



KARABÜK ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS ATIKSULARININ “PHRAGMITES AUSTRALIS” VE “ALOE VERA”BITKİLERİ İLE YAPAY SULAK ALANLARDA ARITIMI

¹Ertuğrul ESMERAY , ²Özlem ARMUTCU

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Karabük, TÜRKİYE
¹eesmeray@karabuk.edu.tr, ²ozlemarmutcu@hotmail.com

(Geliş/Received: 10.09.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 26.12.2019)

ÖZ: Hızla nüfusu artan dünyamızda, mevcut kaynakların yanlış kullanılması, çevre bilincin tam gelişmemesi ve iklim değişikliğinin etkileri ile su kirliliğini önemli seviyelere taşımış ve temiz suya ulaşımı oldukça zorlaştırmıştır. Bunun sonucunda, günümüzde dünya nüfusunun önemli bir bölümü temiz ve güvenilir suya ulaşamamaktadır. İnsan ve çevre sağlığı açısından, problemin çözümü amacıyla, atık suların arıtımı ve yeniden kullanımı önemli hale gelmiştir. Atık suların arıtılıp yeniden kullanımı için birçok teknolojik yöntem geliştirilmiş olsa da bu yöntemlerin kurulumunun, bakım-onarımının pahalı olması nedeniyle uygulanabilirlikleri oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle, teknolojik ve pahalı arıtma yöntemlerine göre daha ucuz ve işletilmesi kolay olan alternatif arıtma yöntemleri tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada, Karabük Üniversitesi kampüs atık sularındaki bazı kirleticilerin, “Phragmites Australis” ve “Aloe” ile ekilmiş laboratuvar ölçekli yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alanlar sistemi kullanılarak arıtılması incelenmiştir. Bu sistem, mevcut pahalı arıtma sistemlerine kıyasla, daha az insan gücü ve daha az maliyet gerektirmektedir. İlave olarak sistem iki farklı bitki için, farklı hidrolik yüklemelerde de test edilmiştir. İki farklı bitkinin arıtma verimi incelenmesi için plywood malzemenin, genişliği 30 cm, uzunluğu 120 cm, yüksekliği 50 cm olan iki eş bölmeden oluşan bir sistem tasarlanmıştır. Kurulan sistemde iki bitkinin farklı hidrolik yüklemelerle arıtma verimi test edilmiştir. *Phragmites Australis* bitkisinden alınan numunelerden elde edilen giderim verimleri: BOİ, mg/L %65- %90, KOİ, mg/L %48- %69, Fosfor mg PO₄-P/L %61- %75, Amonyak Azotu mg/L %70-%90, AKM mg/L %70 - %85’dir. *AloeVera* bitkisinden alınan numunelerden elde edilen giderim verimleri: BOİ mg/L %88- %92, KOİ mg/L %18- %56, Fosfor mg PO₄-P/L %44- %62, Amonyak Azotu mg/L %88-%91, AKM mg/L %85- %90’dir. Özet olarak, sistemimizin kirletici arıtma verimleri yaklaşık, BOİ için%92, KOİ için%69, AKM için%90, Amonyak Azotu için%90 ve Fosfor için%75 civarında olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aloevera, Doğal Arıtım, *Phragmitesaustralis*, Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulak Alan

Treatment of Karabük University Campus Wastewater Using Constructed Wetland Planted with “Phragmites Australis” and “Aloevera”

ABSTRACT: In our rapidly growing world, the misuse of available resources, the inability to develop environmental consciousness and the effects of climate change have brought water pollution to a significant level and access to clean and safe drinking water has become very difficult. As a result, a significant portion of the world's population cannot easily access clean and safe water today. Inorder to solve this problem, the treatment and reuse of waste waters has become important for human and environmental health. Although many technological methods have been developed for the treatment and reuse of waste water, their applicability is very difficult due to the expensive installation and maintenance

of these methods. Therefore, alternative treatment methods which are cheaper and easier to operate than technological and expensive treatment methods have started to be preferred.

In this study, the treatment of some pollutants in Karabük University campus waste water using a laboratory scaled sub-surface horizontal flow system of constructed wetland (CW) planted with *Phragmites Australis* and *AloeVera* was investigated. This system, as an alternative to existing expensive treatment systems, requires less man power and costs less. A system consisting of two co-compartments with width of 30 cm, length of 120 cm and height of 50 cm was designed for examining the purification yield of two different plants. Also the system has been tested with different hydraulic loads for two different plants. Removal efficiencies from samples obtained from *Phragmitesaustralis* (1st and 2nd hydraulic loads): BOD, mg /L 65%- 90%, COD, mg/L 48%- 69%, Phosphorus mg PO₄-P / L 61% - 75%, Ammonia Nitrogen mg/L 70% - 90%, AKM mg/L 70% - 85%. Removal efficiencies from *AloeVera* samples: BOD mg / L 88% - 92%, COD mg/L 18% - 56%, Phosphorus mg PO₄-P / L 44% - 62%, Ammonia Nitrogen mg / L 88% - 91%, AKM mg / L 85% - 90 in summary, the pollutant treatment efficiencies of our system were approximately, 92% for BOD, 69% for COD, 90% for AKM, 90% for ammonia nitrogen and 75% for phosphorus.

Key Words: *AloeVera*, Natural Treatment, *Phragmitesaustralis*, Subsurface Flow Constructed Wetland

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su insanlar ve diğer tüm canlı türleri için vazgeçilmez bir kaynaktır. Dünyanın büyük bir kısmı suların oluşması dahi kullanılabilir tatlı su miktarı tuzlu su miktarına göre oldukça azdır. Her geçen yıl gelişen ve nüfusu hızla artan dünyanın kullanılabilir temiz su ihtiyacı da artmaktadır. İhtiyacın artması, kaynakların yanlış kullanılması ve sürdürülebilir bilincin olmaması, var olan suyun bilinçsizce kullanılmasına ve kirletilmesine sebep olmaktadır. Su kirliliğine sebep olan birden çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin temelinde beşeri faaliyetler doğrudan rol almaktadır. Su sıkıntısının yoğun olarak yaşandığı yerler incelendiğinde kişilerin eğitim durumunun düşüklüğü, sosyoekonomik yapı, iç ve dış göçlerden kaynaklı nüfus dağılım bozukluğu, iklim değişikliği tarımsal ve sanayi kaynaklı faaliyetler görülmektedir. İnsan kaynaklı faaliyetlerin artması sanayi devrimi ile önemli bir boyut kazanmıştır. Sanayi devrimi öncesinde sadece tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan su kirliliği artık endüstriyel faaliyetlerle birlikte anılmaktadır. Endüstrinin gelişmesiyle çevre sorunları artış göstermiştir. Bu sorunların en temel kaynağı iklim değişikliğidir. İklim değişikliğine bağlı olarak yağış rejimlerinin değişmesi yüzeysel sulardaki debi değişimini etkilemektedir. Bu değişiklik hidrolojik döngünün bozulmasına ve su kirliliğine neden olmaktadır. Kirlenen suların arıtıma tabii tutulmadan bir arazi ya da deniz, göl, akarsu gibi alıcı ortamlara verilmesi toprak kirliliğine, yeraltı suları ve yerüstü sularının kirlenmesine sebep olmaktadır. İnsan ve çevre sağlığı için bu suların arıtımı ve yeniden kullanımı önemli hale gelmiştir. Kirli suların arıtımında kirliliğe sebep olan faktörler arıtım tekniğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Atık suların arıtılıp yeniden kullanımı için birçok teknolojik yöntem geliştirilmiş olsa da bu yöntemlerin kurulumunun, bakım-onarımının pahalı olması nedeniyle kaynak bulmakta zorlanan bölgelerde uygulanabilirliği zorlaşmaktadır. Bu nedenle teknolojik arıtma yöntemlerine nispeten daha ucuz ve işletilmesi kolay alternatif arıtma yöntemlerine yönelim gösterilmiştir. Herhangi bir arıtıma tabii tutulmadan alıcı ortama deşarj edilen atık suların yolculuğu doğal sulak alanlardan geçmektedir. Bu süreçte atık su içerisinde bulunan organik- inorganik, toksik maddeler, hastalık yapıcı mikroorganizmalar ve ağır metaller gibi kirleticilerin büyük oranda arıtıldığı görülmektedir. Doğal sulak alanlarda ilerlerken hızı azalan atık suyun içerisindeki askıda katı maddeler, organik- inorganik maddeler, sucul ortamda yaşayan bitkiler tarafından tutularak bu kirleticilerin giderimi sağlanmaktadır. Bazı mikroorganizmalar için uygun gelişme ve çoğalma alanı sağlayan sulak alanlardaki suyun sahip olduğu kirlilik yapıcı maddeler mikroorganizmalarca zararsız hale dönüştürülmektedir. Zamanla doğanın bu arıtma yöntemine benzer stabilizasyon havuzları, arazide arıtım, yeraltına sızdırma, buharlaştırma havuzları, doğal sulak alanlar ve yapay sulak alanlar gibi doğal arıtma yöntemleri geliştirilmiştir. Doğal arıtma

yöntemlerinden yaygın kullanım alanına sahip olan yapay sulak alanları doğal sulak alanlardan ayıran tek fark, yapay sulak alanlar kontrol altında tutulduğu için genellikle kararlı bir akım söz konusudur ve sistem ekolojisi BOİ, TAKM gibi atık su bileşenlerinden daha çok etkilenebilir. Doğal sulak alanlarda ise akım genellikle mevsimsel değişimlere daha duyarlı ve değişkendir (Çiftçi ve diğ., 2007). Su seviyesinin ve akımın kontrol altında tutulması arıtma performansını da arttırılabilir. Bu sistemler sadece evsel atık su arıtımında kullanılmakla kalmayıp; aynı zamanda, ön arıtmadan geçirilmiş olan endüstriyel atık sularda ve çöp sızıntı sularında da kullanılabilir bir yöntemdir. (Ayazve diğ., 2011). Yapay sulak alanlar opsiyonel olarak kullanıma uygun sistemlerdir ve akış özelliklerine göre serbest yüzey akışlı ve yüzey altı akışlı sistemler olarak incelenmektedir.

Serbest yüzey akışlı sistemlerde atık su arıtımı köklü bitkiler kullanılarak çakıl, kum gibi gözenekli dolgu malzemelerinin olduğu tabanı sızdırmaz bir yatak veya kanaldan geçirilerek arıtımı sağlanır. Bu sistemlerde su seviyesi dolgu malzemelerinin üstündedir. Doğal sulak alanlara oldukça benzeyen bu sistemler estetik görünümü ile de dikkat çekmekte ve bünyesinde canlı yaşamına da olanak sağlamaktadır. Serbest yüzey akışlı sistemlerde yüzeye yakın olan bölgede aerobik arıtım, derinliklerde ise anaerobik arıtım gerçekleşmektedir. Serbest yüzey akışlı atık su arıtma sistemlerinde köklü bitkiler, yüzücü bitkiler ve batık bitkiler kullanılmaktadır. Bu tür dizayn edilen sistemlerde genel olarak *Lemnaspp.* (su mercimeği), *Eichornia Crassipes* (su sümbülü) ve *Moringaspp* gibi bitkiler kullanılmaktadır. (Özen, 2006). Düşük yatırım ve kurulum maliyetinin yanı sıra işletme, bakım ve onarımı da kolaydır.

Yüzey altı akışlı sistemlerde ise, atık su içerisinde ekili sucül bitkilerin ve filtre malzemelerinin bulunduğu, kil veya sentetik malzemelerle tabanın geçirimsizliği sağlanmış olan havuz veya yataktan geçirilerek arıtım sağlanmaktadır. Dolgu malzemesi olarak köklü bitkilerin tutunmasını sağlayan ve gözenekli yapıya sahip olan kum, çakıl gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde su seviyesi dolgu malzemelerinin altında olduğu için atmosfer ile temas etmemektedir bu nedenle anaerobik koşullar mevcuttur. Su akışı sağlanan taban eğimi (<0,5) ile gerçekleşir. (Temel, 2016). Aerobik koşulların sağlanması için tek oksijen kaynağı olan bitki köklerinin sistemin derinliklerine ulaşması gerekmektedir. Bu sistemlerde atık su arıtımı filtrasyon, çökeltme ve mikrobiyolojik faaliyetlerle sağlanmaktadır. Alg miktarını da önemli ölçüde azaltırlar. Yatay yüzey akışlı sistemlerde suyun dolgu yüzeyine çıkmaması ve ekilen bitkiler sayesinde soğuk hava şartları görülmesi durumunda suyun donması engellenmiş olur. Serbest yüzey akımlı yapay sulak alanlarda da olduğu gibi bu sistemlerin ilk yatırım ve kurulum maliyetinin düşük olmasıyla birlikte işletilmesi, bakımı ve onarımı teknolojik arıtma sistemlerine kıyasla daha kolaydır.

Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar atık suyun akışına göre yatay ve düşey olmak üzere iki tipte incelenmektedir. Yatay akışlı yapay sulak alanlarda girişten verilen atık su gözenekli dolgu malzemesi boyunca yatay bir yol izleyerek çıkış bölgesine ulaşır. Atık su bu yolculuğu sırasında bitki köklerinin etrafında aerobik, diğer bölgelerde anaerobik ve anoksik koşullara maruz kalmaktadır. Atık suyun temas ettiği gözenekli dolgu malzemeleri bakterilerin çoğalması için daha fazla yüzey alanı sağladığı için organik yük miktarı arttırılabilir. Düşey akımlı yapay sulak alanlar da çakıl, kum gibi gözenekli dolgu malzemelerinden ve bitki örtüsünden oluşmaktadır. Atık su sisteme üstten verilir ve kademeli olarak tabandan çıkış borusundan deşarj edilir. Yatay akışlı sistemlere kıyasla oksijen transferi fazla ve daha etkili BOİ, KOİ ve kirlilik giderimi sağlanır (ORSAM, 2011).

Yapay sulak alanların avantajları incelendiğinde diğer arıtma teknolojilerine göre kurulum, bakım-onarım, işçilik maliyeti daha az ve kolay olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra doğadan ilham alınarak tasarlanan bu sistemler kendini yenileyebilir potansiyele sahip oldukları için enerji ihtiyacı daha az ya da hiç yoktur. Teknolojik tesislerle mukayese edildiğinde yapay sulak alanlar sistem içerisinde az hacimli çamur barındırmaktadır. Ayrıca atık su sisteme girmeden önce uygun anaerobik ön arıtma uygulamasından geçirilmesi sistemin organik madde yükünü ve arazi ihtiyacını azaltarak inşaat maliyetinde %36 - %40 kar elde edilebilir (Alvarez, 2008). Bu sistemlerde bitki türü ve atık suyun akış şekli farklı farklı olsa bile genel olarak; %80-99 BOİ, KOİ ve bakteri giderimi, %92-95 AKM, %30-80 toplam azot ve %20-70 toplam fosfor, giderimi elde edilmektedir (ORSAM, 2011). Estetik ve görsellik açısından incelendiğinde ise doğayla uyumlu bir yapıdır. Yapay sulak alanlar atık suların arıtımını sağlarken

ekolojik çeşitliliğin de artmasına olanak sağlamaktadır. Sistem içerisinde yetiştirilen bitkiler atık sudan aldıkları besin maddeleri sayesinde gelişecek ve hasat edilerek çeşitli amaçlarla kullanılacaktır. Yapay sulak alanlar sürdürülebilirliği yüksek, su kaynaklarını korumaya yönelik ucuz sistemlerdir. Her sistemde olduğu gibi yapay sulak alanlarında dezavantajları mevcuttur. Diğer arıtma teknolojileri ile kıyaslandığında daha geniş kurulum alanlarına ihtiyaç duyar ve kirletici konsantrasyonu yüksek atık sularda istenilen verimi sağlayamayabilir. Ayrıca giriş dağıtım boruları ve çıkış drenaj borularında ve filtre yatağında tıkanmalar olabilir. Tabanda sızdırmazlık için kullanılan kil tabakası yeterince sıkıştırılmadığından çoğu zaman şevlerden sızan atık su bulunduğu araziye yayılmakta ve en yakındaki su kaynağını kirletmektedir(Gökalp, 2015).Bitkilerin adaptasyonu ve sistemin optimum seviyede çalışması için uzun bir süreç gerekebilir. Arıtma veriminde mevsimsel değişikliklere göre farklılıklar gözlemlenebilmektedir.

Doğal sulak alanlar ve doğal arıtım yöntemleri gibi alternatif arıtım yöntemleri hakkında ülkemizde ve birçok Avrupa ülkesinde çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

(Angin ve diğ.,2010) yaptıkları çalışmada, soğuk iklim koşullarının hakim olduğu bölgelerdeki yapay sulak alanların arıtma verimini arttırmak için yapılabilecek değişiklikleri incelemişler ve bunun sonucunda, sisteme giren enerjinin, kayıp enerjiyi dengeleyebilmesi için kaybolan enerji değerinin azaltılması gerektiğini göstermişler ve kaybolan enerji değerini azaltmak için temel tasarım stratejileri belirlemişlerdir. Bu stratejilerle karlı ve donlu bölgelerde sistemin arıtma performansının istenilen oranlara çıkarılabileceğini göstermişlerdir. Dağlı, ise evsel atık suda bulunan ve alıcı ortamda ötrofikasyona yol açan fosforun yapay sulak alanlarda giderimini incelemiş, giderim verimine etki eden faktörleri araştırmıştır. Yapmış olduğu pilot ölçekli deneylerde, atık suda artan fosfor konsantrasyonunun, bitki tarafından atmosfere salınan uçucu organik madde miktarını arttırdığını göstermiştir. Bu sonuçlara göre toprak, cüruf ve kum gerek TP tutma kabiliyeti gerekse kolay ve ucuz bulunabilirliği sebebiyle fosfor gideriminde kullanılacak malzemeler olarak değerlendirmiştir. Demirörs, Çukurova Bölgesinde kırsal alanda yapay sulak alanların evsel atık suları arıtmadaki performansını incelemek için Yeniyayla Köyündeki yapay sulak alanın on haftalık dönem boyunca arıtma performansını izlemiştir. Giriş ve çıkış suyu için BOİ, KOİ, AKM, pH ve EC analizlerine bakıldığında sulak alanın BOİ, KOİ ve AKM giderim verimlerinin %90 civarında olduğunu ancak dönem dönem KOİ giderim performansının %70'in altına düşmesinden dolayı KOİ giderimi deşarj standartlarının üzerinde kaldığı gözlemlenmiştir. Sulak alana atık su foseptikten geldiği için oldukça düşük AKM değerine sahip olduğu için AKM giderim verimi çalışma süresince standartları sağlamıştır.(Hecan ve diğ.2010), yatay yüzey altı akışlı sistem (Y-YAAS) ve düşey yüzey altı akışlı sistem (D-YAAS) olmak üzere iki kademeli bir yapay sulak alan sistemi kurmuşlardır. Sistem anaerobik ön arıtmadan geçirilmiş evsel atık suyun geri devir uygulanmadan 612 L/m².gün hidrolik yükleme hızı (HYH) ile işletildiğinde TN (toplam azot) giderimi ortalama %25 iken, %50 geri devirli işletme döneminde %30, %100 geri devirli dönemde ise %55 TN giderimi sağlamıştır. 612 L/m².gün HYH ile %100 geri devirli işletme döneminde sistem çıkışında ortalama 19 (19±3) mg/L TN deşarj konsantrasyonu, 12 (12±8) mg/L KOİ deşarj konsantrasyonu elde etmiştir. Sevi, Bursa İli Harmançık İlçesinde kurulan dip akışlı yapay sulak alan sisteminde; farklı tane büyüklüklerine sahip yatak malzemeleri ile sızdırmazlık sağlanmış ve yataklarda yetiştirilen *TyphaLatifolia* sulak alan bitkisi ile evsel nitelikli atık suların arıtımını amaçlamıştır. Dip akışlı yapay sulak alan sisteminin üniteleri için detaylı metraj hesaplamaları yapmış ve çalışma sonunda projelendirilen sistemle yasal atık su deşarj standartlarını teorik olarak sağlamıştır. Temel, 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 kapsayan bir araştırma yapmıştır. Bu araştırmasının sonuçları göstermiştir ki YSA artan uygulamalarıyla özel karakteristiğe sahip pek çok endüstriyel atık su türünün hatta karışık endüstriyel atık suların arıtımında başarılı bir şekilde kullanılabilir alternatif bir teknolojidir. Yapılan bu araştırmanın sonucunda ortaya çıkan arıtma sistemi ile ülkemiz gibi özellikle ılıman iklim kuşağındaki ülkelerde kendi atık suyunu arıtmak isteyen endüstri kuruluşlarında uygulanması mümkün görünmektedir.

(Stottmeister ve diğ., 2003), Bitkilerin, oksijenin kök bölgeye girmesine, besinlerin alımına ve kirleticilerin doğrudan parçalanmasına ve mikroorganizmaların rolüne katılımları ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri veriler doğrultusunda atık su arıtımını için etkili yapmanın yollarını: Teknolojik yönler, Kök büyümesinin toprak matrisi üzerine etkisi, Helophitlerde gaz taşınımı ve rizosferde oksijen salınımı, Bitkilerde inorganik bileşiklerin alımı, Organik kirleticilerin bitkiler tarafından alınmaları ve metabolizmaları, Karbon bileşiklerinin bitkilerden salınması, Patojenik mikropların yok edilmesini etkileyen faktörler olarak sıralamışlardır. (Al-Isawi ve diğ., 2017), Evsel atık su arıtımının dikey olgun sulak alanlar ve yapay göletlerle karşılaştırmak için paralel olarak iki arıtma sistemi (olgun dikey akışlı sulak alanlar ve yeni kurulan göletler) çalıştırmışlar ve olgunlaşmış dikey akışlı sulak alanların evsel atık sular için başarılı bir arıtma seçeneği olduğu kanıtlamıştır. Beş yıllık bir sulak alan gözlemlerinin sonuçları, olgun sistemlerin zamanla KOİ, BOİ, NH₄ - N ve AKM için çıkış suyu kalitesini büyük ölçüde iyileştirdiğini görülmüştür. Yüksek yükleme oranına sahip sulak alanlar, diğer sulak alan tasarımlarına kıyasla zaman içinde KOİ, BOİ ve AKM'nin azaltılmasında önemli (p < 0.05) bir iyileşme sağlamıştır. Sulak alanlar ve göletler karşılaştırıldığında, KOİ ve AKM giderimleri olgun sulak alanlarda göletlere göre daha yüksektir (p < 0.05). BOİ gideriminin de yüksek ve düşük temas süresine sahip sulak alanların göletlerden daha verimli olduğunu göstermiştir. (Wang ve diğ., 2018) *Canna indica* veya *Thalassia testudinum* ile vejetasyona tabi tutulan yatay yüzey altı akışı ve dikey akış birimlerinden oluşan dokuz adet tek aşamalı sulak alanlarda 33 ay boyunca Güney Çin'deki evsel atık su arıtma kapasitelerini ve arıtımı etkileyen faktörleri değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak bu sistemlerin, besin ve organik maddeleri büyük oranda giderme kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiş ve TP, NH₄-N ve KOİ yükünün dikey akışlı sulak alanlarda daha yüksek giderim sağlanmışlardır. TN ise yatay yüzey altı akışlı sulak alanlarda giderim verimi daha yüksektir çıkmıştır. Akış tipinin, giderilen kirlilik yükü üzerinde maksimum etkiye, sıcaklık ve bitki örtüsünün ise minimum etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir.

MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Teknolojik arıtma sistemlerine alternatif olarak daha az insan gücü gerektiren, düşük maliyetli yüzey altı akışlı yapay sulak alanların, "*Aloevera*" ve "*Phragmites australis*" bitkileri kullanılarak, Karabük Üniversitesi kampüs atık sularının arıtma verimini incelemek için bir pilot çalışma yapılmıştır. Yapılan yapay sulak alan pilot çalışmasında yatay akışlı sistem tercih edilmiştir. Yatay akışlı yapay sulak alan tipi tercih edilmesindeki ana unsur sinek oluşumunun gözlemlenmemesi ve koku probleminin yok denecek kadar az olmasıdır. Sistemin güvenli bir şekilde korunabilmesi ve kolaylıkla gözetilebilmesi için Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin Çevre Mühendisliği laboratuvarına kurulmasına karar verilmiştir. Daha sonra kurulması planlanan yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alanın tasarım parametreleri belirlenmiş ve sistem boyutlandırılmıştır. Sistem, iki farklı bitkinin arıtma verimi inceleneceği için genişliği 30 cm, uzunluğu 120 cm, yüksekliği 50 cm olan iki eş bölmeli olarak tasarlanmıştır. Havuz oluşturmak için cam, mika, metal sac, ahşap gibi malzemeler içerisinde sistem için en az maliyetli olan ahşap seçilmiş ve çeşit olarak maliyetinin uygun olması, dayanıklılığı ve taşınım noktasında diğer malzemelere göre nispeten daha kolay olan plywood seçilmiştir. Gerekli ekipmanların sağlandıktan sonra sistem balkona kurulmuştur. Şekil 1'de görüldüğü gibi yatak bölümleri arasında ve dışarıya olası sızmaların önüne geçilmesi için havuz içi suya dayanıklı genel amaçlı silikon ile izole edilmiş ve silikonun kurumasının ardından naylon branda ile kaplanarak sabitlenmiştir. Bölmelerin giriş-çıkış kanalları birbirlerinden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Yatağın giriş kısmında atık suyu yatağa vermek için 30 litrelik bir hazne kullanılmıştır. Hazne ve yatak arasındaki bağlantı 2 cm çapında borularla sağlanmış ve bu bağlantı yerlerine iki bölme içinde ayrı olmak üzere vana takılmıştır. Bölmelerin giriş-çıkış kanalları birbirlerinden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Yatağın giriş kısmında atık suyu yatağa vermek için 30 litrelik bir hazne kullanılmıştır. Hazne ve yatak arasındaki bağlantı 2 cm çapında borularla sağlanmış ve bu bağlantı yerlerine iki bölme içinde ayrı olmak üzere vana takılmıştır.



Şekil 1. Yatay akışlı atık su arıtma hazneleri yalıtım öncesi ve sonrası
Figure 1. Horizontal flowwaste water treatment tanks before and after insulation

Arıtılmış atık suyun yataktan deşarjını sağlamak amacıyla her bölme için ayrı vanalar kullanılmıştır. Yatağa yeterli eğimi sağlamak ve çalışma kolaylığı kazanmak için iskele kurularak yükselti oluşturulmuş ve iskelenin, yatak girişine gelen kısmına gerekli eğimi için yükselti sabitlenmiştir. Bölmeler arasında herhangi bir sızma veya bağlantı kalmaması ve iki farklı bitkinin arıtma veriminin güvenli bir şekilde incelenmesi için sistem dolgu malzemesi yerleştirilmeden önce test edilmiştir. Test sonucunda bağlantı noktalarında veya bölmeler arasında herhangi bir sızma gözlemlenmemiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi dolgu malzemesi olarak 50-80 mm iri çakıl ve 8-10 mm çakıl malzeme kullanılmıştır. Giriş ve çıkışlara 20 cm’ye kadar 50-80 mm iri çakıl geri kalan orta kısım ise 8-10 mm çakılla doldurulmuştur.



Şekil 2. Yatak dolgu malzemesi
Figure 2. Mattress filling material

Çalışmada kullanmak için *Phragmitesaustralis* ve *Aloevera* bitki türleri seçilmiştir. Su kamışı olarak bilinen *Phragmitesaustralis* bitki türleri nehir, göl gibi sucul ortamlarda yaşamaktadır. Bu bitki türleri büyüdüklerinde uzunlukları yaklaşık 5m’ye kadar ulaşır ve içleri boş yapıdadır (Chambers ve diğ., 1999). Ülkemiz iklim şartlarına uyum sağlayabilmiş ve yüksek arıtma verimine sahip olan bir bitki olması nedeniyle yatay akışlı yapay sulak alan pilot çalışmasında tercih edilen bitkilerden biri olmuştur. İkinci

bitki olarak dayanıklılığı ve her ortama ayak uydurabilen ve birçok kullanım alanına sahip *Aloevera* bitkisi seçilmiştir. *Phragmitesaustralis* ve *Aloevera* bitki türlerinin kök yapıları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. *Aloevera*(sol) ve *Phragmitesaustralis*(sağ) kök yapısı(Baldantoni, 2009)

Figure 3. *Aloevera*(left) and *Phragmitesaustralis*(right) root structure(Baldantoni, 2009)

Seçilen bitkilerin kök uzunlukları dikkate alınarak çakıl yükseklikleri *Aloevera* bitkisinin olduğu bölümde 20 cm, su kamışının olduğu bölümde 25 cm'dir. Altı adet orta boy *Aloevera* bitkisi ve *Phragmitesaustralis*(su kamışı)bitkisi 8-10 mm'lik çakılların olduğu diğer bölümlere ekilmiştir. Sistemin deneysel çalışmalara başlamadan önceki son hali Şekil 4 'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Ekilen bitkilerin görüntüsü

Figure 4. Image of planted plants

Azot çevre ve insan sağlığını doğrudan etkilediği ve ötrofikasyona sebep olduğu için atık sulardan giderimi oldukça önemli bir parametredir. Fosfor konsantrasyonu yüksek suların alıcı ortama direkt verilmesi ötrofikasyona neden olmaktadır. Kurulan yüzey altı yapay sulak alanda, çevre ve insan sağlığı için önemli oranda riskli kirleticiler olan Amonyak Azotu, BOİ, Fosfor, KOİ ve AKM parametreler arıtma verimini hesaplamak için incelenmiştir. Sisteme uyum sağlayabilmeleri için aloevera bitkileri çeşme suyu ile *Phragmitesaustralis* bitkisi ise temin edildikleri dere yatağının suyu ile birkaç hafta beslenmiştir.

Sistemin hidrolik bekleme süresi 8-12 gün olarak belirlenmiştir. Çalışma boyunca yapılan her analiz için iki bitki türünden de birer litre Amonyak azotu, AKM, BOİ, birer litre Fosfor ve KOİ ölçümü için numuneler alınmıştır. Fosfor ve KOİ analizi için alınan numunelerin pH 2'ye ayarlanmıştır.

Analizlerde, AKM analizi için SM 2540 D. 103-105 C'de kurutulmuş toplam askıda katılar metot, BOİ analizi için SM 5210 D. Respirometrik metodu, KOİ analizi için SM 5220 D. Kapalı Refluks Titrimetrik Metodu, Amonyak Azotu analizi için SM 4500-NH₃-F. Fenat metodu, Fosfor için SM 4500-P E. Askorbik Asit metodu kullanılmıştır. Analizlerde MERCK ve Sigma Aldrich marka kimyasallar kullanılmıştır.

Bitkilerin sisteme alışma sürecinden sonra Karabük Üniversitesi kampüs atık sularından alınan, *Phragmitesaustralis* bitkisine 30 litre, *Aloevera* bitkisine 20 litre yarı seyreltilmiş atık su verilmiştir. 9 günlük bekleme süresinden sonra arıtma verimini incelemek üzere *Phragmitesaustralis*(su kamışı) bitkisinden ve *Aloevera* bitkisinden alınan numunelerde analizler yaptırılmıştır. İkinci aşamada farklı hidrolik yükleme ve bekleme süresi denenmiş, *Phragmitesaustralis* bitkisi için 25 litre, *Aloevera* bitkisi için 15 litre alınan atık sular seyreltilmeden sisteme verilmiştir. 12 günlük bekleme süresinden sonra sistemden analizleri için tekrar numuneler alınmış (Şekil 5) ve ilgili analizler yaptırılmıştır.



Şekil 5. Sistemden alınan *Phragmitesaustralis* (sol) ve *Aloevera* (sağ) numuneleri.

Figure 5. *Phragmitesaustralis* (left) and *Aloevera* (right) samples taken from CW

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

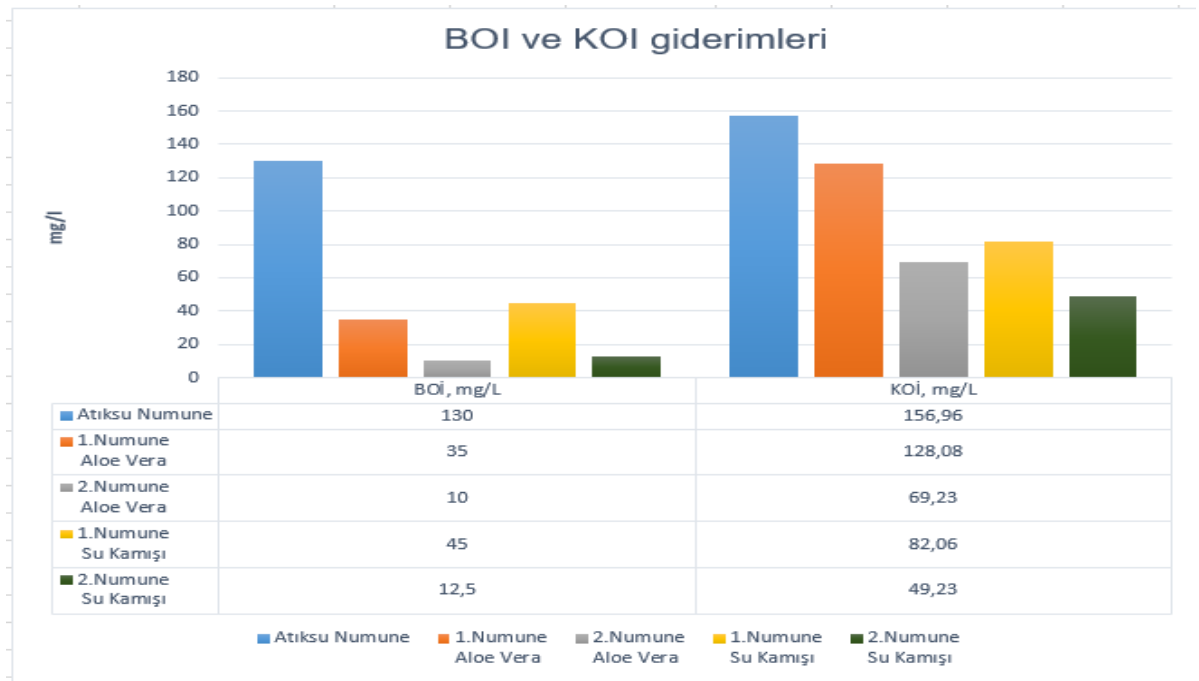
Yapay sulak alan pilot sistemi, bitkilerin birkaç haftalık adaptasyon sürecinden sonra bitkiler Karabük iklim şartlarına uyum sağlayabilmiş ve gelişmeleriyle ilgili herhangi bir problem yaşanmamıştır. Şekil 6'de görüldüğü gibi büyüyen ve ortama uyum sağlayan bitkiler sayesinde deney sistemi kararlı bir şekilde çalışmaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6. Ekilen bitkilerin bölge koşullarına uyumu ve olgunlaşması

Figure 6. Adaptation of planted plants to regional conditions and maturation

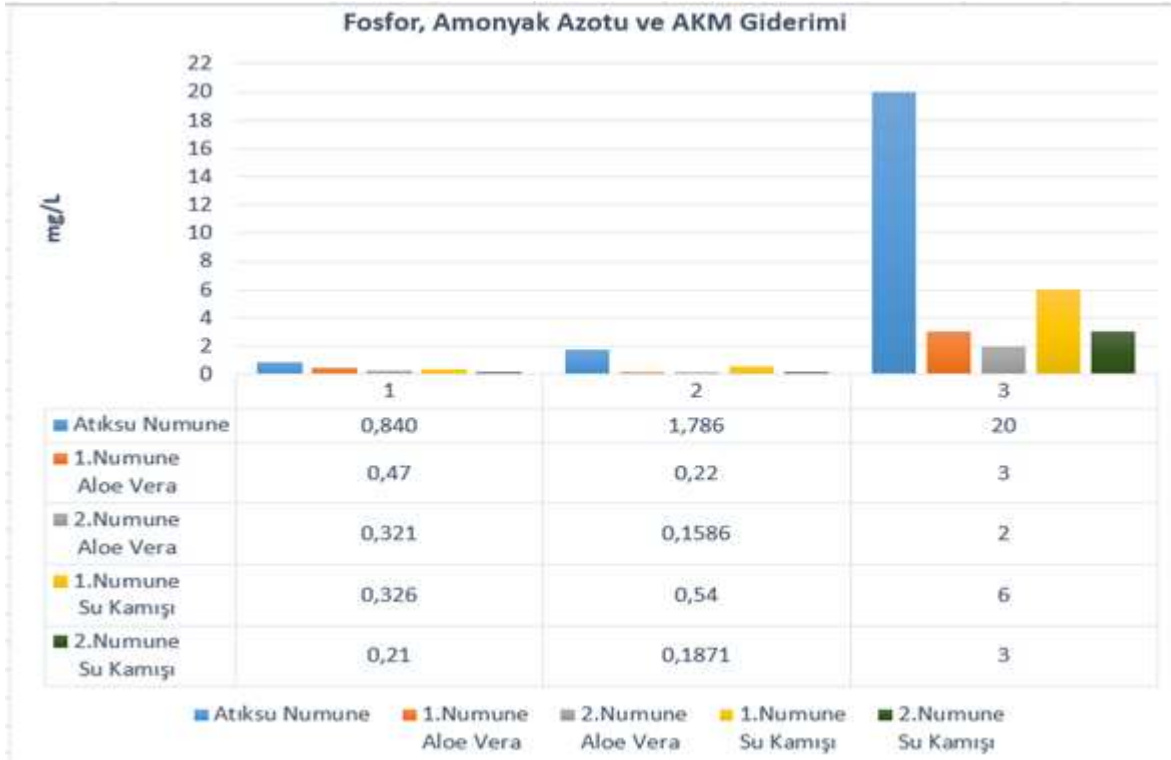
Sistem Karabük Üniversitesinin tüm kampüs atık sularının maksimum oranda karıştığı rögardan alınan atık su ile beslenmiş ve ekilen iki farklı bitkinin farklı hidrolik yüklerdeki Amonyak Azotu, BOİ, Fosfor, KOİ ve AKM kirlilik parametrelerini giderme oranları hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre bitkilerin kirlilik giderim verimleri ayrı ayrı hesaplanmış ve örnek çalışmalarla karşılaştırılmıştır. *Phragmitesaustralis* bitkisi ekili bölümden alınan numunelerden elde edilen giderim verimleri: BOİ, mg/L %65- %90, KOİ, mg/L %48 -%69, Fosfor mg PO_4-P/L %61 - %75, Amonyak Azotu mg/L %70 -%90, AKM mg/L %70 - %85 olarak hesaplanmıştır. *Aloevera* bitkisi ekili bölümden alınan numunelerden elde edilen giderim verimleri: BOİ mg/L %88- %92, KOİ mg/L %18 - %56, Fosfor mg PO_4-P/L %44 - %62, Amonyak Azotu mg/L %88 -%91, AKM mg/L %85- %90 hesaplanmıştır. Alınan numunelerin analiz sonuçları ve kirlilik parametrelerinin giderim oranları Şekil7 ve 8 de gösterilmiş ve detaylı bir şekilde incelenmiştir.



Şekil 7. Ham atık su, *Aloevera* ve *Phragmitesaustralis* BOİ, KOİ analiz değerleri
Figure 7. Rawwastewater, *Aloevera* and *Phragmitesaustralis* BOD, COD analysis values

KOİ; Sistemden alınan iki numuneden elde edilen analiz sonuçlarına göre KOİ giderim verimi, *phragmitesaustralis* bitkisi için mg/L %48-%69, *aloevera* bitkisi için mg/L %18 - %56 olarak hesaplanmıştır. (Özen, 2006), Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüsü'ne kurmuş olduğu pilot ölçekli yapay sulak alanda yapmış olduğu çalışmada %71-99 KOİ giderim verimi hesaplamıştır. (Yetik, 2008), Sakarya Geyve Doğantepe köyünde evsel atık suyu arıtmak üzere yatay akışlı yapay sulak alan kurmuş ve *Typhalatifola L.* bitkisiyle çalışmıştır. Çalışma sonunda %75-91 KOİ giderimi elde etmiştir. Cop (2017) ise Konya İlinde bulunan 48 adet yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alanı yerinde incelemiş ve Çobankaya Atık su Arıtma Tesisi (AAT), Meydanlı AAT ve Zincirlikuyu AAT yapay sulak alanlarından elde ettiği KOİ arıtma verimi KOİ için %44 - %73'tür. (Calheiros ve diğ., 2007), tabaklama atık su alan yatay akışlı sulak alanlardaki *Phragmitesaustralis* ve *Typhalatifolia* bitki türlerinin kirlilik giderim verimi incelemişler ve %41-73 KOİ giderimi sağlamışlardır. (Fenxia ve Ying, 2009), küçük kırsal topluluklar için evsel atık suların arıtımında azot giderimini arttırmak için, üç kademeli yeni bir hibrit sulak alan konfigürasyonu, tasarlamışlar ve %85 KOİ giderimi hesaplamışlardır. Yapılan örnek çalışmalarla karşılaştırıldığında elden edilen KOİ giderim oranının biraz düşük olduğu görülmektedir.

BOİ; Alınan numunelerin analiz sonuçlarına göre *Phragmitesaustralis* bitkisiyle mg/L %65- %90, *Aloevera* bitkisiyle mg/L %88- %92 BOİ giderimi sağlanmıştır. (Calheiros ve diğ., 2007), çalışmalarında BOİ % 41-58 giderimi hesaplamıştır. Cop (2017) çalışmasında %56 - %83 BOİ giderim, Yetik ise % 90-93 BOİ giderim verimi elde etmiştir. İki farklı bitki ile yapılan çalışmada BOİ giderim veriminin yapılmış olan çalışmalarla hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. İki bitki arasında yapılan karşılaştırmada ekilen bitkilerin farklı olmasının BOİ giderimi üzerinde ciddi oranlarda etkili olmadığı kanaatine varılmıştır.

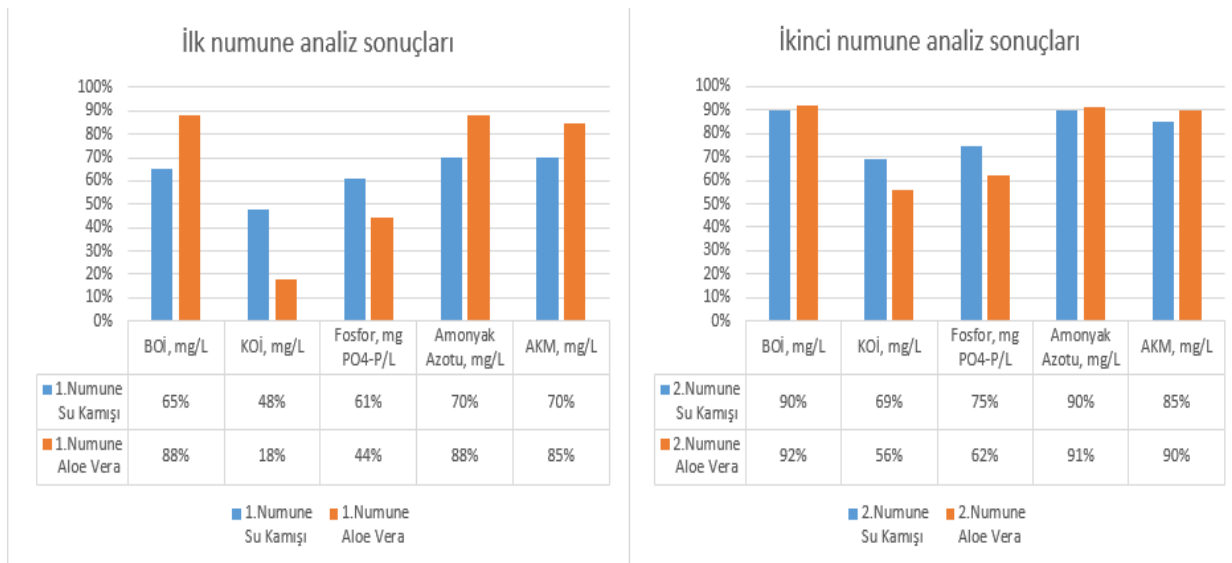


Şekil 8. Ham atık su, *Aloe vera* ve *Phragmites australis* Fosfor, Amonyak Azotu, AKM analiz değerleri
Figure 8. Raw wastewater, *Aloe vera* and *Phragmites australis* Phosphorus, Ammonia Nitrogen, AKM analysis values

FOSFOR; Alınan numunelerin analiz sonuçlarına göre Fosfor giderim verimi *Phragmites australis* bitkisinde $PO_4\text{-P/L}$ %61 - %75, *Aloe vera* bitkisinde $PO_4\text{-P/L}$ %44 - %62 hesaplanmıştır. (Fenxia ve Ying, 2009) çalışmalarına toplam fosfor giderimini % 64, (Cop, 2017) ise % 40 - %74 aralığında hesaplamıştır. (Özen, 2006), çalışmasında %75-91 fosfor giderim verimi elde etmiştir. Yapılmış olan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda iki farklı bitkiden de elde edilen fosfor giderim verimleri yaklaşık olarak aynı orandadır. Çalışmada kullanılan bitkilerin giderim oranlarına karşılaştırılırsa, *Phragmites australis* bitkisinin nispeten fosfor giderim potansiyelinin daha yüksektir.

AKM; *Phragmites australis* ve *Aloe vera* bitkilerinin askıda katı maddeleri giderime oranları sırasıyla %70 - %85, %85- %90 hesaplanmıştır. (Cop, 2017) ve (Yetik, 2008) çalışmalarında sırasıyla %51 - %88, %91-96 AKM giderim verimi sağlamışlardır. Örnek pilot çalışmalar ve yapılan çalışmanın AKM giderim verimlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sisteme ekilen bitkiler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise *Aloe vera* bitkisinin AKM giderim oranının *Phragmites australis* bitkisine kıyasla biraz daha fazla olduğu görülmektedir.

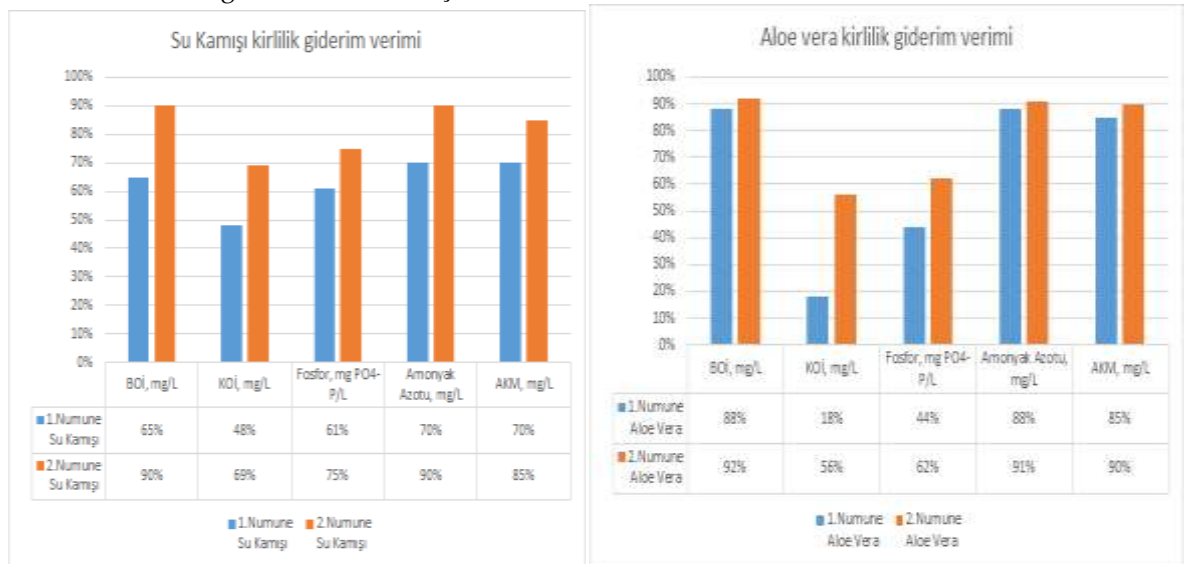
AMONYAK AZOTU; *Phragmites australis* ve *Aloe vera* bitkilerinin analiz sonuçlarından elde edilen Amonyak Azotu arıtma verimleri sırasıyla mg/L %70 - %90 ve mg/L %88 - %91 hesaplanmıştır. Fenxia Ye, Ying Li (2009), çalışmasında %83 Amonyak Azotu giderimi sağlamıştır. Sistemin amonyak azotu arıtma veriminin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Hidrolik bekleme sürelerine göre elde edilen kirlilik giderim verimleri

Figure 9. Pollution removal efficiency obtained according to different hydraulic holding times

Analiz sonuçlarına göre hesaplanan arıtma verimleri (Şekil 9) incelendiğinde hidrolik bekleme süresinin arttırılmasıyla daha yüksek bir arıtma performansı elde edilmiştir. Tunçsiper (2005) yaptığı çalışmada, Azotun daha ileri seviyelere kadar arıtılabilirliğini test etmek için kurduğu seri bağlı pilot ölçekli sistemden elde ettiği sonuçlar da YAAS ve SYAS sistemlerindeki ortalama kirlilik giderim verimleri üzerinde, sıcaklık ve hidrolik yükleme hızlarının %95 olasılıkla etkili olduğu fakat bitki türlerinin etkili olmadığı kanaatine varmıştır.



Şekil 10. Phragmitesaustralis (sol) ve Aloevera (sağ) bitkisinin kirlilik giderim verimleri

Figure10. Pollution removal efficiencies of Phragmitesaustralis (left) and Aloevera (right)

Her iki bitkinin kirlilik giderim verimleri karşılaştırıldığında (Şekil 10); BOİ, Amonyak Azotu, AKM, giderim oranlarının Aloevera bitkisinde daha yüksek olduğu görülmektedir. KOİ, Fosfor giderim oranlarının ise Phragmitesaustralis bitkisinde daha yüksek çıkmıştır.

SONUÇLAR (CONCLUSION)

Yapılan çalışmada iki farklı bitkinin Karabük Üniversitesi kampüs atık sularını arıtma verimleri incelenmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında genel olarak kirlilik giderim veriminin iki bitkide de

istenilen orandan biraz düşüktür. Bunun sebebi sisteme verilen ilk atık suyun hidrolik bekleme süresinin ikinciden daha az olması olabilir. İkinci numune analizlerinin sonuçlarına bakıldığında hidrolik bekleme süresinin arttırılmasına bağlı olarak arıtma veriminin her iki bitkide de arttığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar özetlendiğinde; İki bitki türü de Karabük iklim şartlarında hayatta kalabilmiş ve gelişme göstermişlerdir. Ancak *Aloevera* bitkisi doğrudan güneşle teması durumunda çürümeye başlamasından dolayı güneşe direk temasını önleyecek bir ortam oluşturulmuştur.

Mevcut giderim verimlerini arttırmak amacıyla yatay yüzey akışlı ve dikey yüzey akışlı yapay sulak alan kullanılarak seri bağlı bir sistem kurulabilir. Sisteme verilen atık su, hidrolik yükü azaltmak ve çıkış suyu kalitesini arttırmak için bir ön arıtım prosesinden geçirilebilir.

Kurulması planlanan yapay sulak alan tipi, atık suyun özelliklerine, bölgenin coğrafi konumuna ve iklim şartlarına göre seçilmelidir. Ekilecek olan bitki ise bölgenin iklimine uyum sağlayabilmeli ve toleransı yüksek olmalıdır.

Yapay sulak alanlar, atık suyun sisteme taşınması için gerekli olan pompa ve diğer ekipmanlar haricinde suyun arıtılması için dışarıdan herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymaması ve bakım-onarımının kolay olması nedeniyle pahalı arıtma yöntemlerine nazaran daha avantajlı bir arıtım yöntemidir.

Atık suyun sisteme taşınması için gerekli olan terfi pompalarının da güneş enerjisi ile çalışan pompalardan seçilmesi durumunda sistem kendi kendini devam ettirebilir hale gelmektedir. Yapay sulak alanların, nüfusu az olan yerleşim yerlerinde veya endüstriyel tesislerde kullanımı ekonomik olmasının yanı sıra arıtma verimi yüksek olan su kamışı gibi bitkilerin hasatı sonrası başka kullanım alanlarında değerlendirilmesi de mümkündür.

Yapay sulak alanlardan elde edilen arıtma çamurlarının daha sonra kurutulup gübre olarak da değerlendirilebilmesi de bu sistemlerin cazip kılan özelliklerinden bir tanesidir

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Al-Isawi, R., Ray S., Scholz M., 2017, "Comparative Study of Domestic Wastewater Treatment by Mature Vertical-Flow Constructed Wetlands and Artificial Ponds.", *Ecological Engineering* 100:8–18.
- Alvarez J.A., Ruiz, I., Soto, M., 2008, "Anaerobic Digesters as a Pretreatment for Constructed Wetlands.", *Ecological Engineering*, 3:54–67.
- Angin, İ., Tunç, T., Şahin, Ü., 2010, "Yapay Sulak Alanların Soğuk İklim Şartlarında Kullanılabilirliği", *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2):59–64.
- Ayaz S., Fındık, N., Kınacı, C., Tunçsiper B., Güneş E., 2011, "Yapay sulakalanlar El Kitabı", TÜBİTAK_MAM Çevre Enstitüsü
- Baldantoni, D., Ligrone, R., Alfani, A., 2009, "Macro- and trace-element concentrations in leaves and roots of *Phragmites australis* in a volcanic lake in Southern Italy", *Journal of Geochemical Exploration*, 101(2):166-174
- Calheiros, C., Rangel, A., Castro, P., 2007, "Constructed Wetland Systems Vegetated with Different Plants Applied to the Treatment of Tannery Wastewater." *Water Research* 41(8):1790–98.
- Chambers, M.R., Meyerson, A.L. Saltonstall, K., 1999, "Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America", *Aquatic Botany*, 64: 3–4, 261-273, ISSN 0304-3770,
- Çiftçi, H., Ş. Kaplan, Ş., Köseoğlu, H., Karakaya E., 2007, "Yapay Sulak Alanlarda Atıksu Arıtımı Ve Ekolojik Yaşam." *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 23:149–60.
- Cop, M., 2017, "Konya İli Yapay Sulak Alanlarda Arıtma Verimi, Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözüm Önerileri.", Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Dağlı, S., 2007, "Evsel atıksulardan yapay sulakalanlarda fosfor gideriminin incelenmesi.", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Demirörs, B., 2006, "Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması.", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 86:1–21.
- Fenxia, Ye, Ying, Li., 2009, "Enhancement of Nitrogen Removal in Tower Hybrid Constructed Wetland to Treat Domestic Wastewater for Small Rural Communities." *Ecological Engineering* 35(7):1043–50.

- Gökalp, Z., Çakmak, B., 2015, "Atık Su Arıtmada Yapay Sulak Alan Teknolojileri ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar", *Biyosistem Kongresi*
- Hecan N.F., Akça, L., Ayaz, S., 2010, "Geri Devirli Ardişik YüzeYaltı Akışlı Sistemler İle Eysel atıksudan Azot Giderimi", *İTÜ Dergisi*, (262):70-75.
- ORSAM., 2011, " Türkiye'de Ve İsrail'de Yapay Sulak Alanlar İle Atıksu Arıtımı Ve Atıksuyun Sulama Amaçlı Olarak Tekrar Kullanımı ", *Orsam Su Araştırmaları Programı, Rapor :78*
- Özen Ö., 2006, "S.Ü.Kampüsü Atıksularının Ekilmiş Sulak Alanda *Miscanthus X Giganteus* İle Arıtımı Ve Bitkinin Hasat Sonrasında Adsorban Özelliği.", *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2* 1-121.
- Sevi A., 2006, "Bursa İli Harmancık İlçesi Eysel Nitelikli Atıksuların Dip Akışlı Yapay Sulak Alan Arıtma Sistemi İle Arıtılması.", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 33:16-18.
- Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., O. Kästner, M., Bederski, and H. Müller, R. A., Moormann., 2003, "Effects of Plants and Microorganisms in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.", *Biotechnology Advances* 22(1-2):93-117.
- Temel A.F., 2016, "Endüstriyel Atıksuların Arıtımında Yapay Sulak Alanların Kullanımı.", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi* 75(454):213-25.
- Tunçsiper B., 2005, "Yapay Sulakalan Sistemlerinde Azot Giderimini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi.", Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Wang, J., Tai, Y., Man, Y., Cai, N., 2018, "Capacity of Various Single-Stage Constructed Wetlands to Treat Domestic Sewage under Optimal Temperature in Guangzhou City, South China.", *Ecological Engineering*, 115:35-44.
- Yetik S., 2008, "Atıksuların Yapay Sulak Alanlarda Arıtımının İncelenmesi.", Doktora Tezi, *Ankara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*.