91,3	90
ort. WI	266	58	4,2	78,2	82,1
ort. SP	293	64	3,89	78,2	71,7
ort. SU	254	23	3,25	90,9	94,8
Yıllık	271	42	3,79	84,4	85,2
<i>Grand Lake</i>					
ort. FA	198	39	1,63	80,1	
ort. WI	183	114	1,39	37,6	
ort. SP	182	114	1,92	37	
ort. SU	193	46	1,88	76,1	
Yıllık	189	79	1,71	58,4	

NERRC : Northeast Regional Correction Center

10. BÖLÜM: MALİYET ANALİZİ

Yapay sulakalan sistemleri, enerji kaynaklarının; fosil yakıtların, tüketiminin azaltılmasında böylece fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevre problemlerinin ortadan kaldırılmasında önemli bir seçenektir. Yapay sulakalanlar işletme ve bakım maliyetleri oldukça düşük olan çevre dostu sistemlerdir. Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetlerini etkileyen çok sayıda faktör vardır. Bunlardan bazıları şunlardır (ITRC,2003):

- Bekletme süresi (uzun bekletme süresi tesis boyutlarını artırır),
- Arıtımın amacı (istenen kirletici giderme verimi bekletme süresi ve boyutu artırır.),
- Dolgu malzemesinin tipi, kaynağı ve bulunabilirliği,
- Geçirimsizlik için kullanılacak örtünün tipi (eğer gerekliyse),
- Yatak derinliği (derinlik artıkça örtüye ihtiyaç duyulmayabilir),
- Ön arıtımın tipi,
- Hücre sayısı (sayı artıkça hidrolik kontrol yapıları ve örtü sayısı da artmaktadır),
- Arazi topoğrafyası ve eğimi

Yapılan çalışmalar sulakalanların işletme ve bakım maliyetlerinin konvansiyonel arıtma tesislerine göre oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca sulakalan sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin büyük bir kısmını, arazinin birim fiyatları, kazı işlemleri ve dolgu malzemesi oluşturmaktadır. Bu nedenle yeterli ve düşük maliyetli arazinin sağlanabildiği bölgelerde bu tür sistemler çok ekonomik bir arıtma seçeneği olabilmektedir (Ayaz, S. vd. 2008)

Uygun yer seçimi maliyeti olumlu yönde etkileyen bir faktördür. Sistemin arazinin doğal eğiminden faydalanılarak işletilebilir olması, deşarj edilecek su kaynağına yakın inşa edilmesi gibi faktörler maliyeti düşürecektir. Topoğrafyanın doğal eğim ile sistemin beslenmesine; suyun dağıtımına ve deşarjına müsaade etmesi inşaatı kolaylaştıracağı gibi

inşaat ve işletme maliyetini de düşürecektir. İşletmede pompa ve benzeri ekipman ve elektrik ihtiyacı olmayacaktır (Ayaz, S. vd. 2008).

Bitkinin temini ve sahaya transferi %5 gibi bir oranla en düşük maliyet kalemini oluşturmakla birlikte ilave maliyet getirmemesi açısından bölge şartlarına uygun bitkinin uygun mevsimsel dönemde dikilmesi bir diğer önemli husustur. (Ayaz, S. vd. 2008).

Yapay sulakalanlar kendi içerisinde çeşitli avantaj ve dezavantajlarına göre değerlendirildiğinde serbest yüzey akışlı sistemlerin ilk yatırım maliyetinin; özellikle inşaa maliyetinin, yüzeyaltı akışlı sistemlere nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Yüzeyaltı akışlı sistemlerde tıkanma, istenmeyen yüzeysel su akışları gibi sorunlar nedeniyle işletme bakım maliyetleri de daha yüksektir (Ayaz, S. vd. 2008).

Sulakalanlardaki ilk yatırım maliyetlerinin genel olarak %40'ını filtrasyon malzemesi (nakliye dahil), %30'unu kazı, %15'ini geçirimsizlik yapısının teşkili (yapay membran) ve %5'ini de bitkiler oluşturmaktadır (Vymazal vd., 1998). Türkiye'de Marmara Bölgesindeki bir uygulamada anaerobik ön arıtma ve sulakalan sisteminden oluşan arıtma tesisinin maliyet dağılımı %14 filtrasyon malzemesi (nakliye hariç), %26 kazı, %16 izolasyon malzemesi, %40 diğer inşaat işleri (ön arıtma sistemi, nakliye vd.) %5 elektrik işleri şeklinde gerçekleşmiştir (Ayaz S.,vd 2007). Bu oranlar maliyetlerin ülkeden ülkeye hatta bölgeden bölgeye değişebildiğini göstermektedir.

10.1. Sulakalan Maliyetleri İle İlgili Olarak Dünyadan Bazı Örnekler

Arıtma tesislerinin maliyetleri esas olarak ülkenin ekonomik yapısı ile yakından ilgilidir. Bununla birlikte genel maliyet kalemleri ve toplam maliyet içindeki oranları hakkında bir fikir vermesi, ayrıca dünyadaki maliyet boyutu hakkında genel bir kanaat oluşturmak açısından aşağıda diğer ülkelerdeki tam ölçekli tesislerin maliyetleri hakkında bilgi sunulmuştur. İnceleme yaparken Amerika Birleşik Devletleri'ndeki arıtma tesisi maliyetlerinin Türkiye'dekinin 5 – 10 katı olduğu dikkate alınmalıdır (TÜBİTAK MAM, 2008).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

Sulakalanlardaki ilk yatırım maliyetlerinin genel olarak %40'ını filtrasyon malzemesi (nakliye dahil), %30'unu kazı, %15'ini geçirimsizlik yapısının teşkili (yapay membran) ve %5'ini de bitkiler oluşturmaktadır (Vymazal vd., 1998). Türkiye'de TÜBİTAK MAM tarafından anaerobik ön arıtma sonrasında uygulanan bir tesisten elde edilen verilere göre anaerobik ön arıtma kademesini de içeren ilk yatırım maliyetinin %14'ünü filtrasyon malzemesi (nakliye hariç), %26'sını kazı, %16'sını izolasyon malzemesi, %40'ını diğer inşaat işleri (ön arıtma sistemi, nakliye vd.) %5'ini elektrik işleri oluşturmaktadır (Ayaz S., vd 2007).

Atıksu arıtımı için yapay sulakalanın iki türü mevcuttur: Bunlardan birincisi yüzey altı akışlı sulakalan sistemleri (YAS), ikincisi ise serbest yüzey akışlı sulakalan sistemleri (SYS)'dir. USEPA (2000a) tarafından yüzeyaltı akışlı sulakalan(YAS) ve serbest yüzey akışlı sulakalan(SYS) sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri sırasıyla yaklaşık olarak 215000 \$/ha ve 54000 \$/ha olarak verilmiştir. Kullanılan dolgu malzemesinden (çakıl ya da kaya parçaları) dolayı YAS sistemleri ilk yatırım açısından daha maliyetlidir. Örneğin çakıl malzemesi kullanıldığında 0.5 ha'lık alana sahip bir sistemin toplam maliyeti yaklaşık % 40-50 oranında artmaktadır. Çakılın ABD'deki maliyeti yaklaşık 9.50 \$/ton (17 \$/m³)'tür. Ayrıca çakılın nakliye maliyetleri ise 26 \$/m³'ü aşabilmektedir. Bu maliyetlerden kaçınmak için birçok alternatif vardır. Örneğin eğer bölgede beton molozlar varsa Florida'da yapıldığı gibi bunlar kırılarak kullanılması mümkündür (ITRC, 2003). Tablo 10.1'de yaklaşık 4000 m³/gün debiyle çalışan yapay sulakalanve dezenfeksiyon kademelerinden oluşan sistemin inşaat, işletme ve bakım maliyetlerinin özeti sunulmuştur (Kadlec ve Knight, 1996).

Literatürde sulakalanların işletme ve bakım masraflarının konvansiyonel sistemlere kıyasla oldukça düşük olduğu kaydedilmiştir. Örneğin arıtma debisi 11.000 m³/gün olan serbest yüzey akışlı sulakalan sisteminin ön arıtma üniteleri dahil yıllık işletme ve bakım maliyetinin yalnızca 29.550 \$ olduğu kaydedilmiştir. 1500 m³/gün debiyle çalışan yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemi için bu değer oldukça düşük olup yaklaşık 1000 \$ dır. Bu değer arıtma debisi yaklaşık 400 m³/gün olan klasik bir sistem için oldukça yüksek olup yaklaşık 106.000 \$ dır (USEPA, 2000a; USEPA 2000b).

Tablo 10.1. Sulakalan Sistemlerin İnşaat Ve İşletme-Bakım Maliyetleri Açısından Karşılaştırılması (Kadlec Ve Knight, 1996)

Debi: $\approx 4000 \text{ m}^3/\text{gün}$	
<u>Maliyet Kategorisi</u>	İnşaat maliyetleri, \$
Yönetim	91000
Zemin işlemleri (kazı, temizlik vs.)	1336000
Sulakalan Bitki Ekimi	309000
Diğer Montaj işlemleri (elektrik, kontroller ve boru tesisi)	1720000
Klorlama	208000
<i>Toplam:</i>	3664000\$
	İşletme ve Bakım Maliyetleri, \$ /Yıl
Personel	24000
Aletler	5000
Kimyasallar (dezenfeksiyon içeren)	11000
Teçhizat/malzemeler	5000
<i>Toplam:</i>	45000\$

10.1.1. Serbest Yüzey Akışlı Sulakalan sistemlerinin (SYS) maliyet analizi

Yukarıda ifade edildiği gibi yapay sulakalan sistemleri konvansiyonel arıtma tesislerine göre daha düşük işletme ve bakım masrafı olan sistemlerdir. Serbest yüzey akışlı sulakalan ile konvansiyonel atıksu arıtma sistemlerinin maliyet açısından karşılaştırması Tablo 10.2'de verilmiştir (WEF, 2000).

Tablo 10.2. Serbest Yüzey Akışlı Sulakalan Sistemi İle Konvansiyonel Atıksu Arıtım Sistemlerinin Maliyet Karşılaştırması (WEF, 2000)

Maliyet Unsuru	Madde I	Proses
	Sulakalan	AKR**
İnşaat maliyetleri (\$)	259000	1104500
İşletme ve Bakım maliyetleri (\$)	6000/yıl	106600/yıl
Toplam maliyetlerin Haz. 1999 yılı karşılığı (\$)*	322700	2233400
1m ³ atıksu başına maliyet (\$)	0.12	0.81

* Haziran 1999 maliyetleri. ENR CCI (ABD Engineering News Records Construction Cost Index)=6039

** Ardışık Kesikli Reaktör(aktif çamur)

10.1.2. Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan sistemlerinin (YAS) maliyet analizi

Yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemlerinin atıksu başına maliyetleri serbest yüzey akışlı sistemden (SYS) biraz daha yüksek olup yaklaşık olarak 0.73 \$/m³'dür (WEF, 2000). Yüzeyaltı akışlı ve serbest yüzey akışlı sulakalan sistemlerinde geçirimsizlik olarak doğal dolgu malzemesi kullanıldığında birim alan başına ilk yatırım maliyetleri sırayla yaklaşık olarak 300 000 \$/ha ve 75 000 \$/ha'dır. YAS ve SYS sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin arıtma debisine ve kullanılacak olan yapay geçirimsizliğe bağlı olarak değişimleri Tablo 10.3'te özetlenmiştir.

Tablo 10.4'te yüzeyaltı akışlı sulakalan ile konvansiyonel atıksu arıtım sistemlerinin maliyet açısından karşılaştırması verilmiştir (WEF, 2000). Sulakalan sistemlerinde 0,19\$/m³ atıksu olan birim maliyet konvansiyonel sistemde 0,81\$/m³atıksu olarak ortaya konmuştur. Konvansiyonel sistemin, sulakalanın yaklaşık dört katı maliyeti olduğu görülmektedir.

Tablo 10.3. Sulakalan Sistemlerinin İnşaat Maliyetlerinin Karşılaştırması (USEPA, 2000a; 2000b)

Sistem	Debi, m ³ /gün	Özellik	Yapım maliyeti, \$/ha
YAS	≈400	Yapay membranlı	427 000-1 371 000
	≈400	Yapay membransız	333 000-1 065 000
SYS	≈400	Yapay membranlı	237 000-761 000
	≈400	Yapay membransız	143 000-455 000

Tablo 10.4. Yüzealtı Akışlı Sulakalan Sistemi İle Konvansiyonel Atıksu Arıtım Sistemlerinin Maliyet Karşılaştırması (WEF, 2000)

Maliyet Unsuru	Madde II	Proses
	Sulakalan	AKR**
Sermaye maliyetleri (\$)	466700	1104500
İşletme ve Bakım maliyetleri (\$)	\$6000/yıl	\$106600/yıl
Toplam maliyetlerin Haz. 1999 yılı karşılığı (\$)*	530300	2233400
1 m ³ atıksu başına maliyet (\$)	0.19	0.81

* Haziran 1999 maliyetleri. ENR CCI (ABD Engineering News Records Construction Cost Index)=6039

** Ardışık Kesikli Reaktör(aktif çamur)

Tablo 10.5'te yüzealtı akışlı ve serbest yüzey akışlı sistemlerin maliyetleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Tablo 10.5'te görüldüğü gibi sulakalanların ilk yatırım maliyetlerinin büyük bir kısmını arazinin birim fiyatları, kazı işlemleri ve dolgu malzemesi oluşturmaktadır. Bu nedenle arazi fiyatlarının düşük olduğu bölgelerde bu tür sistemler çok ekonomik bir arıtma seçeneği olabilirler. Tablo 10.5'te, 2 mg/l lik bir çıkış amonyak konsantrasyonunu hedefleyen ve yaklaşık 4000 m³/gün'lük debiyi kabul eden YAS sisteminin ilk tesis, işletme ve bakım maliyetlerinin özeti verilmiştir. Bu tür sistemler için ilgili parametreler ve değerleri sırayla su sıcaklığı 20 °C, su derinliği 0.6 m, porozite 0.4 ve

arıtım alanı 1.3 ha olarak verilmiştir. Sistemlerin arazi maliyetleri yaklaşık 12355 \$/ha olarak kabul edilmiştir (WEF, 2000).

Tablo 10.5. Yüzeysel Akışlı (YAS) Ve Serbest Yüzeysel Akışlı (SYS) Sulakalanmaliyeti (WEF, 2000)

(Debi: $\approx 400\text{m}^3/\text{gün}$)	YAS Maliyeti*		SYS Maliyeti*	
	Doğal Toprak kaplama	Plastik Membran Kaplama	Doğal Toprak kaplama	Plastik Membran Kaplama
Arazi maliyeti	16000	16000	16000	16000
Saha araştırması	3600	3600	3600	3600
Saha temizliği	6600	6600	6600	6600
Kazı	33000	33000	33000	33000
Kaplama	0	66000	0	66000
Çakıl (9175 m^3) dolgu (1.9 cm)	142100	142100	10600	10600
Bitkiler	5000	5000	5000	5000
Bitki dikimi	6600	6600	6600	6600
Girişler/çıkışlar	16600	16600	16600	16600
Alt toplam	229500	295500	98000	164000
Mühendislik, yasal işlemler vb.	133000	171200	56800	95100
Toplam tesis maliyeti	362500	466700	154800	259100
İşletme ve bakım maliyetleri (\$/yıl)	6000 \$/yıl	6000 \$/yıl	6000	6000

* Haziran 1999 maliyetleri

Yapay sulakalanlar için işletme ve bakım maliyetleri genelde sistemin kontrolüyle ilgili olup $0.003\text{-}0.09\text{ \$}/\text{m}^3$ gibi çok düşük seviyededir (Knight et al., 1993). SYS'de toprak işlerinden

dolayı 10000-100 000 \$/ha' lık bir inşaat maliyeti gerekirken YAS'de bu oran 100000-200000 \$/ha civarındadır.

10.2. Türkiye'den Sulakalan Maliyetlerine Örnekler

Türkiye'de yapay sulakalan sistemlerinin giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından başlatılan kanalizasyonu bulunan köylere doğal arıtma tesisi kurulması işi çerçevesinde 2004 yılında Ankara-Haymana-Dikilitaş köyünde ve Hazar Gölü'nün kirlenmesini önlemek amacıyla Kovancılar ilçesi Muratbağı köyünde kurulan sistemler örnek tam ölçekli yapay sulakalan sistemleridir. TÜBİTAK MAM'ın İSKİ, Isparta Valiliği ve Çevre ve Orman Bakanlığı ile yapmış olduğu tamamlanmış ve yürütülen projeler ise yapay sulakalanların pilot ve tam ölçekli uygulamalarını içermektedir. Diğer bir çalışma Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'nın "Doğal Arıtma Projesi" adı altında İzmir bölgesinde başlattığı uygulamalardır.

Türkiye'nin farklı bölgelerinde çeşitli kurumlar tarafından tamamlanmış veya yürütülmekte olan tam ölçekli yapay sulakalanların kurulmasına yönelik çalışmalar mevcuttur. İzmir'in Torbalı ilçesine bağlı Korucuk köyündeki yapay sulakalanlar bu örneklerden sadece biridir. Yaklaşık 8000 YTL'ye mal olan 1452 metrekarelik yapay sulak arıtma tesisinde, *Phragmites australis* bitkisi kullanılmıştır. Örnek çalışmalardan bir diğeri ise Akarçayın ıslahı için Afyon Valiliğince İl Özel İdaresi Kaynakları ile 15 Temmuz 2004'de Afyon'da kurulan sistemlerdir.

Türkiye'nin bir çok bölgesinde çeşitli kurumlar tarafından yapay sulakalanların kurulmasına yönelik imzalanan protokoller mevcuttur. Örneğin, Isparta Valiliği ve TÜBİTAK MAM arasında sulakalanların kurulmasına yönelik imzalanan bu protokollerden birisidir. Bu protokolde Eğirdir Gölü'nün korunması için göl kenarında (Senirkent ve Uluborlu bölgesinde) bir sulakalan arıtma tesisi kurulması kararlaştırılmıştır. Bu tesis ile yörede yaşayan 35.000 nüfusun evsel atıksularının arıtılması planlanmıştır. Bu kapsamda Isparta Valiliği'ne yapılan diğer bir proje 12000 kişilik bir nüfuzla hizmet maksadıyla Isparta, Gelendost ve Yaka birimlerinde kurulmuş olan Dere yatağı tipi sulakalan (On-stream



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

constructed wetland system) sistemidir. Bu sistemin inşaat maliyetleriyle ilgili detaylar Tablo 10.6'da verilmiştir.

TÜBİTAK MAM ve Çevre ve Orman Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı işbirliği ile Mogan Gölünü kirleten dereler üzerinde taban akışının yanı sıra yağış sularını da arıtması düşünülen sulakalan sistemleri planlanmıştır. Bunlara ilave olarak, Manisa Kırkağaç İlçesinde, proje nüfusu 40000 olan, perdeli anaerobik reaktörü takiben düşey ve yatay yüzeyaltı akışlı ve yüzeysel akışlı yapay sulakalanların kullanıldığı ve Tokat-Erbaa'da proje nüfusu 70000 olan benzer özelliklere sahip arıtma sistemleri planlama aşamasındadır.

TÜBİTAK MAM'ın yaptığı bir diğer çalışma İstanbul-Şile'de Yer Alan Oruçoğlu Köyünde Doğal Atıksu Arıtım Sisteminin Uygulanması projesidir. Bu proje İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından desteklenmiştir. Bu projede Oruçoğlu köyü için 500 kişilik ön arıtma(perdeli anaerobik sistem) + yapay sulakalan projesi hazırlanmış, sistemin inşaatı yapılmış, bitkilendirilmiş ve sistemin performansı izlenmiştir. Tablo 10.7'de İstanbul Şile, Oruçoğlu Köyü'ndeki doğal sisteminin inşaat maliyetiyle ilgili detaylar verilmiştir. İlgili tablolardaki maliyetler Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın birim fiyatları baz alınarak belirlenmiştir.

TÜBİTAK MAM'ın gerçekleştirdiği ve İSKİ tarafından desteklenen çalışmalardan birisi İstanbul-Şile'ye bağlı Oruçoğlu Köyü'nde Doğal Atıksu Arıtım Sisteminin Uygulanması projesidir. Bu projede Oruçoğlu köyü için 500 kişilik ön arıtma (perdeli anaerobik sistem) ardından yapay sulakalan sisteminin inşaatı yapılmış, bitkilendirilmiş ve sistemin performansı izlenmiştir. Tablo 10.7'de bu sisteme ait ilk yatırım maliyeti detayları verilmiştir.

Tablo 10.6. Gelendost Ve Yaka Birimlerine Ait Dere Yatağı Tipi Sulakalan Sistemi İnşaat Maliyeti (N=12000)

6 adet Y-YAS sulakalan için yapılacak işlerin cinsi	Miktar	Tutar (YTL)
Otomatik elek sistemi, adet	1	10000
Giriş çökeltim havuzu hafriyatı, m ³	200	1000
Ahşap malzemeden sedde yapımı, adet	12	2400
Kullanılacak çakıl, m ^{3a}	2700	29.700
2600m uzunluğunda kanal hafriyatı, m ³	3900	19.500
Bitkilendirme işlemi		
Bitki toplanması için işçi maliyetleri, kişi/gün	120	6.000
Bitkilerin nakiyesi, gün	1	1.000
Bitki dikimi için işçi maliyetleri, kişi/gün	60	3.000
Çökeltim havuzu için giriş ve çıkış betonarme yapıları, adet	1	20.000
Gerekli çakıl, m ³	112	1.230
Borulandırma		500
Izgara		400
Tabanın beton veya jeomembranla kaplanması		1.770
Çökeltim yapısının etrafının çitle çevrilmesi, m	250	10.000
Çakılların kanal içine yayılması, m ³	2700	13.500
UV (Ultraviole dezenfeksiyon sistemi), adet	1	2.000
	TOPLAM	125.000

^anakliye maliyetleri (3-4 YTL/m³) dahil fiyat.

KDV ve yüklenici karı hariç piyasa fiyatlarını içeren 2007 yılı fiyatlardır.

Tablo 10.7. İstanbul Şile, Oruçoğlu Köyü Anaerobik Ön Arıtma Yapay Sulakalan Arıtma Tesisi Maliyeti

Yapılacak İşin Cinsi	Miktar	Tutar(TL)
A-İNŞAAT İŞLERİ		
Makine ile her derinlikte yumuşak kaya ve bataklık ve balçık kazılması, m ³	3.650	22.301,50
Temel tabanına el ile kum çakıl serilmesi, m ³	60	753,00
200 Dozlu Beton, m ³	8	598,40
BS25 hazır beton, m ³	60	5.370,00
Ocak taşı ile kuru duvar inşaatı, m ³	10	444,80
100 kg ağırlığa kadar ocak taşı ile istifli taş dolgu, m ³	165	5.449,95
Geotekstil keçe serilmesi, m ²	1.700	2.448,00
1.5 mm kalınlıkta kauçuk esaslı bant ile su yalıtımı yapılması, m ²	60	572,40
Betona su geçirimsizlik temin edici katkı maddesi ilavesi,kg	150	132,00
Düz yüzeyli betonarme kalıbı, m ²	265	3.166,75
Çelik hasırın yerine konulması,ton	0,85	970,06
Ø8-12 mm beton çelik çubuğunun (nervürlü) bükülmesi, yerine konulması, ton	0,95	1.061,63
Ø14-28 mm beton çelik çubuğunun (nervürlü) bükülmesi, yerine konulması, ton	4,50	4.725,00
Koruyucu sıvı malzeme ile beton satırların darbeye, aşınmaya, tozuma ve emiciliğe karşı korunması, m ²	180	1.008,00
4 cm Kalınlığında şap yapılması, m ²	160	1.380,80
Telçit yapılması,mt	200	9.000,00
Polietilen jeomembran ile izolasyon yapılması, m ²	850	10.769,50
1 numara micir serilmesi, ton	600	8.598,00



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

Yapay Sulakalanlar El Kitabı

82 / 111

Yapılacak İşin Cinsi	Miktar	Tutar(TL)
3-4 numara mıcır serilmesi, ton	140	2.006,20
Mekanik dolgu yapılması,ton	80	986,40
	ARA TOPLAM*	81.742,39
B-ELEKTRİK TESİSATI İŞLERİ		
Sıva üstü sac tablolar, 1 adet	39,16	39,16
3*230V Aktif Reaktif elektronik sayaç, 1 adet	480,00	480,00
İşaret lambası, 3 adet	3,43	10,29
Anahtarlı otomatik sigorta 3X16 A.'e kadar 3 kA., 1 adet	15,84	15,84
Anahtarlı otomatik sigorta 1X16 A.'e kadar 3 kA., 3 adet	4,36	13,08
Anahtarlı otomatik sigorta 3*40 A.'e kadar 3 kA., 1 adet	16,67	16,67
4*2,5 mm ² NYY kablo, m	1,94	38,80
Demir Direk 10 I, kg	3,15	2.772,00
Demir travers, 4 adet	2,66	10,64
Alüminyum iletken 3*10+16 mm ² , m	2,47	271,70
Motor Koruma ve Kontrol Panosu, 1 adet	338,40	338,40
	ARA TOPLAM*	4.006,58
	TOPLAM*	85.478,97

* KDV hariç, yüklenici karı ve genel giderler (%25) dahil olup 2006 yılı Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın birim fiyatları baz alınarak belirlenen fiyatlardır.

TÜBİTAK tarafından desteklenen, TÜBİTAK MAM ve İTÜ işbirliğiyle ile yürütülen, Çevre Orman Bakanlığı'nın müşteri kurum olarak yer aldığı " Düşük Masraflı Arıtma Teknolojilerinin Türkiye Şartlarına Göre Geliştirilmesi ve Marmara Bölgesi için Örnek Uygulama' başlıklı proje ise Sulakalan konusunda yapılan önemli bir uygulamadır. Bu projenin iş paketlerinde yer alan Marmara Bölgesi için örnek uygulama kısmı için Gebze /Kocaeli ilçesine bağlı nüfusu 2000 kişilik Balçık Köyü seçilmiştir. Balçık Köyünün evsel atıksularını arıtmak için anaerobik ön arıtmayla birlikte yapay sulakalan sisteminin maliyet dağılımı Tablo 10.8'de verilmiştir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

Balçık Köyü Doğal Arıtma Tesisi 2000 kişi için projelendirilmiş olup arazi koşullarında işletilecek (ısıtma olmaksızın) Havasız Çamur Yataklı Reaktör ve iki kademeli yapay sulakalan sisteminden oluşmaktadır. Sistem anaerobik arıtma sonrasında işletilecek ardışık olarak tasarlanan yatay akışlı yapay sulakalanarıtma sistemi ve düşey akışlı sulakalanarıtma sistemi şeklindedir.

Tablo 10.8. Kocaeli Gebze Balçık Köyü'ne Ait Anaerobik Ön Arıtma (Havasız Çamur Yataklı Reaktör) + İki Kademeli Yapay Sulakalan Tesisinin Maliyeti*

İşin Tanımı	Keşif Bedeli
İnşaat İşleri	339.868,80 Ytl
Mekanik Ekipman Ve Enstrümantasyon	52.970,32 Ytl
Elektrik İşleri	5.079,00 Ytl
Toplam	397.918,11 Ytl
Nakliyeler (% 8)	31.833,45 Ytl
Kdv (% 18)	77.355,28 Ytl
Genel Toplam	475.273,39 Ytl

* Maliyetler 2008 yılına aittir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

11. BÖLÜM: SU BİTKİLERİ İLE ARITMA SİSTEMLERİ

11.1. Giriş

Konvansiyonel sistemlerle arıtma halinde ortaya çıkan yüksek enerji maliyetleri, özellikle küçük yerleşim birimlerinde bazı sosyal ve finansal problemlere yol açmakta ve toplanabilecek atıksu bedeli sınırlı kalmaktadır. Arıtma sistemi yapılması durumunda yerleşimin bütçesinin büyük kısmının arıtmaya ayrılması gerekmektedir. Diğer taraftan bu yerleşimlere devletin yapabileceği mali yardım da sınırlı kalmaktadır. Bunun sonucu olarak özellikle mali kaynakları sınırlı olan küçük yerleşim birimleri için daha az enerji ihtiyacı olan, dolayısıyla daha az maliyetli sistemlerin geliştirilme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bütün bunlar gerekli arazi ihtiyacı büyük olan buna karşılık işletme maliyeti oldukça düşük doğal arıtma sistemlerine dönüşü hızlandırmıştır. Özellikle küçük yerleşimlerde geniş arazi bulmanın da nispeten kolay olması, diğer doğal arıtma sistemlerinin yanında su bitkileriyle arıtmayı da çekici hale getirmiştir.

Su bitkileri ile arıtmanın bir diğer olumlu tarafı da ekolojik yapı ile uyumlu olması ve doğal denge üzerinde olumsuz bir etki yapmaması hatta olumlu yönde etkilemesidir. Su bitkileri ile arıtma sistemi tanınıp geliştirildikçe kullanımı daha da yaygınlaşacaktır.

Su bitkileri ile arıtma prosesleri esas itibarıyla serbest yüzeyli atıksu arıtma sistemlerine benzemektedir. Su bitkileri ile arıtma sistemlerinde atıksu derinliği 0,5 ila 1,8 metre arasında tutulmaktadır. Oksijen kaynağı esas itibarıyla fotosentezle üretilen oksijendir. Ancak bazı durumlarda ilave havalandırma da yapılabilmektedir. Evsel ve gıda gibi bazı endüstriyel atıksuların arıtılmasında başarıyla kullanılmaktadırlar. Arıtmada kullanılan su bitkileri 33. kuzey ve 33. güney paralelleri arasında doğal şartlarda yaşamaktadırlar. Su bitkilerinin büyüme hızları oldukça yüksektir. Hızla büyüyerek su yüzeyini tamamen kaplayabilirler. Alansal yenilenme hızları 6 gün civarındadır (yani 6 günde su yüzeyini tamamen yeniden kaplayabilmektedir). Su yüzeyinin tamamen bitkilerle kaplanması güneş ışığının derinlere nüfuz etmesini önlemekte, bu ise alglerin çoğalmasını sınırlamakta, hatta

alglerin tamamen ölmesine sebep olmaktadır. Diğer taraftan su yüzeyinin tamamen yüzücü su bitkileri ile kaplanması sonucu atmosferden su ortamına oksijen transferi de engellenir. Ancak bitkilerin fotosentezle ürettikleri oksijen kökleri vasıtasıyla su ortamına verilmektedir. Bu sebeple bitkilerin kök civarı gündüz saatlerinde oksijenle en zengin bölgedir. Su bitkilerinin havuzdaki yoğunlukları 200 - 600 ton/ha-yıl mertebesindedir. Yılda en az 10 kez hasat edilebilmektedirler. Hasat bitkilerin büyüme tuzlarını artırmaktadır. Hasatlanan bitkiler depolanarak hayvan yemi olarak kullanılabilir. Arıtma esas olarak bitki köklerine yapışık olarak yaşayan aerobik mikroorganizmaların çözülmüş organikleri ayrıştırmasıyla veya bitkilerin kökleri vasıtasıyla inorganik formdaki kirleticileri (nutrientleri) kullanmasıyla sağlanmaktadır.

11. 2. Atıksu Arıtımında Kullanılan Su Bitkileri

Atıksu arıtımında kullanılan su bitkilerini üç grupta toplamak mümkündür:

- a) Batık su bitkileri
- b) Köklü su bitkileri
- c) Yüzücü su bitkileri

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

b) Köklü Su Bitkileri: Köklü su bitkilerinin en popülerleri kedikuyruğugiller, sığırsazıgiller, hasırsazıgiller ve köpeksazıgillerdir. Bunlara genel bir isim olarak su kamışı denilmektedir Türkiye'de bataklık ve su birikintilerinde bol miktarda rastlanılmaktadır. Köklü su bitkileri ile arıtmada en önemli proses bakteri dönüşümüdür. Bu tip bitkilerin bulunduğu havuzlarda AKM çoğunlukla tabana çökelmekte ve daha sonra türbülans etkisiyle yüzeye doğru dağılmaktadır Çökeltme esnasında çürüme olayları meydana gelmektedir. Bu sistemlerde en önemli biyokimyasal reaksiyonlar hidroliz ve fotokimyasal oksidasyon redüksiyondur. Köklü bitkilerin nutrient giderme verimleri oldukça yüksektir.

Projelendirme Kriterleri:

Su derinlikleri, sazlarda 70-75 cm ve kamışlarda 30-60 cm.

Çıkışta BOI₅ ve AKM konsantrasyonları: 30 mg/lt

Yüzeysel hidrolik yük: 3300 m³/ha-gün

Hidrolik bekletme süresi: 4-11 gün

c) Yüzücü Su Bitkileri: En fazla kullanılan yüzücü su bitkileri su sümbülü (water hyacinth), su mercimeği (duckweed), su marulu ve su eğreltisi'dir. Yüzücü bitkilerin yaprakları su üzerinde kökleri ise su içerisinde. Yaprakları ile fotosentez yaparak havadan CO₂'yi ve kökleri ile gerekli besin maddelerini almaktadırlar. Üretilen oksijen kökleri vasıtasıyla atıksu ortamına verildiğinden kök bölgesinde aerobik bakteriler yaşamaktadırlar. Yüzücü su bitkilerinin tamamı Türkiye'de bulunmaktadır. Bunlardan su mercimeği su sümbülüne göre sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklıdır. Su sümbülü 10°C'nin, su mercimeği ise 5°C'nin üzerinde canlılıklarını sürdürebilmektedirler, ancak su sıcaklığının 10 °C'nin altına düşmesi arzu edilmez. Soğuk iklimlerde seralarda arıtma yapılabilir. Su eğreltisinin de dayanıklılığı fazla değildir. Bunlardan dolayı en fazla su mercimeği kullanılmaktadır.

Su sümbülü: Çok yıllık, damarlı, taze sularda yaşayan, parlak yeşil ve geniş yapraklı, lavanta çiçeğine benzer başakları olan çiçekli ve kökleri 30 cm derinliğe kadar uzanan yüzücü bir su bitkisidir. Atıksularda yaşayan su sümbülünün kökünden en tepesine kadar



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

olan boyunun 0,5 ila 1,2 m arasında değiştiği belirtilmektedir (Metcalf and Eddy, 1991) Bitki su yüzeyi tamamen kaplanana kadar yatay yönde yayılmakta, daha sonra düşey yönde uzamaktadır Su sümbülünün büyüme hızı çok yüksektir; öyleki dünyada en hızlı büyüyen 10 yabancı ot arasında sekizinci sıradadır (Reed ve diğ., 1984). Su sümbülünün büyümesi (1) bitkinin güneş enerjisi kullanma veriminden, (2) atıksudaki nutrient kompozisyonundan, (3) üreme metodundan ve (4) çevresel şartlardan etkilenmektedir. Su sümbülünün büyüme hızı, (1) belirli bir zaman periyodunda havuz yüzeyini kaplama yüzdesiyle ve (2) birim yüzey alanı başına düşen ıslak bitki kütlesi biriminde bitki yoğunluğuyla, tanımlanmaktadır. Normal şartlar altında, izafi olarak düşük bitki yoğunluğuyla (10 kg ıslak ağırlık / m²) su yüzeyini kaplamakta olup bu değer 80 kg ıslak ağırlık / m² değerine kadar çıkmaktadır. Diğer biyolojik prosesler gibi su sümbülünün büyüme hızı da sıcaklığına bağlıdır Bitkinin canlılığının değerlendirilmesinde hem su hem de hava sıcaklığı önemlidir

Aritma verimi kök uzunluğuna bağlı olarak artmaktadır. Aritma verimi yüksek olmakla birlikte sıcaklık değişimlerine hassas olması kullanımını sınırlamaktadır Kurutulmuş su sümbülünün % 18'i proteinden oluşmaktadır.

Su eğreltisi: Çiçeksiz bir yüzücü su bitkisidir Hassas yapılı olup parazit hastalıklarına yakalanma oranı oldukça yüksektir. Yaprakları arasında boşluk olduğundan su yüzeyini tamamen kaplaması oldukça güçtür Boşluklara sivrisinek girerek hızla üreyebilmektedir. Kökleri su mercimeğinden daha uzundur Su eğreltili yüzücü su bitkileri ile arıtma sistemlerinde yaprak aralıklarındaki boşluklardan giren güneş ışığının etkisiyle alg üremeleri de görülebilir. Bu sistemlerde alg üremeleri arzu edilmez. Genelde su eğreltisi ile su mercimeği birlikte kullanılmaktadır Su eğreltisi sıcaklığa karşı hassas bir bitkidir. Soğuk havalarda yeşil rengini kaybederek solabilmekte hatta canlılığını tamamen kaybedebilmektedir Piston akım şartları sağlanacak şekilde çok gözlü seri reaktör şeklinde tertip edilmesi halinde genellikle kademeli olarak beslenmektedir. Azot giderme verimleri % 80 - 90 mertebesindedir. Fosfor giderme verimleri % 30 - 40 mertebesinde olup azot giderme veriminden daha düşüktür.

Projelendirme Parametreleri:

Projelendirmede atıksu tipi, kg/ha-gün olarak BOİ₅ yükü, m³/ha-gün olarak hidrolik yük, havuzdaki atıksu derinliği, hidrolik bekletme süresi ve hasat periyodu sayılabilir

Atıksu tipi: fakültatif havalandırma havuzu çıkışı

BOİ₅ yükü: 22 - 28 kg/ha-gün

Hidrolik yük: 50 m³/ha-gün

Havuzdaki atıksu derinliği: 1,5 - 2 m

Hidrolik bekletme süresi: 15-25 gün

Su sıcaklığı: > 7 °C

Hasat periyodu: haftalık veya aylık

Su mercimeği: Lemna spp., spirodela spp. ve wolffa spp. olmak üzere üç türü oldukça yaygındır Genelde kökleri 1 ila 2 cm uzunluğunda ve yaprakları bir kaç mm genişliğinde küçük, yeşil renkli yüzücü bir su bitkisidir. En küçük ve en hızlı üreyen çiçekli bitki türüdür Yaprığındaki küçük bir hücre bölünerek yeni bir yaprak oluşturmaktadır. Her bir yaprak canlı kaldığı sürece 10 ila 20 yeni yaprak üretme kapasitesindedir. Diğer bitkilere nazaran büyüme hızları 2 kat daha fazladır. Uygun sıcaklık şartlarında (27 °C'de) lemna türünün sayılan 4 günde 2 katına çıkabilmekte ve havuz yüzeyini tamamen kaplayabilmektedir (MetCalf and Eddy, 1991). 4 hektarlık bir alanda 4,8 ton ıslak su mercimeği elde edilmiştir Metabolik olarak aktif lifsel hücrelerden oluşmaktadır ıslak su mercimeğinin % 95'i sudur Kurutulmuş su mercimeğinin % 39'u protein, % 35'i karbonhidrat, % 5'i ise yağ ve diğer ürünlerden oluşmaktadır Su mercimeğinin su sümbülüne oranla yağ ve protein içeriği yaklaşık 2 kat daha fazladır Bundan dolayı (yani karbonhidrat ve protein içerikleri yüksek olduğundan) belirli periyotlarla hasat edilen su mercimekleri doğrudan hayvan yemi olarak kullanılabilir Bu bitkiler ve köklerindeki mikroorganizmalar esas itibarıyla karbonlu ve azotlu maddeleri kullanırlar. Ancak nutrient gideriminde kullanımları daha yaygındır,



TUBITAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

Karbonlu madde giderme verimleri % 50-60 mertebesindedir Hidrolik bekletme süreleri 2 ila 10 gün arasında değişmektedir 5°C - 40°C arasında yaşayabilmektedirler.

Su mercimeği soğuğa karşı su sümbülünden daha dayanıklı olup aynı zamanda daha geniş pH aralıklarında yaşayabilmektedir pH için optimum yasama aralığı 4,5 ile 7,5 arasındır pH'ın 10'dan büyük olması durumunda su mercimeğinin büyümesi ciddi bir şekilde sınırlanmaktadır. Bundan dolayı gün ortasında havuzlarda pH'ı 10'un üzerine çıkaran algli ortamlarda su mercimeği ve su sümbülünün üremesi ciddi bir şekilde zarar görmektedir. Su mercimeğinin gelişme hızı pH'ın 7'nin üzerinde olduğu durumlarda pH artışına bağlı olarak yavaşlamakta, hattâ su yüzeyi tamamen su mercimeği ile kaplanmamaktadır Gelişme hızı radyasyona da bağlıdır. Yüksek ağır metal konsantrasyonları da su mercimeğinin gelişme hızını düşürmekte, hatta belirli bir konsantrasyonu aşması durumunda tamamen durdurmaktadır. Bununla birlikte su mercimeği BOİ5, KOİ ve nutrient yarımında yüksek oranda ağır metal giderme kapasitesine de sahiptir

Su mercimekleri havuz yüzeyi tamamen kaplandıktan sonra birbiri üzerinde büyümektedirler. Boyutlarının küçük olması sebebiyle rüzgara karşı oldukça dayanıklıdırlar. Rüzgarla havuzun bir kenarına yığılmaları sonucu su yüzeyinin bir kısmı açılmaktadır. Bu durumda açılan bölgede bitki ve mikroorganizmaların atıksu içindeki kirleticilerle teması kesileceğinden arıtma hızı yavaşlamaktadır. Bunu önlemek için havuz yüzeyi perdelerle ayrılmakta ve rüzgarın su mercimeklerini bir kenara yığması önlenmektedir. Perdeler aynı zamanda alg gelişimini de sınırlandırıcı rol oynamakta, böylece havuz çıkışındaki alg konsantrasyonu düşmektedir. Bütün bunlara rağmen rüzgarla kenara yığılma söz konusu olduğunda elle su yüzeyine dağıtılmalıdır.

Su mercimeği sistemlerinde çözülmüş oksijen su ortamına sadece kökler vasıtasıyla verildiğinden kök bölgelerinde yoğun bir aerobik bakteri popülasyonu ortaya çıkar. Bu bakteriler organik maddeleri parçalayarak tüketirler ve bu esnada ortamdaki çözülmüş oksijeni kullanırlar. Bundan dolayı su mercimeği arıtma sistemleri çıkış sularında oksijen konsantrasyonu sıfıra düşebilir ve çıkış bölgesi anoksik veya anaerobik olabilir Anaerobik ortamın doğması arzu edilmediğinden havuz difüzörlerle havalandırılabilir Bu hususun

dikkate alınarak yüzücü su bitkileri ile arıtma sistemlerinin havalandırmalı, havalandırmasız veya fakültatif boyutlandırma kriterlerine göre dizaynı gerekmektedir. Özellikle durgun su ortamında aşın sivrisinek üremesini önlemek için havuzlarda sivrisinek balıklar yetiştirilebilir. Bu balıkların yaşayabilmesi için havuzda 1 mg / L civarında çözünmüş oksijene ihtiyaç bulunmaktadır. Havuzda anaerobik ortamın oluşması kokuya da sebep olabilir. Bu sebeplerle havalandırma ihtiyacı ortaya çıkabilir. Havuzda aerobik şartları sürdürmek için organik yükü azaltmak veya geri devir yapmak da düşünülebilir Sistemden sık sık hasat yapılması veya akşam saatlerinde havuz yüzeyine su püskürtülmesi halinde sivrisinek larvaları ölmektedir. Larva öldürücü kimyasal madde kullanılarak ta sivrisinek kontrolü yapılabilmektedir.

Su bitkileriyle arıtma sisteminde biriken çamurlar hem atıksudaki katı maddeleri hem de bitki tortularını içermektedir. Genelde çamur miktarı sisteme verilen atıksuyun bileşimine bağlıdır. Doğal olarak ön arıtmadan geçirilerek arıtma sistemine verilen atıksudan oluşan çamurla ön arıtma yapılmadan sisteme verilen çamur miktarları birbirinden oldukça farklı miktar ve bileşimdedir.

Su mercimeği ile arıtma sistemlerinde de pistonaya yakın akım şartları geçerli olup havuzun ilk kısımlarında daha yüksek oranda organik madde ve nutrient kullanılmakta, sonraki kısımlarda verim oldukça düşmektedir. Bundan dolayı bu sistemlerde de kademeli besleme yapılmalı, havuzdan çıkan atıksu girişte tekrar devrettirilmelidir İki ayrı çalışmada 700 m³/ha-gün hidrolik yük altında elde edilen arıtma verimleri Tablo 11.1'de verilmiştir

Tablo 11.1. İki Ayrı Çalışmada 700 M³/Ha-Gün Hidrolik Yük Altında Elde Edilen Arıtma Verimleri

	Çalışma I	Çalışma II
BOİ ₅ , %	85	50
AKM, %	76	92

Pennywort: Genellikle köklü bir bitkidir; bununla birlikte bol besin maddesi bulunan ortamlarda havuz boyunca hidrofonik yığınlar şeklinde gelişebilmektedir Pennywortlar birbirine sarılma ve yatay olarak büyüme eğilimindedir Su sümbülünün aksine

pennywortun fotosentetik yaprak alanı küçüktür ve belirli bir yoğunluktan sonra kendi gölgesinden dolayı verimi önemli ölçüde azalmaktadır. Florida'da pennywortun ortalama büyüme hızının 0,010 kg/m²-gün'den büyük olduğu tespit edilmiştir (MetCalf and Eddy, 1991). Su sümbülünün azot ve fosfor yükseltgeme hızları kış aylarında çok ani bir şekilde düşmesine rağmen pennywortunki ılık ve soğuk mevsimlerde hemen hemen aynı kalmaktadır. Kış aylarında pennywortun nutrient giderme hızı su sümbülünden daha yüksektir. Pennywortun yıllık biyokütle verimi su sümbülünden düşük olmasına rağmen su sümbülü/su marulu sistemi ile entegre olarak çalıştırıldığında ılık havalarda istenen su kalitesini sağlanabilmektedir.

11.3. Su Bitkileri İle Arıtmada Boyutlandırma Esasları

11.3.1. Ön Tasarım Esasları

Su bitkilerinin boyutlandırılması yapay sulakalan tasarımına benzemektedir. Sistem boyutlandırma kademeleri aşağıda sıralanmıştır:

- a. Alternatif arazilerin değerlendirilmesi ve uygun yer seçimi
- b. Ön arıtma seviyesinin belirlenmesi
- c. Bitki seçimi ve yönetimi
- d. Boyutlandırma parametrelerinin tesbiti
- e. Vektör kontrol esaslarının belirlenmesi
- f. Sistem bileşenlerinin detaylı bir şekilde boyutlandırılması
- g. Sistemi işletme esaslarının belirlenmesi

a) Arazi Secimi: Arazi seçiminde topografik durum, zemin özellikleri, taşkın tehlikesi ve iklim dikkate alınmalıdır. Mümkün olduğu kadar düz ve hafif eğimli topografyaya sahip alanlar seçilmelidir. Engibeli arazilerden çok kazı işi çıkarması sebebiyle kaçınılmalıdır. Az geçirimli zeminler (< 5 mm/saat) tercih edilmelidir. Çünkü gerek sulakalan gerekse su bitkileri ile arıtma sistemlerinde esas amaç atıksuyu zemine sızdırmak değil, hendek veya

havuzlarda arıtmaktır. Dolayısıyla gerekirse geçirgenliği azaltılarak atıksuyun zemine sızması minimize edilmelidir. Su bitkileriyle arıtma sistemlerinin tabanı da, diğer havuzda arıtma sistemlerinde olduğu gibi zamanla, koloidal ve askıda maddelerle bakteri balçıklarının büyümesi sonucu tamamen kaplanmaktadır. Geçirgen zeminlerin tabanı kil veya geçirimsiz yapay astarlarla kaplanmalıdır. Daha önceleri de belirtildiği üzere özellikle su sümbülü soğuk havalara karşı duyarlıdır. Su mercimeği ve kamışlar (pennywort) soğuk havalara karşı su sümbülünden daha dayanıklıdır. Su sümbülü 10 °C'nin, su mercimeği ise 7 °C'nin üzerinde rahatlıkla gelişebilmektedir. Büyük iklim değişiklikleri görülen yerlerde tek su bitkisi yerine birden fazla bitkinin (su sümbülü, su mercimeği ve kamış gibi) birlikte kullanılması daha uygundur.

b) Ön Arıtma İhtiyacı: Ön arıtma olarak en azından birinci kademe arıtma, hidrolik bekletme süresi kısa havalandırmalı havuz veya bunların eşdeğeri bir sistem uygulanmalıdır. Ön çökeltme havuzu girişine döner bir ızgara teşkili oldukça etkili bir ön arıtma temin etmektedir. Yüzücü su bitkileri birçok yerde ikinci kademe arıtmadan sonra çok sıkı olan deşarj standartların sağlamak amacıyla da kullanılmaktadır. Arazi yüzeyinden akıtma sisteminde olduğu gibi su bitkileri ile arıtmadan önce de yüksek konsantrasyonda alg ihtiva eden oksidasyon hendekleri ve stabilizasyon havuzları teşkil etmekten kaçınılmalıdır. Fosfor için çok sıkı deşarj standartlarının konulduğu yerlerde ön arıtma olarak fosfor giderimi de yapılmalıdır, çünkü su bitkilerinin fosfor giderimi sınırlıdır.

c) Bitki Secimi: Su bitkisi olarak genelde su sümbülü, su mercimeği ve pennywort gibi yüzücü su bitkileri seçilmelidir. Bu bitkilerin özellikleri hakkında yukarıda geniş bilgi verilmiştir.

11.3.2. Yüzücü Su Bitkileri Arıtma Sistemlerinin Tipleri

Atıksu arıtımında genellikle su sümbülü ve su mercimeği arıtma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

Su Sümbülü Sistemleri: En çok inşa edilen yüzücü su bitkileri ile arıtma sistemleri su sümbülü ile arıtma sistemleridir. Havuzdaki çözülmüş oksijen seviyesine ve havalandırma

derecesine bağb olarak üç tip su sümbülü sistemi tanımlanabilmektedir: (a) havalandırmaz aerobik, (b) havalandırmalı aerobik ve (c) fakültatif anaerobik.

Havalandırmaz aerobik su sümbülü sistemleri, en yaygın kullanılan su sümbülü sistemi olup organik yükleme hızına bağli olarak ikinci veya üçüncü kademe arıtma (karbon veya nutrient giderimi) yapabilmektedir. Az miktarda sivrisinek ve kokuya rağmen mükemmel arıtma verimi sağlaması bu sistemin başlıca avantajlarıdır. Hiç koku ve sivrisineğe tahammül edilemeyen yerlerde havalandırmalı aerobik su sümbülü sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemin ilave avantajları, biraz havalandırma ile daha yüksek organik yükleme yapılabilmesi ve daha az arazi gerekmesidir. Fakültatif su sümbülü sistemleri çok yüksek organik yükleme altında işletilebilmektedir. Koku ve sivrisinek bu sistemin başlıca dezavantajlarıdır. Bundan dolayı fakültatif su sümbülü sistemleri nadiren kullanılmaktadır.

Su Mercimeği Sistemleri: Su mercimeği ve pennywort sistemleri, günümüzde, genellikle, çıkış alg konsantrasyonu düşürülmüş fakültatif lagün veya stabilizasyon havuzlarında arıtılmış atıksuların kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Rüzgar etkisini kontrol sistemi hariç bu uygulama için konvansiyonel lagün boyutlandırılma adımları izlenebilir. Rüzgar etkisiyle su mercimeklerinin havuzların bir kenarına yığılması diğer kısımlardaki atıksuyun arıtılmasını önlemekte, diğer taraftan birikme meydana gelen kısımda ayrışma sebebiyle koku oluşmaktadır. Rüzgar etkisiyle oluşan açık yüzey alanını minimize etmek için yüzücü engeller kullanılarak havuz belirli sayıda hücreye bölünebilir.

11.3.3. Su Bitkileri İle Arıtma Boyutlandırma Parametreleri

Yüzücü su bitkileri arıtma sistemleri için esas boyutlandırma parametreleri olarak hidrolik bekletme süresi, su derinliği, havuzun şekli, organik yükleme hızı ve hidrolik yükleme hızı parametreleri verilebilir. Farklı düzeyde ön arıtmadan geçmiş atıksuları arıtmak için kullanılacak su sümbülü ve su mercimeği sistemlerini boyutlandırma kriterleri Tablo 11.2'de özetlenmiştir.

Hidrolik Bekletme Süresi:



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

Hidrolik bekletme süresi, organik yükleme hızı, hidrolik yükleme hızı ve sistemin derinliğine bağlıdır. Çoğu durumlarda organik yükleme hızı, hidrolik bekletme süresini kontrol eden faktör olmaktadır Su sümbülü ve su mercimeği için tavsiye edilen hidrolik bekletme süreleri Tablo 11.2 'de sunulmuştur.

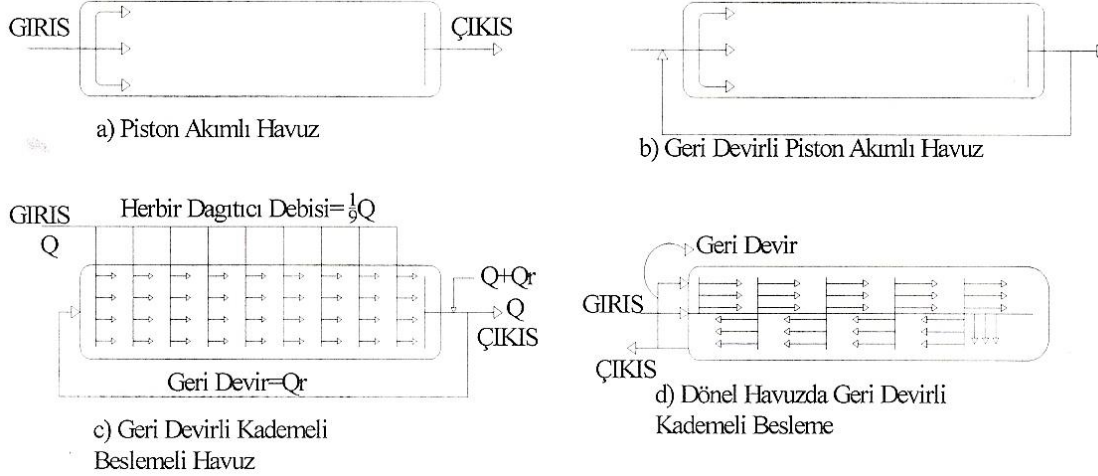
Tablo 11.2. Yüzücü Su Etkileriyle Arıtma Sistemleri İçin Tipik Boyutlandırma Kriterleri Ve Sağlanan Çıkış Suyu Kaliteleri (Metcalf And Eddy, 1991)

	Su Sümbülü Arıtma Sisteminin Tipi			Su Mercimeği arıtma Sistemi
	Havalandırmaz aerobik ikincil arıtma	Havalandırmalı aerobik ikincil arıtma	Havalandırmaz aerobik nutrient giderimi	
Tipik Tasarım Kriterleri				
Giriş atıksu kalitesi	İzgaradan geçmiş veya çöktürülmüş	İzgaradan geçmiş veya çöktürülmüş	İkinci kademe arıtmadan geçmiş	Fakültatif havuz çıkışı
(BOİ ₅)giriş	130-180	130-180	30	40
BOİ ₅ yükleme hızı kg/ha-gün	45-90	168-335	11-45	22-34
Su derinliği, m	0,45 - 0,90	0,9-1,2	0,6 - 0,9	1,2 - 1,8
Hidrolik bekletme suresi, gün	10-36	4-8	6- 18	20-25
Hidrolik yükleme hızı, m ³ /m ² -gün	0,02 - 0,06	0,10-0,28	0,04-0,15	0,06 - 0,08
Su sıcaklığı, °C	>10	>10	>10	>7
Hasat periyodu	yıllık veya mevsimlik	ayda iki kez veya sürekli	ayda iki kez veya sürekli	ikincil arıtma ayda bir, ileri arıtma haftada bir
Beklenen Çıkış Suyu Kalitesi (mg/l)				
BOİ ₅ ,	<20	<15	<10	<30(<10)
AKM	<20	<15	<10	<30(<10)
Top-N	<15	<15	<10	<15(<5)
Top-P	<6	<1 -2	<2-4	< 6 (< 1 - 2)

Su Derinliği: Su derinliğini belirlemede esas düşünce havuz içinde düşey istikametteki karışımı kontrol etmektir. Havuz derinliği, arıtılacak atıksuyun içindeki çözünmüş kirleticilerin arıtmayı sağlayacak bitki kökleri ile teması sağlanacak şekilde seçilmelidir Su sümbülü ve su mercimeği için tavsiye edilen su derinlikleri Tablo 11.2’de verilmiştir

Seri olarak teşkil edilmiş su sümbülü ile arıtma sistemlerinde son hücredeki su derinliğinin, çıkışa doğru nutrient konsantrasyonunun düşmesi sonucu su sümbülü köklerinin uzaması sebebiyle, Tablo 11.2’de verilenden daha büyük seçilmesi tavsiye edilmektedir Su sümbülü sistemlerinin değişen işletme şartlarına uyumunu sağlamak için, çıkış yapısı, değişik işletme derinlikleri sağlanabilecek şekilde tasarlanabilir

Havuz Şekilleri: Su sümbülü sistemleri için tipik havuz tertip tarzları Şekil 11.1’de gösterilmiştir. İlk inşa edilen su sümbülü ile atıksu arıtma sistemleri, stabilizasyon havuzlarına benzer şekilde dikdörtgen planlı olarak işletilmiştir Daha sonraları aşağıdaki sebeplerle geri devirli ve kademeli beslemeli sistemler kullanılmaya başlanmıştır: (1) bitki kök bölgesinde organik bileşenlerin konsantrasyonunun azaltmak, (2) atıksuyun kök bölgesine daha kolay ulaşmasını sağlamak, (3) oluşacak koku miktarını azaltmak. Sarmal şekilli havuz kullanımı gerekli besleme borusu ve geri devir hattı uzunluğunu kısaltmakta ve geri devir pompaj maliyetini düşürmektedir (Şekil 11.1). Su mercimeği sistemleri rüzgar etkisini kontrol için gerekli düzenlemeler hariç, aynen stabilizasyon havuzlarına benzemektedir. Daha önceleri de belirtildiği gibi rüzgar etkisine maruz yüzey alanını en aza indirmek için yüzücü perdeler kullanılmaktadır. Rüzgar etkisi dikkate alınmadığı takdirde su mercimekleri rüzgar etkisi ile su yüzeyinden sıyrılarak bir kenara yığılacak ve beklenen arıtma verimleri sağlanamayacaktır.



Şekil 11.1. Su Sümbülü Atıksu Arıtma Sistemi Havuzlarının Şekillerinin Gelişimi

Organik Yükleme hızı

Su sümbülü ile arıtma sistemlerinde organik yükleme hızları, BOI_5 bazında 10 ila 300 kg/ha-gün aralığında verilmektedir (Tablo 11.2). Havalandırmazsız ortalama 170 kg/ha-gün'nün üstündeki organik yüklemelerde yaygın olarak koku problemleri ortaya çıkmaktadır. Özellikle atıksudaki sülfat konsantrasyonunun 50 mg/l'den daha yüksek olduğu durumlarda düşük organik yükleme hızlarında bile koku problemleri ile karşılaşılmaktadır. Bundan dolayı havalandırmazsız tesislerde ortalama organik yükleme tozlarının 110 ila 110 kg/ha-gün değerlerini aşmaması tavsiye edilmektedir.

Hidrolik Yükleme Hızı

Hidrolik yükleme hızı, su bitkileri ile arıtma sisteminin birim yüzey alanına bir günde verilen atıksu hacmini göstermektedir. Evsel atıksu arıtımında kullanılan su sümbülü ile atıksu arıtma sistemlerinde uygulanan hidrolik yükleme hızları 240 ila 3600 m³/ha-gün aralığında değişmektedir (Reed et al, 1988) BOI_5 ve AKM konsantrasyonlarını 30 mg/l'nin altına düşürmeyi hedefleyen ikinci kademe arıtma maksatları için tipik organik yükleme hızı değerleri ise 200 ila 600 m³/ha-gün aralığında verilmektedir (MetCalf and Eddy, 1991). Havalandırmazsız ikinci kademe arıtma maksatları için 1000 m³/ha-gün değerindeki hidrolik

yükleme hızları başarıyla kullanılmaktadır (EPA, 1988). Bununla birlikte organik yükleme hızlarının hidrolik yükleme hızlarını kontrol ettiğini söylemek mümkündür.

11.3.4. Su Bitkileri İle Arıtmada Proses Kinetiği

Amerika Birleşik Devletleri'nin San Diego Kenti ve diğer yerlerde yapılan çalışmaların sonuçları Şekil 11.2'de gösterilen kademeli besleme sistemi ve havuz uzunluğunun genişliğine oranının yüksek olmadığı havuz sistemleri için, BOI_5 gideriminin birinci mertebe kinetiği uygulanarak modellenebileceğini ve havuzdaki akım rejiminin Şekil 11.2'de gösterildiği gibi bir veya bir kaç tam karışimli reaktörle temsil edilebileceğini göstermiştir (MetCalf, 1991). Örnek olarak Şekil 11.2'deki gibi 8 tam karışimli reaktörle temsil edilen bir su bitkisi ile havalandırma havuzunda, karalı durumda birinci tam karışimli reaktör için, aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\text{Birikme} = \text{Giriş} - \text{Çıkış} + \text{Dönüşüm}$$

$$O = Q_r (C_8) + 0,125 Q (C_0) - (Q_r + 0,125 Q) (C_1) - k_T (d) V_1$$

Q_r : geri devir debisi, m³/gün

C_8 : 8. reaktör çıkışındaki BOI_5 konsantrasyonu, mg/l

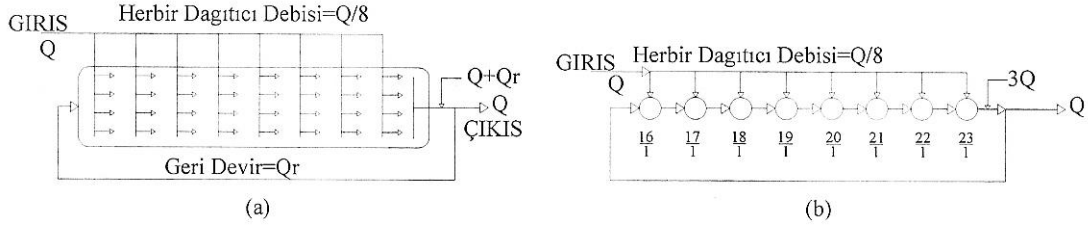
$0,125 Q$: her bir reaktöre giren atıksu debisi ($Q/8$), m³/gün,

C_0 : giriş BOI_5 konsantrasyonu, mg/l

C_1 : I reaktör çıkışındaki BOI_5 konsantrasyonu, mg/l

k_T : birinci mertebe hız sabiti, l/gün

V_1 : birinci reaktörün hacmi, m³



Şekil 11.2. Kademeli Beslemeli Ve Geri Devirli Su Sümbülü İle Atıksu Arıtma Sisteminin Kinetik Analizi İçin Temsili Şekil, (A) Geri Devirli Ve Kademeli Beslemeli Bir Su Sümbülü Sisteminin Şematik Gösterimi, (B) Proses Analizi İçin Seri Haldeki Tam Karışımli Reaktörlerden Oluşan Eşdeğer Sistem.

Yukarıdaki ifadeye BO_5 gideriminin hesabı için kullanılan k_T katsayısının $20\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki $1,95\text{ (gün)}^{-1}$ olarak alınabilir (EPA, 1988). Reaktör veya reaktör parçası yaklaşık olarak tam karışımli bir reaktör gibi davranıyorsa, bir veya çok sayıda seri bağlı tam karışımli reaktörle modelleme yaklaşımının geçerliliği deneysel olarak test edilmelidir. Belki Şekil 11.2'deki kademeli beslemeli ve geri devirli sistemin kinetik modellemeye en önemli etkisi, geri devir oranının seri haldeki 1. reaktörde 16:1 ve sonuncu reaktörde 23:1 olmasıdır. Eğer geri devir debisi havuz girişinde (havuza girmeden hemen önce) giriş debisi ile tam karışım şartlarının doğrudan sağlıyorsa geri devir oranı 2:1 olacaktır. Bu iki işletme modu arasındaki fark havuz verimini karşılaştırma açısından önemlidir.

11.3.5. Su Bitkilerinin Hasadı ve Değerlendirilmesi

Bitki hasatlama ihtiyacı, istenen su kalitesine, bitkilerin büyüme hızlarına ve buğday biti (pamuk kurdu -weevil-) gibi yırtıcıların (predatörlerin) etkilerine bağlıdır. Su bitkilerinin hasatlanması, metabolik olarak yüksek nutrient yükseltgeme kapasiteli mahsülleri muhafaza etmek için gerekmektedir. Mesela su sümbüllerinin her üç veya dört haftada bir gibi sık sık hasatlanması başarılı bir nutrient giderimi sağlamaktadır. Sadece daha sık bitki hasatlanarak fosfor gideriminin artırıldığı tesbit edilmiştir (Metcalf and Eddy, 1991). Sağlıklı su sümbülü nüfusunu tehdit edecek miktarda buğday biti üreyen yerlerde sık sık, enfekte



TUBITAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

olan bitkileri ayıracak şekilde seçici hasatlama kullanılmaktadır. Nutrient giderimi için ılıman iklim periyodunda haftada bir su mercimeği hasatlanması gerekebilmektedir

Hasatlanan su sümbülleri genellikle kurutulduktan sonra düzenli bir şekilde depolanmakta veya arazi yüzeyine serilmekte ve zemin üzerine yayıldıktan sonra toprak sürülmektedir. Su sümbülleri kolaylıkla kompostlaşabilmektedir. Bununla birlikte eğer bitkiler başlangıçta kısmen de olsa kurutulmamış veya sıkıştırılıp ezilmemişse, yüksek nem muhtevası, kompost prosesinin verimliliğini azaltmakta ve ortaya uzaklaştırılması gereken sıvı bir akıntı çıkmaktadır. Arazideki su mercimekleri havada kurutulmadan hayvan yemi olarak kullanılabilir. Su bitkileri sistemlerini daha ekonomik

sistemlerini daha ekonomik ve uygulanabilir yapmak için hasatlanan su sümbülleri ve diğer bitkilerin uzaklaştırılması üzerinde çalışma yapılması gerekmektedir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

12. BÖLÜM: BOYUTLANDIRMA ÖRNEĞİ

Kullanılabilir arazinin sınırlı olduğu bir yer için, aşağıdaki verileri kullanarak ikinci kademe arıtma yapabilecek bir havalandırılmalı su sümbülü atıksu arıtma sistemi boyutlandırınız.

Hesap Debisi; $Q = 730 \text{ m}^3/\text{gün}$

İstenen çıkış suyu kalitesi: $\text{BOI}_5 < 30 \text{ mg/l}$ ve $\text{AKM} < 30 \text{ mg/l}$

Sisteme girişte kirletici konsantrasyonları:

$\text{BOI}_5 = 240 \text{ mg/l}$,

$\text{AKM} = 250 \text{ mg/l}$,

$\text{Top-N} = 20 \text{ mg/l}$,

$\text{Top-P} = 10 \text{ mg/l}$

T; su sıcaklığı: $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Alanın sınırlı olduğu düşünülerek ön arıtma olarak oksidasyon havuzu yerine Imhoff Tankı düşünülmüştür.

(a) Ön Arıtma olarak Imhoff Tankının Boyutlandırılması:

Çökeltme kısmında

bekletme süresi: 2 saat

Hidrolik yükleme hızı (Yüzey yükü): $24 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-gün}$

Savak yükü: $600 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-gün}$

Yağ için gerekli alan; toplam alanın % 20'si

Çamur çürütme hacmi: $0,1 \text{ m}^3/\text{kişi}$ veya toplam nüfusun % 33'ü

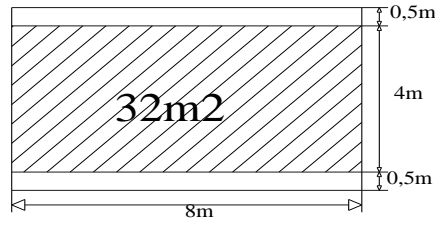
Yukarıdaki boyutlandırma kriterlerine göre aşağıdaki hesaplar yapılmıştır:

Minimum çökeltme alanı = $730 (\text{m}^3/\text{gün}) / 24 (\text{m}^3/\text{m}^2\text{-gün}) = 31,7 \text{ m}^2$

Yağ ve yüzücü maddeler için ayrılan alan = $0,2 \times 31,7 = 6,3$ m

Toplam yüzey alanı = $31,7 + 6,3 = 38$ m

Seçilen havuz boyutları:



Taban eğimi: 5/4

Havuz derinliği: 3 m

Imhoff tankının toplam derinliği: 6 - 7 m

İyi işletilen bir Imhoff tankı % 47 BOİ₅ ve % 60 AKM giderebilmektedir. Azot ve fosforun aynı kaldığı kabul edilirse tank çıkışındaki su kalitesi,

$$\text{BOİ}_5 = 240 \times (1 - 0,47) = 127 \text{ mg/l}$$

$$\text{AKM} = 250 \times (1 - 0,60) = 100 \text{ mg/l}$$

olarak hesaplanır.

(b) Su sümbülü havuzlarının BOİ₅ yükü:

$$127 \text{ (mg/l)} \times 730 \text{ (m}^3\text{/gün)} \times (1000 \text{ L/m}^3) \times (1 \text{ kg /1 000 000 mg)} = 92,7 \text{ kg/gün}$$

(c) Havuz hacminin hesabı:

Havuz atıksuyun sekiz kademeli olarak verildiği ve geri devir oranının 2 seçildiği kabul edilerek havuz hacmi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$O = Q_r (C_{\infty}) + 0,125 Q (C_0) - (Q_r + 0,125 Q) (d) - k_T (d) V,$$



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

$$Q_r = 2 Q = 2 \times 730 = 1460 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$C_8 = 127/23 = 5,52 \text{ mg/l}$$

$$0,125 Q = 0,125 \times 730 = 91,25 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$C_0 = 127 \text{ mg/l}, C_1 = 127 / 16 = 7,94 \text{ mg/l}, k_T = 1,95 \text{ (gün)}^{-1}$$

$$V_1 = \text{Toplam hacmin } 1/8\text{'i, gün}$$

Yukarıdaki değerler denge denkleminde yerine konulursa

$$0 = 1460 \times 5,52 + 91,25 \times 127 - (1460 + 91,25) \times 7,94 - 1,95 \times 7,94 \times V_1$$

$$V_1 = 473 \text{ m}^3 \text{ ve Toplam Havuz Hacmi } 8 \times 473 = 3784 \text{ m}^3 \text{ olarak bulunur.}$$



TUBITAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)



TUBITAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

KAYNAKLAR

- Ayaz S., Tunçsiper B., Akça L., İnci, A., Kınacı, C., Güneş, K., Saygun, Ö. (2008)** Türkiye’de Uygulanan Bazı Yapay Sulakalan Çalışmaları, Sulakalanlar Konferansı, 10-11 Temmuz 2008, Kayseri.
- Ayaz S., Fındık Hecan, N., Tunçsiper B., Akça L., Kınacı, C., Güneş, K. (2005)** Yapay Sulakalanların Maliyet Boyutu Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları’08 Sempozyumu, 02-06 Kasım 2008.
- Ayaz S., Akça L., Güneş K., Baban A.,(2007)** Evsel Atıksuların Biyolojik Olarak Arıtma Bahçesinde Arıtılması ile Suların Tekrar Kullanılır Hale Getirilmesi-Şile Oruçoğlu Köyünde Uygulama, TUBİTAK- Kimya ve Çevre Enstitüsü(KÇE), Teknik Rapor.
- Ayaz S., Akça L., Tunçsiper B., (2005)** İçme Suyu Barajlarına Gelen sularda Sulakalan Sistemleriyle Organik, İnorganik ve Mikrobiyolojik Kirliliğin Giderilmesi, TUBİTAK- Kimya ve Çevre Enstitüsü(KÇE), Teknik Rapor.
- Ayaz S., Akça L., Tunçsiper B., (2002)** Su Havzalarına Gelen Noktasal ve Yayılı Kirleticiler Yüklerin Kontrolü İçin Doğal Arıtma Teknolojilerinin Kullanılması, TUBİTAK-Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü(ESÇAE), Teknik Rapor.
- Conte G., Martinuzzi N., Giovannelli L., Pucci B. and Masi F. (2001)** Constructed wetlands for wastewater treatment in central Italy. Wat. Sci. Tech. 44, (11-12), 339-343.
- Cueto, A. (1993).** Development of Criteria for the design and construction of engineered Aquatic Treatment Units in Texas, Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Moshiri, Lewis Publishers, Inc., 99-105.



TUBITAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

- Güneş K., Ayaz S., Tüfekçi H., (2007)** Eğirdir Gölü Havzasında Gelendost ve Yaka Yerleşim Birimlerinin Evsel Atıksularının Doğal Arıtma Teknolojileriyle Arıtımı, TUBİTAK- Kimya ve Çevre Enstitüsü(KÇE), Teknik Rapor.
- Hammer D. A. (editör).** Constructed Wetlands for Wastewater Treatment : Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers, Cheselsa, MI, 1989.
- Harrison, M. (1997)** J.F.New and Associates Personel Communications.
- Hiley, P. (2003)** Performance of wastewater treatment and nutrient removal wetlands (reedbeds) in cold temperate climates *Chapter 1 Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates.*, Mander, U., Jenssen P. (eds). Advances in Ecological Sciences, WIT Press, Southampton, Boston, UK. 2003, 325 pp., sayfa 2
- Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC). (2003).** Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands, The Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team.
- Kadlec, R.H., Axler, R., McCarthy, B., Henneck, J. (2003)** Subsurface Treatment Wetlands in the cold climate of Minnesota *Chapter 2 Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates.*, Mander, U., Jenssen P. (eds). Advances in Ecological Sciences, WIT Press, Southampton, Boston, UK. 2003, 325 pp., sayfa 19
- Kadlec, H.R., and Knight, R.L. (1996).** Treatment Wetlands. Lewis Publisher. FL. USA.
- Knight, R.L., Ruble, R.W., Kadlec, R.H., and Reed, S. (1993).** Database: North Amerikan Wetlands for Water Quality Treatment, Phasell Report, Prepared for U.S.EPA, September 1993.
- Korkusuz, E.A., AVKR5-Technical Report(2005).** Manual of Practice on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Reuse in Mediterranean Countries(inco-ct-2003-502453).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

- Laber, J., Haberl, R., Perfler, R. (2003)** Enhanced Nitrogen Elimination in Vertical Flow Constructed Wetlands in Cold Climates *Chapter 6 Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates.*, Mander, U., Jenssen P. (eds). Advances in Ecological Sciences, WIT Press, Southampton, Boston, UK. 2003, 325 pp., sayfa 108
- Masi, F., Conte, G., Martinuzzi, N. and Pucci, B. (2002).** Winery High Organic Content Wastewaters Treated By Constructed Wetlands In Mediterranean Climate, Proceedings of the 8th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Arusha, Tanzania, 274-283.
- MetCalf & Eddy (1991).** Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill, New York, NY.
- NESC (2008).** Constructed Wetlands Factsheet By National Small Flows Clearinghouse <http://pasture.ecn.purdue.edu/~epados/septics/cwetfact.htm> Erişim tarihi: 14.04.2009
- Reed S. C. and Crites R. W. (1984).** Handbook of Land Treatment Systems for Industrial and Municipal Wastes. Noyes Publications, Park Ridge, NJ, 1984.
- Reed S. C., Middlebrooks E. J. and Crites R. W. (1988).** Natural Systems for Waste Management and Treatment. McGraw-Hill, New York, NY.
- Reddy, K.R. and DeAngelo, E.M. (1994).** Soil Processes Regulating Water Quality in Wetlands, In Global Wetlands: Old World and New (ed. W. Mitsch), Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Taylor, C., Jones, D., Yahner, J., Ogden, M., Dunn, A., (2009)** Individual Residence Wastewater Wetland Construction in Indiana
- URL1:<http://pasture.ecn.purdue.edu/~epados/septics/buildcw.htm#Designing%20a%20Constructed%20Wetland> erişim tarihi 14.04.2009



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

- Tchobanoglous, G. and F. L. Burton** (1991). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 3rd edition. New York: McGraw-Hill.
- Tousignat, E. (Author), Frankhauser, O. and Hurd, S.** (1999). Guidance Manual for The Design, Construction and Operation of Constructed Wetlands for Rural Applications In Ontario, Funded by the Canadapt Program of The Agricultural Adaptation Council, Alfred College (University of Guelph) Publishing, Ontario, USA.
- USEPA** (1980). Design Manual:Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems, EPA 625/1-80/012.
- USEPA (1988)** Design Manual for Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment. EPA 625/1-88-022, Cincinnati, OH, September
- USEPA. (2000a)**. Wastewater Technology Fact Sheet Wetlands: Subsurface Flow, EPA 832-F-00-023. EPA Office of Water, Washington D.C.
- USEPA. (2000b)**. Wastewater Technology Fact Sheet: Free Water Surface Wetlands, EPA 832-F-00-024. EPA Office of Water, Washington D.C.
- Water Pollution Control Federation (WPCF). (1990)**. Manual of Practice FD-16, Chapter 9. Alexandria, VA.
- WEF., Water Environment Federation. (2000)**. Natural Systems for Wastewater Treatment, MOP FD-16, WEF, Alexandria, VA.
- Wood, A. (1995)**. Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding. Water Sci Technol 32(3):21–9.
- WPCF (Water Pollution Control Federation). (1990)**. Natural Systems for Wastewater. Manuel of Practice FD-16, Alexandria VA..



TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ (ÇE)

-
- Vymazal, J. (1993).** Constructed wetlands for wastewater treatment in Czechoslovakia: State of the art. In constructed wetlands for water quality improvement. Gerald A. Moshiri, Editor, Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Haberl, R., Perfler, R., Laber, J. (1998).** Removal mechanisms and types of constructed wetlands. In: J. Vymazal, H. Brix, P.F. Cooper, M.B. Green and R. Haberl, Editors, *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands (1998a), pp. 17–66.