

Endüstriyel atıksuların arıtımında yapay sulak alanların kullanımı

Fulya AYDIN TEMEL*

* Giresun Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Giresun

Makale Gönderme Tarihi: 15.04.2016

Makale Kabul Tarihi: 29.11.2016

Öz

Yapay sulak alanlar elli yılı aşkın süredir atık su arıtımı için kullanılmaktadır. Genellikle evsel nitelikli atık suların arıtımında kullanılan yapay sulak alan sistemleri son yirmi yıldır endüstriyel kaynaklı atık suların arıtımında da tercih edilmektedir. Ayrıca, yapay sulak alanlar, çevre dostu bir teknoloji olması ve düşük yatırım/işletim maliyeti nedeniyle kırsal bölge ve endüstrilerin atıksularını arıtmak için pahalı geleneksel arıtma metotlarına alternatif bir yöntemdir. Düşük enerji gereksinimi, kolay işletim ve bakım, maliyet verimliliği, arazi estetiği, yeniden kullanım ve canlılara yaşam ortamı oluşturması gibi pek çok avantaja sahip olan yapay sulak alanlar mühendislik sistemleridir. Bitki filtre malzemesi, hidroloji ve mikrobiyal toplulukları içermektedir. Akış türüne göre yüzeysel ve yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar olarak ikiye ayrılıp, yüzey alı akışlı sistemler ise yatay ve düşey yüzey altı akışlı sistemler olarak alt gruba ayrılmaktadır. Farklı tip yapay sulak alanların özel avantajlarından yararlanmak için hibrit sistemler olarak birleştirilebilirler. Yapay sulak alan sistemlerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım mekanizmaları birlikte gelişmektedir. Günümüzde özellikli karaktere sahip endüstriyel atıksuların arıtımda başarı ile kullanılmaktadır. Yapay sulak alanların endüstriyel atık su arıtımındaki ilk uygulamaları petrokimya, mezbaha, et işleme, süt ve kağıt endüstrileri olup ardından tekstil, şarap, sirke ve su ürünleri yetiştiriciliği endüstrileri izlemiştir.

Bu çalışma, serbest yüzeyli, yüzey altı akışlı ve hibrit yapay sulak alan sistemlerinin çeşitli endüstriyel atık suların arıtımındaki pilot ya da gerçek ölçekli çalışmaları ve farklı ülkelerdeki uygulamaları ile ilgili bilgileri kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay sulak alan, arıtım, endüstri, atık su.

Giriş

Son yıllarda artan sanayi faaliyetleri ve bunların oluşturduğu atıksuların gelişigüzel çevreye bırakılması nedeniyle yüzey/yüzeysel sularında ve bu sularının bağlandığı denizlerde en önemli çevresel sorunlardan biri olan su kirliliği endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Son zamanlarda oldukça ön plana çıkan doğal arıtım yöntemlerinden biri olan yapay sulak alan sistemleri ile evsel nitelikli atıksular, sızıntı suları, tarımsal kaynaklı sular ve endüstriyel atıksular gibi çeşitli atıksuların arıtımı mümkün olmaktadır.

Yapay sulak alanlar (YSA) doğal sulak alanların olumlu özelliklerine sahip olup aynı zamanda olumsuz yönlerini bertaraf etmek amacıyla kurulmuş kontrollü yerinde arıtım sistemlerdir (USEPA, 1988; Vymazal, 2014). YSA kirleticileri, fiziksel (sedimentasyon, filtrasyon), fizikokimyasal (bitkilerle, toprakla ve organik substratla adsorpsiyon) ve biyolojik (biyokimyasal indirgenme, nitrifikasyon, denitrifikasyon, çürüme vb.) prosesler ile giderirler (Novotny ve Olem, 1994; Lee, 1999). 1950'li yıllarda ekolojistler, sulak alanların arıtım kapasitelerini keşfetmişler ve YSA'nın gelişimini hızlandırmışlardır. Bu konuda gerçekleştirilen ilk araştırma Dr. K. Seidel tarafından Plön (Almanya) Max Planck Enstitüsünde 1955 yılında yapılmıştır. Bu çalışma, 1976 yılında İngilizce olarak yayınlanmıştır (Vymazal, 1998). 80'li yıllarda olumlu ve etkili bir başlangıçtan sonra 90'lı yıllarda teknolojinin birçok zorluğu bulunması ve bazı prototiplerin yetersiz olması nedeniyle YSA sistemlerine şüphe ve ihtiyatla yaklaşılmıştır. İlerleyen çalışmalarda bu problemlerin çoğu çözülmüş ve 90'larda bu alanda teknoloji olgunlaşmıştır (Rousseau, 2005). 1995 yılına kadar başta Almanya, Danimarka ve İngiltere olmak üzere Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde 200'den fazla YSA tesisi kurulmuştur. Hatta kışları oldukça uzun ve sert geçen Norveç (Suliman vd., 2006; Sövik ve Kløve, 2007), Çek Cumhuriyeti (Vymazal,

1998; Vymazal vd., 1998b; Vymazal, 2005; Vymazal, 2007) ve Orta Asya ülkelerinde (Magmedov vd., 1996) dahi bu sistemler kullanılmıştır. ABD'de çalışır halde 200 civarında tesis bulunmaktadır (Özen, 2006).

Yapay Sulak Alanlar (YSA)

YSA, dolgu malzemesi, atıksu, bitki toplulukları, mikroorganizmalar ve doğal olarak gelişen omurgasızlardan oluşan tasarlanmış havuzlardır. Atıksu arıtımında kullanılan YSA sistemleri ile ilgili tam bir sınıflandırma olmasa da akış ve bitki türü yönlerinden değerlendirildiğinde yüzeysel akışlı yapay sulak alanlar (çayır, bataklık ve gölet tipi) ve yüzeysel akışlı yapay sulak alanlar (yatay ve düşey akışlı) olarak iki gruba ayrılmaktadır (Vymazal, 1998; Vymazal, 2005; Vymazal, 2008).

Yüzeysel akışlı yapay sulak alanlar (YAYSA)
YAYSA serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar olarak da bilinmektedir. Bu sistemler genelde köklü bitkileri desteklemek için toprak ya da bir diğer uygun ortam malzemesi ile oluşan havuz veya kanallardan meydana gelmektedir. Sığ su derinliği, düşük akış hızı ve bitki saplarının varlığında uzun ve dar kanallar şeklinde tasarlanarak piston akım oluşturulmaya çalışılmaktadır. Yeraltı suyuna sızıntıyı önlemek için tabanı, kil veya diğer geoteknik malzeme ile kaplanmaktadır (Reed vd., 1995; Aydın Temel, 2013; Vymazal vd., 1998b; Dağlı, 2006; USEPA, 1995a). Bu sistemin en önemli sorunu koku problemi, sivrisinek/vektörlerin üremesi ve diğer sistemlere göre daha geniş arazi gerektirmesi, avantajları ise yapım, işletim ve bakım maliyetlerinin düşük olmasıdır (Saraçoğlu, 2006; OEMC, 2001; USEPA, 1995a).

Yüzeysel akışlı yapay sulak alanlar (YAAYSA)

YAAYSA, YAYSA'lara oranla ikincil ya da üçüncül arıtım amacıyla tasarlanmaktadır. Geçirimsiz taban üzerine köklü bitkileri

destekleyen ve gözenekli yapıda olan kum ya da çakıl gibi yatak malzemesi ile doldurulmuş kanallar ya da hendeklerden oluşmaktadırlar. YAAAYSA sisteminde su, dolgu malzemeleri arasında akmakta olup atmosfer ile temas halinde değildir (USEPA, 1995a; USEPA, 2002a). Su akışı sağlanan taban eğimi (<%0.5) ile gerçekleşir. Düşük ilk yatırım maliyeti, işletim ve bakım masrafları ile günümüzde ön plana çıkmaktadır (USEPA, 1995a). YAAAYSA sistemlerinde aerobik koşulları sağlamak için mevcut tek oksijen taşıma mekanizması yapraklardan köklere transferdir (Demirörs, 2006). Anaerobik ortam koşullarından kaçınılabilmek için bitki köklerinin, yüzey altı akışlı sistemin bütün derinliği boyunca uzaması gerekir (USEPA, 1999a). Daha az koku yaratmaları, sivrisinek/vektörlerin üremelerine izin vermemeleri ve kaya/çakıl yatağının çıkış suyundaki alg miktarını azaltmadaki verimliliği YAAAYSA'nın en önemli avantajlarıdır. Ayrıca kış aylarında suyun yüzey altından akması ve bitkilerin yapraklarının dökülerek ortamı kaplaması nedeniyle donma olayı engellenmektedir (USEPA, 1995a; USEPA, 1999a; USEPA, 2002a). Atıksuyun akışına göre yatay ve düşey yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar (YAAAYSA)

YAAAYSA, yeraltı suyundan izole edilen bir havuzdan (0.5 - 1 m derinlikte) oluşmakta ve bazı durumlarda yerel toprak kullanılmasına rağmen genellikle çakıl ile doldurulmaktadır. Atıksu gözenekli ortam malzemesi içerisinden akarken fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar ile kirleticilerden arındırılır (Vymazal, 2005). Atıksu yatay doğrultuda sisteme girer ve çıkar.

Düşey yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar (DYAAYSA)

DYAAYSA, prensip olarak damlatmalı filtrelerle benzerdir. Bu sistemlerin oksijen transfer kapasitesinin YAAAYSA sistemlerine göre daha yüksek ve alan ihtiyaçlarının daha az

olması nedeniyle son 10 yıldır bu sistemlerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak yatırım ve işletim maliyetlerinin yüksek olması daha az tercih edilmesine sebep olmaktadır (USEPA, 2002a; Othman, 2007). Genellikle 0.6-1.0 m arasındaki derinlikte çakıl ya da kaba kum gibi materyaller ile bir ya da daha fazla filtre tabakasından meydana gelmektedir (Othman, 2007).

Hibrit Sistemler (HS)

HS çoğunlukla yatay ve düşey yüzey altı akışlı sistemlerin bir araya getirilerek, tek adımda giderilemeyen kirleticilerin birleştirilmiş sistemlerde giderilebilmesi için tasarlanan sistemlerdir (USEPA, 1995a; Othman, 2007). HS'de, diğer sistemlerin avantajları birbirini tamamlamaktadır (Vymazal, 2005).

YSA, özellikle ılıman iklim kuşağındaki ülkelerde küçük ve orta ölçekli yerleşim bölgelerinin evsel ve endüstriyel atıksularının arıtımında çok geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Endüstriyel Atık Sular

Dünya nüfusunun artmasıyla yiyecek, giyim, yaşam alanları, elektronikler ve benzeri konularda tüketim talebinin artışı ve çeşitlenme gözlenmektedir. Bu ürün çeşitliliğini ve miktarını karşılamak için de çeşitli endüstriler kurulmuştur. Bununla birlikte, farklı kompozisyonda ve fizikokimyasal karakteristiğe sahip endüstriyel kaynaklı atıksular oluşmaktadır. Bu atıksular genellikle katı maddeler, organik maddeler, amonyak gibi alışılmış kirleticilerin yanında ağır metaller, hidrokarbonlar, mikro-kirleticiler, fenoller gibi daha karmaşık yapıda kirleticileri de bünyesinde barındırabilmektedir. Günümüzde bu atık sular, karmaşıklığı, bileşiklerin çeşitliliği ve onların ekosistem ve dolayısıyla insanlar üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle araştırmacıların öncelik verdiği konular arasında yer almasına neden olmuştur. Bu atık suların arıtımı için çoğunlukla teknolojiler karmaşık mekanik ekipmanları olan enerji gereksinimi yüksek,

yatırım ve işletim maliyetleri oldukça fazla olan ileri teknoloji sistemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle, daha sürdürülebilir ve verimli teknolojik çözümleri taşıyan sistemlere ihtiyaç vardır. YSA ise çevresel, ekonomik ve sosyal avantajları ile endüstriyel atık suların arıtımında alternatif bir teknoloji olarak dünya çapında ilgi çekmektedir.

Tekstil endüstrisi

Tekstil endüstrisi birçok farklı ürünün üretildiği bir endüstri dalıdır. Üretilen ürünlerde kullanılan ham maddenin çeşitlenmesiyle oluşacak atıksuyun niteliği de çeşitlenmektedir. Renklenmiş atıksular, 35000 mg/L'den fazla KOİ, 25000 mg/L'den fazla TAKM, düşük BOİ₅ değerleri (BOİ/KOİ oranı genellikle 0.1-0.4 arasındadır), amonyak ve sülfat içerir (Vymazal, 2009). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için YSA'nın kullanımındaki ilk denemeler 1980'lerin sonları ile 1990'ların başlarında Almanya ve Avustralya'da yürütülmüştür.

Slovenya'da yürütülen çalışmada tekstil atıksularının arıtımında YSA'nın arıtma verimliliği araştırılmıştır. Ön hazırlık olarak, çakıl, kum ve zeolitik tuf ile sıkıştırılmış YSA modelinde tekstil atıksuyunun arıtımı için ortam malzemesi olarak daha ucuz materyallerin potansiyelini araştırmak için sentetik olarak hazırlanmış atıksu ile bir seri dinamik denemeler yapılmıştır. Sonuçlar temelinde, pamuk işleyen bir fabrikanın yanına 1m³/gün'lük debinin arıtımı için düşey ve yatay akışlı pilot YSA inşa edilmiş, kum ve çakıl ile doldurulan sistem *Phragmites australis* bitkisi ile bitkilendirilmiştir. Kurulan YSA'nın %84 KOİ, %66 BOİ, %89 TOK, %52 N_{toplam}, %87 N_{organik}, %88 sülfat, %80 yüzey aktif madde, %93 TKM ve %90 renk giderimi sağladığı belirlenmiştir (Bulc ve Ojstršek, 2008).

Pilot ölçekli yürütülen bir çalışmada renk %72-77, KOİ %68-73 ve sülfat %53-59 verimleri ile tekstil atıksuyundan uzaklaştırılmıştır (Mbuligwe, 2005). Davies ve diğerleri (2005) DYAYSA'da *Phragmites australis* kullanarak azo boya içeren tekstil atıksularının arıtımı

üzerinde çalışmış ve AO7 ve TOK giderim verimleri yaklaşık %70 olduğu belirlenmiştir.

Laboratuvar ölçekli yürütülen çalışmada yukarı akışlı ve havalandırmalı YSA sisteminde *Phragmites australis* ve *Zizania latifolia* bitkileri ile bitkilendirilen düzeneklerde farklı konsantrasyonlarda AO7'nin, hidrolik alıkonma süresinin ve alternatif ek havalandırmanın giderim verimleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve havalandırmalı reaktörde NH₄-N ve NO₃-N giderim veriminde bir değişiklik olmadığı, fakat havalandırmanın olmadığı reaktörde NH₄-N giderim verimi olağanüstü seviyede geliştiği, KOİ gideriminde ise havalandırmanın etkisinin olmadığı sırasıyla havalandırmalı olan ve olmayan reaktörlerde %86 ve %75 giderim sağlandığı belirlenmiştir (Ong vd., 2010; Ong vd., 2009).

Deri endüstrisi

Deri işleme sektörünün ülkemizde 10. büyük sanayi kolu olarak yılda yaklaşık 400 bin ton deri işleme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir (Gönüllü, 2004). Deri endüstrisi atıksuları genellikle yüksek konsantrasyonlarda organik madde, çözünmüş ve askıda katı maddeler, amonyak, organik azot ve krom içermektedir (Song vd., 2004). Krom konsantrasyonları 50 mg/L'ye kadar (Espinoza-Quiñones vd., 2009) yükselmekte ve 80 g/L'den fazla tuz içerebilmektedir (Lefebre ve Moletta, 2006). Deri endüstrisi atıksuları genellikle anaerobik arıtım sistemleri ile arıtılırken kimyasal ve elektrokoagülasyon, ya da membran biyoreaktörler kullanılarak da arıtılmaktadırlar (Espinoza-Quiñones vd., 2009; Song vd., 2004; Mannucci vd., 2010; Munz vd., 2008).

Deri endüstrisi atıksularının arıtımı için 378 m² yüzey alanına sahip YAYSA kurulmuş ve *Phragmites australis* ile bitkilendirilmiştir. 8 gün'lük optimum hidrolik alıkonma süresi sonunda %95 NH₄-N, %30 KOİ ve hidrolik alıkonma süresinin artmasına bağlı olarak %45-55 arasında krom giderimi sağlanmıştır (Küçük vd., 2003).

Deri işleme endüstrisi alanında işletilen geleneksel biyolojik arıtma sisteminin ardından tuzluluğa yüksek tolerans sağlayabilen *Arundo donax* ve *Sarcocornia fruticosa* ile bitkilendirilen iki seri YYAAYSA kurulmuştur. Her iki arıtma yatağında yaklaşık %73 BOİ, %65 KOİ, %65 TAKM, %73 NH₄-N ve %75 TKN giderimi sağlanırken TP gideriminde *Arundo* %83, *Sarcocornia* %79 giderim sağlamıştır. Sistem deşarj standartlarını sağlamıştır (Calheiros vd., 2012).

Kaseva ve Mbuligwe (2010), iki üniteden oluşan YYAAYSA'nın deri endüstrisi atıksularının arıtım performansını değerlendirmiştir. Bir ünite *Phragmites sp* ile bitkilendirilmiş diğeri kontrol ünitesi olarak tasarlanmıştır. 0.045 ± 0.005 m³/gün'lük debi ile atıksu ünitelere verilmiştir. Krom %99.53, bulanıklık %71, tuzluluk %11, EC %0.3, TÇKM %4.7 giderim olduğu bulunmuştur. Yüksek krom gideriminin sistem içerisinde meydana gelen, çökeltme, ortam malzemesi üzerine adsorpsiyon ve yeni bileşenlerin oluşmasının etkili olabileceği belirtilmiştir.

Gıda işleme endüstrisi

Et işleme, mezbaha, süt, peynir, deniz ürünleri ve balık, şeker, patates, zeytin, meyve ve daha birçok gıdanın işlenmesi esnasında açığa çıkan atıksular yüksek konsantrasyonlarda parçalanabilir organik maddeler içermektedir. Besin işleme endüstrisi atıksularının karakteristiği işlenen gıdaya göre değişmekle birlikte genellikle aerobik ve anaerobik arıtma prosesleri ile arıtılabilmekte ve bunun dışında bazı özel endüstriler için nanofiltrasyon, ters osmoz, elektrokoagülasyon, elektrooksidasyon gibi arıtma prosesleri uygulanabilmektedir (Güven vd., 2009; Gannoun vd., 2009; Caixeta vd., 2002; Coskun vd., 2010; Ün vd., 2006; Ün vd., 2008).

Gasiunas ve diğerleri (2005) et işleme endüstrisi atıksularının arıtımı için 1880 m²'lik YYAAYSA tasarlamıştır. Dolgu malzemesi olarak kum, bitki olarak *P. australis* seçilmiştir. Ön arıtım 500 m³'lük septik tankta gerçekleşmiş

olup arıtma yatağında %98 BOİ, %92 TAKM, %79 TP ve %65 TN giderimi sağlanmıştır.

İtalya'da peynir fabrikası atıksularının arıtımı için düşey ve yatay yüzeyaltı akışlı YSA'nın birlikte uygulandığı HS kullanılmıştır. Her iki arıtma yatağı 180 m² olup *P. australis* ile bitkilendirilmiştir. %60 TAKM, %55 BOİ, %72 KOİ, %37 TP, %50 TN ve %80 non-iyonik yüzey aktif madde giderimi sağlanmıştır (Comino vd., 2011).

Yunanistan'da zeytin işleme endüstrisi atıksularının arıtımı için pilot ölçekli kaskad DYAAAYSA sistemi kurulmuştur. Sistem, kabalı çakıl ve kum gibi çeşitli filtrasyon malzemeleri ile doldurulan dört arıtma yatağından oluşmaktadır. Hidrolik alıkonma süresi 1 saat olup %73 KOİ, %75 fenol, %75 TKN, %72 NH₄-N ve %87 ortofosfat giderimi sağlanmıştır (Herouvim vd., 2011).

İlaç endüstrisi

İnsanların yanı sıra hayvanlarda da hastalık teşhisinin konulması, tedavi edilmesi, önlenmesi ve azaltılması için her yıl dünyada çok sayıda farklı tedavi sınıflarına ait ilaç tüketilmektedir (Uslu vd., 2013). Son yıllarda iz ilaç kalıntılarının analitik tekniklerindeki ilerlemeler ile pek çok çalışma, su çevrelerinde ilaçların yaygın oluşumunu göstermektedir (Jiang vd., 2013). Artan endişeler sonucunda yeni gelişen kirleticilerin kontrolü, riski, akıbeti, davranışı ve kaynağının araştırılmasını hızlandırmıştır (Zhang vd., 2013). Kentsel arıtma tesislerindeki geleneksel arıtma teknolojileri özel olarak ilaçların yok edilmesi için tasarlanmadıkları için pek çok ilaç tamamıyla uzaklaştırılmamaktadır (Petrie vd., 2013). Bununla birlikte, YSA atıksulardan ilaç kalıntılarının arıtımı için son derece yeni bir uygulama alanıdır.

Ávila ve diğerleri (2013), ibuprofen, diclofenac, acetaminophen, tonalide, oxybenzone ve bisphenol A gibi yeni gelişen organik kirleticilerin gideriminde YYAAYSA'ı ön arıtımın etkisi ve işletimsel stratejileri göz önüne alarak değerlendirmiştir. 3 arıtma hattı kurulmuştur: kontrol, kesikli ve anaerobik hat.

Her bir hatta YSA 2.95 m²'lik yüzey alanı, 25 cm su derinliği ve 7.3 mm çapta granüller dolgu malzemesi ve sazlık bitkisinden oluşmaktadır. 4.7 g BOİ/m²gün'lük organik yüklemesi yapılmıştır. En iyi giderimi aerobik koşullarda olan ibuprofen %85 kesikli, %63 kontrol ve %52 anerobik yatakta giderilmiştir. Bisphenol, %89 kesikli, %79 ve 65 sırasıyla kontrol ve anaerobik yatakta giderilmiştir. Diclofenac sırasıyla %70, %48 ve %32 olarak kesikli, kontrol ve anaerobik yatakta, acetaminophen, tonalide ve oxybenzone ise tüm yataklarda >%90 giderilmiştir.

Hijosa-Valsero ve diğerleri (2010) kentsel atıksularda kişisel bakım ürünleri ve ilaçların giderimi için *Typha angustifolia* ve *Phragmites australis* kullanılarak çakıl yatak varlığında farklı akış türleri ile farklı kurulumlar ile 7 orta ölçekli YSA oluşturulmuştur. Ketoprofen, naproxen, ibuprofen, diclofenac, salicylic acid, carbamazepine, caffeine, galaxolide, tonalide ve methyl dihydrojasmonate izlenmiştir.

Farmasötikler, endokrin engelleyen ve kişisel bakım ürünlerini kapsayan 30 farklı mikrokirleticinin YSA ile giderimi araştırılmıştır. *Acorus* ve *Typha* bitkilerinin bulunduğu iki farklı havuz oluşturulmuştur. 30 mikrokirleticiden atıksu içerisinde yüksek konsantrasyonlar bulunan 9 kirleticisi (Sulfamethoxazole, atenolol, dilantin, carbamazepine, diazepam, diclofenac, naproxen, triclosan, TCEP) izlenmiştir. Toplanan örneklerde %60-100 arasında giderim verimi sağlandığı belirlenmiştir (Park vd., 2009).

İspanya'da yürütülen bir çalışmada iki düşey akışlı (3 m²), bir yatay akışlı 82 m²) ve bir yüzey akışlı (2m²) YSA'dan oluşan HS ile üç farklı alıkonma oranı (0.06, 0.13 ve 0.18 m/gün) ile 13 tehlikeli organik kirleticinin giderimi araştırılmıştır. *Phragmites australis* ile bitkilendirilmiştir. Bu sistem ile toplam enjekte EOCs gideriminde antibiyotikler için beklenen %43 değerinden daha iyi verim (tüm alıkonma oranlarında, %87) sağlanmıştır (Ávila vd., 2014).

Şarap endüstrisi

Şarap endüstrisi kırma, ezme, üzüm sıkma sürecindeki çeşitli adımlardan hatta fermantasyon tankı çıkışı, fiçlar ve diğer ekipmanlardan, şaraphane odalarından kaynaklanan büyük hacimlerde atıksu üretmektedir (Furni vd., 1995; Anastasiou vd., 2009). Bu atıksular yüksek konsantrasyonlarda şeker, alkol, asit gibi biyolojik olarak parçalanabilir organik maddeleri, polifenol, tanen, lignin gibi zor ayrışabilir yüksek molekül ağırlıklı bileşikler içerir (Agustina vd., 2008). Şarap endüstrisi atıksuları aktif çamur, foto-fenton oksidasyonu, filtrasyon gibi geleneksel, arıtma teknolojileri ile arıtılabilmektedirler (Petruccioli vd., 2002; Mosteo vd., 2006; Christen vd., 2010).

2001 yılında Kaliforniya'da şarap endüstrisi atıksularının arıtımı için 14.9 m² yüzey alanına sahip pilot ölçekli bir YYAAYSA kurulmuştur. Arıtma yatağı %36 poroziteye sahip ince çakıl ile doldurulmuş ve *T. Domingensis*, *S. Acutus* ve *Sagittaria latifolia* ile bitkilendirilmiştir. Çalışma süresinde KOİ yüklem oranı 345-1640 kg/ha.gün arasında değişmiştir. Ortalama giderim verimleri ise %98.4 KOİ, %96.7 TAKM, %98.5 S²⁻, %78.2 TKN, %63.3 ortofosfat, %100 fenoller ve %77.9 tanenler/ligninler olarak belirlenmiştir (Shepherd vd., 2001).

Grismer ve diğerleri (2003), şarap endüstrisi atıksularının arıtımı için gerçek ölçekli bir YSA'da, ince çakıl ve kaya parçalarıyla doldurdukları arıtma yataklarına su kamışı ve hasır otu ile bitkilendirerek 1 saatlik alıkonma süresinde arıtma verimini incelemişlerdir. Kırma periyodu öncesi ve sonrasında alınan atıksulardan arıtım sonrası elde edilen giderim verimleri ise %85-%30 TAKM, %79-49 KOİ, %78-%46 Tanen, %73-%17 Nitrat, %62-%29 amonyum, %66-%25 TKN, %95-%25 sülfat ve %78-%20 sülfid giderimi olduğu belirlenmiştir.

İspanya'da düşey ve yatay yüzey altı akışlı YSA'ın oluşturduğu HS'de şarap endüstrisi atıksularının arıtımı incelenmiştir. 50 m²'lik düşey akışlı sistem 3-6 mm çaplı çakıl ve P.

australis ile oluşturulurken, 100 m²'lik yatay akışlı sistem ise 6-12 mm çaplı yıkanmış çakıl ve *Juncus effusus*'dan oluşturulmuştur. HS çıkışında %87 TAKM, %71 KOİ, %70 BOİ, %52 TKN, %55 NH₃-N ve %17 PO₄³⁻ giderimi sağlanmıştır (Serrano vd., 2010).

Deniz ürünleri işleme endüstrisi

Deniz ürünleri işleme endüstrisi atıksuları askıda katı maddeler, organikler ve besin maddelerini kapsayan yüksek konsantrasyonlarda kirletici içermektedir (Sirianuntapiboon ve Nimnu, 1999). Kirlenme derecesi endüstrinin özelliklerine bağlı olarak küçük, hafif ya da ağır olabilmektedir. Bu atıksulardan kaynaklanan problemleri genelleştirmek oldukça zordur. Toplam çözünmüş ve askıda KOİ seviyesi endüstri ve balık tipi arasında geniş çeşitlilik göstermektedir. Yüksek etkinlikteki balık işletmeciliği atıksularının iyi bir atık yönetimi ve arıtım teknolojisine ihtiyacı vardır (Chowdhury vd., 2010). Bu suların arıtımı için fiziksel (Bergein vd., 1998), kimyasal (Ali vd., 2005) ve biyolojik pek çok yöntem kullanılmaktadır. Aday yöntem ise yapay sulak alanlardır (Sohsalam vd., 2009).

Karides kültürü için ticari ölçekli bir yetiştiricilik sistemine entegre edilmiş YAAYSA ve YAAYSA'dan oluşan bir su arıtma sistemi kurulmuştur. Hidrolik yükleme oranı 1.57-1.95 m/gün olan sistemde YSA'nın arıtım performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %55-66 TAKM, %37-54 BOİs, %64-66 toplam amonyak, %83-94 nitrit giderimi sağlanmıştır (Lin vd., 2005).

Almanya'da yürütülen bir çalışmada 6 aylık süre boyunca alabalık yetiştiriciliğinden gelen atıksuların arıtımı için kurulan YAAYSA'nın arıtım etkinliği üzerinde farklı hidrolik yükleme oranlarının etkileri araştırılmıştır. Atıksu 6.14 mg/L TN, 0.75 mg/L TAN, 0.25 mg/L TP, 14.20 mg/L KOİ, 6.90 mg/L BOİ ve 7.18 mg/L TAKM içermektedir. 3.9 L/s, 1.8 L/s ve 0.9 L/s'lik üç farklı hidrolik yükleme oranı ve *Phragmites australis* bitkisi ile çalışmalar yürütülmüştür. %71.6-88.7 BOİ, %54.8-67.2

KOİ, %84.7-90.1 TAKM, %40-44 TP, %61.3-82.7 TAN, %5.7-9.9 TN giderimi sağlanmıştır (Sindilariu vd., 2008).

Kedi yayın balığı kültürü üretiminden kaynaklanan atıksuların arıtımı için DYAAAYSA sistemi kurulmuştur. Su geri döngüsü yapılan sistemde 5 kültür havuzu ve 4 ardışık YSA bulunmaktadır. Aşağı akışlı yatak *Canna indica*, yukarı akışlı yataklar ise *Typha latifolia*, *Acorus calamus* ve *Agave sisalana* ile bitkilendirilmiştir. %34.2 NH₄-N, %48.2 TN, %16.7 TP, %25.6 KOİ, %55.6 BOİ, %19.5 TOK ve %57.6 TAKM giderimi sağlanmıştır (Zhang vd., 2010).

Petrokimya endüstrisi

Petrol rafinerileri ham yağ ve hidrokarbon içeren petrol kaynaklarını çeşitli son ürünlere dönüştüren endüstrilerdir. Atıksular yüzeleme, parçalama ve motor yağı üretimi aşamalarında oluşmaktadır ve organikler (BTEX, DRO, GRO gibi), yağ ve gres, askıda katılar, amonyak, fenoller, ağır metaller ve H₂S gibi kirleticiler içermektedir (Kaldec ve Knight, 1996; Chapple vd., 2002; Kadlec ve Wallace, 2009).

Ji ve diğerleri (2002) Çin, Liaohe Deltasında yüksek miktarlarda çözünmüş organik bileşikleri içeren ağır yağların üretim suyunun arıtımı için pilot ölçekli bir YAAYSA sistemi kurmuştur. Sistemde iki YSA ve bir kontrol yatağı bulunmaktadır. %81 KOİ, %89 BOİ, %89 mineral yağ ve %81 TKN giderimi başarılmıştır. Ortalama çıkış suyu konsantrasyonları ise KOİ, BOİ, TKN ve mineral yağ için sırasıyla 77 mg/L, 3.5 mg/L, 2.2 mg/L ve 2.9 mg/L olarak bulunmuştur. 3 yıllık alan gözlemleri sonucu elde edilen sonuçlar ise arıtma yatağı 1 için %80 KOİ, %93 yağ, %88, BOİ ve %86 TKN, arıtma yatağı 2 için ise %71 KOİ, %92 yağ, %77 BOİ ve %91 TKN olduğu belirtilmiştir (Ji vd., 2007).

Acı yağ üretim suyunun arıtımı için ters ozmos ve YSA'nın birlikte kullanıldığı bir HS'in performansı değerlendirilmiştir. Çıkış suyunda EC, TÇKM ve *Ceriodaphnia dubia* ve *Pimephales promelas* kullanılarak toksisite gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre

iletkenlik %95, TÇKM ise %94 oranında azaldığı belirlenmiştir. Kontrol organizmaları ile karşılaştırıldığında %100 artırılmış suya maruz kalan organizmalarda önemli bir ölüm oranı gözlenmemiştir. Bu nedenle ters ozmos-YSA'dan oluşan HS'in artırım ve suyun yeniden kullanımı için uygulanabilir alternatif bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Murray-Gulde vd., 2003).

Petrol rafineri atıksularının üçüncül arıtımı için YSA'nın etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada iki lab. ölçekli YSA oluşturulmuş ve *Typha latifolia* ile bitkilendirilmiştir. Alıkonma süresi 48 saattir. BOİ ve NH₃-N giderimi sırasıyla YSA-1'de %79 ve %94, YSA-2'de %80 ve %95 olduğu belirlenmiştir (Huddleston vd., 2000).

Karışık endüstriyel atıksular

Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan geleneksel arıtma yöntemlerinin maliyeti, işletim ve çıkış suyu standartlarını sağlayamama gibi problemleri nedeniyle pek çok endüstri atıksularını herhangi bir arıtıma tabi tutmadan alıcı ortamlara deşarj etmektedir. Endüstrileşme nedeniyle çevre ağır metaller, organik kirleticiler, yağlar, deterjanlar, kimyasal kökenli kirleticiler, katı maddeler gibi kirleticilere maruz kalmaktadır. YSA günümüzde farklı türde atıksuların arıtımında yaygınlaşmasına rağmen farklı endüstrilerden kaynaklanan atıksu karışımlarının arıtımı ile ilgili pek fazla çalışma bulunmamaktadır.

Slovenya'da farklı bölümlerinde elma/sarap sirkesi ve deterjan/sabun üreten Şampionka fabrikası atıksularının gerçek ölçekli YAAYSA ile arıtım performansı değerlendirilmiştir. Yatay ve düşey akışlı 4 arıtma yatağından oluşan HS, dengeleme havuzu, yatay akışlı yatak (1 adet), düşey akışlı yatak (2 adet paralel) ve yatay akışlı yatak (1 adet) içermektedir. Dolgu malzemesi olarak ince kum kullanılmıştır. 1. ve 4. yatak *Carex acutiformis*, 2. ve 3. yatak ise *Phragmites australis*, dengeleme havuzu ise *Eichornia crassipes*, biriktirme havuzu çevresi ise *Alnus glutinosa*, *Salix alba* ve *Salix caprea* ile içi ise *Carex spp.*, *Typha latifolia* ve *Spharaganium oocarpum* ile bitkilendirilmiştir. Hidrolik yüklem 20 m³/gün'dür. Ortalama

giderim verimleri sırasıyla KOİ, BOİ, TOK, toplam organik azot, nitrat-azotu, fosfat ve anyonik yüzey aktif madde için %67, %66, %64, %83, %83, %62 ve %67 olduğu rapor edilmiştir (Justin vd., 2009).

Tayvan'da, çeşitli endüstrilerden (elektronik, kimyasal, gıda işleme, çelik gibi) kaynaklanan karışık atıksuyun bulunduğu endüstriyel parkta 4 paralel pilot ölçekli YAAYSA tankı kurulmuştur. Atıksu, atıksu dengeleme havuzundan alınmıştır. Hidrolik yüklem 0.4 m³/gün ve alıkonma süresi ise 5 gün'dür. Tanklar sırasıyla *Phragmites communis*, *Typha orientalis*, *Pistia stratiotes* ve *Ipomoea aquatica* ile bitkilendirilmiştir. Ortam malzemesi seramik parçaları ve çakıldır. Karışık atık suyun arıtım sonrası parametre giderim verimleri AKM, TP, NH₃-N, BOİ, TKN, KOİ ve NO₃-N için sırasıyla %47-81, %17-35, %22-56, %51-89, %9-46, %30-61 ve %38-85 olduğu rapor edilmiştir (Chen vd., 2006).

Pakistan'da ülkenin en büyük endüstriyel alanlarından biri olan tekstil, kimyasallar, plastik, sabun, deterjan, mermer, saf ve yemeklik yağ endüstrilerini içeren GAIE'de bir YSA kurulmuştur. 7 hücreden oluşan YAAYSA toplam 4145.71 m²'lik alana, 1305.58 m³'lük toplam depolama kapasitesine sahiptir. *Typhaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Juncaceae*, *Cratophyllaceae*, *Lemnaceae*, *Hydrochantaceae*, *Polygonaceae*, *Alismataceae*, *Araceae* sucül makrofitler kullanılmıştır. Ortalama giderim verimleri %50 Pb, %92 Cd, %74 Fe, %41 Ni, %89 Cr, %48 Cu olduğu belirtilmiştir (Khan vd., 2009).

Sonuçlar ve Tartışma

Araştırma sonuçları göstermiştir ki YSA artan uygulamalarıyla özel karakteristiğe sahip pek çok endüstriyel atıksu türünün hatta karışık endüstriyel atıksuların arıtımında başarılı bir şekilde kullanılabilir alternatif bir teknolojidir. Bu bağlamda;

- Atıksuyun özelliklerine göre uygun yöntem seçilmelidir.

- YYAAYSA, organik yüklemelere karşı güçlü tamponlama kapasitesi ve dayanıklı işletimi nedeniyle çeşitli endüstriyel atıksuların arıtımında en yaygın kullanılan YSA türüdür.
- Atıksuların içerdiği yüksek dozda ve zor parçalanabilir organik kirleticilerin hem arıtım performansı ve hidrolik üzerine hem de sulak alan bitkilerinin gelişimi üzerine olumsuz etkileri olabilir. Bunun önüne geçmek için aerobik/anaerobik ön arıtım ya da havalandırma gibi stratejiler uygulanabilir.
- Yağ/rafineri atıksularından ağır metal giderimi artan bir ilgiye sahiptir. Bununla birlikte bu endüstrilerde yetersiz biyolojik uygunlukta organik karbon sınırlayıcı faktördür. Besin olarak harici organik materyallerin kullanımı düşük işletim maliyetini sağlamak için dikkatle düşünülmelidir.
- İyi tasarlanmış, düzgün ve doğru olarak inşa edilmiş bir YSA sistemi, eşit atıksu yüklemeleri ve bunun sonucunda sistemin su kalitesini iyileştirmesi açısından son derece önemlidir. Sistem inşası sırasında yatağın, giriş/çıkış borularının zemin kodu seviyelerinin dikkatli inşa edilmesi gerekmektedir. Atıksuyun sistem içerisinde kalabilmesi için geçirimsiz tabakanın özenle yerleştirilmesi gerekmektedir.

Ülkemiz şartları göz önünde bulundurulduğunda, çevre yatırımlarına ayrılan payların çok düşük olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda daha ucuz teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanmaya alınması esastır. Yapılan bu araştırmanın sonucunda ortaya çıkan arıtma sistemi ile ülkemiz gibi özellikle ılıman iklim kuşağındaki ülkelerde kendi atıksuyunu arıtmak isteyen endüstri kuruluşlarında uygulanması mümkündür.

Kaynaklar

Abu Bakar, N.S., Mohd Nasir, N., Lananan, F., Abdul Hamid, S.H., Lam, S.S., Jusoh, A., (2015). Optimization of C/N rations for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish, (*Clarias gariepinus*) utilizing Bioflocs Technology, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 100-106.

- Agustina, T.E., Ang, H.M., Pareek, V.K., (2008). Treatment of winery wastewater using a photocatalytic/photolytic reactor, *Chem. Eng. J.*, 135, 151-156.
- Ali, N., Mohammad, W., Jusoh, A., Hasan, M.R., Ghazal, N., Kamaruzaman, K., (2005). Treatment of aquaculture wastewater using ultra-low pressure asymmetric polyethersulfone (PES) membrane, *Desalination*, 185, 317-326.
- Anastasiou, N., Monou, M., Mantzavinos, D., Kassinos, D., (2009). Monitoring of the quality of winery influents/effluents and polishing of partially treated wineryflows by homogenous Fe(II) photo-oxidation, *Desalination*, 248, 836-842.
- Ávila, C., Reyes, C., Bayona, J.M., Garcia, J., (2013). Emerging organic contaminant removal depending on primary treatment and operation strategy in horizontal subsurface flow constructed wetlands: influence of redox, *Water Research*, 47, 315-325.
- Aydın Temel F., (2013). Türkiye’de atık su arıtımında yapay sulak alanların tasarımı ve potansiyelinin değerlendirilmesi: örnek çalışma, Kızıldağren, *Doktora Tezi*, OMÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Ávila, C., Matamoros, V., Reyes-Contreras, C., Piña, B., Casado, M., Mita, L., Rivetti, C., Barata, C., García, J., Bayona, J. M. (2014). Attenuation of emerging organic contaminants in a hybrid constructed wetland system under different hydraulic loading rates and their associated toxicological effects in wastewater, *Science of the Total Environment*, 470-471, 1272-1280.
- Bergheim, A., Cripps, S.J., Liltved, H., (1998). A system for the treatment of sludge from land-based fish-farms, *Aquatic Living Resources*, 11, 4, 179-187.
- Bulc, T.G. ve Ojstršek, A., (2008). The use of constructed wetland for dye-rich textile wastewater treatment, *J. of Hazardous Materials*, 155, 76-82.
- Caixeta, C.E.T., Cammarota, M.C., Xavier, A.M.F., (2002). Slaughterhouse wastewater treatment: evaluation of a new three phase separation system in a UASB reactor, *Bioresour. Technol.*, 81, 61-69.
- Calheiros, C.S.C., Quitério, P.V.B., Silva, G., Crispim, L.F.C., Brix, H., Moura, S.C., Castro, P.M.L., (2012). Use of constructed wetland systems with *Arundo* and *Sarcocornia* for polishing high salinity tannery wastewater, *J. Environ. Manage.*, 95, 66-71.

- Chapple, M., Cooper, P., Cooper, D., Revitt, M., (2002). Pilot trials of a constructed wetland system for reducing the dissolved hydrocarbon in the runoff from a decommissioned refinery, *Proceedings, 8th International Conference Wetland System for the Water Pollution Control*, 877-883, Tanzania.
- Chen, T.Y., Kao, C.M., Yeh, T.Y., Chien, H.Y., Chao, A.C., (2006). Application of constructed wetland for industrial wastewater treatment: A pilot-scale study, *Chemosphere*, 64, 497-502.
- Chowdhury, P., Viraraghavan, T., Srinivasan, A., (2010). Biological treatment processes for fish processing wastewater-A review, *Bioresource Technology*, 101, 439-449.
- Christen, E.W., Quayle, W.C., Marcoux, M.A., Arienzo, M., Jayawardane, N.S., (2010). Winery wastewater treatment using the land filter technique, *J. Environ. Manage.* 91, 1665-1673.
- Comino, E., Riggio, V., Rosso, M., (2011). Mountain cheese factory wastewater treatment with the use of a hybrid constructed wetland, *Ecological Engineering*, 37, 1673-1680.
- Coskun, T., Debik, E., Demir, N.M., (2010). Treatment of olive mill wastewaters by nanofiltration and reverse osmosis membranes, *Desalination*, 259, 65-70.
- Dağlı, S., (2006). Eysel atıksulardan yapay sulak alan sistemleriyle fosfor gideriminin incelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Davies, L.C., Carias, C.C., Novais, J.M., Martins-Dias, S., (2005). Phytoremediation of textile effluents containing azo dye by using *Phragmites australis* in a vertical flow intermittent feeding constructed wetland, *Ecological Eng.* 25, 594-605.
- Espinoza-Quñones, F.R., Fornari, M.M.T., Módenes, A.N., Palácio, S.M., da Silva Jr., F.G., Szymanski, N., Kroumov, A.D., Trigueros, D.E.G., (2009). Pollutant removal from tannery effluent by electrocoagulation, *Chem.Eng. J.*, 151, 59-65.
- Demirörs, B., (2006). Çukurova bölgesinde yapay sulak alan teknolojisinin kırsal alanda kullanımının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Fumi, M.D., Parodi, G., Parodi, E., Silva, A., Marchetti, R., (1995). Optimisation of long term activated-sludge treatment of winery wastewater, *Bioresource Technology*, 52, 45-51.
- Gannoun, H., Bouallagui, H., Okbi, A., Sayadi, S., Hamdi, M., (2009). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of biologically pretreated abattoir wastewaters in an upflow anaerobic filter, *Journal of Hazardous Materials*, 170, 1, 263-271.
- Gasiunas, V., Strusevičius, Z., Strusevičiėne, M.S., (2005). Pollutant removal by horizontal subsurface flow constructed wetlands in Lithuania, *J. Environ. Sci. Health*, 40A, 1467-1478.
- Gönüllü, T., (2004). *Endüstriyel kirlenme kontrolü*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Grismer, M.E., Shepherd, H.L., (2011). Plants in constructed wetlands help to treat agricultural processing wastewater, *California Agric.* 65, 73-79.
- Güven, G., Perendeci, A., Tanyolaç, A., (2009). Electrochemical treatment of simulated beet sugar factory wastewater, *Chem. Eng. J.*, 151, 149-159.
- Herouvim, E., Akrotos, C.S., Tekerlekopoulou, A., Vayenas, D.V., (2011). Treatment of olive mill wastewater in pilot-scale vertical flow constructed wetlands, *Ecological Engineering*, 37, 931-939.
- Hihosa-Valsero, M., Matamoros, V., Sidrach-Cardona, R., Martín-Villacorta, J., Bécares, E., Bayona, J.M., (2010). Comprehensive assessment of the design configuration of constructed wetlands for the removal of pharmaceuticals and personal care products from urban wastewaters, *Water Research*, 44, 3669-3678.
- Huddleston, G.W., Gillepsie, W.B., Rodgers, J.H., (2000). Using constructed wetlands to treat biochemical oxygen demand and ammonia associated with a refinery effluent, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 45, 188-193.
- Ji, G., Sun, T., Zhou, Q., Sui, X., Chang, S., Li, P., (2002). Constructed subsurface flow wetland for treating heavy oil-produced water of the Liaohe Oilfield in China, *Ecological Engineering*, 18, 459-465.
- Ji, G.D., Sun, T.H., Ni, J.R., (2007). Surface flow constructed wetland for heavy-oil produced water treatment, *Bioresource Technology*, 98, 436-441.
- Jiang, J.Q., Zhou, Z., Sharma, V.K., (2013). Occurrence, transportation, monitoring, and treatment of emerging micro-pollutant in wastewater-a review from global views, *Microchemical Journal*, 110, 292-300.
- Justin, M.Z., Vrhovšek, D., Stuhlbacher, A., Bulc, T.G., (2009). Treatment of wastewater in hybrid constructed wetland from the production of vinegar and packaging of detergents, *Desalination*, 246, 100-109.

- Kadlec, R.H., Wallence, S.D., (2009). *Treatment wetlands*, 2nd edition CRC Press, Boca Raton.
- Kadlec, R.H., Knight, R.L., (1996). *Treatment wetlands*, CRC Press, Boca Raton.
- Kaseva, M.E. ve Mbuligwe, S.E., (2010). Potential of constructed wetland systems for treating tannery industrial wastewater, *Water Sci. Technol.*, 61, 4, 1043–1052.
- Khan, S., Ahmad, I., Shah, M.T., Rehman, S., Khaliq, A., (2009). Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater, *Journal of Environmental Management*, 90, 3451-3457.
- Kucuk, O.S., Sengul, F., Kapdan, I.K., (2003). Removal of ammonia from tannery effluents in a reed bed constructed wetland, *Water Sci. Technol.*, 48, 11/12, 179–186.
- Lee, E. R., (1999). Ser-Wet: A wetland simulation model to optimize NPS pollution control, *Master of Science*, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Lefebvre, O., Moletta, R., (2006). Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review, *Water Res.*, 40, 3671–3682.
- Lin, Y.F., Jing, S.R., Lee, D.Y., Chang, Y.F., Chen, Y.M., Shih, K.C., (2005). Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate, *Environmental Pollution*, 134, 411-421.
- Magmedov, V. G., Zakharchenko, M. A., Yakovleva, L. I., Ince, M. E., (1996). The use of constructed wetlands for the treatment of run-off and drainage waters: The UK and Ukraine experience, *Water Science and Technology*, 33, 4-5, 315-323.
- Mbuligwe, S.E., (2005). Comparative treatment of dye-rich wastewater in engineered wetlands (EWSs) vegetated with different plants, *Water Research*, 39, 2-3, 271-280.
- Mannucci, A., Munz, G., Mori, G., Lubello, C., (2010). Anaerobic treatment of vegetable tannery wastewaters: a review, *Desalination*, 264, 1–8.
- Mosteo, R., Ormad, P., Mozas, E., Sarasa, J., Ovelleiro, J.L., (2006). Factorial experimental design of winery wastewaters treatment by heterogenous photo-Fenton process, *Water Research*, 40, 1561–1568.
- Munz, G., Gori, R., Cammilli, L., Lubello, C., (2008). Characterization of tannery wastewater and biomass in a membrane bioreactor using respirometric analysis, *Bioresource Technology*, 99, 8612–8618.
- Murray-Gulde, C., Heatley, J.E., Karanfil, T., Rodger, J.H., Myers, J.E., (2003). Performance of a hybrid reverse osmosis-constructed wetland treatment system for brackish oil field produced water, *Water Research*, 37, 705-713.
- Novotny, V. ve Olem, H., (1994). *Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- OEMC, (2001). Treating wastewater with Constructed wetlands project final report, Governor's Office of Energy Management and Conservation 225 E, 16th Avenue, Suite 650, Denver.
- Ong, S.A, Uchiyama, K., Inadama, D., Ishida, Y., Yamagiwa, K., (2009). Phytoremediation of industrial effluent containing azo dye by model up-flow constructed wetland, *Chinese Chemical Letters*, 20, 225-228.
- Ong, S.A, Uchiyama, K., Inadama, D., Ishida, Y., Yamagiwa, K., (2010). Treatment of azo dye Azid Orange 7 containing wastewater using up-flow constructed wetland with and without supplementary aeration, *Bioresource Technology*, 101, 9049-9057.
- Othman, S.R.B., (2007). Landfill leachate treatment using free water surface constructed wetlands, *Master of Engineering*, Faculty of Civil Engineering, University of Technology, Malaysia.
- Özen, Ö., (2006). S.Ü. kampüsü atıksularının ekilmiş sulak alanda *Miscanthus X Giganteus* ile arıtımı ve bitkinin hasat sonrasında adsorban özelliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Park, N., Vanderford, B.J., Snyder, S.A., Sarp, S., Kim, S.D., Cho, J., (2009). Effective controls of micropollutants included in wastewater effluent using constructed wetlands under anoxic condition, *Ecological Engineering*, 35, 418-423.
- Petrie, B., McAdam, E.J., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N., Cartmell, E., (2013). Fate drugs during wastewater treatment, *TrAc Trends in Analytical Chemistry*, 49, 145-159.
- Petruccioli, M., Cardoso Duarte, J., Eusebio, A., Federici, F., (2002). Aerobic treatment of winery wastewater using a jet-loop activated sludge reactor, *Process Biochem.*, 37, 821–829.
- Reed, S.C., Crites, R.W., Middlebrooks, E.J., (1995). *Natural systems for waste management and treatment*, Second Edition, McGraw-Hill, New York, USA.

- Rousseau, D., (2005). Performance of constructed treatment wetlands: model-based evaluation and impact of operation and maintenance, *PhD thesis*, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Saraçoğlu, S., (2006). Eskikaraağaç köyü evsel atıksularının dip akışlı yapay sulak alan arıtma yöntemiyle arıtılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Serrano, L., De la Varga, D., Ruiz, I., Soto, M., (2011). Winery wastewater treatment in a hybrid constructed wetland, *Ecological Engineering*, 37, 744–753.
- Shepherd, H.L., Grismer, M.E., Tchobanoglous, G., (2001). Treatment of high-strength winery wastewater using a subsurface-flow constructed wetland, *Water Environ. Res.*, 73, 394–403.
- Sindilariu, P.D., Wolter, C., Reiter, R., (2008). Constructed wetland as a treatment method for effluents from intensive trout farms, *Aquaculture*, 277, 179-184.
- Sirianuntapiboon, S., Nimnu, N., (1999). Management of water consumption and wastewater of seafood processing industries in Thailand. Suranaree, *J. Sci. Technol.*, 6, 3, 158–167.
- Sohsalam, P., Englande, A.J., Sirianuntapiboon, S., (2008). Seafood wastewater treatment in constructed wetland: Tropical case, *Bioresource Technology*, 99, 1218-1224.
- Song, Z., Williams, C.J., Edyvean, R.G.J., (2004). Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation, *Desalination*, 164, 249–259.
- Søvik, A. K., Kløve, B., (2007). Emission of N₂O and CH₄ from a constructed wetland in southeastern Norway, *Science of the Total Environment*, 380, 28–37.
- Suliman, F., Futsaether, C., Oxaal, U., Haugen, L.E., Jenssen, P., (2006). Effect of the inlet–outlet positions on the hydraulic performance of horizontal subsurface-flow wetlands constructed with heterogeneous porous media, *Journal of Contaminant Hydrology*, 87, 22-36.
- USEPA, “Freewater surface wetlands for wastewater treatment: a technology assessment”, Office of Water, Washington, DC, EPA-832-S-99-002, 1999a.
- USEPA, (2002). Onsite wastewater treatment systems manual, Office of Research and Development, Cincinnati, OH.
- USEPA, (1988). Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment design manual, Center for Environmental Research Information Cincinnati, OH.
- USEPA, USDA, NRCS (Natural Resources Conservation Service), (1995). Handbook of constructed wetlands, A guide to creating wetlands for: agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage, storm water in the Mid-Atlantic Region, Washington, D.C., USA.
- Uslu, M.O., Jasim, S., Arvai, A., Bewtra, J., Biswas, N., (2013). A survey of occurrence and risk assessment of pharmaceutical substances in the Great Lakes Basin, *Ozone Science & Engineering*, 35, 249-262.
- Ün, Ü.T., Altay, U., Koparal, A.S., Ögütveren, B.Ü., (2008). Complete treatment of olive mill wastewaters by electrooxidation, *Chem. Eng. J.*, 139, 445-452.
- Ün, Ü.T., Uğur, S., Koparal, A.S., Ögütveren, B.Ü., (2006). Electrocoagulation of olive mill wastewaters, *Sep. Purif. Technol.*, 52, 136-141.
- Vymazal, J., Introduction. In: Vymazal, J., H. Brix, P.F. Cooper, M.B. Green and R. Haberl (eds). (1998). Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe, Backhuys Publishers, Leiden.
- Vymazal, J., (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment, *Ecological Engineering*, 25, 5, 478-490.
- Vymazal, J., (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands, *Science of The Total Environment*, 380, 48-65.
- Vymazal, J., (2008). Constructed wetlands, Surface Flow, In: Jørgensen, S.E., Fath, B.(eds.), Encyclopedia of Ecology, Vol. 1. Elsevier BV, Amsterdam, Netherlands, 765–776.
- Vymazal, J., (2009). The use constructed wetlands with horizontal subsurface flow for various types of wastewater, *Ecological Engineering*, 35, 1-17.
- Vymazal, J., (2014). Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review, *Ecological Engineering*, 73, 724–751.
- Zhang, J., Jetten, M.S.M., Kuschik, P., Ettwing, K.F., Yin, C., (2013). Removal of cytostatic drugs from aquatic environment: a review, *Science of The Total Environment*, 445-446, 281-298.
- Zhang, S.Y., Zhou, Q.H., Xu, D., He, F., Cheng Shui, P., Liang, W., Du, C., Wu, Z.B., (2010). Vertical-flow constructed wetlands applied in a recirculating aquaculture system for channel catfish culture: effects on water quality and zooplankton, *Polish J. of Environ. Stud.*, 19, 5, 1063-1070.

The use of constructed wetlands in treatment of industrial wastewaters

Extended abstract

Wastewaters from industries contain large quantities of pollutions such as organic compounds, heavy metals, chemicals, BOD, COD, total nitrogen, ammonia, suspended solids, phenols, oil-grease, total organic carbon, and micro-pollutants. Managers cannot chance the treatment of these wastewater by conventional physical, chemical, and biological treatment methods due to the highly costs. However, wastes from conventional treatment plants usually include certain pollutions that cannot provide hard regulation to discharge into receiving environment. Therefore, constructed wetland (CWs) has applied for the treatment of industrial wastewaters such as tannery, food processing, textile, seafood, paper, winery, petrochemical, pharmaceutical, and also mixed industries during last two decades. CWs are engineered systems that have several advantages such as low energy requirements, easy operation and maintenance, cost effective, landscape esthetics, reuse, and increased wildlife habitat compared to conventional systems. CWs involve wetland vegetation, filter materials, hydrology, and microbial communities. CWs can be classified according to the hydrology (surface-subsurface flow), type of macrophyte (emergent, submergent, floating, and leaved-floating), and flow path in subsurface (horizontal, vertical). CWs show a natural treatment based on biological activities between macrophytes (Typhaceace, Cyperaceae, Poaceae, Juncaceae, Cratophyllaceae, Lemnaceae, Hydrochantaceae, Polygonaceae, Alismataceae, Araceae) and microorganisms (bacteria, fungi, algae) and their interactions in the filter materials-treatment bed (gravel, sand, soil, rock). CWs can be combined as a hybrid systems to benefit the specific advantages of different type CWs. Physical (filtration, sedimentation, adsorption, and volatilization), chemical (precipitation, degradation, and adsorption), and biological (microbial metabolism, plant metabolism, natural die-off, and microbial mediated reactions) treatment mechanisms can be employed together in CWs for wastewater treatment.

Nowadays, CWs have been successfully used to treat many type industrial wastewaters had specific characteristics. However, in the present papers the applications of CWs are tried to summarize results

from full or pilot-scale studies in 17 countries treating a total of 37 types of industrial wastewaters. The following summaries are given and recommended knowledge about the pollution removal mechanisms for industrial wastewater treatment:

- *The treatment strategies are determined according to the wastewater characteristics.*
- *CWs most widely used for the industrial wastewater treatment are HSFCWs.*
- *HSFCWs have strong buffering capacity to high organic loading.*
- *FWSCWs are more feasible as a primary step of hybrid/integrated system.*
- *High concentration organic compounds can be caused serious effect on wetland plants, hydraulic of system. The pretreatment of industrial wastewater such as aerobic, anaerobic, chemical, or aeration can be applied to decrease these effects.*
- *The primarily treatment applied for the specific wastewaters contained high concentration heavy metals should be carefully considered due to the operational costs and secondary pollution production.*

Keywords: *Constructed wetland, treatment, industry, waste water.*