

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BİTKİ TÜRLERİ KULLANILARAK EVSEL ATIKSULARIN ARITIMINDA
ÖRNEK BİR YAPAY SULAKALAN UYGULANMASI

Selami YİĞİT

TEMMUZ 2019

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BİTKİ TÜRLERİ KULLANILARAK EVSEL ATIKSULARIN ARITIMINDA
ÖRNEK BİR YAPAY SULAKALAN UYGULANMASI

Hazırlayan
Selami YİĞİT

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ

Jüri Üyeleri
Doç. Dr. Orhan Taner CAN
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZGÜVEN
Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ

TEMMUZ 2019

ONAY

Selami YİĞİT tarafından hazırlanan “**Farklı Bitki Türleri Kullanılarak Evsel Atık Suların Arıtımında Örnek Bir Yapay Sulakalan Uygulaması**” adlı tez çalışması 29/07/2019 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr.Orhan Taner CAN

(Başkan)

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZGÜVEN

(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ

(Danışman)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 24/07/2019 gün ve 4812 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK

Enstitü Müdür V.

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum **“Farklı Bitki Türleri Kullanılarak Evsel Atıksuların Arıtımında Örnek Bir Yapay Sulakalan Uygulanması”**adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 29/07/2019

Selami YİĞİT



ÖZET

FARKLI BİTKİ TÜRLERİ KULLANILARAK EVSEL ATIKSULARIN ARITIMINDA ÖRNEK BİR YAPAY SULAKALAN UYGULAMASI

Selami YİĞİT

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ

Temmuz 2019, 32 sayfa

Bu çalışmada; Muş İli Merkez ilçesinde bulunan Muş Şeker Fabrikasının mevcutta var olan paket arıtma sisteminden çıkan evsel nitelikli atıksularını bahçe sulamasında kullanmak üzere yüzey altı akışlı yapay sulak alan sistemi kullanılmıştır. Yapay sulak alan sisteminin arıtma veriminin artırılması için su mercimeği, su sazları ve meyan kökü gibi farklı bitki türlerinin kullanıldığı bu sistemde, sistemin giderim performansına ait verimler hesaplanmıştır. Yapay sulakalan (YSA) giriş ve çıkış suyundan Sonbahar 2018, Kış 2018 ve İlkbahar 2019 dönemlerinde BOİ, KOİ, AKM, pH ve balık biyodeneyi parametrelerine ait ölçümler alınmıştır. Yapay sulakalan (YSA) giriş ve çıkış sularına ait ölçüm değerleri ile SKKY Tablo 21.1 ve Tablo 21.5 sınır değerleri baz alınarak kıyaslamaları yapılmıştır. Sonuç olarak; BOİ’de %43-53, KOİ’de %54-93 ve AKM’de %64-72 arasında giderim verimleri elde edilmiştir. pH için yüzde değişim % 6-12 arasında hesaplanmıştır. BOİ ve KOİ parametreleri için Yapay sulakalan (YSA) giriş değerleri sınır değerlerinin altında olup çıkış değerleri ise sınır değerlerin üzerindedir. AKM parametresi için Yapay sulakalan (YSA) giriş Kış 2018 dönemine ait değer hariç sınır değerlerinin üzerinde olup, çıkış suları ise sınır değerlerinin altındadır. pH değerleri sınır değerlerin arasındadır. Sonbahar 2018 döneminde ölçülen balık biyodeneyi giriş ve çıkış değerleri sınır değerin üzerinde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sulak Alan, Evsel Atıksu, Su Mercimeği, Su Sazları, Meyan Kökü, Doğal Arıtma.

ABSTRACT

AN EXAMPLE ARTIFICIAL WETLAND APPLICATION IN THE TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER USING DIFFERENT PLANT SPECIES

Selami YİĞİT

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Aysegül DEMİR YETİŞ

July 2019, 32 pages

In this study; Sub-flow artificial wetland system has been used to use the domestic wastewater from the existing package treatment system of the Muş Sugar Factory in the central district of Muş for garden irrigation. In order to increase the treatment efficiency of the artificial wetland system (eg duckweed, water reeds and licorice root), the removal efficiencies of the system using different plant species were calculated. In autumn 2018, winter 2018 and spring 2019, measurements of BOD (biological oxygen demand), COD (chemical oxygen demand), SS (suspended solids), pH and fish bioassay parameters were taken in artificial wetland inflow and outflow water. Comparisons were made on the basis of the measured values of artificial wetland inflow and outflow waters and the limit values of WPCR Table 21.1 and Table 21.5. As a result; removal efficiencies were obtained between 43-53% in BOD, 54-93% in COD and 64-72% in SS. The percentage change for pH was calculated between 6-12%. For the BOD and COD parameters, the artificial wetland input values are below the limit values and the output values are above the limit values. In terms of SS parameter, artificial wetland inflow is above the limit values except for Winter 2018 period and the outflow waters are below the limit values. The pH values are between the limit values. In autumn 2018, the input and output values of the fish bioassay were determined above the limit value.

Keywords: Artificial Wetland Area, Domestic Wastewater, *duckweed*, *common reeds*, *glycyrrhiza glabra*, Natural Treatment.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve lisans eğitimim ve tezimin seçimi ve yürütülmesi boyunca değerli desteğini esirgemeyen, bilgisinden ve derin tecrübelerinden yararlandığım Sayın danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ'e sabrı, anlayışı ve ilgisi nedeni ile teşekkürü bir borç bilirim. Saha çalışmalarındaki destek ve önerileri olan Çevre Yüksek Mühendisi Mücahit SÖNMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Muş Şeker Fabrikası Anonim Şirketi Genel Koordinatörü Hüseyin Kadir GÜLÜM'e, Arıtma tesislerindeki tüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan, şirket çalışanı ve çevre mühendisi olan Ayşe AKTAŞ' a teşekkürü borç bilirim.

İlkokul, ortaokul ve lise dönemi boyunca tüm eğitim hayatımda karşılıksız sundukları destekleri ve sabırlarından ötürü annem, babam, amcalarıma ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimle.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Doğal Sulak Alan Sistemi.....	1
1.2. Yapay Sulakalanlar.....	1
1.2.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulakalan Sistemi	3
1.2.2. Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulakalanlar	4
1.3. Yapay Sulak Alanların Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları.....	4
1.4. Yapay Sulak Alan Sistemlerinde Kirlilik Giderimi	5
1.4.1. KOİ ve BOİ Giderimi	6
1.4.2. AKM giderimi	6
1.4.3. Azot ve Fosfor Giderimi	6
1.5. Yapay Sulakalan Sistemi ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1. Çalışma Alanı.....	9
2.2. Muş Şeker Fabrikası Evsel Atıksu Arıtım Tesisi.....	10
2.3. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulak Alan Dizaynı.....	10
2.3.1. Yüzey Alanı ve Derinlik	11
2.3.2. Yatak Malzemesi	12
2.3.4. Bitki Türleri.....	12
2.4. Sisteminin İşletimi ve Performansı	14
2.5. Meteorolojik Veriler.....	15
2.6. Örneklem Çalışmaları ve Metodoloji	16
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	19
3.1. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulak Alan Sisteminde Elde Edilen Parametre Verilerinin Mevsimsel Değişimi.....	20
3.2. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalan Sisteminde Giderim Verimleri	24
3.2.1. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) İçin Giderim Verimi	24

3.2.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) İçin Giderim Verimi	24
3.2.3. Askıda Katı Madde (AKM) İçin Giderim Verimi	25
3.2.4. pH İçin Giderim Verimi	26
3.2.4. Balık Biyodeneyi	27
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	28
5. KAYNAKLAR	30
ÖZGEÇMİŞ	32



ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1. 1964–2018 yıllarına ait ortalama sıcaklık, yağış ve güneşlenme değerleri.....	15
2.2. 2018-2019 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri	16
2.3. Su Örneklerinin Alınma Tarihleri	17
3.1. Evsel Nitelikli Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları	19
3.2. Nitelikli Atıksular.....	19
3.3. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulak Alan Sistemi Giriş ve Çıkış Değerleri	20
3.4. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalanı BOİ Giderim Verimi	24
3.5. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalanı KOİ Giderim Verimi	25
3.6. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalanı AKM Giderim Verimi	26
3.7. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalanı %pH Değişimi.....	27

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

2.1.Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalan Sisteminin Yüzey Alanına ait bir görünüm	11
2.2.Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalan Sisteminin Yatak Malzemesine ait bir görünüm.....	12
2.3. Yapay sulakalan sisteminde kullanılan su mercimeğine ait bir görünüm	13
2.4.YapaySulakalan sisteminde kullanılan su kamışına ait bir görünüm	13
2.5.Yapay sulakalan sisteminde kullanılan meyan bitkisine ait bir görünüm.....	14
3.1. Giriş ve çıkış suyunda BOİ değerlerinin mevsimsel değişimi.....	21
3.2. Giriş ve çıkış suyunda KOİ değerlerinin mevsimsel değişimi	21
3.3. Giriş ve çıkış suyunda AKM değerlerinin mevsimsel değişimi	22
3.4. Giriş ve çıkış suyunda pH değerlerinin mevsimsel değişimi	23

1. GİRİŞ

RAMSAR (Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanların Korunması) Sözleşmesi'nde 17 Mayıs 2005 tarih ve 25818 sayılı resmi gazetede yayımlanan tanıma göre sulak alanlar; “doğal veya yapay, devamlı veya geçici, suları durgun veya akıntılı, tatlı, acı veya tuzlu, denizlerin gelgit hareketinin çekilme devresinde altı metreyi geçmeyen derinlikleri kapsayan bütün sular, bataklıklar, sazlıklar ve turbalıklar” olarak tanımlanmıştır (Demir, 2008). Sulak alanlar, derinliği 6 metreden az, bazı ortak özelliklere sahip; suları tatlı, tuzlu ve acı olabilen gölleri, bataklıkları, akarsuların durgun kısımlarını, taşkın alanlarını ve ayrıca alçak deniz kıyılarını, haliçleri, nehir ağzlarının genişleyerek deniz ekosistemlerine dönüştüğü sahaları ve lagünleri kapsamına almaktadır (Cirik, 1993; Erdem, 2004; Demir, 2008). Sulakalanlar doğal sulakalanlar ve yapay sulakalanlar olmak üzere 2 tiptir.

1.1. Doğal Sulak Alan Sistemi

Sulak alanlar için Ramsar tarafından yapılan sınıflandırmanın aynısı Pakalne (2004) ve Dugan (1991) tarafından da yapılmıştır. Bu sınıflamaya göre sulak alanlar 6 gruba ayrılmıştır. Bunlar;

- Haliç (akarsu ağzları), lagünler, mangrovlar ve gelgit akıntıları
- Tatlı su bataklıkları
- Göller
- Taşkın ovaları ve deltalar
- Turbalıklar
- Ormanlık Sulak Alanlar (Demir, 2008)

1.2. Yapay Sulakalanlar

Yapay sulak alanlar da sisteme alınan arıtma suyu, dolgu malzemesi ve doğal geçirimsiz zemin malzemesi, sucul bitkiler ve mikroorganizmalar arasında gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerden faydalanılan kolay, pratik, basit ve düşük maliyetli atıksu arıtma yöntemidir. Bu sistemler, kurulum aşaması olan yapım maliyeti, işletme süresince enerji ve kimyasal madde kullanımı bakımın çok ekonomiktir. Ancak sulak alan sistemleri mekanik işleyen tesislere göre çok yer kaplamaktadır. Bu sistemlerle, sadece atıksuda BOİ (biyolojik oksijen ihtiyacı), AKM (askıda katı maddeler), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) ve pH gibi parametrelerde

çok yüksek giderim verimi sağlanır; büyük oranda gerçekleşen bu arıtmadan alınan çıkış suyu bahçe ve tarımsal sulamada kullanılabilir olduğundan büyük avantajlar sağlamaktadır. Yapay sulak alanları artıma sistemlerinin su arıtımın yanı sıra, su arıtım alanında yetişen bitkilerin yüksek kaliteli besin içeriğine sahip olduğundan, hayvan yemi olarak kullanılır. Ayrıca artımda kullanılan su kamışının, mobilya dekorasyon ve ev eşyası gibi farklı ürünlerin üretim süreçlerinde kullanılması söz konusudur. Genel özellikli arıtma tesislerinde kullanılan teknolojilerle karşılaştırıldığında daha düşük kurulum maliyeti, işletme ve bakım onarım masraflarına sahip olması, doğal süreç içerisinde çalışıp enerjiye ihtiyaç duymayan kendinden üretim ve besleme yapması gibi özellikleriyle ve karbonlu maddelerin yanında BOİ, pH, KOİ, AKM, iz elementler ve fekal koliformların gideriminde oldukça yüksek verime dayalı sonuçların elde edilmesinden ötürü yapay sulak alanlar son 30 yıl içerisinde dünya genelinde atıksu arıtım teknolojisi ve çeşidi olarak çok geniş bir kullanım sahası bulmuştur. Bu sistem küçük ve orta ölçekli yerleşim alanları, ticari ve endüstriyel atıksuları arıtımı için oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir (TÜBİTAK-MAM, 2011). Yapay alanlarda, atığın sisteme girişinde kullanılan iletim pompaları ve boru sistemleri gibi ekipmanlar dışında, arıtım süreçlerinin gerçekleştirmesi için ilave bir enerji kullanımı gerekmemekte olup, hem ekolojik hem de ekonomik yönünde tasarruf ve gider oluşturmeyen doğal arıtma sistemleridir (Ayaz ve Akça, 2001). Atıksuların yapay sulak alanlarda arıtılması avantajları ve çeşitli yapısal ve ekonomik üstünlüklerinden dolayı son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Yapay sulak alanlarda optimum koşullar yerine getirilerek inşa edildiği takdirde düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetle nütrient organik madde ve ağır metallerde yüksek giderim elde edilebilmektedir. Yapay sulak alan sistemi kullanılarak pek çok yerleşim yerinin evsel nitelik arıtma tesisleri veya endüstriyel tesisin atıksu arıtma giderimi yüksek verimli ve düşük maliyetli, ekonomik bir biçimde çözülebilir. Özellikle arazinin bol ve ucuz olduğu yerlerde yapay sulak alan arıtım teknolojisinin kullanılması ucuz ve hızlı olmasından kaynaklı çok ekonomiktir (TÜBİTAK-MAM, 2011). Yapay sulakalanlar evsel nitelikli atıksular, endüstriyel ve tarımsal amaçlı atıksular ve depolama sonucu ortaya çıkan sızıntı suları gibi çok çeşitli atıksuları arıtmak için kullanılan yeşil çevreci bir teknolojidir. YSA, sürekli kullanılan arıtma teknolojilerine göre düşük enerji maliyeti, basit, kolay, hızlı kurulum, basit işletim ve bakım sistemi, bakım gerektirmeyen tek seferlik düşük yatırım maliyeti, işletim maliyeti, arazi estetiği ve görsellik, suların bahçe ve tarımsal sulama amaçlı yeniden kullanımı ve kuşlar, diğer canlılar için doğal yaşam alanı olması bakımından diğer sistemlerle karşılaştırıldığında yüksek avantajlara sahiptir. Yapay sulakalan (YSA), kurulum ve yerleşme yeri bakımından genel maksatlı arıtma tesislerinden uzak olan tekil ve kırsal yerleşimler, endüstri tesisleri ve oteller için bu avantajları nedeniyle

alternatif bir teknolojidir. Yapay sulakalarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım mekanizmaları birlikte gerçekleşir (Aydın Temel vd., 2017).

Yapay sulakalanlarda AKM ve BOİ yüksek verimde gidermekte olup, iz element giderimi düşük oranda kalmıştır. Avrupa da yaygın olan yapay sulak alan sistemleri ve ülkemizde gelişen arıtma tekniklerinde elde edilen verilerde AKM, BOİ ve KOİ giderimi %70 seviyesinde görülmektedir. Literatür verileri yapay sulak alanlardaki arıtma verimlerinin atıksuyun özellikleri, sıcaklık, sulakalan konfigürasyonu, bitki ve arıtma canlı varlıklarının besleme yöntemleri ve hidrolik akım özelliklerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Sulakalanların arıtma süreçleri içerisinde etkili olan en önemli kısım arıtma alanı yatak dolgu malzemesi, mikroorganizmalar ve seçilen bitkilerdir (Tunçsiper ve Akça, 2006).

Yapay sulak alanlar yapılışı ve şekil bakımından kendinden oluşan doğada bulunan sistemlere benzer, doğaya ve çevreye uygun, doğal sulakalan sistemlerine yakın şekilde inşa edilen atıksu arıtma sistemleridir. Yapay sulakalan arıtma tesislerinde su seviyesi ve su akımı kontrol altında tutularak arıtma verimi artışı sağlanmaktadır (TÜBİTAK-MAM, 2011). Serbest yüzey akışlı ve yüzey altı akışlı olmak üzere 2 farklı yapay sulak alan sistemi dizayn edilmektedir.

1.2.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulakalan Sistemi

Bu sulakalan sistemi genel olarak köklü bitkilerin yaşam alanı oluşturmak için toprak veya diğer uygun dolgu malzemeler ile yaşam ortamı oluşan havuz veya geniş tip kanallardan meydana gelmektedir. Yapılacak olan serbest yüzey akışlı sistemde bitkilerin doğal ortamındaki optimum şartların sağlanarak yüksek verim ve gelişim sağlanır. Su derinliğinin sığ, akış hızının yavaş ve kanalların V tipi olacak şekilde tasarlanması ile yavaş ve dengeli akım oluşturulması amaçlanmaktadır. Yeraltına ve toprak yapısına sızıntı olmasını önlemek için tabanı, önce doğal toprak sıkıştırma, polietilen özellikli keçe membran malzemesi, jeomebran tabakası ve polyester naylon tabakanın üzerine sıkıştırılmış kil dolgu ve toprak yapısı yapılarak bitkinin serbest yüzey akışından yararlanılması sağlanacaktır. Su yüzeyi, serbest yüzey akışlı yapay sulak alan sisteminde kullanılan jeomembran sayesinde yüzeydedir. Doğal bataklık özelliği gösteren bu sistemde yüzey atmosfere açık olduğu için aerobik özellikte iken, sistemin dip kesimleri anaerobik özellik göstermektedir. Serbest yüzey akışlı yapay sulakalan sistemleri ön arıtmadan sonra veya ileri kademe arıtma için kullanıldığında, sistem içerisinde oluşturulan geçirimsiz zemin ve serbest akışlı yüzey oluşturulmaktadır, zaman ve yapay sulak alan içerisindeki konumuna göre bitkiler arıtım gerçekleştirmektedir. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar 0,1 ile 0,6 m derinliğine sahip birbirine paralel olacak birkaç havuzdan veya hidrolik eğimli kanallardan oluşmaktadır. Ön arıtma

sisteminden geçmiş atıksular serbest yüzey akışlı sistemlere normal olarak sürekli verilmekte, su alma yapılarına göre bitkiler ekilerek, bitkilerin kök, gövde, sap ve kılcal yapılarından dolayı atıksu yavaşça hidrolik eğimden geçerek arıtma meydana gelmektedir. Bu tarz sistemler ayrıca bitkiler ve sucul canlılar için yeni bir yaşam alanı sağlama ya da yakınında yer alan mevcuttaki bir doğal sulakalanı zenginleştirmek amacı ile tasarlanabilmektedir. Bu sayede doğal yaşam alanı olarak yeni bir lokasyon oluşturmaktadır. Yaban kuşları, sinekler ve bazı mikroorganizmaların yeni alanı olmaktadır. Bu sistemin dezavantajları; koku, sivrisinek üremesi ve benzer sistemlere nazaran daha geniş alan gereksinimidir. Avantajları ise yapımının ucuz, işletiminin kolay ve bakım maliyetlerinin düşük olmasıdır (Cop, 2017).

1.2.2. Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulakalanlar

Bu sistem, geçirimsiz bir taban malzemesinin üzerine boşluklu yapıya sahip kum veya çakıl gibi kaba taneli agregalardan oluşan yatak malzemesi ile doldurulmuş yapılar sayesinde kökleri desteklenen bitkilerden oluşmaktadır. Bu sistemde su, kaba ve ince dolgu malzemelerinin arasında hidrolik akışla akarken atmosfer ile temas halinde değildir. Su akışının olması için zemin eğiminin $<0.5\%$ olması gerekir (Cop, 2017). Kurulum ve yatırım maliyetinin, işletim masrafları ve bakım giderlerinin düşük olması ile ön plana çıkmaktadır. Yüzey altı akışlı sistemde aerobik alan koşullarını sağlamak oksijenin yapraklardan köklere taşınımı ile olmaktadır (Demirörs, 2006). Oksijensiz ortam koşullarından kurtulmanın yolu ise oksijen alımını sağlamak için bitki kökü sistemin tüm derinliği boyunca uzamalıdır. Koku oluşumunun az olması, sivrisinek ve vektörlerin ürememesi ve çakıl ve kumdan oluşan dolgu yatağının çıkış suyunda alg miktarını azaltması bu sistemin en önemli avantajlarıdır. Ayrıca soğuk dönemlerde su akışının yüzey altından olması ve dökülen bitki yapraklarının ortamı kaplamasından dolayı donma olayı meydana gelmemektedir (Cop, 2017).

1.3. Yapay Sulak Alanların Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Yapay sulak alanlar diğer arıtma sistemleri ile mukayese edildiği zaman bir takım avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Avantajlar:

- ✓ Yapay sulak alanların diğer arıtma sistemlerine göre inşaat maliyetleri daha azdır.
- ✓ Bakım ve işletme masrafları azdır.
- ✓ Düzenli zaman aralıklarında bakım ve işletme için iş gücüne ihtiyaç vardır.

- ✓ Bu sistemler debi dengelemesi sağlar.
- ✓ Su farklı kullanım alanlarında yeniden kullanılabilir.
- ✓ Bu sistemler birçok su canlısı için yaşam ortamı sunar.
- ✓ Peyzaj ve estetik görünüm açısından da inşa edilebilirler.

Dezavantajlar:

- ✓ Geniş alan gereksinimi vardı ve bu imkan sağlandığı koşulda elverişli ve ekonomiktir.
- ✓ İşletim ve performans bakımından konvansiyonel sistemlere nazaran az verime sahiptir.
- ✓ Arıtma verimi, iklim koşullarına göre azalabilir ya da artabilir. Bu nedenle sulakalan bitkisinin ekimleri her yıl yapılmalıdır.

1.4. Yapay Sulak Alan Sistemlerinde Kirlilik Giderimi

Yapay sulak alan sistemi; bitki örtüsü, yatak malzemesi, yüzey alanı ve derinliği ile atmosfere açık yapısıyla oksijen ve atıksu (içerdiği besin maddesi, mikroorganizma) içeren karmaşık bir sistemdir. Sistemde bitki örtüsü ile yüzey alanı, mikroorganizmalar için uygun büyüme ortamı ve filtrasyonu sağladıklarından dolayı hayati öneme sahiptir. Yapay sulakalan sistemleri KOİ ve BOİ, AKM, Azot ve Fosfor giderimi ile metaller, iz organikler ve patojenlerde ciddi giderim verimlerine sahiptir. Atıksu içerisinde bulunan kirlenimler aşağıda yer alan fiziksel, kimyasal ve biyolojik giderim mekanizmaları ile giderilmektedir (Dağlı, 2006; Temel, 2013).

- Askıda katı maddeler; çökelme, filtrasyon
- Çözünmüş organik maddeler; aerobik mikrobiyol bozunma, anaerobik mikrobiyal bozunma
- Fosfor; sorbsiyon, bitki köklerine alım
- Azot; nitrifikasyon, denitrifikasyon, bitki köklerine alım, sorbsiyon, amonyak uçuşması (çoğunlukla yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlarda)
- Metaller; adsorbsiyon ve katyon değişimi, kompleks oluşturma, çökelme, bitki köklerine alım, mikrobiyol oksidasyon
- Patojenler; sedimentasyon, filtrasyon, doğal ölüm, makrofit köklerinden antibiyotik boşaltımı (Cop, 2017).

1.4.1. KOİ ve BOİ Giderimi

KOİ ve BOİ giderimi yapay sulak alan sistemlerinde aerobik ve anaerobik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Yüzey altı bileşenlerinin (toprak, çakıl, kaya vb..) esas oksijen kaynağı bitki tarafından köklere transfer edilen oksijendir. Atıksuyun KOİ yükü, yatak malzemesinin tasarımı, sistemin çalışma koşulları ve dolgu malzemesinin türü oksijenin sistemde yayılmasını ve bitki kökleriyle kök bölgesine oksijen iletilmesini etkilemektedir (Temel vd., 2017; Göçmez vd., 2018).

1.4.2. AKM giderimi

Yapay sulakalanlarda derinlik az ve durgun bir ortam olduğu için AKM giderimi iyi olur. (Dağlı, 2006). Uzun yıllık bir sulak alan sisteminde gelişmiş bitki ve geniş bir kök sistemi sayesinde sistem içerisinde geniş bir yüzey alanı sağlayarak suyun akış hızını azalarak ve filtreleme gücü artırarak AKM giderim verimliliğini artırdığı bildirilmiştir (Göçmez vd., 2018).

1.4.3. Azot ve Fosfor Giderimi

Yapay sulakalanlar, konvansiyonel arıtımda, ikincil ve ileri arıtımda, azot giderimi gibi spesifik bir ileri arıtımda veya fosfor gideriminde kullanılmaktadır (Topal vd. 2011). Nitrifikasyon/denitrifikasyon, azot gideriminin esas yoludur. Toplam N açısından karşılaştırıldığında bitkili sistemlerin bitkisizlere göre önemli bir giderim üstünlüğü bulunmaktadır. Yapay sulakalanlarda fosfor giderimi genellikle adsorpsiyon, absorpsiyon, çökelme ve filtrasyonun bir arada gerçekleştiği tutulma kavramı ile açıklanmaktadır. Azot ve fosfor gideriminde yapay sulak alan sisteminde seçilen çevresel koşullar giderim oranını artırmada önemli parametrelerdir (Dağlı, 2006).

1.5. Yapay Sulakalan Sistemi ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar

İspirli Gökrem (2006) yaptığı çalışmada Tokat-Turhal Yenice köyünde ve Tokat-Turhal kat kasabasında 2005–2006 sezonu içinde evsel atıksuyu arıtmak üzere kurulmuş içinde *Typha latifolia L.* bitkisi bulunan iki adet yapay sulakalan sisteminde kirlilik giderim verimi ve çıkış sularının tarımsal sulama suyu olarak değerlendirilmesi olasılığını araştırmıştır. Her iki yapay sulakalanda evsel atıksuyun alıcı ortama deşarj standartlarını sağlayıp sağlamadığının kontrolü

amacıyla pH, BOİ, KOİ, AKM, TN, TP kirlilik parametrelerinin giderim verimi incelemiştir. Sonuç olarak her iki yapay sulakalan çıkış sularının sulama suyu kriterlerine uygunluğunu incelemesi sonucunda bu sular ile tarımsal sulama yapılabileceği sonucuna varmıştır. Ancak atıksuyun evsel nitelikli olması nedeniyle sulakalana girişte de sulama suyu kriterlerine uygun olduğu görülmüş, sulakalanın sulama suyu kalitesini daha da arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca *T. latifolia* bitkisinin yapay sulakalanlarda evsel atıksuların kirlilik gideriminde ve tarımsal sulama suyu kalitesinin artırılmasında önemli rol oynadığı kanaatine varmıştır.

Cop (2006) yaptığı çalışmada Konya'da bulunan Çobankaya Atıksu Arıtma Tesisi (AAT), Meydanlı AAT ve Zincirlikuyu AAT'den 2016 yılı içerisinde farklı tarihlerde alınan numunelerin yapay sulak alanlarda arıtma verimlerini belirlemiştir. Giriş çıkış numunesi alınan yapay sulak alanlarda pH, Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Askıda Katı Madde (AKM) parametrelerine yanında Toplam Azot (TN) ve Toplam Fosfor (TP) analizlerini de yapılarak yapay sulak alanlarda besi maddesi giderimine bakmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre BOİ'de %56 ile %83, KOİ'de %44 ile %73, AKM'de %51 ile %88, TN'ta %29 ile %41 ve TP'da ise % 40 ile %74 aralıklarda giderim verimi hesaplamıştır.

Sevi (2006) yaptığı çalışmada Bursa ili Harmancık İlçesi evsel nitelikli atıksuların dip akışlı yapay sulak alan arıtma sistemi ile arıtılmasını incelemiştir. Konvansiyonel arıtma sistemlerine göre yatırım maliyetinin çok düşük olması ve işletme maliyetinin olmaması bu konu üzerinde çalışmasını yoğunlaştırmıştır. Sistem; farklı tane büyüklüklerine sahip yatak malzemeleri ile oluşturulmuş, sızdırmazlık sağlanmış yataklarda yetiştirilen *Typha Latifolia* sulak alan bitkisi vasıtasıyla atıksuyun arıtılması esasına dayanmaktadır. Nüfus verilerinden yola çıkılarak projeksiyon yılları için gelecekteki nüfus ve debiler hesaplanmıştır. 2006 projeksiyon yılı için 3538 nüfuslu Harmancık ilçesinin evsel nitelikli atıksularını arıtmak için tasarlanan yapay sulak alan sisteminde; fosseptik, dağıtım - toplama yapıları ile 110 m uzunluğunda ve 15 m genişlikte, 50 cm giriş ve 70 cm çıkış yatak derinliğine sahip 6 adet yapay sulak alan haznesi boyutlandırılarak BOİ ve AKM giderimi hedeflemiştir. Sistem tasarımında, çıkış suyu kirlilik yükü AKM için 150 mg/L ve BOİ için 50 mg/L limit değer olarak kabul edilmiştir.

Göçmez vd. (2018) yaptıkları çalışmada Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (DESKİ) Sorumluluk alanına giren Bozkurt ilçesi Ali Kurt mahallesi yapay sulak alan sisteminin yenilenmesi ve atıksu arıtma verimi konusunda bilgi vermiştir. Tesiste yapılan yenileme çalışmaları neticesinde 12 aylık izleme neticesinde elde edilen tesisin arıtma verimleri ortalama olarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) %83,02, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) %85,55, askıda katı madde (AKM) %76,58 olarak elde edilmiştir. Kirlilik parametrelerinin (BOİ,

KOİ, AKM, pH) Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinin öngördüğü değerlerin altında olduğunu belirlemişlerdir.

Göçmez ve Kıyam (2018) yaptıkları çalışmada İzmir ili Torbalı ilçesi Korucuk mahallesinde evsel atıksuların arıtılması amacıyla inşa edilen bir yapay sulak alanda 2008-2009 yılları arasında 2 yıl süre ile yapılan izleme ve değerlendirmelerini gerçekleştirmişlerdir. İzleme çalışmalarında elde ettikleri verilere göre, tesisin ortalama arıtma verimleri; KOİ’de %64,66; BOİ’de %74,10; AKM’de %84,80; TN’da: %29,80 ve TP’da ise %18,56 olarak tespit etmişlerdir. Kirlilik parametrelerinin (BOİ, KOİ, AKM, pH) Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinin öngördüğü değerlerin altında olduğunu belirlemişlerdir.

Yılmaz vd. (2010) yatıkları çalışmada stabilizasyon havuzu çıkış sularının iyileştirilmesi için yine işletimi kolay ve ekonomik bir sistem olan yatay yüzey altı akışlı yapay sulak sistemi kullanmışlardır. Pilot ölçekli çalışma sonucunda; stabilizasyon havuzu çıkış suları önemli ölçüde iyileştirilerek, toplam KOİ (TKOİ) giderim verimi 56 ± 15 , ortalama çözölmüş 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 etmişlerdir. Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanı çıkış suları kirletici konsantrasyonları deşarj standartlarının altında kalmış olup, yüzey altı akışlı yapay sulak alan sistemlerinin stabilizasyon havuzu çıkış sularının iyileştirilmesinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışma, yapay sulak alanların soğuk iklim koşuluna sahip Muş Şeker Fabrikasının evsel nitelikli atıksu arıtma tesisinin çıkış sularının kalitesini iyileştirmek ve sulamada kullanmak için düşük maliyetli yapay bir sulak alan sisteminde arıtılabilirliğini ve giderim verimini değerlendirmek için farklı bitki türleri ve yüzey altı akışlı sistemden oluşturulmuş örnek bir uygulamayı sunmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Muş ili Doğu Anadolu Bölgesi'nde Yukarı Murat - Van bölümünde yer almaktadır. Fırat Havzası içinde bulunan Muş ilinin önemli akarsuları Murat ve Karasu nehirleridir. İlin başlıca gölleri Haçlı (Kazan) gölü, Büyük Hamurpet (Akdoğan) gölü, Küçük Hamurpet Gölü ve Kaz (Gaz) gölüdür. Karasal iklimin hakim olduğu Muş ilinin bitki örtüsü step (bozkır) bitkileri, çayır otları ve meşe ormanları oluşturur. Muş ili Doğu Anadolu Bölgesinde sert ve karasal iklimin etkisi altındadır (Anonim, 2019a).

Muş ili başlıca geçim kaynağı tarım ve hayvancılık kaynakları olmaktadır. Sanayi alanları kısıtlı olan ve çok az sayıda sanayi tesisi bulunduran Muş İlinin temel gelir kaynağı olan şeker pancarı üretiminin hammadde sağlayıcısı olduğu Muş Şeker Fabrikası bulunmaktadır.

Muş Şeker Fabrikası, şeker pancarı hasat dönemi olan kampanya döneminde çalışan, diğer dönemlerde revizyon durumunda işletmeye devam eden 500 kişinin istihdam edildiği, içerisinde okul, lojman ve yaşam alanı bulunan kompleks bir yapıdır.

Muş Şeker Fabrikası bünyesinde bulunan ön arıtmadan çıkan evsel nitelikli atıksuyun bahçe sulamada kullanılabilmesi için yapay sulak alanı yapımı gerçekleştirilmiştir.

Evsel arıtım tesisi 2000 kişilik paket bir arıtma tesisidir. 400 m³/gün debiye sahiptir. Muş Şeker Fabrikası'na ait yerleşkede bulunan kanalizasyon kanallarında toplanan evsel nitelikli atıksular, kanalizasyon sistemi yardımı ile arıtma tesisi alanına iletilir. Kanalizasyon hattına karışan ve atıksu ile beraber taşınabilecek naylon, bez, kağıt vs. gibi katı maddelerin pompalarda ve tesisin diğer ünitelerinde tıkanmalara yol açmaması için atıksu, kaba malzemelerin toplandığı ve ayrıldığı bir kaba ızgaradan geçirilecek ve katı maddelerinden arındırılan atıksu terfi havuzunda toplanmaktadır. Terfi havuzuna yerleştirilen pompa, seviye şamandırası kumandasında otomatik olarak atıksuyu paket tesise göndermektedir. Paket Tip Evsel Atıksu Arıtma tesisi; 2 adet havalandırma tankı, 1 adet çökeltme ve klorlama bölümünden oluşan biyolojik aktif çamur prensibi ile çalışan bir paket tip atıksu arıtma sistemidir. Havalandırma ünitesinde dışarıdan çekilen ve hava üfleyicisi ile basılan hava, difüzörler yardımı ile eşit miktarda havuz içerisine dağıtılır. Bu şekilde aktif çamurun şartlarının oluşabilmesi için gerekli olan oksijen hava üfleyicisi yardımı ile temin edilir. Havalandırma tankı içerisinde tam karışım sağlanarak, oluşan bakteri floklarının çökmemesi de sağlanır. Mikroorganizmalar, hava üfleyicisi ile temin edilen havanın difüzörler ile havalandırma tankına eşit miktarda ve mesafede dağıtılması sayesinde içindeki oksijenin bakteriler tarafından kullanarak organik maddelerin oksitlenmemesini sağlar.

Havalandırma bölümünden çökeltim havuzunda hidrolik akış ile alınan atıksu, çökeltim sürecinde daha küçük bir alanda yapılması ve çökeltim veriminin artması için kullanılan plakalı (Lamelli) seperatörden geçirilir. Askıda katı madde şeklinde hareket eden mikroorganizmalar, çökeltme uygun şartlarda tankın dibine çökerler ve bir çamur tabakası oluştururlar.

Çökeltme havuzunda dolu savaktan hidrolik akışla dökülen durulmuş su, klorlama bölümüne verilerek son klorlama işlemi yapıldıktan sonra alıcı ortama deşarj edilebilir. Çökeltme bölümünde tank dibine çöken çamur, hava basıncı yardımı ile çekilip havalandırma bölümüne geri devir yapılarak aktif çamur içerisinde mikroorganizma konsantrasyonunun sabit tutulması sağlanır. Arıtma tankının üst kısmında oluşacak supernatant (üst kısımda durulan su) dolu savaktan geçirilerek havalandırma bölümüne geri gönderilir. Böylece çamur yoğunluğu artırılıp su içeriğinin ve çamur hacminin küçülmesi sağlanır. Biriken fazla çamur zaman içerisinde tesisten uzaklaştırılır.

2.2. Muş Şeker Fabrikası Evsel Atıksu Arıtım Tesis

2000 kişilik tesis biyolojik aktif çamur prensibine göre sürekli çalışacak, ızgara, dengeleme, terfi pompaları, havalandırma, blower, çökeltme, filtrepres, klor dezenfeksiyon ünitesinden oluşmaktadır. Evsel nitelikli atıksu arıtma tesisinde 1 adet, çelik çubuklu, çubuk aralıkları 2,5 cm olan kaba ızgara; 1 adet betonarme yapılı, tam kapaklı gömülü, 6m genişliğinde, 6 m uzunluğunda ve 2,5 m derinliğinde dengeleme tankı, 2 adet dalgıç tipi, 72 m³/h debili, 24 mss basma yüksekliğine sahip terfi pompaları, 2 adet çelik konstrüksüyondan imal edilmiş, 5 mm sac kalınlığındaki, 2,26 m genişliğinde, 3 m yüksekliğinde ve 3 m uzunluğunda havalandırma tankı, 1 adet 5 m³/h debili, 400 mbar basınçlı hava üfleyicisi, 1 adet çelik kontrüksiyondan imal edilmiş, 5 mm sac kalınlığında 2,26 m genişliğinde, 3 m yüksekliğinde, 11,7 m uzunluğunda çökeltim tankı, 1 adet çamur susuzlaştırma ünitesi ve 1 adet betonarme malzemedan yapılmış, yarı gömülü, perdeli, 2,5 m genişliğinde, 1,5 m yüksekliğinde, 4 m uzunluğunda klorlama havuzundan oluşmaktadır.

2.3. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulak Alan Dizaynı

Muş Şeker Fabrikası yapay sulak alan sistem tercihinde yüzey altı akışlı yapay sulak alan sistemi tercih edilmiştir. Evsel atıksu arıtma tesisinin çıkış suyu Yapay sulakalan sisteminin giriş atıksuyunu oluşturmaktadır. Sistemin kurulma amacı mevcut evsel atıksu arıtma tesisinin çıkış

suyunun fabrika sınırı içerisinde yer alan bahçe sulamasında kullanılacak kalitede olmamasından dolayı yapay sulak alan sistemine ihtiyaç duyulmuştur.

2.3.1. Yüzey Alanı ve Derinlik

Yüzey altı akışlı yapay sulak alan sisteminde yüzey alanı kişi başına düşen alan ya da atıksu debisi ve organik madde miktarı baz alınarak hesaplanmaktadır (Cop, 2017). Muş Şeker Fabrikasında kullanılan sistemin yüzey alanı; 12 m uzunluğunda, 2.2 m genişliğinde, 1 m derinliğinde ve hidrolik akış koşullarını sağlamak üzere %1 eğim olacak şekilde tasarlanmıştır. Yeterli miktarda suyu depolamak ve sulama ihtiyacı olduğu durumlarda istenen suyu kolaylıkla sağlayabilmek için sistemden çıkan deşarj suyu 2×2×1 (en×boy×yükseklik) ebatlarına sahip çökeltim havuzunda depolanarak ihtiyaç duyulduğu yere pompa vasıtasıyla aktarılmaktadır.

Yapay sulak alanda verimli bir arıtım gerçekleştirmek amacıyla sistemin derinliği, bitki köklerinin atıksu ile çok iyi temas edecek şekilde tasarlanmalı ya da derinlik seçilirken hidrolik alıkonma süresi de dikkate alınmalıdır. Bölgenin hava koşulları da sistem derinliğini ve su derinliğini etkileyen parametrelerdendir (Cop, 2017).



Şekil 2.1. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalan Sisteminin Yüzey Alanına ait bir görünüm

2.3.2. Yatak Malzemesi

Yapay sulak alan yatak malzemesi; bitki köklerinin tutunması, atıksu giriş ve çıkışının eşit bir şekilde dağılması/toplanması, mikroorganizma büyümesi için yüzey alanı ve filtreleme sağlaması gibi arıtma süreçlerinde bir takım olumlu işlevlere sahiptir (Cop, 2017). Sistem 2 mm kalınlığında jeomembran dolgulu, üzerine 1,5 mm kalınlığında polyester naylon tabakası serili, drenaj hatları döşenmiş, giriş kısmı 80 cm genişliğinde 25-40 mm agrega tabakası, 10 m uzunluğunda tabanı kil ile sıkıştırılmış toprak dolgu alanı ve bitki ekim yeri, 1,20 m kalınlığında çıkış suyu haznesi öncesi 15-30 mm ebatında agrega tabakası ile teşkil edilmiştir.



Şekil 2.2. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalan Sisteminin Yatak Malzemesine ait bir görünüm

2.3.4. Bitki Türleri

Yapay sulak alanlarda bitki örtüsü etkili bir arıtma sağlamanın yanında yapay sulak alanlara estetik anlamda güzel bir görüntü de kazandırır. Atıksudaki nutrientleri gidermek ve algleri kontrol altına almak için baskın olarak su mercimeği (duckweed), yüzeyi tamamen kapladıklarından güneş ışığını bloke ederek alglerin gelişimini önler (Hamilton vd, 1993). Bunun

yanında sulak alan siteminde verimi artırma amacıyla su kamışı (common reeds), meyan bitkisi (*Glycyrrhiza glabra*) gibi farklı bitki türleri de tercih edilmiştir.



Şekil 2.3. Yapay sulakalan sisteminde kullanılan su mercimeğine ait bir görünüm



Şekil 2.4. Yapay Sulakalan sisteminde kullanılan su kamışına ait bir görünüm



Şekil 2.5. Yapay sulakalan sisteminde kullanılan meyan bitkisine ait bir görünüm

2.4. Sisteminin İşletimi ve Performansı

Muş ili Merkez ilçesi Muş – Bitlis karayolu üzerinde 7. Km de bulunan Muş Şeker Fabrikasının evsel nitelikli atıksu arıtma tesisinden çıkan deşarj sularının bahçe sulamada kullanılması için ilave arıtma yöntemi olarak doğal (yapay) arıtma sistemi yüzey altı akışlı yapay sulak alan sistemi kullanılmıştır. Yapay sulak alan sisteminin arıtma veriminin artırılması için çıkış su ve su mercimeği, su sazları, meyan kökü bitkileri alınır. Çıkış suyu sisteme verildiğinde 12 metre uzunluğunda 2 m genişliğinde hidrolik eğimi %1 olan, 1 m derinliğinde sıkıştırılmış tabanlı, 2 mm kalınlığında jeomembran, 1,5 mm kalınlığında polyester naylon tabakası ile örtülmüş tabakadan geçerek arıtım gerçekleştirilir. Bu sistem yapısında atıksu içerisinde KOİ, BOİ, AKM, organik madde giderimi gerçekleştirecektir. Yapay sulakalan sistemi içerisinde bitki köklerinin arıtma yapılacağından, köklü bitkilerin (kamuş ve saz gibi) dikilmesi ve üretiminin gerçekleşmesi için geçirimsiz tabakanın üzerinde bitkilerin köklerinin yetişmesine uygun yükseklikte toprak tabakası bulundurulur. Sığ derinlikli olduğundan yavaş akım için uygun eğim ve sıkıştırma uygulanmaktadır. Atıksudaki nütrientleri gidermek ve alglerin üremesini kontrol altına almak için yoğun olarak su mercimeği, yüzeyi tamamen kapattığından güneş ışığını bloke ederek alglerin üremesini ve gelişimini önler (Hamilton vd, 1993). Arıtma sisteminde kullanılan meyan kökü

bitkisi koku giderimi ve alg oluşumunu engelleyen oksijen alımı ile etki sağlamaktadır. Yapay sulakalan arıtım sistemlerinde genel problem olan koku ve sinek oluşumunu meyan bitkisi gidererek bu sorunu ortadan kaldırmıştır.

2.5. Meteorolojik Veriler

Araştırma yapılan Muş Şeker Fabrikası yapay sulakalan Muş ili Merkez ilçesinde bulunmakta olup, bu bölgeye ait Muş Merkez Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü'nün 2018–2019 yılı çalışmanın yapıldığı aylara ait meteorolojik verileri ile ilgili değerler aşağıda yer alan Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. 1964–2018 yıllarına ait ortalama sıcaklık, yağış ve güneşlenme değerleri (Anonim, 2019b)

Muş	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	-7.3	-5.8	1.0	9.0	14.7	20.0	25.0	24.9	20.0	12.7	4.6	-2.8	9.7
Aylık Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-3.1	-1.2	5.9	14.7	21.2	27.4	33.0	33.1	28.3	19.8	9.8	0.9	15.8
Aylık Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-10.8	-9.6	-2.9	4.2	8.8	12.6	17.0	16.9	12.2	6.8	0.5	-6.0	4.1
Aylık Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.0	3.0	4.6	6.4	8.7	11.3	12.0	11.5	10.0	6.8	3.9	1.9	82.1
Aylık Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.6	12.3	14.2	14.5	14.2	6.4	2.0	1.5	3.1	9.4	10.0	12.6	113.8

Muş		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK
Aylık Toplam														
Yağış Miktarı		90.3	98.7	103.7	104.5	68.8	27.5	6.5	3.6	14.0	64.8	89.1	91.0	762.5
Ortalaması (mm)														
Ay İçerisinde														
Ölçülen En		10.2	15.0	22.8	30.0	31.2	37.4	41.6	41.2	37.0	30.6	21.6	16.0	41.6
Yüksek Sıcaklık														
(°C)														
Ay İçerisinde														
Ölçülen En		-	-	-31.4	-10.2	-2.4	2.2	3.6	8.0	2.0	-3.0	-	-	-34.4
Düşük Sıcaklık		32.6	34.4									25.8	32.0	
(°C)														

Muş Merkez Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü'nün 2018–2019 yılı çalışmanın yapıldığı aylara ait en düşük, en yüksek, ortalama sıcaklık ve yıl boyunca ortalama yağış verileri ile ilgili değerler aşağıda yer alan Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. 2018-2019 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri (Anonim, 2019b)

Aylar		2018 yılı				2019 yılı				
		9.Ay	10.Ay	11.Ay	12.Ay	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay
Sıcaklık (°C)	Ortalama	20.0	12.7	4.6	-2.8	-7.3	-5.8	1.0	9.0	14.70
	Max.	28.3	19.8	9.8	0.90	-3.10	-1.20	5.90	14.7	21.20
	Min.	12.20	6.80	0.50	-6.0	-10.8	-9.6	-2.90	4.20	8.80
Yağış (mm)	Ortalama	14.0	64.80	89.10	91.0	90.30	98.7	103.7	104.5	68.80

2.6. Örnekleme Çalışmaları ve Metodoloji

Yapılan çalışmada alınan atıksu analizleri 2 farklı yönden değerlendirilmek üzere, “Su Kirliliği Yönetmeliği Analiz Metotları Tebliği”nde belirtildiği şekilde alınmıştır. Bir yerde sulakalandan alınan su örneklerinin alınma tarihleri Çizelge 2.3’de verilmiştir. Numune alma esaslarına göre 2–3 litre hacimdeki plastik şişelere alınan 2 saatlik kompozit numuneler saklama koşullarına uygun şekilde +4 °C’de korunarak analizin yapıldığı Diyarbakır Çevre Analiz

Laboratuvarına getirilmiştir. Atıksu numunelerinde, örnek alma tarihlerine ait bilgi Çizelge 2.3’de yer almaktadır.

Çizelge 2.3. Su Örneklerinin Alınma Tarihleri

Örnek Alma Yerleri	Örnek Alma Tarihleri	Mevsim
Muş şeker fabrikası. yapay sulakalanı	05.10.2018	Sonbahar
Muş şeker fabrikası yapay sulakalanı	25.12.2018	Kış
Muş şeker fabrikası yapay sulakalanı	20.03.2019	İlkbahar

Muş Şeker Fabrikası evsel atıksularının yapay sulak alan sistemine giriş ve çıkış atıksuyu analizleri için laboratuvara getirilen atıksu örneklerinde pH, AKM, KOİ ve BOİ analizleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan metotlar aşağıda verilmiştir.

- **pH:** Standart Metot 4500 pH metre (WTW inoLab Level1) ile saptanmıştır. pH ölçümünün standart tekniği hidrojen elektrodu metodudur. Bu tekniğe bağlı olarak alınan 100 ml lik atıksu numunesinde suda asidik ve bazik durumunu hidrojen elektrodu metoduna göre tayin edilir.
- **AKM** (Askıda Katı Madde): Gravimetrik yöntemle genel cihazlar kullanılarak yapılmıştır. 100 ml su örneği kullanılmıştır. Toplam AKM miktarı belirlenmesi için gravimetrik ölçüm esasına dayanan bir yöntemle kullanılır. Buna göre standart cam elyafı filtre tarafından tutulan ve 103 – 105 °C kurutma sonucu oluşan kalıntı AKM olarak adlandırılır. Toplam katı madde değeri ile toplam çözünmüş madde değeri arasındaki fark toplam askıda katı maddelerin yaklaşık değeri olarak alınmıştır.
- **KOİ** (Kimyasal Oksijen İhtiyacı): Spektrofotometrik yöntemle CADAS 200 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analiz için 50 ml su kullanılmıştır.
- **BOİ** (Biyolojik Oksijen İhtiyacı): Seyrelme- Aşılama yöntemi ile VELB cihazı kullanılmıştır. Analiz için 100 – 400 ml su örneği kullanılmıştır. BOİ havalandırma sistemlerinde, besin maddesi olarak kullanılan organik maddeler 20 °C’de mikro organizmalar tarafından kullanılan oksijen miktarının ölçülmesi ile belirlenen bir testtir. Ölçümde atıksudan beklenen BOİ önceden tahmin edilerek numunenin seyreltilmesi gerekir. Belli miktarda atıksu hazırlanan seyrelme suyu ile seyreltilerek 300 ml’lik BOİ şişesine konur. Seyrelme suyu, fosfat tamponu, magnezyum sülfat, kalsiyum klorür, demir üç klorür içerir ve çözölmüş oksijenle doyurulmuş haldedir. Eğer atıksuda gerekli mikro organizma mevcut değilse aşılama yolu ile mikro organizma ilave edilir. Standart BOİ testinde inkübasyon periyodu 20 °C’de karanlıkta beş gündür.

- **Balık Biyodeneyi (ZSF):** Seyrelme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyrelme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapay sulak alan sisteminin Muş Şeker Fabrikası evsel atıksu paket artıma tesisinin çıkış suyunun bahçe sulamasında kullanılması amacıyla kurulan yüzey altı akışlı yapay sulak alanın (05.10.2018) Sonbahar 2018, (25.12.2018) Kış 2018 ve (20.03.2019) İlkbahar dönemlerinde atıksu arıtımı incelenmiştir. Su mercimeği, su sazları ve meyan kökü olmak üzere 3 farklı bitki türü kullanılan yapay sulakalanın giriş ve çıkış noktalarından alınan atıksu numunelerinde mevsimsel olarak BOİ, KOİ, AKM, pH ve balık biyodeneyi (sadece ilk dönemde) ölçümleri yapılmıştır.

Ülkemizde evsel nitelikli atıksuların arıtma tesislerinden çıktıktan sonra alıcı ortama deşarj edilmesinde istenen standart değerler Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca uygulanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (2004) belirtilmiş olup, bu değerler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir (SKKY, 2004).Çalışmada elde edilen analiz sonuçları paket arıtma sistemi çıkış suyu için (Çizelge3.1) ve yapay sulak alan sistemi çıkış suları için SKKY, 2004'te (Çizelge 3.2) standart değerleri kullanılarak kıyaslamalar yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Evsel Nitelikli Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları
SKKY,2004' te Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular (Sınıf 1: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 5-120 Kg/Gün Arasında, Nüfus =84- 2000)

Parametre	Birim	Kompozit Numune (2 saatlik)	Kompozit Numune (24 saatlik)
Biyokimsal Oksijen İhtiyacı (BOİ)	(mg/L)	50	45
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	180	120
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	70	45
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.2. Nitelikli Atıksular (Esdeğer Nüfusun Ne Olduğuna Bakılmaksızın Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan) ve Stabilizasyon Havuzları Sistemiyle Biyolojik Arıtma Yapan Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri) için verilen deşarj değerleri.

Parametre	Birim	Kompozit Numune (2 saatlik)	Kompozit Numune (24 saatlik)
Biyokimsal Oksijen İhtiyacı (BOİ)	(mg/L)	75	50
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	180	120
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	200	150
pH	-	6-9	6-9

3.1. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulak Alan Sisteminde Elde Edilen Parametre Verilerinin Mevsimsel Değişimi

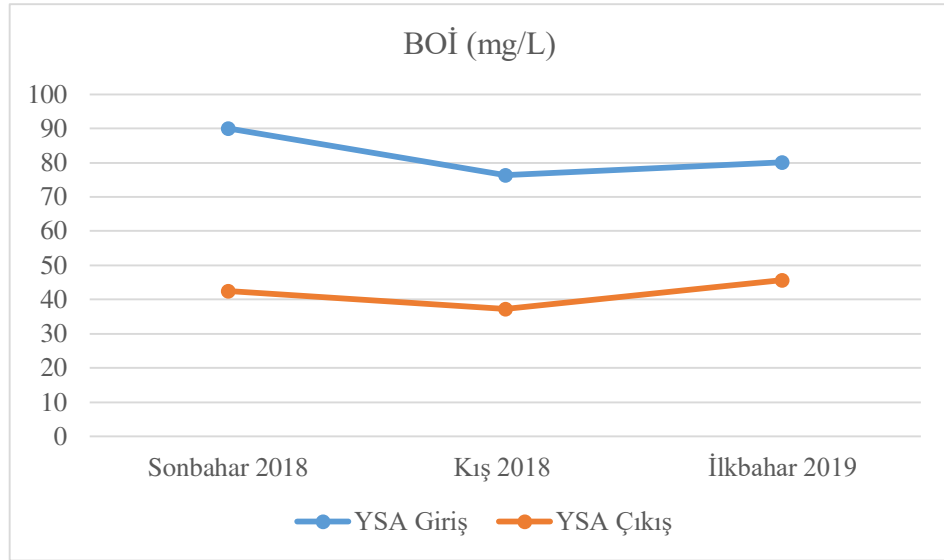
2018 sonbahar ve 2019 ilkbahar yılı Mart dönemleri arasında, Muş merkez ilçesi Muş Şeker Fabrikası'na ait yapay sulakalandan paket arıtmadan çıkan evsel atıksuyun yapay sulakalan sistemine giriş ve çıkış noktalarından (2 saatlik kompozit numune), evsel nitelikli atıksuların SKKY,2004'te, Evsel Nitelikli Atıksular ve Evsel Nitelikli Atıksular (Eşdeğer Nüfusun Ne Olduğuna Bakılmaksızın Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan) ve Stabilizasyon Havuzları Sistemiyle Biyolojik Arıtma Yapan Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri İçin) sınır değerlerine uygunluğunu belirlemek amacıyla ölçülen BOİ, KOİ, AKM ve pH parametre değerleri ve değerlere ait mevsimsel değişimler Çizelge 3.3 ve Şekil 3.1-3.4'de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulak Alan Sistemi Giriş ve Çıkış Değerleri

Tarih	Paket Arıtma Tesisinin Çıkış Suyu Yapay Sulakalan Girişi				
	Dönem	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	pH
05.10.2018	Sonbahar 2018	90,04	410,00	160,45	7,48
25.12.2018	Kış 2018	76,30	269,30	69,00	7,32
20.03.2019	İlkbahar 2019	80,20	254,70	72,50	7,24

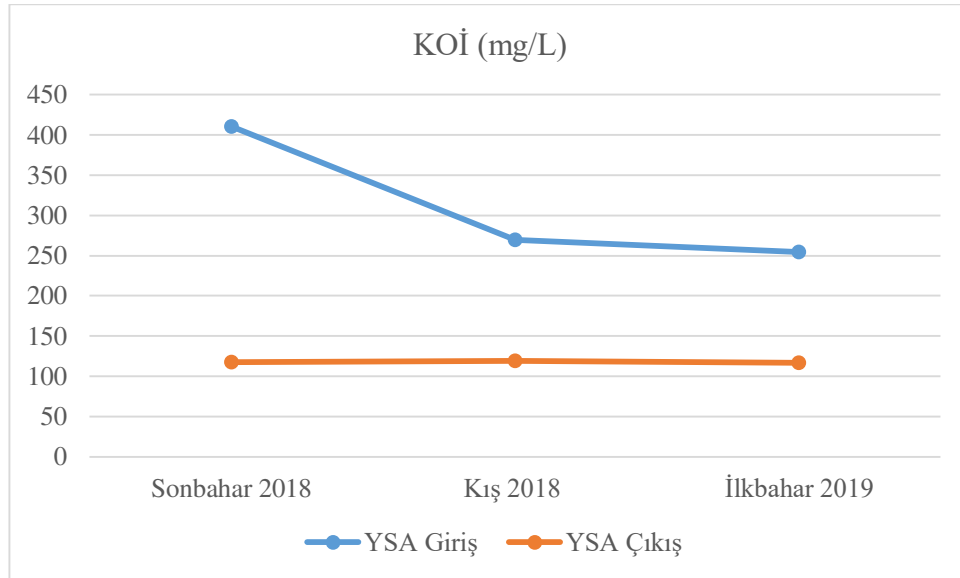
Tarih	Yapay Sulakalan Çıkış				
	Dönem	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	pH
05.10.2018	Sonbahar 2018	42,50	117,49	45,00	6,69
25.12.2018	Kış 2018	37,30	119,30	20,00	6,70
20.03.2019	İlkbahar 2019	45,60	116,50	26,40	6,80

Yapay sulak alan sisteminden elde edilen değerler için Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1'e bakıldığında giriş suyunda BOİ parametresinin en düşük değeri Kış 2018 döneminde 76,30 mg/L; en yüksek değeri ise Sonbahar 2018 döneminde 90,04 mg/L olarak ölçülmüştür. Çıkış suyunda en düşük değer yine Kış 2018 döneminde 37,30 mg/L iken en yüksek değer ise İlkbahar 2019 döneminde 45,60 mg/L olarak bulunmuştur.



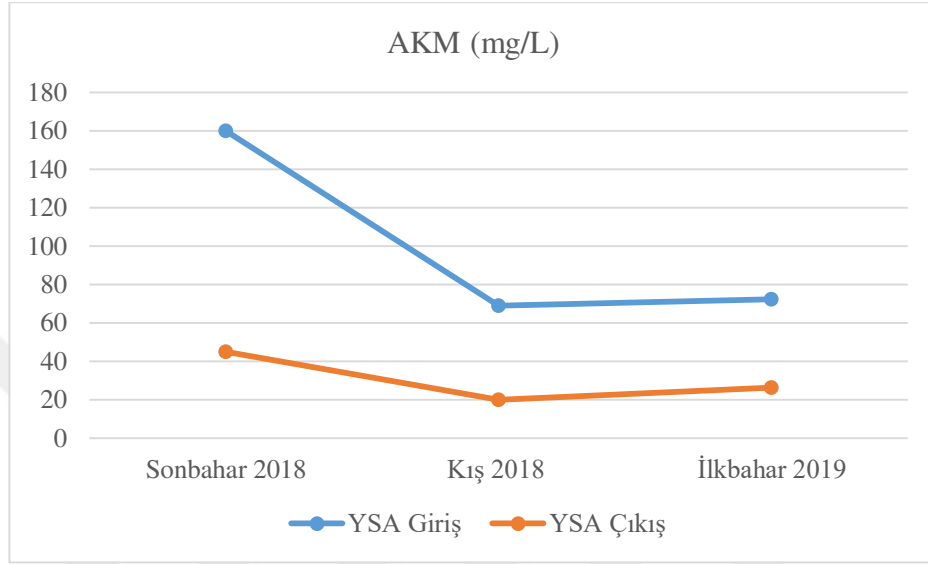
Şekil 3.1. Giriş ve çıkış suyunda BOİ değerlerinin mevsimsel değişimi

Yapay sulak alan sisteminden elde edilen değerler için Çizelge 3.1 ve Şekil 3.2'ye bakıldığında giriş suyunda KOİ parametresinin en düşük değeri İlkbahar 2019 döneminde 254,60 mg/L; en yüksek değeri ise Sonbahar 2018 döneminde 410 mg/L olarak ölçülmüştür. Çıkış suyunda en düşük değer yine İlkbahar 2019 döneminde 116,50 mg/L iken en yüksek değer ise Kış 2018 döneminde 119,30 mg/L olarak bulunmuştur.



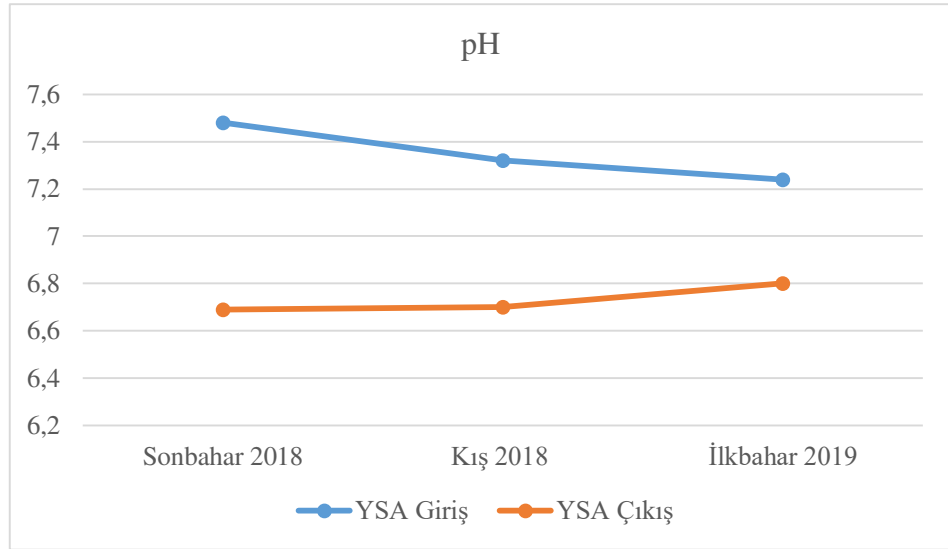
Şekil 3.2. Giriş ve çıkış suyunda KOİ değerlerinin mevsimsel değişimi

Yapay sulak alan sisteminden elde edilen değerler için izelge 3.1 ve ekil 3.3'e bakıldığında giriş suyunda AKM parametresinin en düşük değeri Kış 2018 döneminde 69 mg/L; en yüksek değeri ise Sonbahar 2018 döneminde 160 mg/L olarak ölçülmüştür. ıkış suyunda en düşük değer yine Kış 2018 döneminde 20 mg/L iken en yüksek değer ise Sonbahar 2018 döneminde 45 mg/L olarak bulunmuştur.



Şekil 3.3. Giriş ve çıkış suyunda AKM değerlerinin mevsimsel değişimi

Yapay sulak alan sisteminden elde edilen değerler için izelge 3.1 ve ekil 3.4'e bakıldığında giriş suyunda pH parametresinin en düşük değeri İlkbahar 2019 döneminde 7,24; en yüksek değeri ise Sonbahar 2018 döneminde 7,48 olarak ölçülmüştür. ıkış suyunda en düşük değer Sonbahar 2018 döneminde 6,69 iken en yüksek değer ise İlkbahar 2019 döneminde 6,8 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.4. Giriş ve çıkış suyunda pH değerlerinin mevsimsel değişimi

3.2. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalan Sisteminde Giderim Verimleri

3.2.1. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) İçin Giderim Verimi

Sonbahar 2018, Kış 2018 ve İlkbahar 2019 dönemlerinde Muş Şeker Fabrikası yapay sulakalanından alınan atıksu numunelerinde BOİ giriş ve çıkış verileri, hesaplanan giderim verimleri ve SKKY Tablo 21.1 ve Tablo 21.5 sınır değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Buna göre BOİ parametresi için YSA giriş ve çıkış verilerden hesaplanan giderim performanslarına baktığımızda ise en iyi verim Sonbahar 2018 döneminde %53 ve en düşük verim ise İlkbahar 2019 döneminde %43 olarak elde edilmiştir. Yetik (2018) tarafından Sakarya Geyve Doğantepe köyünde yaptığı çalışmada yüksek giriş suyu değerlerinden dolayı %90’ların üzerinde giderim verimi ile çalışmamızda elde edilen değerden daha yüksek verimlere ulaşmıştır. İspirli Gökrem (2006) Turhal Yeniceler Köyü yapay sulakalanda yaptığı çalışmada BOİ parametresinin giderimini %57,6–%66,6 arasında bulmuştur.

Yapay sulakalan giriş suyu Muş Şeker Fabrikası paket arıtmadan çıkan evsel atıksu SKKY,2004 Tablo 21.1’in sınır değerleri ile kıyaslandığında ölçülen BOİ değerlerinin tamamı 50 mg/L sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 3.4). Ancak yapay sulak alan çıkış suyu değerlerine bakıldığında zaman SKKY,2004 Tablo 21.5’de yer alan 75 mg/L sınır değerlerinin altında sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalanı BOİ Giderim Verimi

Tarih	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)	Giderim Verimi (%)	YSA	YSA
				Giriş SKKY 21.1	Çıkış SKKY 21.5
Sonbahar 2018	90,0	42,5	53	50	75
Kış 2018	76,3	37,3	51	50	75
İlkbahar 2019	80,2	45,6	43	50	75

3.2.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) İçin Giderim Verimi

Sonbahar 2018, Kış 2018 ve İlkbahar 2019 dönemlerinde Muş Şeker Fabrikası yapay sulakalanından alınan atıksu numunelerinde KOİ giriş ve çıkış verileri, hesaplanan giderim verimleri ve SKKY Tablo 21.1 ve Tablo 21.5 sınır değerleri Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Buna göre KOİ parametresi için YSA giriş ve çıkış verilerden hesaplanan giderim performanslarına baktığımızda ise en iyi verim Sonbahar 2018 döneminde %93 ve en düşük verim ise ilkbahar 2019 döneminde %54 olarak elde edilmiştir. Yetik (2018) tarafından Sakarya Geyve Doğantepe köyünde yaptığı çalışmada yüksek giriş suyu değerlerinden dolayı %75-91 arasında giderim verimi ile Sonbahar 2018 dönemi dışında çalışmamızda elde edilen değerden daha yüksek verimlere ulaşmıştır. Bunun sebebi olarak giriş suyu değerlerinin mevcutta var olan bir arıtma sisteminden geçirilmesi ve dolayısıyla düşük giriş suyu değerlerinden dolayı giderim verimlerinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İspirli Gökrem (2006) Turhal Yeniceler Köyü yapay sulakalanı yaptığı çalışmada KOİ parametresinin gideriminin %51,8–%66,9 arasında değiştiğini tespit etmiştir.

Yapay sulakalanı giriş suyu Muş Şeker Fabrikası paket arıtmadan çıkan evsel atıksu SKKY Tablo 21.1'in sınır değerleri ile kıyaslandığında ölçülen KOİ değerlerinin tamamı 180 mg/L sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 3.5). Ancak yapay sulak alan çıkış suyu değerlerine bakıldığı zaman SKKY Tablo 21.5'de yer alan 180 mg/L sınır değerlerinin altında sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.5. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalanı KOİ Giderim Verimi

Tarih	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)	Giderim Verimi (%)	YSA Giriş SKKY 21.1	YSA Çıkış SKKY 21.5
Sonbahar 2018	410	117,49	71	180	180
Kış 2018	269,3	119,3	56	180	180
İlkbahar 2019	254,7	116,5	54	180	180

3.2.3. Askıda Katı Madde (AKM) İçin Giderim Verimi

Sonbahar 2018, Kış 2018 ve İlkbahar 2019 dönemlerinde Muş Şeker Fabrikası yapay sulakalanından alınan atıksu numunelerinde AKM giriş ve çıkış verileri, hesaplanan giderim verimleri ve SKKY Tablo 21.1 ve Tablo 21.5 sınır değerleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Buna göre AKM parametresi için YSA giriş ve çıkış verilerden hesaplanan giderim performanslarına baktığımızda ise en iyi giderim verimi Sonbahar 2018 döneminde %72 ve en düşük giderim verimi ise İlkbahar 2019 döneminde %64 olarak elde edilmiştir. Yetik (2018) tarafından Sakarya Geyve Doğantepe köyünde yapılan çalışmada yüksek giriş suyu değerlerinden dolayı %90'ların üzerinde giderim verimi ile çalışmamızda elde edilen değerden daha yüksek giderim verimlerine ulaşmıştır. İspirli Gökrem (2006) Turhal Yeniceler Köyü yapay sulakalanı

yaptığı çalışmada AKM değerlerinin alıcı ortam standartlarına uygun olmadığını giderim veriminin %42,2–%75 arasında olduğunu tespit etmiştir. Çalışmamız için AKM bakımından giderim performansının genel olarak düşük olmasının sebebi olarak, giriş suyu AKM değerlerinin (Sonbahar 2018 dönemi dışında) düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapay sulakalan giriş suyu Muş Şeker Fabrikası paket arıtmadan çıkan evsel atıksu SKKY Tablo 21.1’in sınır değerleri ile kıyaslandığında ölçülen AKM değerlerinin Kış 2018 dönemi (69 mg/L) dışında diğer dönemlerde 70 mg/L sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 3.6). Yapay sulak alan çıkış suyu değerlerine bakıldığı zaman SKKY Tablo 21.5’de yer alan 200 mg/L sınır değerlerinin altında sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.6. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalanı AKM Giderim Verimi

Tarih	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)	Giderim Verimi (%)	YSA Giriş SKKY 21.1	YSA Çıkış SKKY 21.5
Sonbahar 2018	160	45	72	70	200
Kış 2018	69	20	71	70	200
İlkbahar 2019	72,5	26,4	64	70	200

3.2.4. pH İçin Giderim Verimi

Sonbahar 2018, Kış 2018 ve İlkbahar 2019 dönemlerinde Muş Şeker Fabrikası yapay sulakalanından alınan atıksu numunelerinde pH giriş ve çıkış verileri, % değişimleri ve SKKY Tablo 21.1 ve Tablo 21.5 sınır değerleri Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Buna göre pH değişimine bakıldığında en düşük İlkbahar 2019 döneminde % 6, en yüksek ise Sonbahar 2018 döneminde % 12 olarak bulunmuştur. Yapay sulak alanın giriş suyuna ait pH değeri, arıtım sonrasında, çıkış suyunda kısmen azalmaktadır. Yetik (2018)’in Sakarya Geyve Doğantepe köyünde yaptığı çalışmada pH değişim oranları %1.8 ile %3,3 arasında değişmektedir. İspirli Gökrem (2006) Turhal Yenice Köyü yapay sulakalanında yaptığı çalışmada pH değerinin yapay sulakalana giriş ve çıkış sularında azalma gösterdiğini ve sınır değerlerini aşmadığını ifade etmiştir.

Yapay sulakalan giriş suyu Muş Şeker Fabrikası paket arıtmadan çıkan evsel atıksu SKKY Tablo 21.1’in sınır değerleri ile kıyaslandığında ölçülen pH değerlerinin giriş suyu değerleri çıkış suyu değerlerinden yüksek olmakla birlikte yönetmeliğin Çizelge 3.7’de verilen 6-9 sınır değerleri arasında kalmaktadır.

Çizelge 3.7. Muş Şeker Fabrikası Yapay Sulakalanı %pH Değişimi

Tarih	Giriş (mg/L)	Çıkış (mg/L)	(%) Değişim	YSA Giriş SKKY 21.1	YSA Çıkış SKKY 21.5
Sonbahar 2018	7,48	6,69	12	6-9	6-9
Kış 2018	7,32	6,7	9	6-9	6-9
İlkbahar 2019	7,24	6,8	6	6-9	6-9

3.2.4. Balık Biyodeneyi

SKKY’de ifade edildiği şekliyle balık biyodeneyi; “Atıksuların indikatör organizma olarak kullanılan türden balıklar üzerindeki zehirlilik etkisini saptamaya yarayan, atıksuların değişik seyreltilerinde 48 saat, 72 saat, 96 saat gibi belirli süreler sonunda balıkların sağ kalma yüzdelerinin belirlenerek; zehirliliğin, seyrelti oranları ile ilişkili olarak ifade edilmesini sağlayan standart bir deneydi.

Muş Şeker Fabrikası için yapay sulak alan sistemi kurulduktan sonra SKKY de yer alan Tablo 5.11 Sektör: Gıda Sanayi (şeker üretimi ve benzerleri / a: kondenzasyon suları ile seyrelme yok ise) parametre ve sınır değerler dikkate alınarak sadece sonbahar 2018 döneminde olmak üzere Yapay sulakalan giriş ve çıkış suyunda balık biyodeneyi değeri de ölçülmüştür. Buna göre Yapay sulakalan giriş suyu için balık biyodeneyi (ZSF) 6, çıkış suyu için 4 olarak elde edilmiştir. SKKY Tablo 5.11a’da yer alan <4 sınır değerine göre giriş ve çıkış suyu için elde edilen sonuçlar sınır değerin üzerinde kalmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada ve ülkemizde giderek artan su ihtiyacı ve mevcut su kaynaklarının kirlenmesi sonucu atıksuların arıtılarak alıcı ortama verilmesi günümüzde yapılması gereken bir zorunluluk haline dönüşmüştür. Yapay sulakalanlar birçok arıtma tekniğine göre kirlilik giderme verimleri, uygulanan diğer arıtma sistemlerine nazaran kolay ve az maliyetli olmaları, düşük enerji gereksinimleri ve biyo çeşitlilik oluşturma potansiyelleri nedenleriyle dünyanın birçok bölgesinde ve ülkemizde giderek artan bir şekilde su kirliliklerini arıtmak üzere, çeşitli ölçeklerde ve değişik tasarımlarla kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada; Muş İli Merkez ilçesinde bulunan Muş Şeker Fabrikasının mevcutta var olan paket arıtma sisteminden çıkan evsel nitelikli atıksularını bahçe sulamasında kullanmak üzere yüzey altı akışlı yapay sulak alan sistemi kurulmuştur. Ayrıca 12 metre uzunluğunda 2 m genişliğinde hidrolik eğimi %2 olan, 1 m derinliğinde sıkıştırılmış tabanlı, 2 mm kalınlığında jeomembran dolgulu, üzerine 1,5 mm kalınlığında polyester naylon tabakası serili, drenaj hatları döşenmiştir. Yapay sulakalan giriş ve çıkış suyundan Sonbahar 2018, Kış 2018 ve İlkbahar 2019 olmak üzere 3 dönemlik BOİ, KOİ, AKM, pH ve balık biyodeneyi parametrelerine ait ölçümler alınmıştır. Yapay sulakalan giriş suyu, paket arıtmadan çıkan su olduğu için SKKY Tablo 21.1: Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular'ın sınır değerlerine göre Yapay sulakalan (YSA) giriş suyu değerleri için kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca Yapay sulakalan çıkış suyu değerleri ise SKKY Tablo 21.5: Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular (Eşdeğer Nüfusun Ne Olduğuna Bakılmaksızın Doğal Arıtma tablosunda yer alan sınır değerleri baz alınarak kıyaslanmıştır.

Muş Şeker Fabrikası yüzey altı akışlı yapay sulak alan sistemlerinin çıkış sularından BOİ için %43-53, KOİ için %54-93 ve AKM için %64-72 arasında giderim verimleri elde edilmiştir. pH'a ait 5 değişim %6-12 arasında hesaplanmış olup giriş pH değerleri çıkış pH değerlerine nazaran kısmen yüksektir. BOİ ve KOİ parametreleri için Yapay sulakalan giriş değerleri, SKKY 21.1'e göre sınır değerinin üzerinde tespit edilmiş olup çıkış değerleri SKKY 21.5'e göre sınır değerlerin altındadır. AKM parametresi için Yapay sulakalan giriş Kış 2018 dönemine ait değer hariç SKKY 21.1'in sınır değerlerinin üzerinde olup, çıkış suları ise SKKY 21.5'in sınır değerlerinin altında kalmıştır. pH ise yönetmeliğin her iki tablosunda verilen 6-9 sınır değerlerinin arasındadır. Balık biyodeneyi sadece Sonbahar 2018 döneminde ölçülen giriş ve çıkış değerleri SKKY Tablo 5.11a'da yer alan <4 sınır değerinin üzerinde ölçülmüştür.

Öneriler;

- 1- Atıksuların alıcı ortama deşarj edilebilme kriterlerinden olan pH, BOİ, KOİ, AKM konsantrasyon değerleri yapay sulakalanda da oldukça iyi verimlerle giderilmiştir. Ancak birkaç örnekte standart üstünde bulunan BOİ ve AKM parametreleri için örnekleme yapıldığı dönemlerde hava sıcaklığının düşük ve yağışın fazla olması gibi mevsimsel etkenlerden kaynaklandığı söylenebilir.
- 2- Yapay sulakalan sistemlerinin işletme süreleri genellikle düzenli bakımına bağlıdır. Çalışma yapılan sulakalanlardan farklı sebeple tıkanıklık göstermiştir. Bu tür aksaklıkların ve tıkanıklıkların önlenmesi için sulakalan giriş ve çıkış sistemlerine ayarlanabilir vanalar koyulmalı, sistemde oluşan çamurlar belli periyotlarda temizlenmelidir.
- 3- Yapay sulakalanların evsel nitelikli atıksuların arıtımında iyi bir potansiyele sahip olduğu, düzgün tasarımlarla iyi sonuçlar elde edilebileceği, çevre kirliliğini önlemede bu tip projelerin özendirilmesi ve desteklenmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.
- 4- Yapay sulakalanların kuruluş aşamasında kullanılan malzemelerin kirlilik gideriminde rol oynamasının yanısıra su mercimeği, su sazları ve meyan kökü gibi su bitkilerinin kullanılması kirlilik giderimini oldukça arttırmaktadır. Bu tip bitkilerle karşılaştırmalı çalışmalar yapılmalıdır.
- 5- Evsel nitelikli atıksuyu arıtan yapay sulakalanlarda yetiştirilen su mercimeği, su ve meyan kökü bitkileri ile yine besince zengin dış ortamlarda yetişen Diğer bitkileri arasında besin depolaması bakımından benzerlik görülmektedir. Ancak endüstriyel kirliliğin arıtıldığı sulakalanlarda aynı sonuçlar bulunmayabilir. Bu nedenle endüstriyel atıkların bulunduğu sulardaki bitki besin depolaması konusunda daha detaylı çalışmalar yürütülmelidir.
- 6- Yapılan çalışma Türkiye’de içinde su mercimeği, su sazları, meyan kökü bitkileri bulunan yüzey altı akışlı yapay sulakalanların evsel nitelikli atıksuları arıtmada kullanılabilirliğini gösteren öncül çalışmalardan birisi olduğundan diğer çalışmalara örnek oluşturacağı kanaatindeyiz.

4. KAYNAKLAR

- Anonim, 2019a. <http://mus.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-genel-bilgiler-i-1136>. (Eriřim tarihi: 10 Nisan 2019)
- Anonim, 2019b. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler_istatistik.aspx?k=undefin ed&m=MUS (Eriřim tarihi: 22 Nisan 2019)
- Ayaz SC, Akça L, 2001. Treatment of Wastewater by Natural Systems. *Environment International*, 26, 189-195. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(00\)00099-4](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(00)00099-4).
- Aydın Temel F, Avcı E, Ardalı Y, 2017. Atıksu Arıtımında Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Sistemlerinin Kullanımı: Örnek Çalışma, Kızılcaören. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(5): 493-501.
- Cirik S, 1993. Sulak Alanlar. *Ekoloji Dergisi*, 7: 50-51.
- Cop M, 2017. Konya İli Yapay Sulak Alanlarda Arıtma Verimi, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dağlı S, 2006. Evsel Atıksulardan Yapay Sulak Alan Sistemlerinde Yüksek Fosfor Gideriminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demir A, 2008. Akyatan Lagününde Tuzluluk ve Bazı Kirlilik Düzeylerinin Saptanarak Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Dağılımlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Demirörs B, 2006. Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erdem O, 2004. Sulak Alanlar: Önemi, Temel Sorunları, Türkiye'nin Uluslararası Öneme sahip sulak alanları. *Haber Ekspres*: İzmir Gediz Deltası ve Kuşları, (28 Şubat 2004), 7 s.
- Göçmez S, Güngör M, Akyürek A, Şenyurt M, Öztürk A, Karabuğa MÇ, 2018. Denizli İlinde Yapay Sulak Alanların Revizyonu: Bozkurt-Alıkurt Yapay Sulak Alan Örneği. *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management October 25-27, Denizli*.
- Göçmez S, Kıyam Y, 2018. Yapay Sulak Alan Sistemlerinin Evsel Atıksuların Arıtımında Kullanımı: Torbalı-Korucuk Mahallesi Örneği. *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management October 25-27, Denizli*.

- Hamilton BJ, Mortin MA, Greenleaf AL, 1993. Reverse genetics of Drosophila RNA polymerase II: identification and characterization of RpII140, the genomic locus for the second-largest subunit. *Genetics*, 134(2): 517--529.
- İspirli Gökrem FY, 2006. Tokat İlinde Yapay Sulakalanlar İle Bu Sistemde Kullanılan *Typha latifolia* L. Bitkisinin Evsel Atıksu Arıtmada Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Tokat.
- Sevi A, 2006. Bursa İli Harmancık İlçesi Evsel Nitelikli Atıksuların Dip Akışlı Yapay Sulak Alan Arıtma Sistemi İle Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne.
- SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Resmi Gazete Tarihi:31.12.2004; Sayı:25687)
- Temel FA, 2013. Türkiye'de Atıksu Arıtımında Yapay Sulak Alanların Tasarımı ve Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Örnek Çalışma, Kızılcaören. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun.
- Topal M, Karagözoğlu B, Öbek E, 2011. Sızıntı Sularının Doğal Arıtımı. AKÜ FEBİD 11(025401): 1-16.
- Tunçsiper B, Akça L, 2006. Pilot ölçekli bir yapay sulakalan sisteminin arıtma performansının incelenmesi. İtü dergisi/d mühendislik dergisi, 5 (3): 13-22.
- TÜBİTAK-MAM, 2011. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü Yapay Sulakalanlar El Kitabı 105G047. Gebze, Kocaeli.
- Sevi A, 2006. Bursa İli Harmancık İlçesi Evsel Nitelikli Atıksuların Dip Akışlı Yapay Sulak Alan Arıtma Sistemi İle Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne.
- Yetik S, 2008. Atıksuların Yapay Sulak Alanlarda Arıtımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Kulp'ta doğdum. İlköğretimi Kulp Yatılı İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Kulp Yatılı İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Mehmet Niyazi Altuğ Lisesi'nde tamamladım. 2008 yılında kazandığım Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisi Bölümü'nden 2012 yılında mezun oldum. 2014 yılında kazandığım Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2019 yılında mezun oldum. 2012 yılında Kurduğum ve sahibi olduğum çevre danışmanlık firmasında çevre koordinatörlüğü yapmaktayım. 2015'te Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladım ve hala devam etmekteyim. Yabancı dilim İngilizce'dir.

Selami YİĞİT