

Araştırma Makalesi

YATAY YÜZEY ALTI AKIŞLI YAPAY SULAK ALAN SİSTEMLERİNİN KULLANILMASIYLA STABİLİZASYON HAVUZU ÇIKIŞ SUYU KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Güzel YILMAZ^{1*} Erkan ŞAHİNKAYA¹ Sinan UYANIK¹ Hale URUŞ¹ İhsan Nur AKYÜZ¹

ÖZET

Evsel atık su arıtımında stabilizasyon havuzları yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bunun ana nedeni stabilizasyon havuzlarının ekonomik ve kolay işleme sahip olmalarıdır. Ancak özellikle sıcak yaz aylarında stabilizasyon havuzu çıkış suyunda yüksek alg konsantrasyonundan dolayı alıcı ortamda istenmeyen durumlar meydana gelmekte ve alıcı ortamda çürüyen algler oksijen tüketimine neden olmaktadır. Yüksek alg ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) içeriği nedeniyle stabilizasyon havuzu çıkış sularının tarımsal sulamada kullanılmaması veya sadece bazı ürünlerin sulanmasına izin verilmesi bu sistemin iyileştirmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu amaçla, çalışmamızda stabilizasyon havuzu çıkış sularının iyileştirilmesi için yine işletimi kolay ve ekonomik bir sistem olan yatay yüzey altı akışlı yapay sulak sistemi kullanılmıştır. Pilot ölçekli çalışma sonucunda; stabilizasyon havuzu çıkış suları önemli ölçüde iyileştirilerek, toplam KOİ (TKOİ) giderim verimi %56±15, ortalama çözülmüş KOİ (ÇKOİ) giderim verimi %40±13, ortalama askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) giderim verimi %90 civarında ve ortalama toplam azot giderim verimi %57±22 olarak tespit edilmiştir. Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanı çıkış suları kirletici konsantrasyonları deşarj standartlarının altında kalmıştır. Sonuç olarak, yüzey altı akışlı yapay sulak alan sistemlerinin stabilizasyon havuzu çıkış sularının iyileştirilmesinde etkili olduğu gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Stabilizasyon havuzu, Yapay sulak alan, Askıda katı madde, Atık su arıtım

TREATMENT OF STABILIZATION POND EFFLUENTS USING HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND PROCESS

ABSTRACT

Stabilization ponds are commonly used for wastewater treatment purposes in rural small regions due to low-cost and easy operation. But algae blooms in the lagoon cause secondary pollution of following streams, and algae decomposition can deplete oxygen in the receiving environment. High algae and chemical oxygen demand (COD) concentrations in the effluent of stabilization ponds restrict its use for irrigation purposes. In this context, this study aims at evaluating the efficiency of a low-cost horizontal sub-surface flow constructed wetland process to improve the quality of stabilization ponds effluent. The pilot scale constructed wetland removed around 56±15% total COD, 40±13% soluble COD, 90% suspended and volatile suspended solids and 57±22% total nitrogen from stabilization pond effluents. The pollutant concentrations in constructed wetlands effluent were always below the values given in related discharge guidelines. Therefore, it was shown that the constructed wetland systems are effective for polishing stabilization pond effluents.

Keywords: Stabilization ponds, Constructed wetland, Suspended solids, Wastewater treatment

¹Harran Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 63300-Şanlıurfa

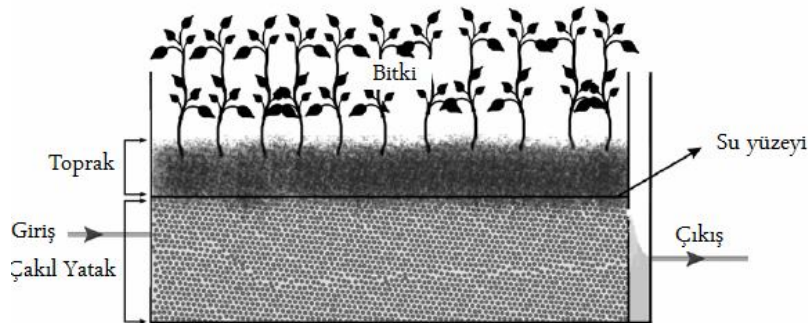
*sorumlu yazar: gyilmaz@harran.edu.tr

GİRİŞ

Stabilizasyon havuzları sıcak iklimlerde, düşük nüfuslu yerleşim yerleri için (<2000) yaygın olarak kullanılan bir atıksu arıtım metodu olmasına rağmen, özellikle yaz aylarında toplam askıda katı madde konsantrasyonunun (genellikle çökmeyen alg nedeniyle) 100 mg l⁻¹'nin üzerine çıkarak arıtılmış suyun kalitesini bozması sistemin en önemli dezavantajıdır. Daha katı deşarj standartlarının uygulanmaya başlanması veya bu suların sulamada kullanılmasının istenmesi durumunda, stabilizasyon havuzları ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Özellikle damlama sulama sistemlerinde, yüksek alg konsantrasyonu sulama sistemlerinin tıkanmasına neden olmaktadır. Bununla beraber, stabilizasyon havuzu çıkışında özellikle yaz aylarında yüksek alg konsantrasyonu sebebiyle alıcı ortamda istenmeyen durumlar oluşturmakta ve deşarj standartlarının sağlanmasında zorluklarla karşılaşmaktadır. Kurak ve yarı kurak iklimte sahip olan yerleşim alanlarında tarımsal sulama amaçlı atık suların kullanılmak istenmesi durumunda, stabilizasyon havuzu çıkış sularının ilave bir arıtmadan geçirilerek iyileştirilmesi ve en önemlisi de askıda bulunan alg'in giderilmesi gerekmektedir (Naz ve ark., 2009; Reed ve ark., 1995). Literatürde, stabilizasyon havuzu çıkış sularının kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Bunlar arasında, santrifüj, mikroelektren geçirme, koagülasyon-flokülasyon en yaygın olarak kullanılan metotlardır (Torrens ve ark., 2009). Fakat kullanılan bu metotlar her ne kadar etkili olsa da işletim veya kurulum maliyetlerinin yüksek olması veya uzman eleman gerektirmesi bu metotların kullanımını zorlaştırmaktadır. Bilindiği üzere, stabilizasyon havuzlarının asıl kullanım amacı düşük maliyetli işletimleri ve uzman eleman gerektirmemesidir. Dolayısıyla, stabilizasyon havuzları yine düşük maliyetli ve

uzman eleman gerektirmeyen bir sistemle revize edilmelidir (Kimwaga ve ark., 2004). Bu bağlamda araştırmada, stabilizasyon havuzu çıkışında yüksek konsantrasyonlarda bulunan algin giderilmesi amacıyla inşası ve işletimi ucuz bir sistem olan yüzey altı akışlı yapay sulak alanların (YAYSA) performansı değerlendirilmeye alınmıştır. Yapay sulak alanlar son 30 yılda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde bitki, toprak ve mikroorganizmaların kullanılmasıyla kirleticiler giderilmektedir. Yapay sulak alanlar da diğer doğal arıtım sistemleri gibi güvenilir, ucuz, enerji ve kimyasal gerektirmeyen, az çamur üreten, uzman personel ihtiyacı olmayan sistemlerdir. Yapay sulak alan arıtım sistemi, sıcak iklimlerde oldukça yaygın olarak kullanılan uygun bir arıtım alternatifidir (Naz ve ark., 2009; Torrens ve ark., 2009; Kaya ve ark., 2007). Yapay sulak alanlarda arıtım çeşitli fiziksel ve biyolojik prosesler nedeniyle gerçekleşir. Bu proseslerden en önemlileri çökeltme ve çakıl yüzeyi ile bitki köklerine tutunmuş olarak büyüyen aerobik ve anaerobik bakteriler ile biyolojik parçalanmadır. AKM giderimi esas olarak fiziksel yöntemlerle gerçekleşir. Bunlar, çökeltme ve filtrasyondur. Yüzey altı akışlı sistemlerde su, çakıl veya kırma taşlarla doldurulmuş bir çanak veya su yatağına akıtılır. Verilen suyun yüzeye çıkmaması esas alınmak suretiyle dizayn edilir. 0.3-0.4 m veya daha derin bir geçirgen ortama sahiptirler (EPA, 2000). Yatay akışlı yapay sulak alanlarda atıksu yatay olarak sistemden akar ve yüzey ile teması yoktur. Suyun yatayda infiltrasyonu sırasında biyolojik ve fiziko-kimyasal metotlar ile atıksuyun arıtımı sağlanmış olur (Şekil 1.)

Bu çalışmada, Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü'nde mevcut olan stabilizasyon havuzu çıkış sularının iyileştirilmesi amacıyla pilot ölçekli yapay sulak alan sisteminin etkinliği araştırılmıştır.



Şekil 1. Yüzeyaltı akışlı sulakalanlar (Naz ve ark., 2009)

MATERYAL VE METOT

Çalışmanın yürütüldüğü Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsünde evsel nitelikli atıksuların klasik ve modern arıtma alternatiflerinden oluşan 5 farklı arıtma yöntemini içeren entegre bir arıtma tesisi bulunmaktadır. Mevcut arıtma tesisinde stabilizasyon havuzu yöntemi ile de atık sular arıtılmakta ve fakültatif havuz özelliğini taşımaktadır. Stabilizasyon havuzunun Proje debisi $35 \text{ m}^3 \text{ gün}^{-1}$, yüksekliği 1 m, uzunluğu 48 m ve genişliği 18 m'dir. BOİ yükü $83,22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ gün}^{-1}$, bekleme süresi ise yaklaşık 20 gündür. Hidrolik ve biyolojik yükleme hızları sistem için standartlarda verilen sınırlar dâhilindedir. Sistem BOİ, AKM, mikroorganizma giderimi için tasarlanmıştır. Pilot ölçekli yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanının beslenmesi bu havuzdan yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan pilot ölçekli reaktörün uzunluğu 2 m, genişliği 2 m ve derinliği 1 m olup toplam yüzey alanı 4 m^2 'dir.

Sistemde 2-12 mm çaplarında doğal çakıl, kırmızıkahverengi toprak ve *Phragmites australis* bitkisi kullanılmıştır. Pilot ölçekli reaktörü paslanma ve çürümelere karşı korumak için iç kısmı koruyucu boya ile boyanmıştır. Dolgu malzemesi 50 cm yükseklikte olacak şekilde ve 8-12 mm çaplarında doğal ve yıkanmış çakıl serilmiştir. Serilen doğal çakılın üzerine 20 cm kalınlığında kırmızıkahverengi toprak eklenmiştir. Her m^2 'ye 4 kök olacak şekilde *Phragmites australis* bitkisi dikimi yapılmıştır (Şekil 2). Bitki dikiminden sonra toprak su ile doymun hale getirilmiştir ve stabilizasyon havuzunun çıkış suyu ile hidrolik yük $40 \text{ l m}^2 \text{ gün}^{-1}$ olacak şekilde beslenme yapılmıştır. Pilot ölçekli reaktörün hem girişi hem de çıkış sularında haftada üç defa sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, uçucu askıda katı madde, toplam azot, amonyum, nitrat ve nitrit azotu standart metotlara göre ölçülmüştür.



Şekil 2. Pilot ölçekli yapay sulak alan sisteminin bitkili (A) ve bitkisiz (B) görünümü

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

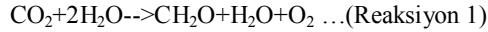
Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinin iklim koşullarının (sıcak ve güneşli) uygun olması nedeniyle, stabilizasyon havuzları bu bölgede yoğun olarak kullanılmaktadır. Şanlıurfa iline bağlı bir çok ilçede stabilizasyon havuzu kullanılmakta olup, ortak sorun yoğun alg içeriğine sahip çıkış suyudur. Yapılan çalışmada, Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesinde bulunan stabilizasyon havuzu çıkış suları pilot ölçekli bir yapay sulak alan reaktörüne verilerek, stabilizasyon havuzu çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Yapay sulak alan giriş ve çıkışında pH, sıcaklık ve çözülmüş oksijen değişimleri

Bilindiği üzere çevresel koşullar mikroorganizmaların büyüme ve besin kullanım hızlarını önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle; çalışma süresince, yapay sulak alan giriş ve çıkışında arazide taşınabilir cihazlarla pH, sıcaklık ve çözülmüş oksijen değişimleri ölçülerek Şekil 3'de

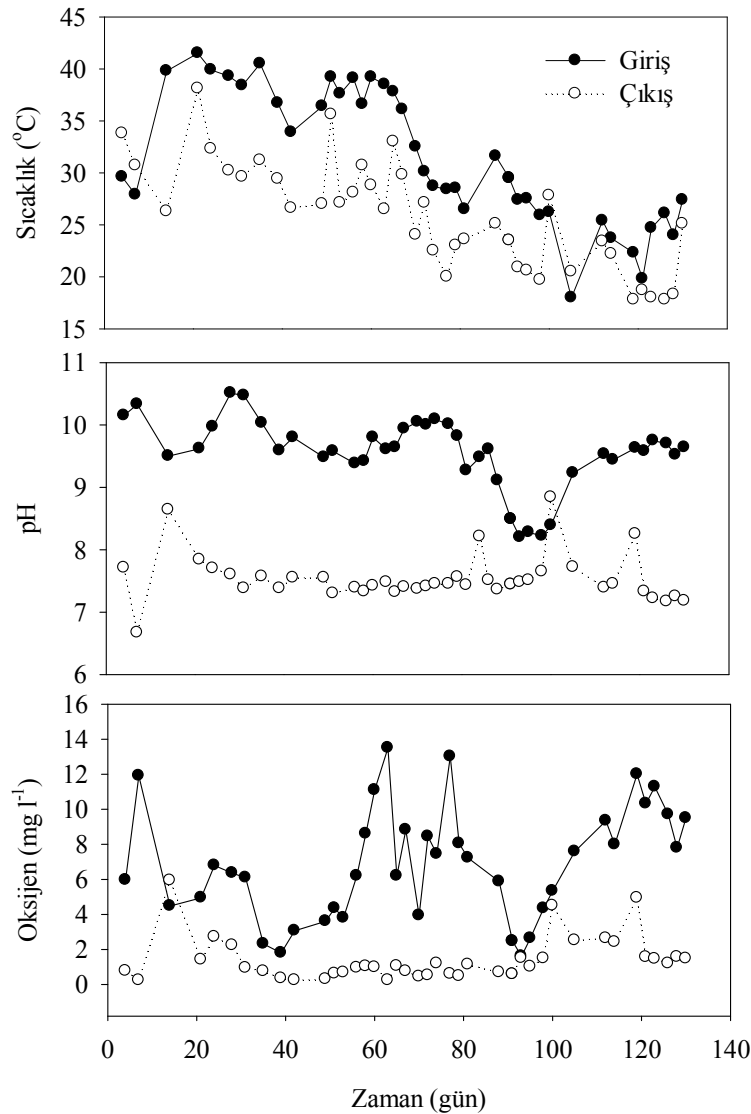
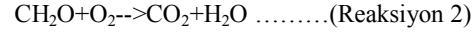
sunulmuştur. Çalışmaya Ağustos 2010'de başlanmış olup, yaz mevsiminde stabilizasyon havuzu çıkış suyu (veya yapay sulak alan giriş suyu) sıcaklığı $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'yi aşmıştır. Yaz mevsiminin bitmesiyle beraber, sıcaklık zamanla düşmüş ve sonbaharda $30 \text{ }^\circ\text{C}$ civarına, kış mevsiminde ise $20\text{-}25 \text{ }^\circ\text{C}$ civarına düşmüştür. Kasım ve Aralık aylarında yapay sulak alan giriş ve çıkışında sıcaklık önemli derecede değişmemekle birlikte, yaz aylarında yapay sulak alan çıkış suyu sıcaklığı, stabilizasyon havuzu çıkış suyuna göre önemli derecede düşüktür. Zamana bağlı olarak stabilizasyon havuzunda düşen sıcaklıkla beraber, alg faaliyetinde bir düşüş ve bu düşüşe bağlı olarak da, stabilizasyon havuzunda alg, askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde konsantrasyonunda düşme beklenmelidir. Ayrıca, azalan alg faaliyeti nedeniyle stabilizasyon havuzu suyunda pH ve çözülmüş oksijen seviyesinde düşme muhtemeldir. Bilindiği üzere, algler, sudaki CO_2 'i aldığından

(Reaksiyon 1), alg faaliyetiyle beraber pH da artmaktadır.



Dolayısıyla sıcaklık düşmesiyle beraber stabilizasyon havuzunda pH seviyelerinin de düşmesi muhtemeldir. Şekil 3'de görüldüğü üzere, yaz aylarında stabilizasyon havuzu çıkış suyu (yapay sulak alan giriş suyu) pH seviyesi 10,5 civarında iken, sıcaklığın düşmesiyle beraber pH değerleri de 9-9,5 civarına düşmüştür. Yapay sulak alanda ise, algler ve partikül halindeki organik maddeler

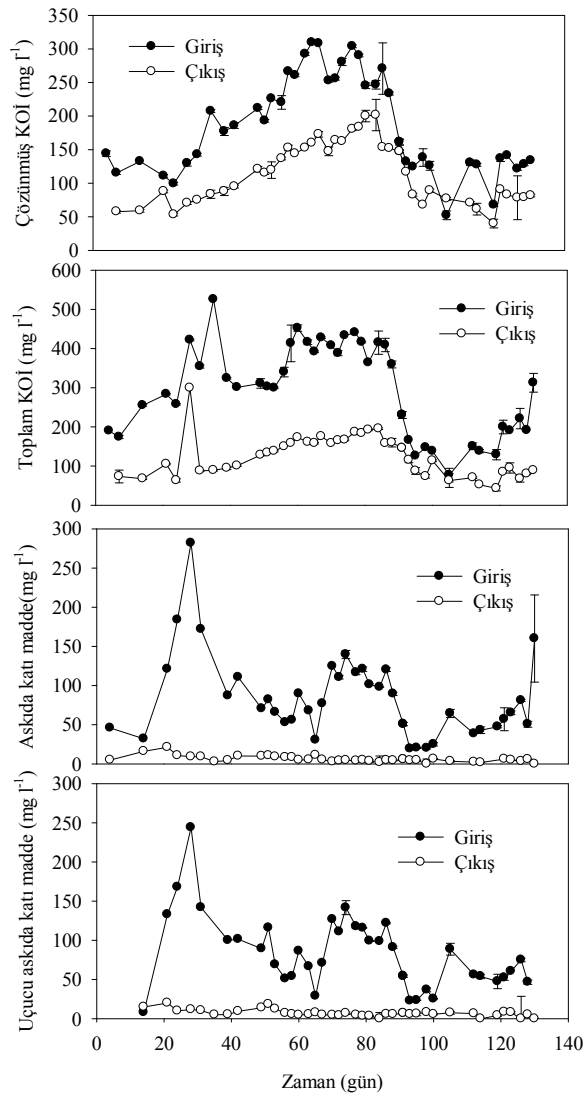
ilk olarak fiziksel olarak süzülmekte, daha sonra biyolojik parçalanmaya uğramaktadır. Ayrıca bir kısım çözülmüş organik maddeler de bakteriyel faaliyet nedeniyle mikroorganizmalar tarafından enerji ve hücre sentezi amacıyla tüketilmektedir. Bilindiği üzere, organik maddelerin aerobik biyolojik aktiviteleri nedeniyle CO_2 üretilmekte ve bu durum pH değerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durum Reaksiyon 2'de de gösterilmektedir.



Şekil 3. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında sıcaklık, pH ve oksijen konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi

Deneysel sonuçlarda beklentiler ışığında olup, Şekil 3'de görüldüğü üzere, yapay sulak alan girişinde (stabilizasyon havuzu çıkışı) pH değerleri 9-10,5 arasında iken, yapay sulak alan çıkışında pH değerleri genellikle 7.2-7.4 arasındadır. Stabilizasyon havuzunda alg faaliyetiyle oksijen üretilmekte ve üretilen biokütle'nin bir kısmı dibe çökerek fakültatif ve anaerobik bölgede çürümektedir. Dolayısıyla, stabilizasyon havuzundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu bu iki olay arasındaki dengenin bir fonksiyonudur. Yani tabana çöken organik madde fazla ve çürüme yoğun ise, önemli derecede bir oksijen tüketimi, sıcaklık ve güneş

ışığının artmasıyla da artan bir oksijen konsantrasyonu beklenmelidir. Yapılan çalışmada, stabilizasyon havuzu çıkış suyunda, çözünmüş oksijen konsantrasyonu değişiklik göstermiş olup, yapay sulak alan giriş ve çıkışında ortalama oksijen konsantrasyonu, sırasıyla, $6,90 \pm 3,20 \text{ mg l}^{-1}$ ve $1,40 \pm 1,27 \text{ mg l}^{-1}$ değerlerinde kalmıştır. Yapay sulak alan çıkışında oksijen konsantrasyonunun düşme nedeni, Reaksiyon 2'de de görüldüğü üzere organik maddelerin biyolojik olarak oksitlenmesi sırasında oksijen kullanımı nedeniyledir.



Şekil 4. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında toplam KOİ, çözünmüş KOİ, askıda katı madde ve uçucu toplam katı madde konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

Yapay sulak alan sisteminde toplam KOİ ve Çözünmüş KOİ giderim verimleri

Şekil 4.'de yapay sulak alan giriş ve çıkışına ait toplam KOİ (TKOİ), çözünmüş KOİ (ÇKOİ), askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri sunulmuştur. Bilindiği gibi yapay sulak alanda algler ve diğer partikül halindeki organikler ilk olarak fiziksel bir süzme ile giderilmekte ve daha sonra tutulan bu organikler biyolojik parçalanmaya uğramaktadır. Böylece, yapay sulak alan kullanarak stabilizasyon havuzu çıkış sularından alg (AKM ve UAKM) ve TKOİ giderimi mümkün olacaktır. Şekil 4A ve B'de görüldüğü üzere, ilk 90 günde giriş TKOİ değerlerinde çok önemli bir değişiklik olmayıp 400 mg l^{-1} civarında seyrederken, stabilizasyon havuzundaki ÇKOİ değerleri sürekli olarak artmış ve 70. günlerde 300 mg l^{-1} seviyelerine ulaşmıştır. Yaz dönemlerinde üniversitenin kapalı olmasından dolayı stabilizasyon havuzuna çok düşük debilerde atıksu gelmiş olmakla birlikte, sıcak hava ve güneşli günlerin fazla olması nedeniyle alg üretimi sürekli artmıştır. Oluşan algler içsel solunum fazına girerek parçalanmış ve ÇKOİ değerlerinin sürekli artmasına neden olmuştur. Üniversitenin açılması ile beraber Ekim ayından itibaren (80. Günden sonra), stabilizasyon havuzuna atıksu verilmeye başlamış olup, hem TKOİ ve hem de ÇKOİ değerlerinde önemli azalmalar gözlenmiştir. Bu

azalmaların diğer bir nedeniyle, mevsime bağlı olarak atıksu sıcaklığının Ekim ayından itibaren düşmesiyle beraber alg üretiminin ve çürüme hızının düşmesidir. Çözünmüş KOİ değerleri 300 mg l^{-1} civarına yükselse dahi, yapay sulak alan sisteminde önemli derecede ÇKOİ giderimleri elde edilmiş olup, gözlenen en yüksek değer 200 mg l^{-1} 'nin altındadır. Toplam KOİ değerlerin de yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı, yükselerek 400 mg l^{-1} değerlerine ulaşmasına rağmen, yapay sulak alan çıkış TKOİ değerleri çıkış ÇKOİ değerlerine benzer sonuçlar vermiş ve çıkıştaki en yüksek TKOİ konsantrasyonu 200 mg l^{-1} olarak belirlenmiştir.

Yapay sulak alan çıkışında TKOİ ve ÇKOİ değerlerinin oldukça benzer olması, çıkış suyunda partikül madde konsantrasyonunun çok az olduğuna bir işarettir. Şekil 5'den de görüldüğü üzere yaklaşık 130 günlük çalışma sonucunda ortalama TKOİ ve ÇKOİ giderim verimleri, sırasıyla, $\%56 \pm 15$ ve $\%40 \pm 13$ olarak bulunmuştur

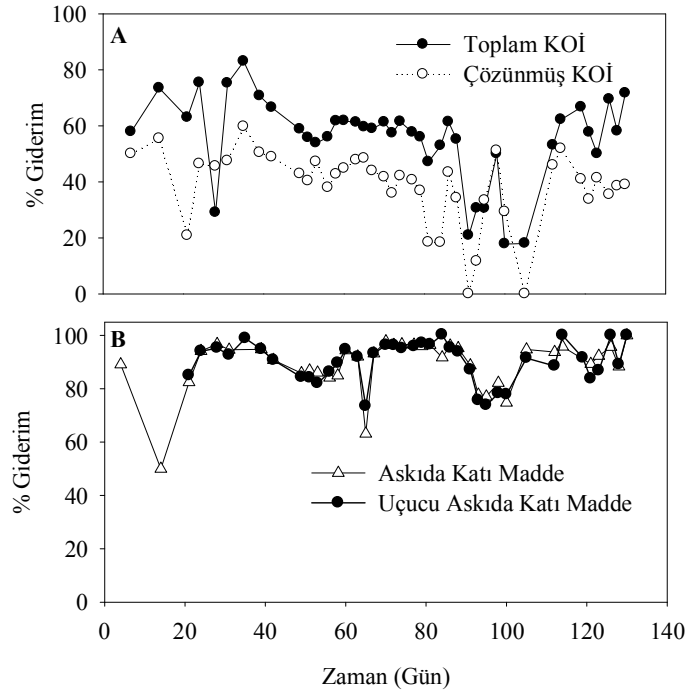
Tablo 1'de çalışma boyunca giriş ve çıkış suyu KOİ değerlerine ait ortalama sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlardan görüldüğü üzere, yapay sulak alan sistemleri stabilizasyon havuzu çıkış sularını iyileştirmede oldukça etkili olup, hem TKOİ hem de ÇKOİ değerleri Tablo 2'de verilen Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerinin altında kalmıştır.

Tablo 1. Yapay sulak alan sistemine ait ortalama performans verileri

Parametre	Giriş (mg l^{-1})			Çıkış (mg l^{-1})			% Giderim
	max.	min.	ort.	max.	min.	ort.	
Toplam KOİ	526.0	77.0	296±117	202.0	43.0	120±45	58±16
Çözünmüş KOİ	310.0	52.0	186±72	196.0	40.0	113±45	40±13
AKM	282.0	19.0	85±53	21.0	2.0	7±4	90±10
Uçucu AKM	244.0	8.0	84±48	20.0	3.0	8±4	90±7
Toplam Azot	15.0	4.0	8.2±3	7.0	1.0	3.4±1,8	57±22

Tablo 2. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre sınır değerler

Parametre	Birim	Kompozit numune 2 saatlik	Kompozit numune 24 saatlik
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) (çözünmüş)	(mg l^{-1})	75	50
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg l^{-1})	180	120
Askıda katı madde (AKM)	(mg l^{-1})	200	150
pH	-	6-9	6-9



Şekil 5. Toplam KOİ ve Çözünmüş KOİ giderim verimlerinin zamanla değişimi

Yapay sulak alan sisteminde askıda katı madde ve uçucu askıda giderim verimleri

Yapay sulak alan sisteminin giriş ve çıkışına ait askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonları Şekil 4'de verilmiştir. Görüldüğü üzere, giriş AKM ve UAKM konsantrasyonları sırasıyla 300 ve 250 mg l⁻¹ değerlerine kadar yükselmiş olsa da, çıkış AKM ve UAKM değerleri her zaman 20 mg l⁻¹ değerinin altında kalmıştır. Zamana bağlı AKM ve UAKM giderim verimleri ayrıca Şekil 5'de sunulmuştur. Tablo 1'de görüldüğü üzere, giriş AKM ve UAKM ortalama konsantrasyonları yaklaşık 85 mg l⁻¹ iken, çıkış suyunda ortalama AKM ve UAKM konsantrasyonları 7-8 mg l⁻¹ olup, ortalama giderim verimi %90 civarında seyretmiştir. Tablo 2'de Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne ait sınır değerler verilmiştir. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu değerleri, standartlarda verilen sınır değerlerini zaman zaman aşsa da, yapay sulak alan sisteminden çıkan suda AKM ve UAKM değerleri her zaman sınır değerlerin çok altında seyretmiştir. Sonuç olarak, yapay sulak alan sistemlerinin stabilizasyon havuzu çıkış sularının kalitesinin iyileştirilmesi için oldukça etkili bir yöntem olduğu sonuçlarla da gösterilmiştir.

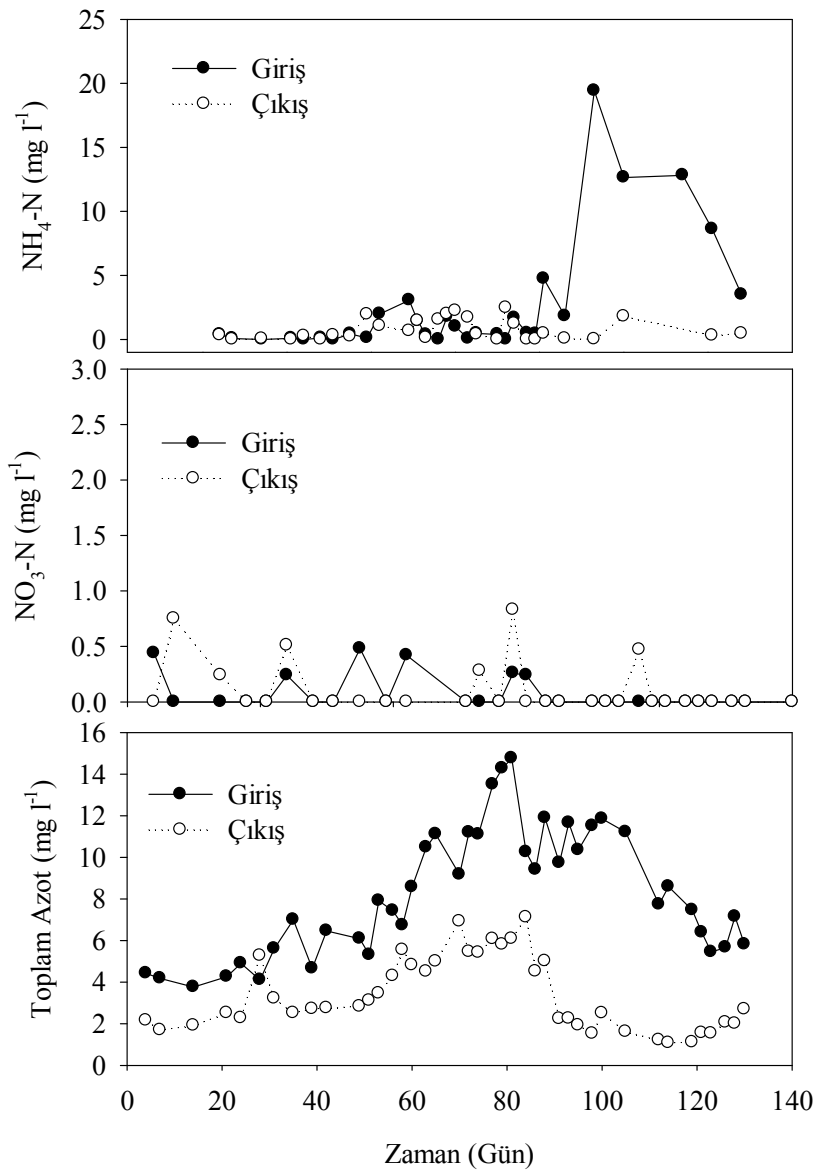
Yapay sulak alan sisteminde azot giderim verimleri

Şekil 6'de yapay sulak alan giriş ve çıkış suyuna ait amonyum, nitrat ve toplam azot konsantrasyonları sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere, 90. güne kadar yapay sulak sistemi giriş ve çıkışında amonyuma rastlanmamıştır. Bunun nedeni ise, Üniversitenin ekim ayına kadar kapalı olması nedeniyle stabilizasyon havuzuna çok az su gelmesi ve giren atıksudaki tüm azotun alg büyümesi amacıyla hücre içine alınmış olmasıdır. Araştırmanın 90. gününden sonra, stabilizasyon havuzuna atıksu verilmeye başlamış olup stabilizasyon havuzu çıkışında (yapay sulak alan sistemi girişi) 15 mg l⁻¹'nin üzerinde NH₄-N değerleri gözlenmiştir. Yapay sulak alan sistemine 90. günden sonra yüksek konsantrasyonlarda amonyum gelmesine rağmen, çıkış suyunda amonyum konsantrasyonu 2 mg l⁻¹'nin altında kalmış ve giderim verimleri %90'nın üzerinde kalmıştır. Yapay sulak alan sistemi giriş ve çıkışında önemli derecede nitrata rastlanmamıştır (Şekil 6).

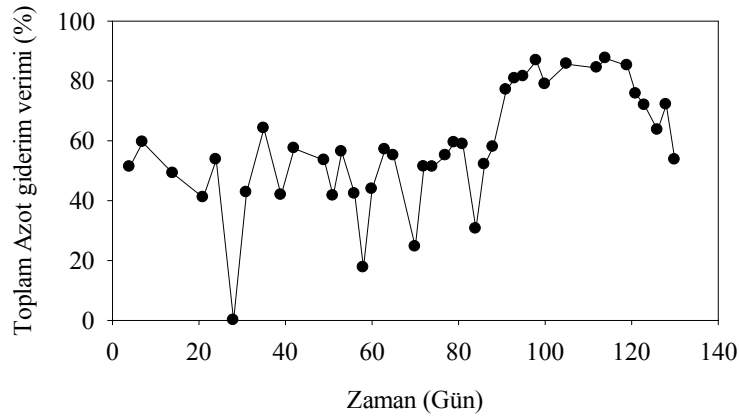
Stabilizasyon havuzu çıkışında ve dolayısıyla yapay sulak alan girişinde, toplam azot konsantrasyonu sürekli olarak artmıştır. Atıksuda 90. güne kadar amonyum ve nitrat konsantrasyonları çok düşük olduğundan;

toplam azotun önemli bir miktarı organik azottan oluşmaktadır. Ekim ayına kadar, stabilizasyon havuzu çıkışında organik azot konsantrasyonunun artma nedeni düşük atıksu debisi ve yüksek sıcaklık nedeniyle alglerin içsel solunuma girmesi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. İçsel solunum nedeniyle organik azota benzer olarak TKOİ değeri de (Şekil 4) zamanla artmıştır. Ekim ayından sonra stabilizasyon havuzuna gelen atıksu debisinin artmasıyla alg konsantrasyonun seyrelmesi ve düşen sıcaklık nedeniyle hem alg üreme hem de içsel solunum hızlarının düşmesi

nedeniyle stabilizasyon havuzu çıkış suyunda organik azot konsantrasyonları düşmeye başlamıştır. Toplam azot konsantrasyonlarının 15 mg l^{-1} 'ye ulaşmasına rağmen yapay sulak alan sistemlerinde önemli derecede toplam azot giderimi gözlenmiş olup sistemin ortalama performansı Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü üzere, yapay sulak alan sisteminde toplam azot konsantrasyonu her zaman 7.0 mg l^{-1} değerinin altında kalmış olup, ortalama toplam azot giderim verimi $\%57 \pm 22$ 'dir. Ayrıca, zamana bağlı olarak toplam azot giderim verimleri Şekil 7'da verilmiştir.



Şekil 6. Stabilizasyon havuzu çıkış suyu ile beslenen pilot ölçekli yapay sulak alan giriş ve çıkışında amonyum, nitrat ve toplam azot konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 7. Yapay sulak alan sisteminde toplam azot giderim veriminin zamana bağlı değişimi

SONUÇLAR

Özellikle sıcak iklimlerde düşük nüfuslu yerleşim yerlerinde evsel atıksu arıtımı amacıyla yaygın olarak kullanılan stabilizasyon havuzlarının en önemli problemi, alg üremesi nedeniyle çıkışta yüksek AKM ve KOİ konsantrasyonudur. Stabilizasyon havuzu çıkış suları kimi zaman deşarj standartlarının üzerinde kalmakta ve sulama amaçlı uygun sular olmamaktadır. Stabilizasyon havuzu çıkış sularının iyileştirilmesi amacıyla yine işletimi kolay bir sistem olan yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alan sistemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, Harran Üniversitesi Kampüsü'nde bulunan stabilizasyon havuzu çıkış suları pilot ölçekli yapay sulak alan sistemine beslenmiş ve performansı irdelenmiştir. Yapılan çalışmada, yapay sulak alan sistemlerinin stabilizasyon havuzu çıkış sularından %90 üzerinde AKM, %60'a varan TKOİ, %40'ın üzerinde ÇKOİ ve %60'a varan toplam azot giderebildiği saptanmıştır. Yapay sulak alan sistem çıkışı, deşarj limit değerlerinin çok altında kalmış olup stabilizasyon havuzu çıkış sularının iyileştirilmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 110Y014 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

EPA, 2000. Guiding Principles for Constructed Wetlands. EPA 843-B-00-003, Washington. D. C.

Kaya, D., Dilek, B.F., Gökçay, F.C., 2007.

Reuse of lagoon effluents in agriculture by post-treatment in a step feed dual treatment process. *Desalination*, Volume 215, Issues 1-3, 5, Pages 29-36.

Kimwaga, R.J., Mashauri, D.A., Mbwette, T.S.A., Katima, J.H.Y., Jørgensen, S.E., 2004. Use of coupled dynamic roughing filters and subsurface horizontal flow constructed wetland system as appropriate technology for upgrading waste stabilisation ponds effluents in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Volume 29, Issues 15-18, Pages 1243-1251.

Naz, M., Uyanik, S., Yesilnacar, M. I., Sahinkaya E., 2009. Side-by-side comparison of horizontal subsurface flow and free water surface flow constructed wetlands and artificial neural network (ANN) modelling approach. *Ecological Engineering*, Volume 35, Issue 8, Pages 1255-1263.

Reed, S., Middlebrooks, E. and Crites, R., 1995. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, McGraw Hill.

Torrens, A., Molle, P., Boutin C., Salgot, M., 2009. Impact of design and operation variables on the performance of vertical-flow constructed wetlands and intermittent sand filters treating pond effluent. *Water Research*, Volume 43, Issue 7, Pages 1851-1858.