



EVSEL ATIKSULARIN ARITIMI İÇİN İKİ KADEMELİ BİR YAPAY SULAKALAN SİSTEMİ

Selma Ç. AYAZ¹, Lütfi AKÇA², Bilal TUNÇSİPER² ve Ömer SAYGIN¹

¹ TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi, 41470 Gebze/Kocaeli

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 80626 Maslak/İstanbul

Öz: Bu çalışmada bir yapay sulakalan teknolojisi incelenmiştir. Sistemin performansını değerlendirmek için arazi ölçekli, iki adet seri bağlı tanktan meydana gelen deney tesisinde arıtma verimi 1 yıllık çalışma süresi boyunca farklı yükleme koşullarında izlenmiştir. Deney tesisinde bitki olarak Cyperus, dolgu malzemesi olarak çakıl (0-5mm) kullanılmıştır. Atıksu iki tank arasında periyodik olarak geri devir ettirilmiştir. Ortalama yükleme hızı 122 gKOİ.m⁻².gün⁻¹ iken % 93' lük bir KOİ giderim verimi sağlanmıştır. Aynı şartlarda diğer kirleticiler için ortalama giderim verimleri NH₄⁺-N için %95, TN için %90 ve PO₄-P için %60 olarak bulunmuştur. Sistemin arazi ihtiyacı tam ölçekli bir sistem olarak kullanıldığı zaman kişi başına 0.67m² olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay sulakalan, azot giderimi, fosfor giderimi

A TWO-STAGE CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM FOR DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT

Abstract In this study, a constructed wetland technology has been investigated. A pilot plant was used to evaluate the performance of the system. The system consists of two tanks connected in series that was planted with Cyperus. Wastewater is recycled periodically upward and downward between the two tanks. The treatment performance was monitored at different loading conditions in a one-year period. The average COD removal efficiency of 93% was observed at 122 g COD/m².day average loading conditions. Other average removal values in the same conditions are as follows: ammonia 95%, total nitrogen 90%, PO₄-P 60%. The land requirement for this system was calculated as 0.67 m² per capita when applying as full-scale system.

Keywords: Constructed wetland, nitrogen removal, phosphorus removal

GİRİŞ

İşletme ve bakım masrafları oldukça düşük olan yapay sulakalan teknolojileri özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygun bir arıtma alternatifi olarak gözükmektedir. Konvansiyonel sistemlere göre daha ekonomik olan ve çamur problemi oluşturmayan bu sistemler, gelişmekte olan ülkelerin kırsal bölgelerinde olduğu gibi büyük şehirlerin civarlarındaki müstakil evler ya da küçük yerleşim bölgeleri için uygun bir çözüm yolu olarak önerilebilir (Ayaz ve Akça, 2000). Atıksu arıtımı için iki farklı türde yapay sulakalan teknolojisi geliştirilmiştir: (1) serbest su yüzeyli

sistemler (SSY) ve (2) yüzeyaltı akışlı sistemler (YA). Yüzeyaltı akışlı sistemler yatay (Y-YA) ve düşey akışlı (D-YA) olarak iki farklı türde tasarlanmışlardır (Moshiri, 1993). Serbest yüzeyli sistemlerle kıyaslandığında yüzeyaltı akışlı sistemlerde tıkanma, koku ve sivrisinek problemi yoktur. YA sistemler kişi başına daha küçük yüzey alan gerektirirler ve mikroorganizmalar (yada biyofilm) için daha büyük bir yüzey alan sağlarlar. Bunun bir sonucu olarak da benzer koşullarda daha küçük yüzey alanında daha hızlı bir arıtım gerçekleştirirler (Reed ve diğ., 1988).

Evsel Atıksuların Arıtımı için İki Kademeli Bir Yapay Sulakalan Sistemi

Ayrıca, YA sistemlerde kışın ölen bitkiler yüzeyde biriktiğinden sistemi don etkisinden korumaktadır (U.S. EPA, 1993). SSY ve YA sistemler için beklenen tipik performans değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1’ de görüldüğü gibi BOİ₅ ve AKM için çıkış değerleri yaklaşık olarak 20 mg/l’ nin altında olduğundan verimler oldukça yüksektir. Azot ve fosfor yönünden YA sistemler daha iyi olup her ikisi de tatmin edici arıtma düzeyindedirler. Yatay YA sistemler ikincil arıtım için talep edilen BOİ₅ ve AKM standartlarını karşılayacak düzeydedirler (Green ve diğ., 1997; Cooper ve diğ., 1996). Bu tür sistemler nütrient giderimi yönünden üçüncül arıtım için talep edilen standartları karşılamalarına rağmen sınırlı oksijen transfer kapasitelerinden dolayı nitrifikasyon kademesinde sorunlar meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak da azot ve fosfor giderimi yönünden daha sıkı standartların karşılanması için düşey YA sistemlere olan ilgi son yirmi yıl içerisinde daha da artmıştır. Yatay YA sistemlere göre, düşey YA sistemler hem daha büyük bir oksijen transferini (dolayısıyla da yüksek nitrifikasyon) sağlamakta hem de kişi başına 1-2m² daha düşük bir alan (ikincil arıtım için 5-10m²/kişi) gerektirmektedir (Cooper, 1999).

Bunun yanısıra nütrient giderimi yönünden daha da iyi çıkış konsantrasyonlarının sağlanması için yatay ve düşey YA sistemlerin avantaj ve dezavantajlı yanları birbirlerini tamamlayacak şekilde birleştirilmiştir. Bu yönde yapılan çalışmalar literatürde hibrid (karma) sistemler olarak nitelendirilmiştir.

Bu tür sistemlerde daha iyi çıkış konsantrasyonlarının sağlanması için farklı sayıda birbirini takip eden düşey ya da yatay akışlı sistemler kullanılmıştır. Yatay ve düşey sistemlerin yer değiştirilmesine bağlı olarak temelde iki türde hibrid sistem kullanılmıştır. Bunlardan ilki Johansen ve Brix (1996) tarafından tasarlanmıştır.

Tablo 1. Yapay Sulakalanlar için beklenen performanslar (U.S. EPA, 1993).

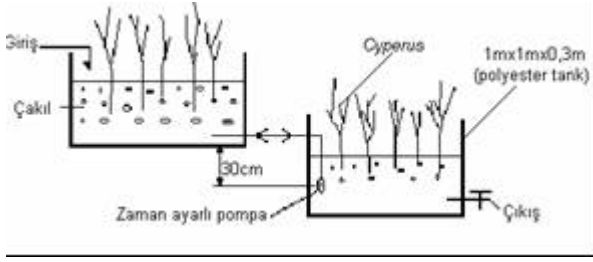
Parametre	Birim	Sulakalan Tipi	
		FWS	SF
BOİ ₅	mg/l	<20	<25
AKM	mg/l	<20	<15
TN	mg/l	<15	<12
TP	mg/l	<6	<1-4

Bu sistemde düşey akışlı yatakta nitrifikasyonun engellenmemesi için ilk kısımda BOİ giderimini sağlayan yatay akışlı yatak konulmuştur. Bu tür sistemde nitrifikasyonun tam olarak gerçekleşmediği görülmüştür.

Hibrid sistemlerden diğeri ise Burka ve Lawrence (1990) tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde ise seri haldeki iki adet düşey akışlı yatağı iki adet yatay akışlı yatak takip etmektedir. Burada nitrifikasyon düşey akışlı yataklarda (1 ve 2) ve denitrifikasyon ise yatay akışlı yataklarda (3 ve 4) gerçekleştirilmektedir. Farklı kombinasyonların ya da hibrid akım şartlarının yanı sıra geri devir de oksijen transfer kapasitesini arttırmaktadır (Cooper, 1999). Ancak geri devirin arıtma verimi üzerine etkisini inceleyen çok az sayıda araştırma vardır (Cooper, 1999). Bu makalede, bu konudaki bilgi ve veri eksikliğinin giderilmesine katkıda bulunmak üzere planlanmıştır. Sulakalan sistemlerinde arıtma verimi üzerine geri devir etkisini incelenmesi için geri devirli bir pilot tesis TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) kampüsünde kurulmuştur. İki adet düşey akışlı ve çakıl dolgu yataktan ibaret sistem sürekli ve kesikli olarak 5 yıl süre ile çalıştırılmıştır. Bu makalede son bir yıllık çalışmanın sonuçları takdim edilmiş olup, yeni bir yapay sulakalan sisteminin tasarım şartlarının ve performansının değerlendirilmesi yapılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Tesis giriş suyu olarak MAM kampüsündeki birinci çökeltmeden geçen evsel atıksuları kullanılmıştır. Çalışma, birbirleri arasında 30 cm’ lik bir seviye farkı bulunan geri devirli ve birleşik iki adet tank içeren bir sistemde gerçekleştirilmiştir. Tankların en, boy ve derinliği sırayla 1.5, 3.5 ve 0.3 m olup polyesterden imal edilmiştir. Her iki tank için de Cyperus türü bitkiler kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak çakıl (0-5 mm) kullanılmıştır. Zaman ayarlı bir pompa ile üst kısımdaki hücreye geri devir yapılırken pompanın çalışması esnasında bu hücre dolmakta ve pompa durduğu zaman da bu dolan tankın çıkış suları aşağıdaki tanka yerçekimi ile akmaktadır. Sistem 42 l.saat-1’ lik bir debiyle sürekli olarak beslenmiştir. Deney düzeneği Şekil 1’de gösterilmiştir. Oksijen transfer kapasitesini arttırmak için kesikli pompayla atıksuyun ileri ve geri devri yapılmıştır. Atıksuyun alttaki tanktan üstteki tanka pompalanması 15 dakika, üstteki tanktan aşağı tanka yerçekimiyle akışı ise 20 dakika almıştır. Sistemin hidrolik bekleme süresi 6 saattir.



Şekil 1. Deney düzeneği

Giriş ve çıkış KOİ, AKM, NH₄⁺-N, TN ve PO₄³⁻-P parametreleri izlenmiştir. Sistemin 1 yıllık bir çalışma periyodu içerisinde KOİ, N ve P arıtma verimleri incelenmiştir. Ayrıca çalışma süresince hava sıcaklıkları da izlenmiştir. Mayıs 1997-Mart 1998 arasındaki 1 yıllık çalışma periyodunda aylık ortalama hava sıcaklığı 5.35⁰C (Şubat) ile 23.8⁰C (Ağustos) arasında değişmiştir. Su örneklerindeki nitrit ve nitrat konsantrasyonları iyon kromatografisi (Dionex 4000 I) yöntemiyle analiz edilmiştir. Kjeldahl azotu ve amonyak azotu Standart Metodlar (1998)' a göre hidroliz, amonyak distilasyonu ve geri titrasyon yöntemiyle tespit edilmiştir. Diğer analizler de Standart Metodlar' a göre yapılmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Atıksuyun giriş ve çıkış kirletici parametreleri ve değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Çalışma süresince toplanan verilere göre çıkıştaki ortalama KOİ, AKM, NH₄⁺-N, TN ve PO₄³⁻-P konsantrasyonları sırayla 75 mg.l⁻¹, 20 mg.l⁻¹, 4.4 mg.l⁻¹ ve 6.22 mg.l⁻¹ olarak bulunmuştur. Sistemin çıkış suyu kalitesi Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Deşarj Standartlarını (KOİ: 120 mg.l⁻¹, AKM:45 mg.l⁻¹) karşılamaktadır (Anonymous, 1984). Ayrıca Tablo 2'de görüldüğü üzere yüksek azot giderimi sağlanmıştır. KOİ yükleme hızına karşı KOİ giderim hızı Şekil 2'de gösterilmiştir. KOİ yükleme hızı 20-150 g.m⁻².gün⁻¹ arasında değişirken çıkıştaki KOİ konsantrasyonları 25-75 mg.l⁻¹ olarak farklılık göstermiştir.

Gearheart (1988) tarafından yapılan bir çalışmada KOİ yükleme hızı 14 gKOİ m⁻².gün⁻¹ iken çıkış KOİ konsantrasyonu 40 mgKOİl⁻¹ olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada ise aynı yükleme hızına karşı 53 mgKOİl⁻¹ değeri sağlanmıştır. Diğer yandan literatür verilerine göre yüzeyaltı akışlı sulakalanlar için uygulanabilir maksimum organik yükleme hızı 60 g.KOİ m⁻².gün⁻¹ olarak tavsiye edilmiştir (Reed ve diğ., 1988).

Tablo 2. Sisteme giriş ve çıkış değerleri.

Parametre	Giriş (ortalama) mg.l ⁻¹	Çıkış (ortalama) Mg.l ⁻¹
KOİ	635	75
AKM	660	20
TKN	90.4	4.4
NO ₃ -N	0.8	11
PO ₄ ⁻³ -N	15.55	6.2

Bu çalışmada, yüksek KOİ yükleme hızıyla (150 g.KOİ m⁻².gün⁻¹) çalışılmasına karşın hem tatmin edici düzeyde bir KOİ giderimi sağlanmış hem de herhangi bir işletme problemiyle karşılaşılmamıştır.

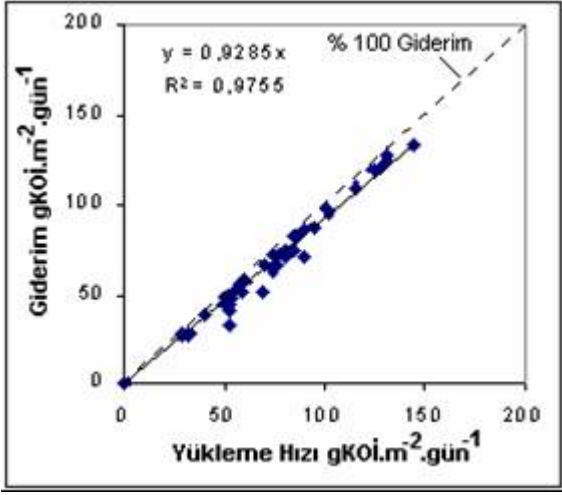
Elde edilen sonuçlar, bu sistemin literatürde verilen sistemlerden yaklaşık 4 kat daha etkili olduğunu göstermektedir. 120 mgKOİl⁻¹ lik bir çıkış KOİ deşarjının sağlanabilmesi için müsaade edilebilir KOİ yükleme hızı 150 gKOİ m⁻².gün⁻¹ olarak kabul edilmiştir. Bu durumda günlük KOİ yüküne karşı kişi başına 100 gKOİ göz önüne alındığında gerekli arıtma tesisinin alanı 0.67 m².kişi⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2'de ortalama KOİ yükleme hızlarına karşı elde edilen ortalama KOİ giderim hızları gösterilmiştir. Elde edilen lineer regresyon doğrusunun eğimi verimi göstermektedir.

Ortalama KOİ yükü 25 ile 150 g.KOİ m⁻².gün⁻¹ arındayken elde edilen ortalama KOİ giderim verimi %92' dir. Şekil 3' de ortalama PO₄-P yükleme hızlarına karşı elde edilen ortalama PO₄-P giderim hızları gösterilmiştir. Ortalama PO₄-P yükü 0.5 ile 1.5 gKOİm⁻².gün⁻¹ arındayken elde edilen ortalama PO₄-P giderim verimi %60' dir.

Farklı aylardaki PO₄-P yükleme hızlarına karşı elde edilen PO₄-P giderim hızları arasındaki ilişki incelendiği zaman sulakalanlardaki fosfor gideriminin mevsimlere ya da iklime bağlı prosesler olduğu sonucu çıkmaktadır. Minimum PO₄-P giderimi Mayıs ayı içerisinde elde edilmesine karşın, maksimum PO₄-P giderimi Eylül ayında elde edilmiştir. Hava sıcaklıklarının 23.83 ile 19.24⁰C arasında geçtiği yaz aylarında, ortalama PO₄-P yükleme hızları 0.6 –3.2 g PO₄-P m⁻².gün⁻¹ arasında değişirken çıkış konsantrasyonları da ortalama 5-13 mg PO₄-Pl⁻¹ arasında değişmiştir.

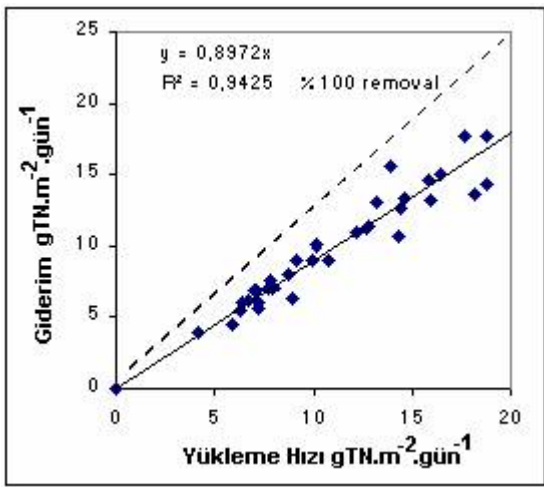
Evsel Atıksuların Arıtımı için İki Kademeli Bir Yapay Sulakalan Sistemi



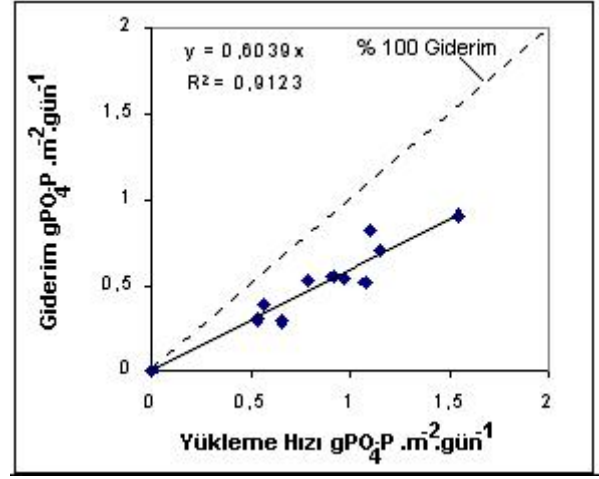
Şekil 2. Ortalama KOİ yükleme hızına karşı ortalama KOİ giderim hızı.

Buna karşın hava sıcaklıklarının 6.9 ile 5.50C arasında geçtiği kış aylarında ise, ortalama PO₄-P yüklemeye hızları 0.8 –1.4 g PO₄-P m⁻².gün⁻¹ arasında değişirken çıkış konsantrasyonları da ortalama 8-16 mg PO₄-P l⁻¹ arasında değişmiştir. Ortalama TN yüklemeye hızlarına karşı elde edilen ortalama TN giderim hızları da Şekil 4’ de gösterilmiştir.

Ortalama TN yükü 4 ile 20 g TN m⁻².gün⁻¹ aralarında elde edilen ortalama TN giderim verimi %89’ dur. Yaklaşık olarak benzer azot giderimleri farklı aylarda da elde edilebilmiştir. Bu durum, sulakalanlarda azot gideriminin mevsimlerle ya da iklim şartlarıyla sınırlandırılmayacağı şeklinde yorumlanmıştır. Ortalama NH₄-N yüklemeye hızlarına karşı elde edilen ortalama NH₄-N giderim hızları ise Şekil 5’ de gösterilmiştir.



Şekil 4. Ortalama TN yüklemeye hızına karşı ortalama TN giderim hızı.

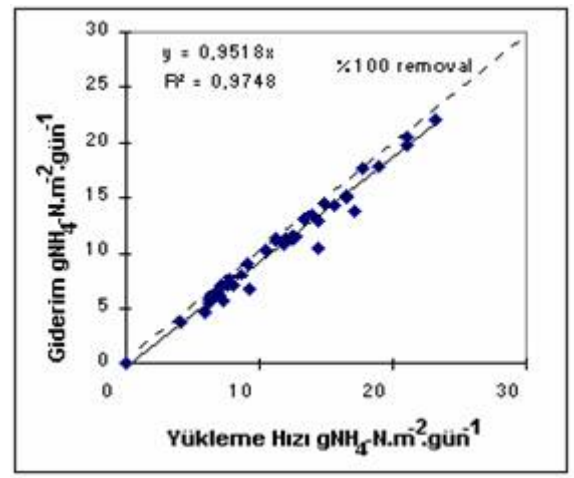


Şekil 3. Ortalama PO₄-P yüklemeye hızına karşı ortalama PO₄-P giderim hızı.

Ortalama NH₄-N yükü 5 ile 25 g NH₄-N m⁻².gün⁻¹ aralarında elde edilen ortalama NH₄-N giderim verimi %95’ dir. Bu değer literatürde elde edilen değerlerin oldukça üzerinde bir sonuçtur.

Bu sonuçlar oksijen transfer kapasitesinin kesikli beslemeyle bir hayli artırıldığını göstermektedir. KOİ giderimi ve nitrifikasyon hızı artarken kişi başına ihtiyaç duyulan alanda azalmıştır. Yüksek miktarlarda azot kayıpları denitrifikasyon ve bitki kullanımıyla gerçekleşmiştir.

Toplam yıllık azot giderimi 2500 g m⁻².yıl⁻¹ ve bitkilerle kullanım 125 g m⁻².yıl⁻¹ olduğu düşünüldüğünde temel azot giderim mekanizmalarının denitrifikasyon ve amonyağın uçurulması şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 5. Ortalama NH₄-N yüklemeye hızına karşı ortalama NH₄-N giderim hızı.

SONUÇLAR

Modifiye edilmiş bu yapay sulakalan sistemi, yeterli KOİ gideriminin klasik sistemlerden daha küçük bir alanda gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Deney sonuçları bu sistemlerle etkili bir şekilde azot ve fosfor gideriminin de sağlanabileceğini göstermiştir.

Fosfor giderimi mevsim koşullarına bağlı kalmasına karşın organik madde ve azot giderim verimleri tüm yıl boyunca hemen hemen aynı düzeylerde kalmıştır. Bu ucuz ve nispeten küçük alan gerektiren sistemler özellikle küçük yerleşim bölgeleri ve bireysel evlerin bahçeleri için oldukça uygun bir arıtma seçeneği olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonymous (1984) Water Pollution Control Regulation, Turkish Official Newspaper, 4th September 1988.
- Ayaz, Ç.S., Akça, L.,(2000) Treatment of Wastewater by Constructed Wetland in Small Settlements, *Wat.Sci.Tec.*,Vol 41, No.1, pp.69-72.
- Burka, U. Lawrence, P.,(1990) A New Community Approach to Wastewater Treatment with Higher Water Plants. In:*Constructed Wetlands for Water Pollution Control*, P.F.Cooper and B.C. Findlater (eds 9. Pergamon Press, Oxford, UK, pp.359-371.
- Cooper, P., (1999) A review of the Design and Performance of Vertical-Flow and Hybrid Reed Bed Treatment Systems, *Wat. Sci. Technol*, 40 (3), 1-9.
- Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B. and Shutes, R.B.E., (1996) *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, pp. 206, WRc Publications, Medmenham, Marlow, UK.
- Gearheart, R., (1988) Constructed Free Surface Wetlands to Treat and Receive Wastewater-Pilot Project to Full Scale, *Proceedings of the International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Chatanooga.
- Green, M., Friedler, E., Ruskol, Y. and Safrai, I. (1997) Investigation of alternative method for nitrification in constructed wetlands, *Wat. Sci. Technol.* 35 (5), 63-70.
- Johansen, N.H. ve Brix, H., (1996) Design Criteria for a Two-Stage Constructed Wetland. *Paper Presented at the 5th International Conference on Constructed Wetlands Systems for Water Pollution Control*, Vienna, Austria, September.
- Moshiri, G.A. (1993) Constructed Wetlands for Wastewater Quality, Lewis Publishers, Florida.
- Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., and Crites, R.W. (1988) *Natural Systems for Waste Management and Treatment* McGraw-Hill Book Co., New York, USA
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater(1998) 20th edn, APHA, AWWA and WPCF, McGraw-Hill Book Co., New York, USA.
- U.S.EPA (1993) *Subsurface Flow Constructed Wetlands Conference*, presented at a conference at University of Texas at El Paso, August 16 and 17, El Paso, TX.