



Atıksu Arıtımında Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Sistemlerinin Kullanımı: Örnek Çalışma, Kızılcaören

Fulya Aydın Temel^{1*}, Esin Avcı², Yüksel Ardalı³

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 28200 Giresun, Türkiye

²Giresun Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 28200 Giresun, Türkiye

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 55139 Samsun, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş 01 Kasım 2016
Kabul 12 Aralık 2016

Anahtar Kelimeler:

Yapay sulak alan
Atıksu arıtım
Juncus acutus
Cortaderia selloana
ANOVA

*Sorumlu Yazar:

E-mail: fulya.temel@giresun.edu.tr

ÖZET

Yapay sulak alanlar (YSA) evsel, endüstriyel, tarımsal nitelikli atıksular ve deponi sızıntı suları gibi çok çeşitli atıksuları arıtmak için kullanılan yeşil bir teknolojidir. YSA, geleneksel sistemler ile karşılaştırıldığında düşük enerji, kolay işletim ve bakım, düşük yatırım/işletim maliyeti, arazi estetiği, suların yeniden kullanımı ve doğal yaşam alanı olması gibi pek çok avantaja sahiptir. YSA, özellikle merkezi arıtma tesislerinden uzak olan kırsal yerleşimler, endüstriler ve oteller için bu avantajları nedeniyle alternatif bir teknolojidir. YSA'da fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım mekanizmaları birlikte gerçekleşir. Çalışmada, Samsun iline bağlı Kızılcaören köyünün evsel atıksuyunu arıtmak için gerçek ölçekli iki paralel yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan (YYAAYSA) tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu çalışma için *Juncus acutus* ve *Cortaderia selloana* bitkileri seçilmiş ve iki bitki türünün giderim performansı değerlendirilmiştir. *Juncus acutus* ve *Cortaderia selloana* bitkilerinin ortalama giderim verimleri sırasıyla Mg^{+2} için %33 ve %32; Fe^{+2} için %62 ve %55; Fe^{+3} için %64 ve %56; Cl_2 için %46 ve %37; toplam Cl_2 için %48 ve %; Ca^{+2} için %26 ve %37; yüzey aktif madde için %28 ve %23 olarak bulunmuştur. Sonuçlar iki yönlü (faktörlü) varyans analizi uygulanarak değerlendirilmiştir.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 5(5): 493-501, 2017

Application of Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland Systems for Domestic Wastewater Treatment: A Case Study, Kızılcaören

ARTICLE INFO

Research Article

Received 01 November 2016
Accepted 12 December 2016

Keywords:

Constructed wetland
Wastewater
Juncus acutus
Cortaderia selloana
ANOVA

*Corresponding Author:

E-mail: fulya.temel@giresun.edu.tr

ABSTRACT

Constructed wetlands (CWs) are a green technology that have been used to treat several types of wastewater such as domestic, industrial, agricultural wastewaters and landfill leachate. CWs have several advantages included land intensive, low energy, easy operation and maintenance, low investment/operational costs, landscape esthetics, reuse of waters, and increased wildlife habitat compared to conventional systems. CWs are alternative treatment technologies due to these properties especially for rural settlements, industries, and hotels that are remote locations from central treatment plants. Physical, chemical, and biological treatment mechanisms can employ together in CWs. In the present study, two parallel full scale horizontal subsurface flow constructed wetlands were designed to treat domestic wastewater of Kızılcaören village in Samsun, Turkey. *Juncus acutus* and *Cortaderia selloana* were selected and the removal performance of each species were evaluated. During 7 months operation, the mean removal efficiencies of *Juncus acutus* and *Cortaderia selloana* were found as 33% and 32% for Mg^{2+} ; 62% and 55% for Fe^{2+} ; 64% and 56% for Fe^{3+} ; 46% and 37% for Cl_2 ; 48% and 39% for total Cl_2 ; 26% and 37% for Ca^{2+} ; 28% and 23% for SAA, respectively. Also, the Two-way ANOVA between groups was applied to determine any difference for the removal of all parameters between the plant types and months on the mean values of pollutants removal.

Giriş

Yakın zamana kadar kırsal kesimde yaşayan halkın öncelikli ihtiyaçları ulaşım ve içme suyu temini olmuştur. Günümüzde dahi halkın büyük çoğunluğu kuyu suyu kullanmakta bir kısmı ise kendi olanakları ile evlerine kaynaktan su getirmektedir. Kullanılan sular ise herhangi bir önlem veya sızdırmazlık sağlanmadan açılan fosseptik kuyularına deşarj edilerek kısa vadeli çözüm getirilmeye çalışılmaktadır. Ancak, fosseptiklerde atıksu toplamının yetersiz olduğu, insanların atıklardan uzaklaşarak kurtulamayacağı, doğayla barışık bir yaşamın sağlanmasının gerektiği görülmüştür. Doğal arıtım yöntemlerinden biri olan yapay sulak alan sistemleri ile çok çeşitli atıksuların arıtımı mümkün olmaktadır. Yapay sulak alanlar (YSA) son zamanlarda özellikle küçük yerleşim yerlerinden kaynaklanan kentsel nitelikli atıksuların arıtımında kullanılan alternatif yöntemlerden biri olmuştur. YSA, doğal sulak alanların olumlu karakteristiklerine sahip olup aynı zamanda olumsuz yönlerini bertaraf etmek amacıyla kurulmuş kontrollü sistemlerdir (USEPA, 1988). Bu sistemler ile uygun koşullar sağlandığı takdirde düşük enerji sarfiyatı ve maliyeti ile organik madde, nutrient ve ağır metallerde yüksek giderim verimleri elde edilebilmektedir.

YSA'da kirlilik giderimi, fiziksel, fizikokimyasal ve biyolojik işlemler ile sağlanmaktadır. YSA, sahip oldukları hafif zemin eğimi ile suyun akışını, nutrientlerin adsorplanmasını ve sedimanların çökmesini sağlayacak şekilde yavaşlatır. Bitkiler ile nutrientler yükseltgenir ve mikrobiyal faaliyetler için karbon kaynağı sağlanır (Lee, 1999). YSA, dolgu malzemesi, hidroloji (atıksu), bitki toplulukları, mikroorganizmalar ve doğal olarak gelişen omurgasızlardan oluşan tasarlanmış havuzlardır (Saraçoğlu, 2006). Sulak alan bitkileri için kullanılan kategoriler köklü bitkiler, suya batık bitkiler, yaprakları yüzen bitkiler ve yüzücü bitkileri kapsamaktadır (Othman, 2007). YSA, yüzeysel akışlı (YAAYSA) ve yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlar (YAAAYSA) olarak iki sınıfa ayrılabilir. YAAAYSA ise yatay (YAAAYSA) ve düşey yüzeyaltı akışlı YSA (DYAAAYSA) olarak ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca YSA sistemleri bir araya getirilerek, tek adımda giderilemeyen kirlenmelerin birleştirilmiş sistemlerde giderilebilmesi için tasarlanan hibrit sistemler (HS) oluşturulabilmektedir (USEPA, 1995a).

Ülkemizde atıksuların depolanması için sızdırmazlığı sağlanmış daha büyük boyutlarda fosseptik tankları inşa edilmiştir. Ancak, toplanan atıksuyun merkezi arıtma tesisine götürülmesinde kanalizasyon hattının uzun mesafeler alması ve beraberinde yüksek maliyet getirmesi, kurulan bu sistemlere gelen atıksu debisinin az olması nedeniyle kanallarda çökme meydana gelerek tıkanmalara neden olması karşılaşılan güçlükler arasındadır. Bu nedenle, yerinde arıtımı sağlayan alternatif arıtma sistemlerinin kullanılması uygun bir çözüm olabilmektedir. Doğal sulak alan sistemlerinden esinlenerek oluşturulan, yerinde ve kontrollü bir şekilde atıksuyun arıtımını sağlarken arıtılmış suyun doğal sisteme döndürülerek tarım arazilerinin sulanması amacıyla kullanılabilen, aynı zamanda görsel açıdan doğanın görüntüsünü bozmayan, rekreasyon amaçlı kullanılabilen YSA'nın nüfusu az olan yerleşim yerlerinde

tercih edilmesi uygun ve oldukça cazip bir çözüm olmaktadır.

Bu çalışmada, Samsun ili Vezirköprü ilçesi Kızılcaören Köyünde yürütülmüştür. Çalışmanın amacı, Kızılcaören Köyünün evsel atıksuyunun YAAAYSA sistemi ile arıtımı ve iki bitki türünün evsel atıksuyun arıtımındaki performansının değerlendirilmesidir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı

Bu çalışma, Samsun ili Vezirköprü ilçesi Kızılcaören Köyünde 2011-2013 tarihleri arasında yürütülmüştür. Kızılcaören Köyü, 2012 yılı adrese dayalı nüfus sayımına göre 437 kişinin yaşadığı 60 haneden oluşmaktadır. Şekil 1'de Kızılcaören Köyü'nün sınırlarının gösterildiği harita (a) ve çalışma alanının mekansal uydu görüntüsü (b) verilmiştir.

Köyün atıksu şebeke inşaatı 1998 yılında tamamlanmıştır ve atıksu üç gözlü fosseptik deposunda biriktirilmektedir. Atıksu, köye yaklaşık 200 m uzaklıkta olan Taşkın Deresi'ne deşarj edilmektedir.



Şekil 1 Kızılcaören Köyü sınırlarının gösterildiği harita (a), Kızılcaören Köyüne ait uydu görüntüsü, çalışma alanı (b)

Atıksu Özellikleri

Kızılcaören Köyüne ait evsel atıksuyun on aylık izleme sonucu elde edilen bulgular Tablo 1’de verilmiştir.

YYAAYSA Tasarımı ve İnşaatı

Kızılcaören Köyü’nün evsel atıksuyunun ikincil arıtımı amacıyla inşa edilen YSA sisteminin tasarımı için belirlenen tasarım parametreleri Tablo 2’de verilmiştir (USEPA, 1995a; USEPA, 1999). Bu çalışmada Reed metodu kullanılarak tasarım yapılmıştır. Arıtma sistemi septik tank, bir ana rögar, iki giriş rögarı, iki paralel yatay yüzeyaltı akışlı arıtma yatağı ve iki çıkış rögarı olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır.

Arıtma sistemi için seçilen arazi 1 m derinliğinde kazılmış, perde duvar ile iki eşit parçaya bölünmüş ve % 4’lük zemin eğimi sağlandıktan sonra, zemine 20 cm kalınlığında yüzey kaplama materyali serilmiştir. Atıksu dağıtım ve toplama boruları yatay pozisyonda konumlandırılmıştır. Yüzey kaplama malzemesi üzerine sırasıyla 20 cm kalınlığında çapı 5-15 cm’lik, 50 cm kalınlığında çapı 3-5 cm’lik ve bitki dikimi için 10 cm kalınlığında çapı 1,5-3 cm’lik çapında çakıl drenaj malzemesi ile sıkıştırılarak doldurulmuştur.

Bitkiler

Tasarlanan YYAAYSA’da perde duvar ile iki eşit parçaya ayrılan hücrelerden, Hücre 1’e *Juncus acutus* ve Hücre 2’ye ise *Cortaderia selloana* dikilmiştir. Çalışmada kullanılan *Juncus acutus* ve *Cortaderia selloana*, sırasıyla 4 bitki/m² ve 1 bitki/m² bitki yoğunluğuyla dikilmiştir (Cronk ve Fennesy, 2001). *Juncus acutus*, Karadeniz sahilinde bulunan özelliklerini büyük oranda koruyabilen en önemli doğal sulak alanlardan biri olan Kızılırmak Deltası’ndan toplanmış, *Cortaderia selloana* ise Yalova ilinden temin edilmiştir.

Parametre Analizleri

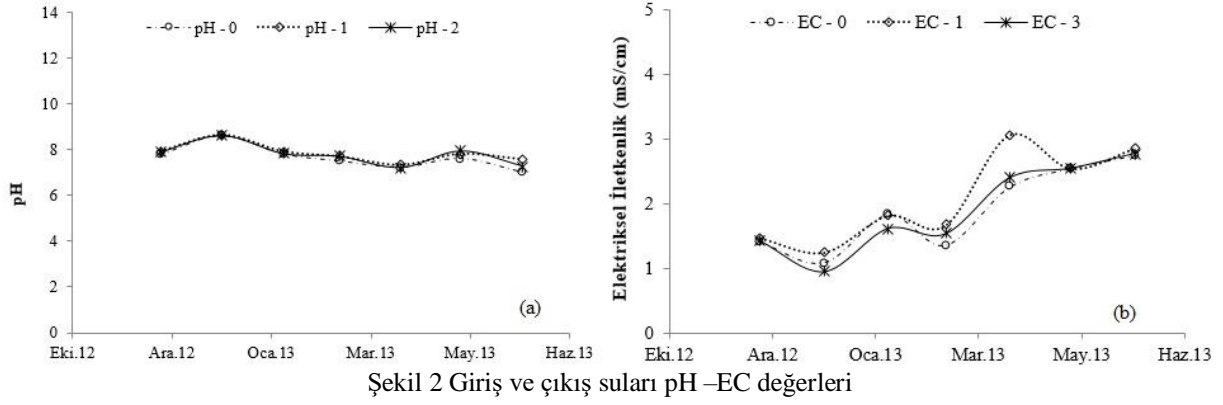
Numuneler giriş ve her bir hücrenin çıkış rögarından alınmıştır. Her örnekleme ile pH (pH metre-Sartorius), elektriksel iletkenlik, EC (İletkenlik ölçer- Jenway 4071); yüzey aktif madde, YAM (5540C- Spectrofotometre T60U-PG Instruments Ltd.); Fe⁺²-Fe⁺³ (analitik kit-Fotometre Nova60-Spectroquant); Ca⁺² (analitik kit - Fotometre Nova60-Spectroquant); toplam Cl₂-Cl₂ (analitik kit-Fotometre Nova60-Spectroquant); Mg⁺² (analitik kit-Fotometre Nova60-Spectroquant) analizleri gerçekleştirilmiştir (APHA, 2010).

Tablo 1 Kızılcaören Köyüne ait evsel nitelikli atıksuyun özellikleri (n=3)

Parametre	Birim	Minimum/±SS	Maksimum/±SS
pH	-	7,01	8,59
İletkenlik	mS/cm	1,09	2,75
BOİ ₅	mg/L	131,667 ± 10,408	172,667 ± 16,166
Organik madde	mg/L	5,44 ± 0,847	31,467 ± 0,924
Toplam azot	mg/L	18,333 ± 0,577	65 ± 1
Amonyum-Azotu	mg/L	15,892 ± 1,470	63,467 ± 0,208
Nitrit-azotu	mg/L	0,206 ± 0,022	1,437 ± 0,008
Nitrat-azotu	mg/L	<0,1	19,261 ± 1,137
Toplam fosfor	mg/L	0,997 ± 0,015	7,233 ± 0,231
Ortofosfat	mg/L	0,733 ± 0,577	7,033 ± 0,153
AKM	mg/L	254	400
TKM	mg/L	894	2070
Magnezyum	mg/L	63,733 ± 1,301	95,3 ± 2,456
Demir (+2)	mg/L	0,04 ± 0,009	3,063 ± 0,006
Demir (+3)	mg/L	0,019 ± 0,009	0,920 ± 0,253
Klor	mg/L	0,157 ± 0,005	1,809 ± 0,021
Toplam klor	mg/L	0,221 ± 0,012	1,911 ± 0,080
Kalsiyum	mg/L	215,775 ± 1,482	605,54 ± 1,370
Yüzey aktif madde	mg/L	0,166 ± 0,011	0,362 ± 0,028

Tablo 2 Kızılcaören Köyü için kabul edilen ve hesaplanan tasarım parametreleri

Kabul Edilen Tasarım Parametreleri		Hesaplanan Tasarım Parametreleri	
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Kişi başına üretilen atıksu miktarı, L/kişi.gün	54	N	2012 yılı nüfusu, kişi
Giriş BOİ ₅ , mg/L	130	Q	Toplam atıksu miktarı, m ³ /gün
Hedeflenen BOİ ₅ , mg/L	30	K _T	değeri, gün ⁻¹
Yatak dolgu malzemesi	Çakıl	t	teorik alıkonma süresi, gün
En soğuk dönem atıksu sıcaklığı, °C	6	A _S	gerekli yüzey alanı, m ²
Yatak eğimi (S), m/m	0,004	K _S *S	değeri, m/gün
Porozite (ε)	0,35	Ac	Yatak kesit alanı, m ²
K ₂₀ , l/gün	0,678	W	Yatak genişliği, m
Ampirik sıcaklık katsayısı (θ)	1,06	L	Yatak uzunluğu, m
Bitki kök derinliği, m	0,7	Asp	Spesifik alan gereksinimi, m ² /m ³ gün
Hidrolik iletkenlik (K _s), m ³ /m ² .gün	600	L _w	Hidrolik yükleme hızı, m ³ /m ² gün
Bitki türü-1	<i>J.acutus</i>	W/L	oranı
Bitki türü-2	<i>C. selloana</i>	L _{BOD}	BOD yükleme oranı, kg/m ³



Tablo 3 Demir (+2) ve demir (+3) konsantrasyonları, giderim verimleri ve standart sapmaları (n=3)

Demir (+2)	Co (mg/L)	Ce - 1 (mg/L)	Ce - 2 (mg/L)	AV - 1 (%)	AV - 2 (%)
Ara.12	0,485 ± 0,031	0,088 ± 0,003	0,266 ± 0,009	82	45
Oca.13	0,101 ± 0,006	0,058 ± 0,018	0,054 ± 0,042	43	46
Şub.13	0,041 ± 0,009	0,021 ± 0,003	0,022 ± 0,010	50	45
Mar.13	0,594 ± 0,037	0,197 ± 0,006	0,212 ± 0,017	67	64
Nis.13	2,952 ± 0,021	0,991 ± 0,003	1,146 ± 0,011	66	61
May.13	3,063 ± 0,006	1,034 ± 0,006	1,171 ± 0,012	66	62
Haz.13	2,265 ± 0,011	0,892 ± 0,009	0,957 ± 0,009	61	58
Demir (+3)	Co (mg/L)	Ce - 1 (mg/L)	Ce - 2 (mg/L)	AV - 1 (%)	AV - 2 (%)
Ara.12	0,920 ± 0,253	0,202 ± 0,034	0,515 ± 0,124	78	44
Oca.13	0,019 ± 0,009	0,009 ± 0,012	0,009 ± 0,003	50	50
Şub.13	0,052 ± 0,027	0,024 ± 0,034	0,028 ± 0,011	54	46
Mar.13	0,133 ± 0,187	0,043 ± 0,026	0,047 ± 0,072	68	65
Nis.13	0,075 ± 0,023	0,024 ± 0,303	0,028 ± 0,054	68	63
May.13	0,161 ± 0,203	0,052 ± 0,038	0,060 ± 0,028	67	63
Haz.13	0,024 ± 0,003	0,009 ± 0,290	0,009 ± 0,266	62	62

İstatistiksel Değerlendirme

Süre ve bitki türünün atıksu arıtma üzerindeki etkisini birlikte değerlendirmek için iki yönlü (faktörlü) varyans analizi (Two-way ANOVA) kullanılmıştır. Böylece sürenin ve bitki türünün atıksu arıtımı üzerinde etkisi hem ayrı ayrı, hem de birbiriyle etkileşimleri ile ele alınmıştır. İki yönlü (faktörlü) varyans analizi uygulanması için gereken normal dağılım ve varyansların homojenliği varsayım kontrolleri yapılmıştır. Analizler SPSS 21’de gerçekleştirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

pH ve Elektriksel İletkenlik (EC)

Bölgenin atıksularının fosseptikte beklemesi pH açısından dengelenmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle araştırma süresi boyunca yapılan giriş ve çıkış pH ölçümlerinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde belirtilen limit değerler altında kaldığı saptanmıştır.

pH değerleri giriş, Hücre 1 ve Hücre 2 çıkış suyu için sırasıyla 7,01–8,59, 7,31–8,63 ve 7,21–8,61 arasındadır (Şekil 2a). Besin maddelerinin bakteriyolojik gideriminde, nitrifikasyon için 6,6 üzerinde pH değeri ve denitrifikasyon içinde 6,5–9,5 arasında pH değeri idealdir (Cossu ve ark., 2001).

Toprağın EC değeri, bitkilerin ve mikroorganizmaların YSA’ya giren atıksuyu kullanmalarını etkilemektedir. 4 mS/cm’den daha az EC değerine sahip toprak en iyi gelişme ortamını sağlamaktadır (Demirörs, 2006).

EC, giriş ve çıkış sularında artış eğiliminde olmuştur. Hücre 1 ve Hücre 2 çıkış suyunda sırasıyla 1,09–2,75, 1,25–3,07 ve 0,94–2,78 değerleri elde edilmiştir (Şekil 2b).

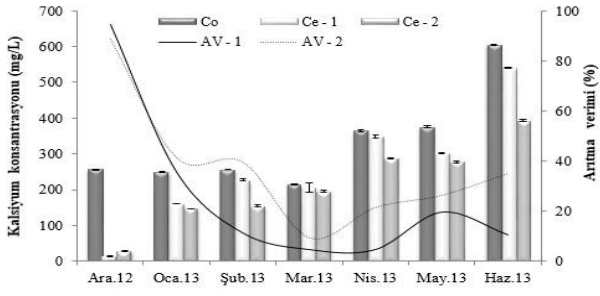
EC’nin sıcaklık, çözülmüş oksijen ve redoks potansiyeli tarafından etkilendiği bilinmektedir (Scholz, 2003). Ancak elde edilen bulgular 4 mS/cm’den daha küçük değerlerde olduğundan ortamın bitki gelişimi için uygun olduğunu göstermektedir.

Metaller

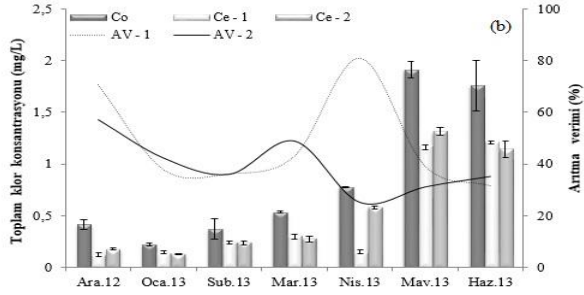
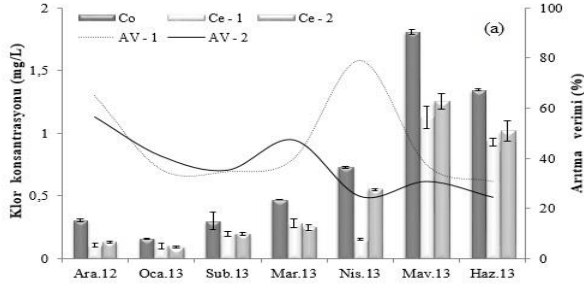
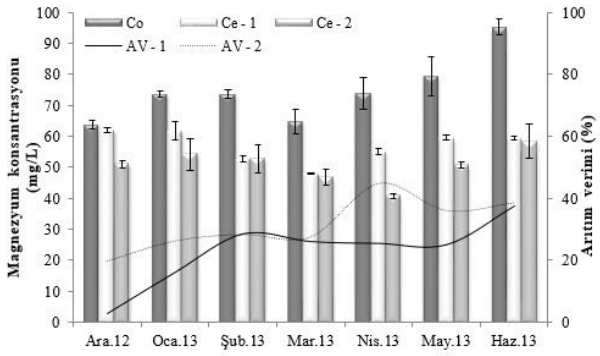
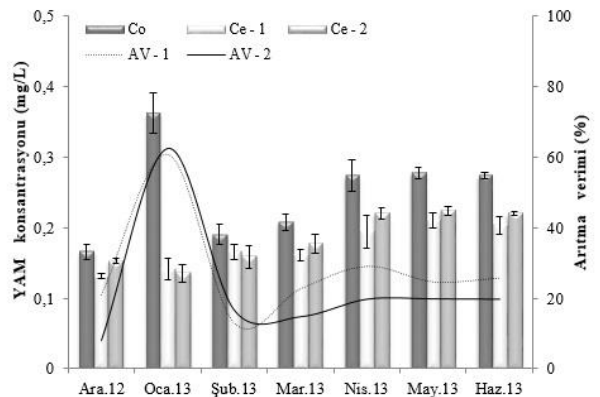
Atıksularda ve alıcı ortamlarda önemli parametreler olan fosfat ve amonyumun gideriminde, atıksu bünyesinde bulunan kalsiyum, magnezyum, alüminyum ve demir bileşiklerinin yanında klor bileşikleri de önemlidir.

Demir giderimi: Ağır metallerden biri olarak bilinen demir genel anlamda bitkiler için oldukça faydalı bir maddedir. Temel olarak demir bitkilerde klorofilin oluşumu için önemlidir. Demir eksikliğinde yapraklar koyu renkli olduğu halde damarlar açık renk kalır (Anonymous, 1985).

Tablo 3’de elde edilen Fe⁺² ve Fe⁺³ ortalama konsantrasyonları, arıtım verimleri ve standart sapmaları verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda 1. ve 2. Hücre’de bitkilerin atıksudan Fe⁺² ve Fe⁺³ ortalama giderim verimleri sırasıyla %62,09 ve %63,67 ile *Juncus acutus* bitkisinin %54,56 ve %56 ile *Cortaderia selloana* bitkisinden daha iyi bir arıtım performansı gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3 Ca+2 konsantrasyonları, giderim verimleri ve standart sapmalar (n=3)

Şekil 4 Cl₂ (a) ve Toplam Cl₂(b) konsantrasyonları, giderim verimleri ve standart sapmalar (n=3)Şekil 5 Mg⁺² konsantrasyonları, giderim verimleri ve standart sapmalar (n=3)

Şekil 6 YAM konsantrasyonları, giderim verimleri ve standart sapmalar (n=3)

Katı atık sızıntı sularının iyileştirilmesi amacıyla yürütülen bir çalışmada *Juncus acutus* bitkisi kullanılmıştır. Bitkinin kök, gövde ve yapraklarında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen verilere göre Fe⁺² iyonunun kökler tarafından fazlasıyla alındığı ancak bitkinin üst kısımlarına kadar ulaşmadığı belirlenmiştir (Durak, 2005).

Kalsiyum giderimi: Kalsiyum, toprak alkalileri grubundan metalik bir elementtir. Bitkilerde eksikliği, köklerin zayıflamasına, yaprak kenarlarının ölmesine, kıvrılma ve kırışmalara neden olmaktadır. Atıksularda kirletici inorganik maddeler arasında bulunan kalsiyum ve bileşenleri, magnezyum ve bileşenlerinin olduğu gibi sularda sertliğe neden olmaktadır. Bu çalışmada ortalama %25-30'luk giderimin sağlandığı kış mevsiminde en düşük arıtım performansı gözlenmiştir (Şekil 3). Giriş konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak her iki hücrede de çıkış konsantrasyonlarında artış gözlenmiştir. Morari ve Giardini tarafından yürütülen çalışmada kentsel atıksularda %28 oranında Ca⁺² giderimi sağlanmıştır (Morari ve Giardini, 2009).

Klor giderimi: Klor, halojenler sınıfından bir element olup tabiatta çok fazla bulunmaktadır. Şekil 4(a)'da görüldüğü gibi giriş suyunda maksimum Cl₂ konsantrasyonu yaklaşık 1,808±0,021 mg/L'lik değeriyle Mayıs ayında belirlenmiştir. *Juncus acutus* bitkisi Nisan ayında %80 arıtma verimine ulaşırken, Şubat ayında yaklaşık %35 verim ile en düşük performans gözlenmiştir. *Cortaderia selloana* bitkisi ise Mart ayında %48 ile maksimum verim göstermiştir.

Toplam Cl₂, suda çözünür halde bulunan klor ile bağlı bulunan HOCl (hipokloröz asidi) veya OCl⁻ (hipoklorit) bileşiklerinin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Klor ve hipoklorit bileşikleri suda bulunan amonyum, demir, mangan ve nitrit ile tepkimeye girebilir. Bu nedenle, ortamdaki varlığı giderim verimini arttırmak amacıyla önemlidir. Şekil 4(b)'de toplam Cl₂ konsantrasyonları, Hücre 1 ve Hücre 2 için elde edilen arıtım verimleri verilmektedir. Toplam Cl₂ gideriminde *Juncus acutus* bitkisi ile maksimum arıtımı %81 ile Nisan, %71 ile Aralık aylarında, minimum arıtımı %36 ile Şubat ve %31 ile Haziran aylarında göstermiştir. *Cortaderia selloana* bitkisi maksimum arıtımı %57 ile Aralık, %48 ile Mart aylarında, minimum arıtımı %25 ile Nisan ve %31 ile Mayıs aylarında göstermiştir. Hindistan'da gerçekleştirilen bir çalışmada, YSA sistemleriyle kentsel atıksu arıtımı incelenmiş ve klor gideriminde % 8.86'lık bir arıtım sağlandığı belirtilmiştir (Valipour ve ark., 2009).

Magnezyum giderimi: Magnezyum, yeşil yapraklı bitkilerde klorofilin yapı taşı olduğundan oldukça önemlidir. Sularda sertliğe neden olan temel elementlerden biri olan magnezyum ve bileşiklerinin alıcı ortamda neden olabileceği olumsuz koşullar nedeniyle deşarj standartları sağlanmadıkça alıcı ortama bırakılmaması gerekmektedir.

Şekil 5'de görüldüğü gibi atıksu giriş Mg⁺² konsantrasyonları 65-93 mg/L değerleriyle orta sertlikte (75-100 mg/L)'dir. Bitkilerin arıtım performansları değerlendirildiğinde her iki bitkinin de soğuk iklim koşullarında (2,1-3,8°C) performansının %20 değerinin altında kaldığı ancak hava sıcaklığının artmasıyla (12-23°C) bu değerlerin %40'lara ulaştığı görülmektedir. Ortalama giderim verimleri *Juncus acutus* için %23 ve *Cortaderia selloana* için %32'dir.

Bir çalışmada, 8 farklı bitki türünün arıtım performansı değerlendirilmiş ve Mg⁺² gideriminde %30-41 değerlerine ulaşıldığı belirtilmiştir (Tanner, 1996).

Yüzey Aktif Madde (YAM)

Yüzey aktif maddeler, suda veya sulu bir çözeltide çözüldüğünde yüzey gerilimini etkileyen kimyasal bileşiklerdir. Deterjanlardan kaynaklanan fosfatlar, irmakları, gölleri ve fazla akıntının olmadığı körfezleri istila eden mavi-yeşil alglerin oluşmasına neden

olmaktadır.

Şekil 6'da YAM giriş ve çıkış konsantrasyonları ile arıtma verimleri verilmiştir. YAM giriş konsantrasyonu 0,166±0,003 mg/L ile 0,362±0,012 mg/L arasında değişmektedir. *Juncus acutus* ve *Cortaderia selloana* arıtım verimlerinin aynı seviyelerde olduğu görülmektedir. Ortalama giderim verimleri sırasıyla *Juncus acutus* için %28,11 ve *Cortaderia selloana* için %23,05 olarak bulunmuştur.

Tablo 4 İki yönlü (faktörlü) ANOVA sonuçları

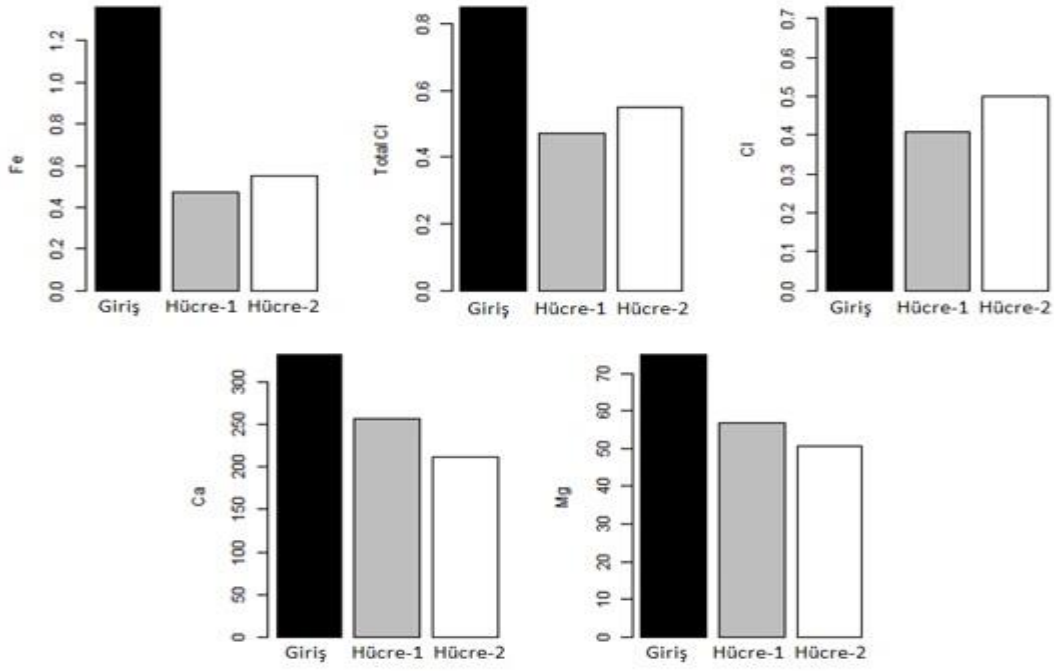
P ve F değerleri		Arıtma yatakları	Aylar	Arıtma yatakları*Aylar (etkileşim)
Fe	F	16021,655	17283,367	2315,667
	P	0,000*	0,000*	0,000*
Cl	F	436,812	1721,547	41,942
	P	0,000*	0,000*	0,000*
TCl	F	196,508	642,787	16,192
	P	0,000*	0,000*	0,000*
Mg	F	368,905	32,663	11,903
	P	0,000*	0,000*	0,000*
Ca	F	6105,647	12943,273	580,039
	P	0,000*	0,000*	0,000*

Tablo 5 Tanımlayıcı istatistikler

Metaller		Fe		Cl		TCl		Mg		Ca	
Atıksu	Aylar	Ort.	S	Ort.	S	Ort.	S	Ort.	S	Ort.	S
Giriş	Aralık	,4867	,0322	,3067	,0153	,4133	,0473	63,7333	1,3013	255,7800	1,3524
	Ocak	,1033	,0058	,1567	,0058	,2200	,0100	73,6667	1,0066	249,5700	1,4267
	Şubat	,0400	,0100	,3000	,0656	,3667	,1026	73,8333	1,3650	256,2833	,7019
	Mart	,5933	,0379	,4700	,0000	,5333	,0058	64,8333	3,8214	215,7733	1,4838
	Nisan	2,9533	,0208	,7300	,0100	,7767	,0058	73,9333	5,0817	365,7900	2,7400
	Mayıs	3,0633	,0058	1,8100	,0200	1,9100	,0781	79,4333	6,4065	376,2933	2,8519
	Haziran	2,2633	,0153	1,3467	,0058	1,7600	,2406	95,3000	2,4556	605,5400	1,3700
Hücre-1	Aralık	,0867	,0058	,1067	,0153	,1200	,0200	62,0333	,6506	13,8367	,3591
	Ocak	,0567	,0208	,1000	,0173	,1367	,0058	61,8333	2,9092	160,7033	,2750
	Şubat	,0200	,0000	,1967	,0208	,2333	,0153	52,7667	,8622	227,0533	2,7461
	Mart	,1967	,0058	,2800	,0361	,3067	,0306	47,9667	,2082	205,3200	13,3285
	Nisan	,9900	,0000	,1500	,0100	,1467	,0208	55,1333	,9074	347,9800	4,9396
	Mayıs	1,0333	,0056	1,1300	,0917	1,1700	,0265	59,5667	,7768	301,8567	,7910
	Haziran	,8900	,0100	,9267	,0322	1,2067	,0153	59,5000	,6083	540,6933	1,5819
Hücre-2	Aralık	,2667	,0116	,1333	,0058	,1800	,0100	51,0333	1,0693	28,4967	,4937
	Ocak	,0567	,0451	,0933	,0058	,1267	,0058	54,2000	5,0507	146,5033	,7032
	Şubat	,0233	,0058	,1967	,0116	,2367	,0208	52,8000	4,4576	154,9933	2,1913
	Mart	,2133	,0153	,2500	,0173	,2733	,0289	46,8333	2,6312	195,8667	2,2632
	Nisan	1,1500	,0100	,5533	,0058	,5800	,0100	40,7000	,6557	287,7000	1,3700
	Mayıs	1,1700	,0100	1,2533	,0603	1,3167	,0404	50,7000	1,0536	277,6533	2,0927
	Haziran	,9600	,0100	1,0200	,0794	1,1667	,0839	58,4000	5,6107	393,6467	3,4478

Tablo 6 Giriş ve çıkış suları için çoklu karşılaştırma sonuçları

Metaller	Test istatistiği ve P değerleri	Giriş- Hücre 1	Giriş-Hücre 2	Hücre 1-Hücre 2
Fe	Ort. Fark	0,890	0,809	-0,081
	P	0,000*	0,000*	0,000*
Cl	Ort. Fark	0,319	0,231	-0,087
	P	0,000*	0,000*	0,001*
TCl	Ort. Fark	0,380	0,300	-0,080
	P	0,000*	0,000*	0,001*
Mg	Ort. Fark	17,991	24,295	6,305
	P	0,000*	0,000*	0,000*
Ca	Ort. Fark	75,370	120,024	44,655
	P	0,000*	0,000*	0,000*



Şekil 7 Her bir kirletici için Bar grafikleri

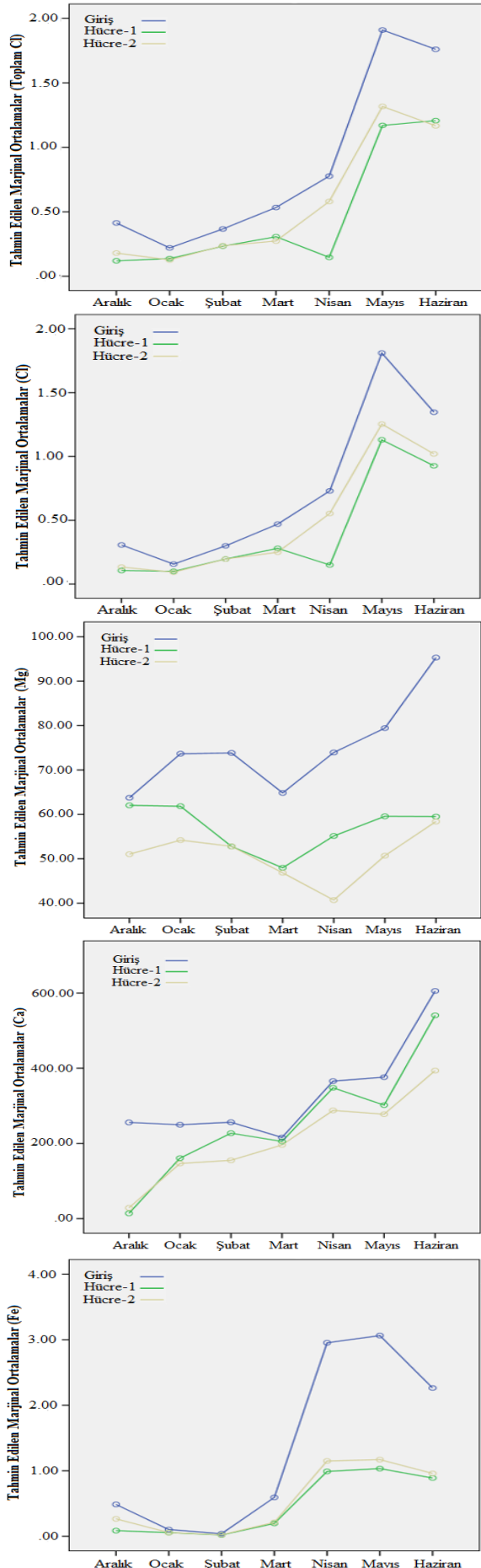
Tablo 7 Aylara göre çoklu karşılaştırma sonuçları

Aylar	Fe		Cl		TCl		Mg		Ca	
	Ort. Fark	P	Ort. Fark	P	Ort. Fark	P	Ort. Fark	P	Ort. Fark	P
12-1	0,208	0,000*	0,066	0,007*	0,078	0,191	-4,300	0,058	-86,221	0,000*
12-2	0,252	0,000*	-0,049	0,084	-0,041	0,833	-0,867	0,996	-113,406	0,000*
12-3	-0,054	0,000*	-0,151	0,000*	-0,133	0,002*	5,722	0,004*	-106,282	0,000*
12-4	-1,418	0,000*	-0,296	0,000*	-0,263	0,000*	2,344	0,650	-234,452	0,000*
12-5	-1,476	0,000*	-1,216	0,000*	-1,228	0,000*	-4,300	0,058	-219,230	0,000*
12-6	-1,091	0,000*	-0,916	0,000*	-1,140	0,000*	-12,133	0,000*	-413,922	0,000*
1-2	0,044	0,000*	-0,114	0,000*	-0,118	0,007*	3,433	0,215	-27,184	0,000*
1-3	-0,262	0,000*	-0,217	0,000*	-0,210	0,000*	10,022	0,000*	-20,061	0,000*
1-4	-1,656	0,000*	-0,361	0,000*	-0,340	0,000*	6,644	0,001*	-148,231	0,000*
1-5	-1,683	0,000*	-1,281	0,000*	-1,304	0,000*	0,000	1,000	-133,009	0,000*
1-6	-1,299	0,000*	-0,981	0,000*	-1,217	0,000*	-7,833	0,000*	-327,701	0,000*
2-3	-0,307	0,000*	-0,102	0,000*	-0,092	0,065	6,589	0,001*	7,123	0,002*
2-4	-1,670	0,000*	-0,247	0,000*	-0,222	0,000*	3,211	0,285	-121,047	0,000*
2-5	-1,728	0,000*	-1,167	0,000*	-1,187	0,000*	-3,433	0,215	-105,824	0,000*
2-6	-1,343	0,000*	-0,867	0,000*	-1,099	0,000*	-11,267	0,000*	-300,517	0,000*
3-4	-1,363	0,000*	-0,144	0,000*	-0,130	0,002*	-3,378	0,232	-128,170	0,000*
3-5	-1,421	0,000*	-1,064	0,000*	-1,094	0,000*	-10,022	0,000*	-112,948	0,000*
3-6	-1,037	0,000*	-0,764	0,000*	-1,007	0,000*	-17,856	0,000*	-307,640	0,000*
4-5	-0,058	0,000*	-0,920	0,000*	-0,964	0,000*	-6,644	0,001*	15,222	0,000*
4-6	0,327	0,000*	-0,620	0,000*	-0,877	0,000*	-14,478	0,000*	-179,470	0,000*
5-6	0,384	0,000*	0,300	0,000*	0,088	0,090	-7,833	0,000*	-194,692	0,000*

İstatistiksel değerlendirme

İki Yönlü (faktörlü) varyans analizi sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4'de görüldüğü gibi, F istatistikleri, giriş/çıkış suları ve ayların her birinin ana etkisinin P değerleri, birbirleri ile olan etkileşimleri tüm kirleticilerin gideriminde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir ($P < 0,05$). Etkileşimler anlamlıdır ve kirleticilerin gideriminde bitki türlerinin etkinliği aynı değildir. Diğer bir ifadeyle, her bir kirletici için giderim miktarı aylara ve bitki türüne göre farklılık göstermektedir.

Tablo 5'teki tanımlayıcı istatistiklerden aylar ile bitki türü arasında etkileşim olduğu görülmektedir. Ortalama Fe^{+2} miktarı bitki türleri için en çok Mayıs ayında ve en az Şubat ayında, ortalama Cl_2 miktarı en çok Mayıs en az Ocak ayında kaydedilmiştir. Ortalama Mg^{+2} miktarı Hücre-1 için en az Mart ve en çok Aralık ayında, Hücre-2 için en az Nisan en fazla Aralık ayında gözlenmiştir. Ortalama Ca^{+2} miktarı ise en çok Haziran ayında gözlenirken en az gözlenme miktarı bitki türlerine göre farklılık göstermektedir. Genel ortalamalar arasındaki farklılık Tukey çoklu karşılaştırma testleri ile incelenmiştir.



Şekil 8 Tüm kirleticiler için aylara göre tahmin edilen marjinal ortalamalar

Kirletici gideriminde en iyi olan bitki türünü belirlemek için Tukey çoklu karşılaştırma analizi yapılmıştır. Tablo 6'da bitki türlerine göre, Tablo 7'de ise aylara göre çoklu karşılaştırma analizleri sonuçları verilmiştir. Tablo 6'ya göre genel ortalamalar karşılaştırıldığında bitki türleri arasında fark olduğu görülmektedir. Tablo 7'den ise Fe⁺² ve Ca⁺² için tüm aylar arasında fark bulunurken, Cl₂ için Aralık-Şubat dışında diğer aylar arasında farklılık bulunmuştur. Toplam Cl₂ için Aralık-Ocak, Aralık-Şubat ve Şubat-Mart ayları hariç diğer ikili ay karşılaştırmaları farklı bulunmuştur. Mg⁺² için Aralık-Ocak, Aralık-Şubat, Aralık-Nisan, Aralık-Mayıs, Ocak-Şubat, Ocak-Mayıs, Şubat-Nisan, Şubat-Mayıs ve Mart-Nisan ayları hariç diğer aylar arasında fark bulunmuştur. Şekil 7'de kirleticiler için bitki türlerine göre çubuk grafikleri verilmiştir. Şekil 8'de kirleticiler için aylara göre tahmin edilen marjinal ortalamalar verilmiştir.

Sonuç

Elde edilen bu bulgular sonucunda Kızılcaören Köyü evsel atıksuyunun arıtımı için kurulan YYAAYSA sisteminde kullanılan *Juncus acutus* ve *Cortaderia selloana* bitkilerinin kirletici giderimi üzerindeki etkilerinin farklı olduğu sonucuna varılabilmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda iki türünde kentsel nitelikli atıksularının arıtımında kullanılabileceği ve arıtım performanslarının bitkilerin ortama adaptasyonlarının tamamlanmasının (çoğalma, gelişme vs.) ardından daha da artacağı ve düzenli bakım yapıldığı sürece uzun yıllar mevsimlere göre ulaşılan maksimum arıtma seviyelerinde arıtımın gerçekleşeceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi PYO. FEN.1904.11.017'nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Anonymous. 1985. Bitki Besin Elementi Eksiklikleri. Tagem Yayınları, Ankara
- APHA, AWWA, WEF. 2010. Standard methods for the examination of water and wastewater (2540B, 2540D, 5210B, 5540C), 20th edition.
- Cossu R, Haarstad K, Lavagnolo MC, Littarru P. 2001. Removal of municipal solid waste COD and NH₄-N by phyto-reduction: A laboratory-scale comparison of terrestrial and aquatic species at different organic loads. Ecological Engineering, 16: 459-470.
- Cronk KJ, Fennessy MS. 2001. Wetland Plants, Biology and Ecology. Lewis Publishers, Boca Raton London New York Washington, D.C
- Demirörs B. 2006. Çukurova bölgesinde yapay sulak alan teknolojisinin kırsal alanda kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 184962.
- Durak Z. 2005. Adana Sofulu düzensiz çöp depolama alanında oluşan çöp sızıntı sularının bitki yetiştirilmesinde kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 198047.
- Lee ER. 1999. Ser-Wet: A wetland simulation model to optimize NPS pollution control. Master of Science, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.

- Morari F, Giardini L. 2009. Municipal wastewater treatment with vertical flow constructed wetlands for irrigation reuse. *Ecological Engineering*, 35: 643–653.
- Novotny V, Olem H. 1994. *Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Othman SRB. 2007. Landfill leachate treatment using free water surface constructed wetlands. Master of Engineering, University Teknologi Malaysia.
- Saraçoğlu S. 2006. Eski karaağaç köyü evsel atıksularının dip akışlı yapay sulak alan arıtma yöntemiyle arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Scholz M. 2003. Performance predictions of mature experimental constructed wetlands which treat urban water receiving high loads of lead and copper II. *Water Research*, 37: 1270–1277.
- Tanner CC. 1996. Plants for constructed wetland treatment systems - A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. *Ecological Engineering*, 7: 59-83.
- USEPA (United States Environment Protection Agency) 1999. Design manual: onsite wastewater treatment and disposal systems. 625/1-80-012.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) 1988. Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment design manual. 625/1-88/022.
- USEPA, USDA, NRCS (Natural Resources Conservation Service) 1995a. Handbook of constructed wetlands, A guide to creating wetlands for: agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage, storm water in the Mid-Atlantic Region. Volume 1: general considerations. US EPA, Washington, D.C., USA.
- Valipour A, Raman VK, Ghole VS. 2009. A new approach in wetland systems for domestic wastewater treatment using *Phragmites* sp. *Ecological Engineering*, 35: 1797–1803