



T.C.
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KONYA ATIKSU ARITMA TESİSİNDE ARITILMIŞ ATIKSULARIN
GERİ KAZANIMINDA MEMBRAN PROSESLERİN
VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Yunus BALIK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Ağustos - 2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Yunus BALIK tarafından hazırlanan "Konya Atıksu Arıtma Tesisinde Aritilmiş Atıksuların Geri Kazanımında Membran Proseslerin Verimlerinin Karşılaştırılması" adlı tez çalışması 29/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

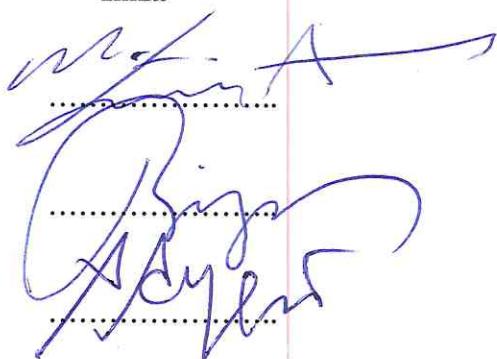
Danışman

Prof. Dr. Bilgehan NAS

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AYGÜN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

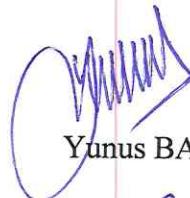
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Yunus BALIK

Tarih: 29.08.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

KONYA ATIKSU ARITMA TESİSİNDE ARITILMIŞ ATIKSULARIN GERİ KAZANIMINDA MEMBRAN PROSESLERİN VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yunus BALIK

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bilgehan NAS

2019, 73 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Bilgehan NAS
Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AYGÜN

Aritilmiş atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynaklarını korumak ve mevcut kaynakları verimli kullanmak adına etkin bir yöntemdir. 2010 yılında devreye alınan 200.000 m³/gün kapasiteli Konya atıksu arıtma tesisi (AAT)'nin çıkışında kurulan 3600 m³/gün kapasiteli atıksu geri kazanım tesisi 2012 yılında devreye alınmıştır. Mor Şebeke adı verilen sistem, hızlı kum filtersi, UV dezenfeksiyon ve klorlama proseslerinden oluşmaktadır. 2012 yılından bu yana yaz aylarında kentsel yeşil alanların sulanmasında kullanılan bu sisteme ilave olarak bu çalışmada; Membran proseslerden oluşan (Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF) ve Ters ozmos (RO)) 90 m³/gün kapasiteli pilot ölçekli yeni bir atıksu geri kazanım tesisi kurulmuştur.

Konya ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi çıkış suları önce mor şebeke sistemi ile ardından da membran prosesler ile arıtılırak farklı yeniden kullanım alternatifleri için elde edilecek su kalitesi değerlendirilmiştir. Mor şebeke tesisinde ve pilot ölçekli membran tesisinde KOİ, BOİ₅, Bulanıklık, İletkenlik, Bakteriye Klor, Fekal Koliform giderim verimleri izlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Konya kenti aritilmiş atıksularının yeniden kullanım alternatifleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu Geri Kazanımı, Membran Sistemler, Nanofiltrasyon (NF), Ters Ozmoz (RO), Ultrafiltrasyon (UF), Yeniden Kullanım

ABSTRACT

MS THESIS

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF MEMBRANE PROCESSES IN RECLAMATION OF WASTEWATER TREATED IN KONYA WASTEWATER TREATMENT PLANT

Yunus BALIK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering**

**Prof. Dr. Bilgehan NAS
2019,73Pages**

**Jury
Prof. Dr. Bilgehan NAS
Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AYGÜN**

The reclamation and reuse of treated wastewater is an effective way to protect the water resources in arid and semi-arid area regions and to use existing resources efficiently. Wastewater reclamation and reuse facility with a capacity of 3600 m³/day has started up in 2012 at Konya Wastewater Treatment Plant (WWTP) exit which was established in 2010 with capacity of 200.000 m³/day. The system called Purple Network consists of rapid sand filter, UV disinfection and chlorination disinfection processes. In addition to this system used in irrigation of urban green areas in summer times since 2012, a new pilot scale wastewater reclamation plant with a capacity of 90 m³/day which is consisting of membrane processes (i.e ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO)) has been established.

In this study, the quality of water to be obtained for different reuse alternatives was evaluated by treating the effluent of Konya advanced biological treatment plant first with Purple Network System and then with the membrane processes. Also, in the scope of this study, COD, BOD₅, turbidity, conductivity, residual chlorine, fecal coliform removal efficiencies were observed by using the Purple Network System and the pilot scale membrane processes plant. According to the results obtained, reuse alternatives of treated wastewater were evaluated for the city of Konya.

Key words:membrane systems, nanofiltration (NF), reverse osmosis (RO), ultrafiltration (UF), wastewater reclamation,water reuse

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmam boyunca bana yardımcı olan, bu konunun belirlenmesinde bana esin kaynağı olan bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, mesleğimi bana sevdiren ve mesleğimdeki gelişimimde çok büyük katkısı olan, hayatmda kendisini örnek aldığım danışman hocam sayın Prof. Dr. Bilgehan NAS'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmamda bana desteğini esirgemeyen KOSKİ Genel Müdürlüğü'ne, başta Dr. Serdar KOYUNCU olmak üzere tüm mesai arkadaşımı teşşekkürlerimi sunarım.

Yunus BALIK

KONYA 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ.....	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi.....	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Atıksu Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı	3
2.2. Atıksu Geri Kazanımında Membran Prosesler.....	11
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Konya Atıksu Arıtma Tesisi.....	17
3.2. Konya AAT Atıksu Geri Kazanım Tesisi	19
3.3. Pilot Ölçekli Membran Tesisi.....	23
3.4. Numune Alma ve Analizler.....	28
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	29
4.1. Konya Atıksu Arıtma Tesisi Veriminin Değerlendirilmesi	30
4.2. Atıksu Geri Kazanımında Kum Filtresinin Veriminin Değerlendirilmesi	38
4.3. Atıksu Geri Kazanımında Ultrafiltrasyon (UF) Prosesinin Değerlendirilmesi	44
4.4. Atıksu Geri Kazanımında Nanofiltrasyon (NF) Prosesinin Değerlendirilmesi.....	50
4.5. Atıksu Geri Kazanımında Ters Ozmoz (RO) Prosesinin Değerlendirilmesi	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm	: Santimetre
ha	: Hektar
Kg	: Kilogram
L	: Litre
m	: Metre
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
Mg	: Miligram
µS	:Mikrosimens

Kısaltmalar

AAT	: Atıksu arıtma tesisi
AATTUT	: Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği
AKM	: Askıda katı madde
BOİ₅	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
EC	: Elektriksel iletkenlik
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
NF	:Nanofiltrasyon
RO	:Ters ozmoz
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
UF	:Ultrafiltrasyon

1. GİRİŞ

Yerkürede bulunan 1,4 km³suyun yaklaşık %97,4'ü tuzlu su, %2,6'sı tatlı sudur. Kullanılabilen tatlı su miktarı ise toplam suyun %0,8'i kadar olup, sürekli olarak buharlaşma, yağış ve akış halinde bulunmaktadır (Samsunlu, 2006). 21. yüzyılın başlıca sorunlarından bir tanesinin de kullanılırken su kaynaklarındaki azalma olduğu ve ilerleyen zamanlarda dünyada su kıtlığı yaşanabileceğine uluslararası araştırma sonuçlarında açıkça görülmektedir. İnsanlar sınırlı bir kaynak olan suyu başlıca kentsel, endüstriyel ve tarımsal kullanımlar için ihtiyaç duyarlar (Urkiaga ve ark., 2008).

Kullanılırken su kaynaklarının azalmasından ve nüfus artışı, kentleşme, tarımsal uygulamalardan dolayı su ihtiyacının artması insanları yeni kaynak arayışı içerisinde itmiştir. Bunlardan bir tanesi de atıksuların arıtılıp yeniden kullanılabilir hale getirilmesidir. Su ihtiyacının artmasından dolayı atıksuların arıtıldıkten sonra yeniden kullanılması gündeme gelmiştir (Büyükkamacı ve Onbaşı, 2007).

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı Dünya'da her geçen gün daha fazla ilgi uyandırmaktadır. Dünya'da geri kazanılmış atıksular %32 oranında tarımsal sulama amaçlı yeniden kullanılmaktadır. Tarımsal sulama amaçlı su kullanımını; peyzaj amaçlı sulama %20 ve endüstriyel kullanım ise %19 ile takip etmektedir. Atıksuların arıtıldıkten sonra yeniden kullanıldığı ülkelerin başında ABD, Batı Avrupa, Avustralya ve İsrail gelmektedir. (Miller, 2006). Bununla birlikte Kuveyt, Namibya, Singapur, Güney Afrika, İspanya ve Tunus gibi birçok ülkenin atıksuların yeniden kullanılması için çalışmalara başladığı bilinmektedir.

2017 yılında başlatılan ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ncı yürütülen "Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" ve Orman ve Su İşleri Bakanlığı'ncı yürütülen "Kullanılmış Suların Yeniden Kullanın Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi" ülkemizde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunun önem kazandığı veümüzdeki yıllarda bu konuda önemli uygulamaların ve mevzuat düzenlemelerinin başlayacağı göstergesidir.

Ayrıca atıksuların arıtıldıkten sonrayeniden kullanımı, Devlet Planlama Teşkilatı tarafından hazırlanan 9. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (2007–2013), Çevrenin Korunması ve Kentsel Altyapının Geliştirilmesi başlığı altındayer alan 469 nolu maddede; "Yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmeden korunması sağlanacak ve atık suların arıtıldıkten sonra tarım ve sanayide kullanılması teşvik edilecektir." şeklinde yer almaktadır.

Arıtılmış atıksuların kullanımı arttıkça paralel olarak teknolojide gelişmektedir. Bunlardan bir tanesi de membranteknolojisidir. 1960'lı yıllar membran sisteminin ilk ortaya çıktığı dönem olmakla birlikte, 1990'lı yıllarda itibaren bu teknolojinin kullanımı

yaygınlaşmıştır. Son yıllarda Ülkemizde de oldukça yaygın olarak kullanılan membran teknolojisinin başlıca kullanım alanlarının endüstriyel atıksuların arıtımı ve geri kazanımı, atıksu arıtımı ve arıtılmış atıksuların yeniden kullanımını olarak görülmektedir. Atıksu geri kazanımında son dönemde öne çıkan proseslerden olan membran, iki fazı birbirinden ayırmaya yarayan ve maddenin taşınmasına karşı seçici bir bariyer gibi davranışın ince bir film olarak tanımlanabilir. Suyun membran boyunca akması için bazı türlerde itici güçlere ihtiyaç vardır. Yeniden kullanım uygulamalarında, membran prosesleri tipik olarak basınçlı çalışan proseslerdir.

Membranlar, içme ve kullanım sularının elde edilmesi (nehir, göl, deniz ve kuyulardan), endüstrilerde proses suyu temini, atıksuların deşarj standartlarında arıtılması, proses sularında bulunan kimyasal maddelerin geri kazanımı gibifarklı değişik alanlarda kullanılabilen, son yıllarda arıtma yöntemlerinin başında gelmektedir (Ünlü, 2008).

1.1.Tezin Amacı ve Önemi

Ülkemizde arıtılmış atıksuların geri kazanımında en iyi uygulamalardan birisi de Konya evsel atıksu arıtma tesisisinde (Konya AAT) uygulaması yapılan ve kentsel yeniden kullanım için tasarlanan “Mor Şebeke” dir.

Bu çalışmanın amacı;

Konya AAT’de işletilmekte olan Mor Şebeke atıksu geri kazanım tesisi (Ön klorlama+Hızlı kum滤resi+UV+Son klorlama) çıkış suyu ile beslenecek olan membran proseslerin farklı yeniden kullanım alternatifleri için verimlerinin araştırılmasıdır.

Mevcut geri kazanım tesisisinde arıtılan atıksu bir depoda biriktirilip, Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF) ve Ters Osmos (RO) dan oluşan $90 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli membran proseslerinden oluşan pilot ölçekli tesiste arıtılacaktır.

Membran proseslerin kentsel atıksuların farklı yeniden kullanım alanları için üretebileceği su kalitesi; BO_İ₅, KO_İ, pH, iletkenlik, bulanıklık, fekal koliform ve bakiye klor parametreleri izlenilerek araştırılmıştır.

Böylece, Konya AAT ‘de kentsel yeşil alan sulama suyu amaçlı yeniden kullanım yanında farklı yeniden kullanım alternatifleri için membran proseslerin uygunluğu değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; $3600 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli mevcut Mor Şebeke atıksu geri kazanım tesisi kapasitesinin arttırılması için KOSKİ Genel Müdürlüğü’ne ve diğer su ve kanalizasyon idarelerine önemli veri sağlayabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Atıksu Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı

Dünya üzerindeki hızla artmakta olan nüfus ve insanların su ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerdeki artış paralel olarak, insanların suya olan talebi deartırılmıştır. Su tüketiminin artmasına rağmen kullanılabilir su kaynaklarının sınırlı ve her geçen gün daha da azalıyor olması, kaynakların daha verimli kullanılmasını, dahi dikkatli yönetilmesini, sutüketimini azaltıcı tedbirler alınmasını ve kullanılmış suların geri kazanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Temiz su kaynaklarını korumak amacıyla yapılan atıksu geri kazanımı konusunda bilinen en eski çalışmalar 1900'lu yıllara dayanmaktadır. Bu uygulamalar; ağaç ve yeşil alan sulanması, tuvaletlerde bulunan sifonlardaki kullanılması, metal sanayinde proses soğutma suyu olarak kullanılması şeklinde olacak şekilde sıralanabilir. Örneğin; Amerika'da bulunan Golden Gate parkının yeşil alanları 1912-1985 yılları arasında gerikazanılmış atıksu ile sulanmıştır. Ayrıca; kontrollü bir şekilde yeraltına deşarj yapılarak deniz suyunun yeraltı suyunagiirişiminin önlenmesi, narenciye bahçelerinin sulanması (Tunus-1962), kâğıt endüstrisindeki yüksek su ihtiyacından dolayı geri kazanılmış evsel atıksuların kullanımı (Güney Afrika-1970), enginar, kereviz gibi işlem gördükten sonra yenilen bitkilerin geri kazanılmış suyla sulanması (A.B.D.-1987), golf sahalarının sulanması gibi önemli uygulama örnekleri mevcuttur (Asano, 2002).

Özellikle su kıtlığı yaşayan yada su kıtlığı yaşama riski olan bölgelerde atıksuyun yeniden kullanımı su tasarrufunu desteklemekle birlikte su kaynağı oluşturmaktadır. Arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış atıksular; tarımsal sulama, yeraltı suları ve yüzey sularını beslemek, yanık, rekreasyon amaçlı, inşaat, ağaç ve yeşil alan sulaması gibi uygulamalar için temiz su yerine kullanılabilir. Tarımsal alan sulaması, su kaynaklarının korunması ve kimyasal gubreye olan ihtiyacı azaltmak için nütrientler ile tarım alanlarının doğal yollarla zenginleştirilmesi atıksuların yeniden kullanım konusunda yaygın bir uygulamadır. Birçok ülkede yapay sulak alan oluşturma, toz kontrolü, yanık suyu, tuvaletlerde sifon suyu gibi alanlarda arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımını için çalışmalar yapılmaktadır (Tsiridis ve ark., 2009).

Dünya'da arıtılmış atıksuları yeniden kullanan ülkelerin başında, Amerika Birleşik Devletleri, İsrail, Güney Afrika, Yunanistan, Birleşik Arap Emirlikleri, Ürdün, Kuveyt, Tunus, Güney Kıbrıs, Mısır, Cezayir, Bahreyn, Katar, Fas, Libya, Lübnan, Suudi Arabistan, Umman, Namibya, Yemen, İran, Tacikistan, Türkmenistan, Kırgızistan, Meksika, Arjantin,

Avustralya,Sili, Brezilya, Çin, Hindistan,Belçika,Fransa, İtalya ve Japonya gelmektedir. Bu ülkelere bakıldığından su stresi altında olan ülkelerin yanı sıra su stresi olmayan ülkelerinde yer aldığı görülmektedir. Atıksuların geri kazanımına eğilimin artması,yalnızca su sıkıntısı çeken kurak bölgelerde değil; su kaynaklarının yeterli olduğu yerlerde desuyu geri kazanmak, tatlı su kaynaklarını korumak ve tatlı su kullanımını azaltmaktadır. Bazı bölgelerin yüksek yağışmasına rağmen su temini, taşıma ya da pompaj maliyetlerinden dolayızor olması, atıksuların geri kazanılarak kullanılmasının önemli bir su kaynağı olduğunu göstermektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) arıtılmış atıksuyun yeniden kullanım alanlarını direkt yeniden kullanım,dolaylı kullanım ve geri dönüşüm şeklinde tanımlamaktadır: Arıtılmış atıksuyun içme suyu,sulama, endüstriyel amaçlı kullanım, akifer dolumu gibi belirli bir amaç için planlı şekilde kullanımına direkt yeniden kullanım; evsel ve endüstriyel prosesler için bir ya da daha fazla yeniden kullanılması ile yeraltı ve yüzey sularına deşarj edilmesi ve seyreltilmiş formdayeniden kullanılması dolaylı kullanım; kirlilik kontrolü ve su tasarrufu amacıyla endüstriyel tesislerdahilinde suyun yeniden kullanılması ise geri dönüşüm olarak adlandırılmıştır(Lamas ve Fujisawa, 2018).

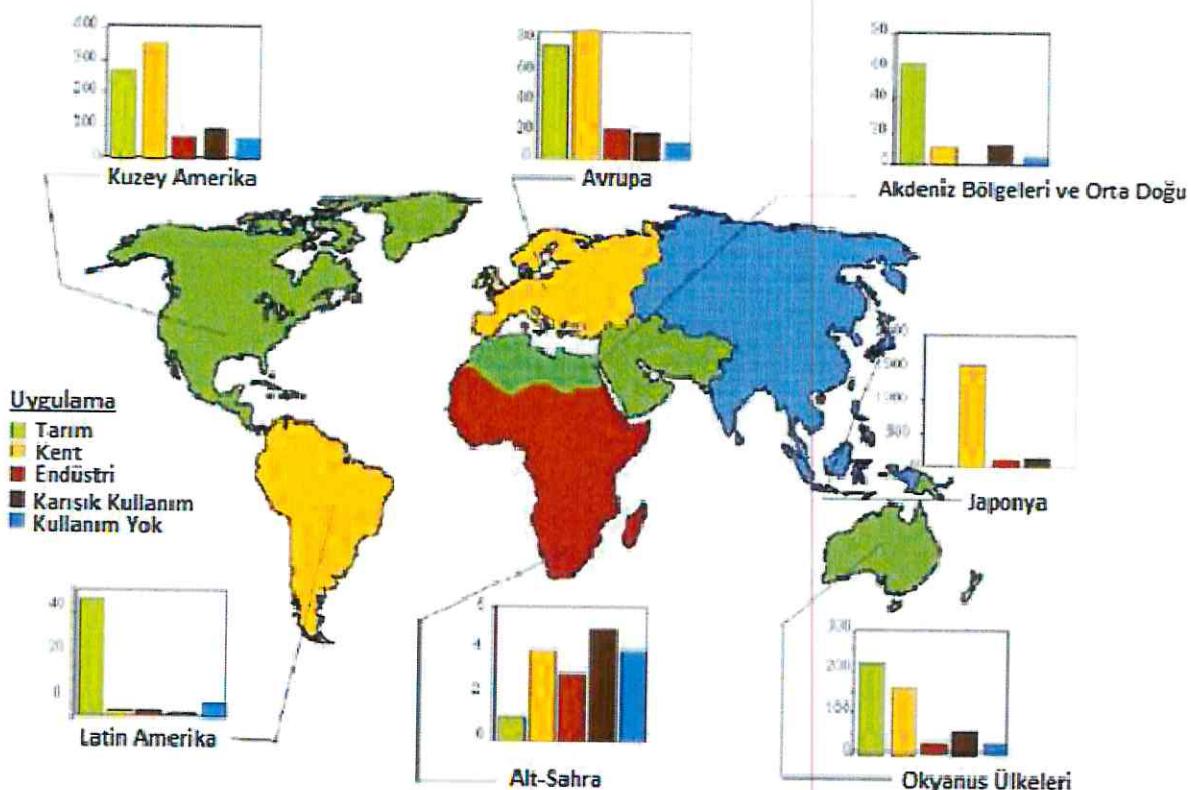
Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımını ayrıca kullanım alanına göre "içme suyu amaçlı kullanım" ve "içme suyu amaçlı olmayan kullanım" olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır. Birincisi, akifer ve yüzey kaynağın doğrudan ya da dolaylı olarak doldurulması,ikincisi ise tarımsal, endüstriyel,kentsel,rekreasyonel, çevresel ve su ürünleri yetiştirciliği gibi amaçlarlayeniden kullanımdır.

Atıksu geri kazanımındaki teknoloji seviyesi, geri kazanımı istenilen atıksuyunkullanım amacı ile doğru orantılıdır. Kullanım amacı yeşil alan sulaması yada tarımsal sulama olacaksa biyolojik arıtma çıkışında iyi bir şekilde dezenfeksiyon sağlanması yeterli olabilir.Doğrudan yada dolaylı geri kazanım isteniyorsa daha ileri arıtma alternatifleri (membran teknolojileri, ileri oksidasyon yöntemleri ve aktif karbon vb.) kullanılabilir(Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

Dünya'da atıksuların geri kazanımında birçok farklı geri kazanım yöntemleri kullanılmaktadır. Bixio ve ark. (2005) yaptıkları bir çalışmada atıksuların yeniden kullanım çeşitlerini 4 ana başlıkta toplamışlardır: 1)tarımsal alanlarda kullanım, 2) kentsel yeşil alanlarda kullanım ve akifer sularının beslenmesi, 3) endüstriyel alanda kullanım, 4) karışık kullanımılar. Arıtılmış atıksuların dünyada kullanım oranları tarımsal alanlarda %70, endüstriyel olarak %20 ve evsel amaçlı kullanımı %10 seviyelerindedir. Bu oranlar bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir. Entegre su yönetiminin en önemli unsurlarından birinin de atıksuların tarımsal amaçlar gibi yeden kullanımının olmadığı ve su kitleğinin nüfuz altındasında

önemli olduğu düşünülmektedir. Basit, düşük maliyetli ve etkiliteknolojilerin bulunması kullanım miktarının artmasında önemli rol alacaktır(Wintgens ve ark., 2005).

Şekil 2.1.'de arıtilmiş atıksuların dünyanın farklı bölgelerindeki kullanım durumları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Arıtilmiş atıksuların dünyanın farklı bölgelerindeki kullanım durumları(Aziz ve Farissi, 2014).

Kullanım amacına bakıldığından, arıtilmiş atıksuların tarımsal alanda kullanımının 200000 ha ile en çok Çin'de olduğu görülmüştür. ABD'de 20000 ha, Fransa ve Almanya'da 5000 ile 10000 ha arasındadır. İtalya'da ise tarımsal kullanım 20000 ha civarında olup diğer Avrupa Ülkelerine nazaran daha yüksektir. Çin'den sonra en yüksek seviyelerin ise Güney Amerika Ülkelerinde ve İsrail'de(50000 ile 150000 ha arasında) olduğu görülmüştür (Jaramillo ve Restrepo, 2017).

Günümüzde dünya genelinde; akifer besleme, tarımsal kullanım, endüstriyel tesislerde kullanım vedolaylı yönden su temini vb. amaçlar için kurulmuş büyük ölçekli 27 adet atıksu geri kazanım tesisi bulunmaktadır. Bunların haricinde membranbiyoreaktörlerin (MBR) kullanıldığı tesisler de mevcuttur. Su ihtiyacının artması ve su kıtlığı yaşanmasından dolayı bu tesislerin sayısı gün geçtikçe daha da artmaktadır. Ayrıca bu sistemler üzerine yapılan bilimsel araştırmalar ve teknolojik gelişmeler de son derece hızla ilerlemektedir. En sık

uygulanan yöntemlerden birisi olan membran prosesler ikincil yada üçüncü arıtma çıkış suları için kullanıldığından dolayı katı madde yüklemesi de düşük olmaktadır. Arıtılmış atıksuların kullanım amacına bağlı olarak MF ve UF prosesleri çoğulukla kullanılmakta olup, bunların ardından NF ya da RO gibi membran prosesler eklenerek daha kaliteli çıkış suyu elde edilebilmektedir. Sürekli olarak aynı kalitede çıkış suyu elde edilmesi gereken sistemleri infiziksel arıtım sağlayan MF ve UF sistemleride önem taşımaktadır. Bu sistemlerin herhangi bir kimyasala ihtiyaç duymadan çalışabilmesi sistemlerin ekolojik açıdan zararsız olduğunu göstergesidir.

İsrail'de kurulmuş ve 1960'lardan beri işletilmekte olan Dan Bölgesi Atıksu Islahi Projesi atıksuların arıtılması ve tarımsal sulamada kullanılması konusunda büyük ve en eski sistemlerden birisidir. Bu proje sayesinde, 8 şehrinatık suları 1.5 milyon E.N kapasitelitesi arıtlarak kiferdeuzun süre bekletilmekte ve güneyde bulunan kurak bölgelerin sulanması bu sayede gerçekleştirilmektedir (her yıl yaklaşık 110 milyon m^3 atıksu geri kazanımı sağlanmaktadır). Bu sistemin toplam kapasitesi 160 milyon $m^3/yıl$ civarında olup çıkış suyunda ki kirletici parametreler, İsrail Sağlık Bakanlığı'ncı düzenli olarak kontrol altında tutulmaktadır (Fatta ve ark., 2005).

Su sıkıntısı yaşayan ülkelere Güney Kıbrıs'ta yıllık ortalama yağış miktarı 500 mm olup, %80'ini sulamada kullanılmaktadır. Larnaka'da bulunan bir evsel atıksu arıtma tesisinin çıkış sularını yeşil alan sulamasında ve tarımsal sulamada kullanmak üzere, kum filtresinden geçirilerek sonrasında klorla dezenfeksiyon sağlanmakta ve mısır, yonca gibi ürünlerin yetişirildiği tarım arazilerinin sulamasında kullanmaktadır. Böylece yaklaşık 150 hektarlık bir alanda düzenli olarak sulama yapılmaktadır. Tesiste oksidasyon hendekleri ile çökeltim havuzlarından çıkan atıksular kum filtresinden geçirilmekte ve klorlama yapılarak sulama sistemine verilmektedir. 1995'te kurulan Larnaka AAT'degeri kazanım sistemi 2000 yılındadevreye alınmıştır. Larnaka çıkış suyu kalitesi; BO \bar{I}_5 2.6 mg/L (% 99 BO \bar{I}_5 giderim verimi), KO \bar{I} 56 mg/L (% 93 KO \bar{I} giderim verimi), AKM 1.7 mg/L (% 99 AKM giderim verimi), pH 7.5, Toplam-N 8.5 mg/L (% 90 Toplam-N giderim verimi), İletkenlik 3.4 μ s/cm, toplam E.Coli/100mL 5 mg/L, bakiye klor ise 0.2 mg/L olarak analiz edilmiştir (Fatta ve ark., 2005).

İspanya'da da benzer uygulamalar mevcuttur. 32.000 $m^3/$ gün kapasiteli Almeria atıksu arıtma tesisi çıkışında hızlı kum filtresinin ardından ozonla dezenfeksiyon yapılarak tarım arazilerinin sulanması sağlanmaktadır. Geri kazanımı sağlanan atıksu ile 3000 hektarlık alanın sulaması sağlanmaktadır. Elde edilen sulama suyu karakteri; KO \bar{I} : 20-120 mg/L, BO \bar{I}_5 : 35 mg/L, TSS: < 30 mg/L, Toplam Koliform: < 100 / 100 mL, olarak analiz edilmiştir (Fatta ve ark., 2005).

EPA, geri kazanılanatıksuların yeniden kullanımını aşağıdaki başlıklara ayırmıştır (EPA, 2004).

- Sınırlandırılmış (kısıtlı alanda) kentsel kullanım
- Sınırlanılmamış kentsel kullanım
- Tarımsal alanlarda kullanım
- Sınırlanılmamış rekrasyonel kullanım
- Sınırlanılmış rekrasyonel kullanım
- Sulak alandakullanım
- Endüstriyel amaçlı kullanım
- Yeraltı sularınınbeslemesi / yeraltına enjeksiyon
- Dolaylı olarak içme suyu amaçlıkullanım

Aritilmiş atıksular, tarımsal sulama için alternatif bir su kaynağıdır. Tarımsal sulama dünyadaki su talebinin yaklaşık %60'ına karşılık gelirken, yeşil alan sulaması ve spor tesisleri için kullanılan su gereksinimi de yüksek talep ortaya çıkarmaktadır. Ülkemizin de su stresi altında olduğu ve artan tarımsal faaliyetler dikkate alındığında arıtılmış atıksuların ilerleyen dönemlerde ne kadar değer kazanacağı da bilinmektedir.

Aritilmiş atıksuların yeniden kullanımı ile ilgili parametreler ülkelerin su ihtiyacına ve kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir. Ülkemizde, “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’nde” atıksugeri kazanımı ve arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasına ilişkinbazı düzenlemeler bulunmaktadır(Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010). Tebliğ’de “Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler” tablosunda, askıda katı madde (AKM),kolloidal maddeler, çözünmüş organik maddeler ve partiküller, azot, fosfor, toplam çözünmüştümaddeler, eser maddeler, bakteri, protozoa ve virüsler giderilmesi gereken parametreler olarak belirtilmiş ve bu parametreleri arıtabilecek alternatif arıtma yöntemleri riverilmiştir. Aynı tebliğde “Atıksuyun geri kazanım amacı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri” tablosunda, yeşilalanlar, tarımsal sulama vegolf sahaları, sulakalanların beslenmesi, yeraltı ve yerüstü sularadeşarj (dolaylı kullanım suyu), endüstriyel amaçlıproses suyu ve soğutma suyuolarak biyolojik arıtma, filtrasyon, ileri arıtma ve dezenfeksiyon işlemlerinden sonra kullanılabileceği belirtilmiştir. BOİ₅, pH, fekalkoliform,bulanıklık, virüs, protozoa ve bakiye klor, tuzluluk, SAR değeri (sodyum adsorpsiyon oranı; Na⁺, Ca⁺², Mg⁺²)ve diğer iz elementler ile ağır metal parametrelerinin,

sulama suyu amacıyla kullanılabilmesi için standart değerlerisağlaması gerekmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

Ülkemizde, sulama amaçlı kullanılacak olan arıtılmış atıksularda istenilen parametreler, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Ek 7'de belirtilmiştir. Arıtılmış atıksuların sulama suyu amacıyla kullanımı için istenilen kirletici sınır değerleri,sulama şekline ve sulanacak olan bitkitürlerine göre sınıflanarak farklı tablolarda yer almıştır. Kullanımamacına göre A ve B sınıfı olmak üzere iki ana sınıf altında toplanan geri kazanılmış atıksularda, ilgili parametrelerin deşarj standartları ve çıkıştaki su kalitesinin hangi aralıklarda izlenmesi gerektiği açıklanmıştır(Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

Çizelge 2.2. 'de AATTUT'ne göre sulama amaçlı kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.2.AATTUT'ne göre sulamada geri kullanılabilecek arıtılmış atıksuların sınıflandırılması(Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
Sınıf A				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünler^j</i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
a)Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanın ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma ^c -Filtrasyon ^d -	-pH=6-9 -BO ₁₅ < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUF -Fekalkoliform: 0/100 mL ^{g,h} -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir.	-pH: Haftalık -BO ₁₅ : Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli -Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b)Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)	Dezenfeksiyon ^e			
Sınıf B				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünler^m</i>				
<i>b-Girişi kısıtlı sulama alanları</i>				
<i>c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler</i>				
a)Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	-İkincil arıtma ^c -	-pH=6-9 -BO ₁₅ < 30 mg/L	-pH: Haftalık -BO ₁₅ : Haftalık	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m
Dezenfeksiyon ^e				

b)Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler	-AKM < 30 mg/L -Fekalkoliform< 200 ad/100 mL ^{g,j,k}	-AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakieye klor: sürekli	mesafede. -Yağmurlama sulama yapılmıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
c)Otlak hayvanları için mera sulaması	-Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakieye klor > 1 mg/L ⁱ		

Ülkemizde 26 ayrı su havzası bulunmaktadır. Havzaların su kapasiteleri ile havzada yaşayan nüfusun su ihtiyacı arasında ise ciddi oransızlıklar olduğu bilinmektedir. Türkiye nüfusunun %28'i Marmara Havzasında yaşarken bu havzamızdakisi potansiyeli toplam su potansiyelimizin sadece %4'lük kısmına karşılık gelmektedir. Hızla gelişmekte olan bir ülke olmamız nedeniyle artan su talebini karşılayabilmek için her geçen yıl doğu bölgelerden, Marmara Havzasına su taşıma zorunluluğu doğmaktadır.

Su sıkıntısının ortaya çıkmasındaki diğer bir neden ise mevcut kaynakların verimli kullanılmaması ve kullanılabilir kaynaklarımızın gün geçtikçe daha çok kirliliğe maruz kalmasıdır. Kentsel ve endüstriyel atıksuların arıtılıarak deşarj edilmesinin yanı sıra arıtılmış atıksuların yeniden kullanılması da su kaynaklarımızın korunması açısından büyük bir öneme sahiptir.

2016 yılında yayınlanan Türkiye Çevre Durum Raporunda 2023 yılında sulama için 72 milyar m³, içme suyu için 18 milyar m³ ve sanayi sektörü içinse 22 milyar m³ olmak üzere toplamda 112 milyar m³ suya ihtiyacımızın olacağı öngörmektedir. Kişi başına düşen yıllık su miktarına bakıldığında ülkemizin su kıtlığı yaşamakta olan bir ülke olduğu görülmektedir. Ülkemizin sürekli olarak artan su ihtiyacını karşılamak için su kaynaklarımızın kullanımı da giderek artmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2016 yılında Selçuk Üniversitesine yaptırılan ve Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Bilgehan Nas'ın koordinatörlüğünü yaptığı “Ülke Genelindeki Evsel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti ve Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi” (TÜRAAT) projesi kapsamında; ülke genelinde işletmede, atıl durumda ve inşa aşamasında olmak üzere toplam 1127 adet evsel/kentsel atıksu arıtma tesisi olduğu belirlenmiş ve bu tesislerin her biri yerinde incelenerek tespitler yapılmıştır. Bu tesislerin 409 tanesi biyolojik atıksu arıtma tesisi, 164 tanesi ileri biyolojik arıtma tesisi, 30 tanesi biyolojik arıtma tesisi sonrasında derin deniz deşarjı ve 24 tanesi de ileri biyolojik arıtma tesisi sonrasında derin deniz deşarjı uygulaması

olduğu görülmüştür. TÜRAAT Proje kapsamında ve bu proje kapsamında yapılan saha çalışmaları sonucunda, ülkemizde atıksu geri kazanımı yapılarak farklı amaçlar için yeniden kullanımı hedeflenen 26 adet atıksu arıtma tesisi belirlenmiştir. TÜRAAT proje verilerine göre; ülke genelinde 2015 yılında $10.453.315 \text{ m}^3/\text{gün}$ atıksu arıtılmıştır. Mevcut evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerindeki atıksu geri kazanım tesislerinin kapasitesi ise $126.400 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dır. Bu durumda 2015 yılı için ülkemizdeki atıksu geri kazanım kapasitesi %1.2 olarak belirlenmiştir(Nas B., 2016)

Çizelge 2.3.'te ülke genelinde atıksu geri kazanımı hedeflenen mevcut atıksu arıtma tesislerinin listesi verilmiştir.

Çizelge 2.3. Ülke genelinde atıksu geri kazanımı hedeflenen mevcut atıksu arıtma tesisleri (Nas B., 2016)

İl	AAT Adı
AFYON	Sandıklı AAT
	Şuhut AAT
ANKARA	Turkuaz AAT
	Lalahane AAT
	Hasanoğlu AAT
	Yapraklı Kuzeydoğu AAT
	Yapraklı Güneybatı AAT
ANTALYA	Gazipaşa AAT
	Hurma AAT
	Tekirova AAT
	Lara AAT
BURSA	İznik AAT
İSTANBUL	Paşaköy AAT
	Ataköy AAT
	Ambarlı AAT
KOCAELİ	Kullar AAT
	Körfez AAT
	Plajyolu AAT
	Kandıra AAT
	Cebeci AAT
	Gebze AAT
KONYA	Konya AAT
NEVŞEHİR	Nevşehir AAT
TEKİRDAĞ	Sultanköy AAT
	Malkara AAT

Ülkemizde en az yağış alan bölge olan Konya kapalı havzasında da su kıtlığının yaşanması nedeniyle, KOSKİ Genel Müdürlüğü su tasarrufunun yanı sıra arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı için hazırladığı proje ile ülkemizde bulunan bütün su ve kanalizasyon idareleri ile yerel yönetimlere örnek olacak “Mor Şebeke” projesini hayata geçirmiştir. Konya ilinden kaynaklanan atıksular $200.000\text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteye sahip Konya Atıksu Arıtma Tesisinde arıtıldıkten sonra, $3600\text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli arıtılmış atıksu geri kazanım tesisisinde (filtrasyon, dezenfeksiyon, arıtılmış atıksu deposu, pompa istasyonu) ikincil bir arıtımından geçirilerek AATTUT’nde belirtilen B sınıfı sulama suyu elde etmekte ve “Mor Şebeke” hattı ile yaklaşık $3.200.000\text{ m}^2$ lik bir yeşil alan sulamasını üretilen bu su ile sağlamaktadır. Ayrıca üretilen suyun yeşil alanlara ulaştırılması için 24 km’lik bir ana kollektör hattı olması bu alanda Türkiye’de ilk kuruluş olduğunu göstermektedir.

Projenin hayata geçirilmesi ile Konya Kapalı Havzası için sürdürülebilir bir su kaynağı elde edilmiştir. Projenin hayata geçirildiği 2012 yılından itibaren her yıl yaklaşık olarak 400.000 m^3 arıtılmış atıksu yeniden kullanılmakla birlikte aynı miktarda yeraltı suyundan da tasarruf edilmektedir. Aynı zamanda ilkel sulama yöntemlerinden modern sulama (damla sulama) yöntemine geçişle birlikte iş gücü ve zaman tasarrufu da sağlanmaktadır.

Bütün bu bilgiler değerlendirildiğinde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımının başlıca faydalari şu şekilde sıralanabilir.

- Su tasarrufu sağlanmaktadır.
- Kurak bölgelerde ve mevsimlerde alternatif bir su kaynağı oluşturur.
- İkincil arıtma sağlandığından dolayı yeraltı sularının kirlenme riskini azaltır.
- Atıksuların çevreye verebileceği zararlar minimize edilmiş olur.
- Atıksuların olduğu kaynakta yeniden kullanımı alıcı ortama yapılan deşarjı azaltarak su kaynaklarının kirliliğini minimize eder.
- İçeriğinde bulunan organik maddeler ve Azot (N), Fosfor (P) gibi bileşenler sayesinde bitki verimliliğini artırarak yapay gübre ihtiyacını azaltır.

2.2. Atıksu Geri Kazanımında Membran Prosesler

Çizelge 2.4’de arıtma teknolojileri ve bu teknolojiler ile giderilebilen kirleticiler verilmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010). Buna göre membran prosesler (UF, NF, RO) incelendiğinde; UF ile, AKM, kollodial maddeler, partikül organik madde, bakteri protozoa ve virus giderimi yapılabılırken, NF prosesi ile partikül organik madde, çözünmüş organik madde, toplam çözünmüş madde, eser maddeler, bakteri, protozoa ve viruslerin

gidermiRO ile ise çözünmüştür organik madde, azot, fosfor, eser maddeler, toplam çözünmüştür madde, bakteri, protozoa ve viruslerin giderimi sağlanmaktadır.

Çizelge 2.4. Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderikleri kirleticiler(Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

Aritma birimleri	Askida katı madde	Kolloidal maddeler	Partiküler orgmaddeler	Çözülmüş orgmaddeler	Azot	Fosfor	Eser maddeler	Toplam çözülmüş madde	Bakteri	Protozoa	Virus
İkincil arıtma	X			X							
Nütrient giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey filtrasyonu	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X							X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodiyaliz		X						X			
Karbon adsorpsiyonu				X			X				
İyon değiştirme					X		X	X			
İleri oksidasyon		X	X				X		X	X	X
Dezenfeksiyon				X					X	X	X

Son yıllarda kullanım alanı giderek artan ve özellikle atıksu arıtımı ve arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı konusunda yaygınlaşan membran teknolojisi, atıksu arıtımı ve arıtılan atıksuların yeniden kullanımı için kullanılan ileri arıtma, geri kazanım ve yeniden kullanım alternatiflerinden biridir.

Membranlar, gözenek çapları yardımıyla katı – sıvı, sıvı – gaz, gaz- gaz gibi iki fazı birbirinden ayırmaya yarayan organik ve inorganik malzemelerden imal edilebilen ve günümüz su ve atıksu arıtımında oldukça yaygın kullanılan bir arıtma yöntemidir.(Aslan, 2016)

Membran sistemler, yüksek kalitede çıkış suyu elde edilmesinde yeni bir dönem başlatmıştır. Su kaynaklarının azalmasıyla, membranlar doğrudan su geri kazanım sağladığı gibi yalnızca askıda katıların gideriminin yanı sıra çıkış suyunda bulunan birçok bakteri ve virüsgideriminde de kullanılabilmektedir (Lofrano ve Brown, 2010).

Membranların ana fonksiyonu, belirli bir karışımından (katı – sıvı, sıvı – gaz, gaz-gaz) belli bileşiklerin geçmesine izin veren ve diğer bileşiklerin tutulmasını sağlayan, filtrasyon yöntemidir. Bu filtrasyon, karışım içerisindeki partikül çapına, membranın gözenek çapına, matrisdeki çözünen madde difüzyonuna ve ilgili elektrik yüküne bağlıdır. Membranların ayırma fonksiyonu; basınç, sıcaklık, besleme akımı, membran yüzeyindeki bileşikler arasındaki besleme akımı ve çekime bağlıdır (de Moraes Coutinho ve ark., 2009).

Membranlar genellikle içme suyu, endüstriyel ve evsel atıksuların arıtımında, elektrokimyasal proseslerde, gazların birbirinden ayrılığında, biyomedikal alanda kan ve idrar diyalizi, oksijen kazandırılması, kontrollü ilaç salınımı ve membran bazlı sensörlerde kullanılmaktadır. Membranların kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir (Ravanchi ve ark., 2009).

- İçme sularının arıtılmasında
- Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında ve arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasında
- Tuzlu su arıtımında
- Deniz suyunun artırılarak içme suyu elde edilmesinde
- Sertlik, organik madde ve mikrokipleticigibi kirletici gideriminde
- Proses suyu elde edilmesinde
- Metal giderimi ve geri kazanımında
- Enerji sektörleri için yüksek saflıkta su eldesinde
- Gıda sektöründe (süt endüstrisi, alkollü içki üretimi)
- Gaz ayırımında
- Bakteri ve virusleri ayırmada

Membran prosesler ise gözenek çapları ve basınç sürücü kuvvetine dayalı olarak Mikrofiltrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF) ve Ters ozmos (RO) olarak sınıflara ayırlırlar. Mikrofiltrasyon membranlarda özellikle partiküller tutulurken, ters ozmos membranlarda özünmüş tuzlar gibimakromoleküller de tutulabilmektedir. Ultrafiltrasyon veya mikrofiltrasyon membranlar tuz, mikroorganizma ve benzeri boyut takibi büyük bileşenleri tutarken su ve suda özünmüş maddelerin çoğunu geçişine izin vermektedir (Aslan, 2016).

Membranlar üretim şekillerine göre düz plaka, tübüler, çoklu delik ve içi boşuklu olarak üretilmekte ve kullanılmaktadır. Düz plaka membranlar, levha şeklinde olup membranların bir yüzeyi aktif ayırma gerçekleştirirken diğer yüzeyinden membrandan süzülen su alınmaktadır. Tübüler membranlar daha geniş çaplı silindirik şekilde üretilmektedir. Özellikle yüksek askıda katı madde içeren sularda geniş çaplı olmasından dolayı tübüler membranlar tercih edilmektedirler. Tübüler membranlar silindirik dokuma olmayan kumaşın iç yüzeylerinin polimer kaplanması ile üretilirler. İçi boşluklu fiber membranlar ise silindir şeklinde üretilmekte olup ya içten dışa ya da dıştan içe çalışabilmektedir. Yani ayırma işleminin gerçekleştiği tabaka iç yüzeyde veya dış yüzeyde olabilecek şekilde üretilebilir. Uygulama alanını belirlemedeki en önemli faktörlerden birisi membranın yapısı ve malzemesidir (Koyuncu ve ark., 2018)

Çizelge 2.5.'te membran prosesler ve genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Membran prosesler ve genel özellikleri (Koyuncu ve ark., 2018)

Membran Prosesi	UF	NF	RO
Membran Tipi	Gözenekli	Gözeneksiz	Gözeneksiz
Membran Yapısı	Asimetrik	Asimetrik, ince film kompozit	İnce film kompozit
Sürücü kuvveti	Hidrostatik Basınç	Hidrostatik Basınç	Hidrostatik Basınç
Tipik İşletme basıncı (bar)	0,5 – 5	3 – 15	8 - 60
Kullanım alanları	Virüsler, koloidler, makromoleküllerin giderimi	İyonlar ve renk giderimi, su yumuşatma	İyonlar ve küçük moleküllerin giderimi
Üretim Şekli	Düz plaka, içi boşluklu fiber, tübüler	Düz plaka, içi boşluklu fiber	Düz plaka

Çizelge 2.6'da Su ve atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan bazı membran proseslerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.6 Su ve atıksu arıtımında kullanılan bazı membran proseslerin özellikleri

Proses Tipi	Gözenek Çapı	Sürücü Kuvveti	Taşınım mekanizması
Mikrofiltrasyon (MF)	0,05 – 10 μm	1 – 2 bar basınç	Eleme
Ultrafiltrasyon (UF)	0,001 – 0,05 μm	2 – 5 bar basınç	Eleme
Nanofiltrasyon (NF)	< 2,0 nm	5 – 15 bar basınç	Seçici geçirgen
Ters Ozmoz (RO)	< 1,0 nm	15 – 100 bar basınç	Seçici geçirgen

Basınç sürücülü membranları en yaygın kullanılan mikrofiltrasyondur. Mikrofiltrasyon(MF) sıvı yada gazlarda mikron ve daha küçük çaplı partikülleri ayırtırmak

amaçlı kullanılır. Gözenekçapları $0.1 - 1.4 \mu\text{m}$ arasındadır. Yaklaşık 0.05 ile $10\mu\text{m}$ çaparalalığındaki makro moleküller ve askıda katıları ayırma yeteneğine sahiptir.Su ve atıksu arıtımında,metal endüstrisiçikş sularında,boya endüstrisiçikş sularında,NF ve RO membranlaröncesinde ön arıtma prosesi olarakkullanılmaktadır(Aslan, 2016).

Ultrafiltrasyon (UF), işletme açısından mikrofiltrasyona benzemektedir.Gözenek çapları $1-100 \text{ nm}$ arasımembranlardır.Makromolekülleri, askıda katı maddeleri, kolloidleri, bakterileri ve virüsleri ayırmak için kullanılmaktadırlar. UF prosesinde ayırma işlemi 1 ile 10 bar arasında değişkenlik gösteren hidrostatik basınç farkıyla sağlanmaktadır.ayrılmak istenen maddenin çapına, bileşenin yüzey yüküne, membranözelliklerine ve hidrodinamik şartlara bağlı olarak UF membranın seçiciliği farklılık göstermektedir(Fane ve ark., 2011).Kolloidal parçacıkların giderilmesinde, yağ içeren atıksuların arıtmasında, mikroorganizmaların giderilmesinde, virüslerin giderilmesinde atıksuların temizlenmesi sterilizasyonu ve arıtımında, deniz suyu arıtımında, ters ozmos öncesinde, ön arıtma amaçlı kullanılmaktadırlar.

Nanofiltrasyonmembranı, ultrafiltrasyon ve ters osmozmembranlarıarasında bulunan bir membran türüdür. Nanofiltrasyonmembranları, yaklaşık olarak $1-10 \text{ nm}'lik$ bir moleküler ağırlıkengelleme sınırına tekabül edecek şekilde üretilmektedir. UFmembranlarının tutamadığı çözünmüş tuzları, düşük molekül ağırlıklıorganik maddeleri ve organik boyayı tutabilmektedirler. Ancak, giderme verimi, ters osmozmembranlarına göre daha düşüktür. Na ve Cl gibi tek değerliklituzların gideriminde ters ozmoz prosesi kadar başarılı değildirler.Sürücü kuvvet olarak basınç ihtiyaçları, UF membranından fazla iken,TO membranından düşüktür. $3-15$ bar arası basınçlardaçalışmaktadır(Fane ve ark., 2011).

Ters ozmoz prosesi, tuz ve küçük çaptaki organik maddelerin ayrimı için kullanılmaktadır. Aktif yüzey yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı, mikrofiltrasyon veultrafiltrasyon proseslerine göre daha yüksek işletme basıncına sahiptir.Normal şartlarda su,osmotik denge sağlanıncaya kadar, osmotik basınçla saf su tarafından konsantre çözelti tarafına doğru akış sağlar. Ters ozmosda ise, bir membana basınç uygulayarak çok yoğun taraftanaz yoğun tarafa geçiş sağlanmaktadır. RO ilaç ve tip sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca atıksularınıyeniden kullanımı,bazı metallerin geri kazanımı ve kaliteli su ihtiyacımeyve suyu sektörü gibi bazisektörlerde de kullanılmaktadır. Genel olarak RO prosesi deniz suyu arıtımı ve tuzsuzlaşturmada,içme - kullanma suyun arıtımında,tekstil atıksularının renk gideriminde,mezbahaneatıksularının arıtımında,sızıntı suyu arıtımında, kağıt endüstrisinde renk gideriminde, tarımda drenaj sularının tekrar kullanılışında,

endüstriyel işletmelerde çözünmüş tuzların geri kazanımında, sularda sertliğin başlıca nedeni olan Ca, Mg vb. bileşenlerin gideriminde kullanılmaktadır(Aslan, 2016).

Özellikle son yıllarda dünyada suklığının yaşanması ve membran sistemlerinin de bu konuda hem kalite hemde miktar olarak yeterli olması membran teknolojilerinin atıksuların ileri arıtımında ve yeniden kullanımında daha çok tercih edilmesine neden olmuştur.

Ayrıca membran sistemler evsel atıksuların geri kazanımında endokrinbozucu bileşenler ve ilaç aktif maddeleri gibi mikrokirleticilerin gideriminde de yüksek verimliliğe sahiptir. Arıtma tesisindeyse dageri kazanım tesisi istenilen verimi sağlayacak membran tipi belirlenerek istenilen çıkış kalitesini sağlamak mümkündür. Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon tek başına partikül ve kolloidal kirleticilerin giderimini sağlayabilmektedir. Daha kaliteli çıkış suyu elde edilmek istenildiği durumlarda ise nanofiltrasyon ve ters ozmoz sistemleri tercih edilmektedir. Ultrafiltrasyon sistemlerimikrofiltrasyon sistemlerinin yükünü azaltmak ve verimini artırmak amaçlı tercih edilmektedir. Bunun yanında daha küçüğözenekli UF membranların bazıları kolloid, protein ve karbonhidrat gibi molekül ağırlığı yüksek çözünmüş bileşenlerin gideriminde de kullanılabilmektedir(Koyuncu ve ark., 2018).

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Konya Atıksu Arıtma Tesisi

Konya AAT; karbon (C) ve kısmi azot (N) – fosfor (P) giderimi prensibine göre ATV 131 E standartlarına uygun olarak dizayn edilmiştir. Tesisin birinci kademesi 1.000.000 EN ve 200.000 m³/gün kapasiteye sahip olup, 2009 yılında devreye alınmıştır. Tesiste oluşan arıtma çamurları anaerobik çürütücülerde stabile edilerek biyogaz ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Arıtılmış atıksuların yeşil alan sulamasında kullanılması amacıyla 2011 yılında Mor Şebeke Projesi planlanmış ve 2012 yılında uygulanmaya başlanmıştır.

Çizelge 3.1.'de Konya AAT'nin dizayn kriterleri ve deşarj standardı verilmiştir.

Çizelge 3.1. Konya AAT dizayn kriterleri

Parametre	Birim	Giriş	Cıkış	Deşarj Standardı
Debi	(m ³ /gün)	200.000	-	-
BOİ ₅	mg/l	320	< 20	≤ 40
KOİ	mg/l	775	< 90	≤ 120
AKM	mg/l	295	< 20	≤ 40
TN	mg/l	50	-	-
TP	mg/l	15	-	-
pH	-	6-9	6-9	6-9

Şekil 3.1.'de Konya AAT'nin üstten görünümü ve üniteler gösterilmiştir.



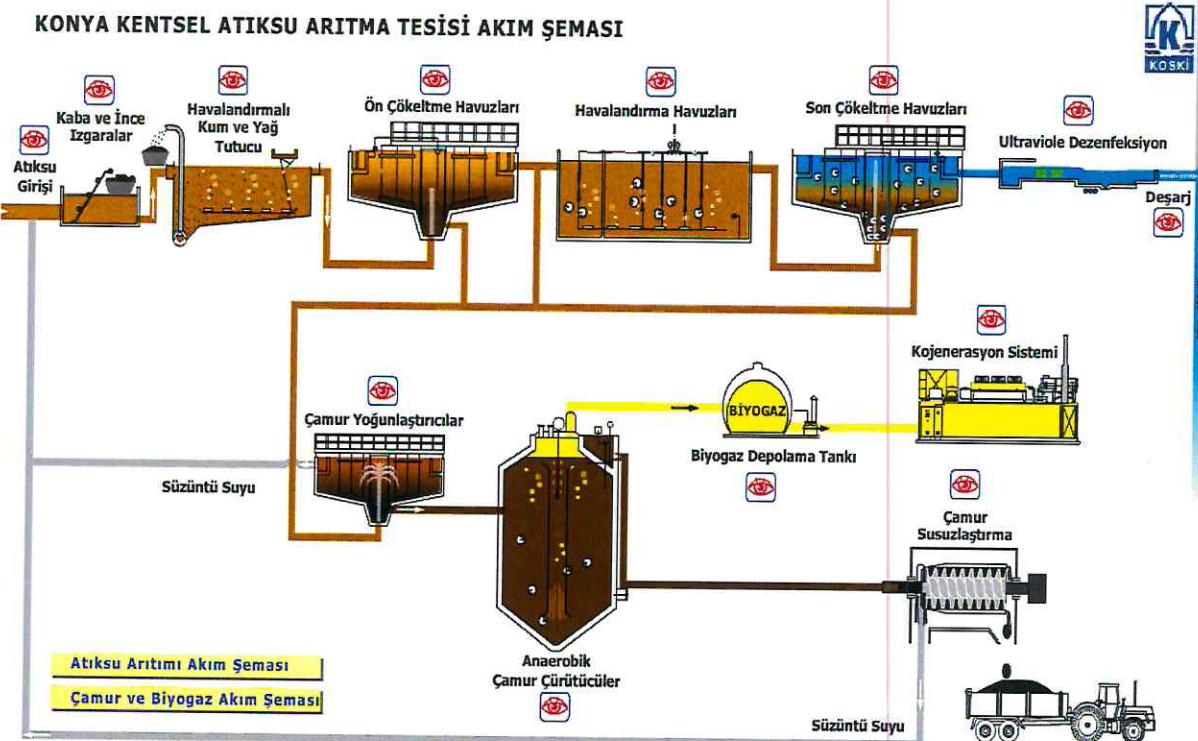
Şekil 3.1.Konya AAT üstten görünüm

Çizelge 3.2.'de ise Konya AAT'de bulunan üniteler ve bu üniteleri oluşturan proses yapıları verilmiştir.

Çizelge 3.2.Konya AAT üniteleri

Sistem	Proses Yapısı
Ön Arıtma Ünitesi (Fiziksel Arıtım)	Ön kum tutucu ünitesi, Giriş kaba izgara, giriş terfi pompaları, kaba izgaralar, ince izgaralar, kum ve yağ tutucu havuz, debi ölçüm kanalı, ön çökeltim havuzları, ön çökeltme çamur pompa istasyonları
Biyolojik Arıtma Ünitesi	Havalandırma havuzları, son çökeltim havuzları, Geri devir pompa istasyonları, fazla çamur pompa istasyonları,
Çıkış Kanalı	UV Dezenfeksiyon ünitesi, SAİS kabini, yanın suyu pompa istasyonu, debi ölçüm kanalı,
Çamur Arıtımı ve Kojenerasyon	Çamur yoğunlaştırma havuzları, yoğun çamur pompa istasyonu, anaerobik çamur çürütüculeri, desülfirizasyon ünitesi, biyogaz balonları, gaz jeneratörleri, trafo binası, çamur deneleme tankı, çamur susuzlaştırma ünitesi (dekantör binası)

Şekil 3.2.'de Konya AAT'ının atıksu arıtımı ve çamur arıtımı ve kojenerasyon ünitelerine ait akım şeması verilmiştir.



Şekil 3.2.Konya AAT akım şeması

3.2.Konya AAT Atıksu Geri Kazanım Tesisi

2012 yılında devreye alınan ve “Mor Şebeke” ismi verilen atıksu geri kazanım tesisi $3600\text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli olup, elde edilen su ile kısıtlanmış yeşil alan sulaması yapılmaktadır. Atıksu geri kazanım tesisi Çizelge 3.3.’te verilen ünitelerden oluşmaktadır.

Çizelge3.3.Geri kazanım tesisi üniteleri

Ham su Deposu + ham su pompaları
Ön Klorlama
Koagülasyon Ünitesi
Multimedya Kum Filtresi
UV dezenfeksiyon Ünitesi
Son Klorlama Ünitesi
Geri Kazanılmış Atıksu Deposu
Mor Şebeke Hattı
SCADA Sistemi

Şekil 3.3.’te geri kazanım tesisinin dıştan görünümü verilmiştir.



Şekil 3.3.Atıksu geri kazanım tesisi

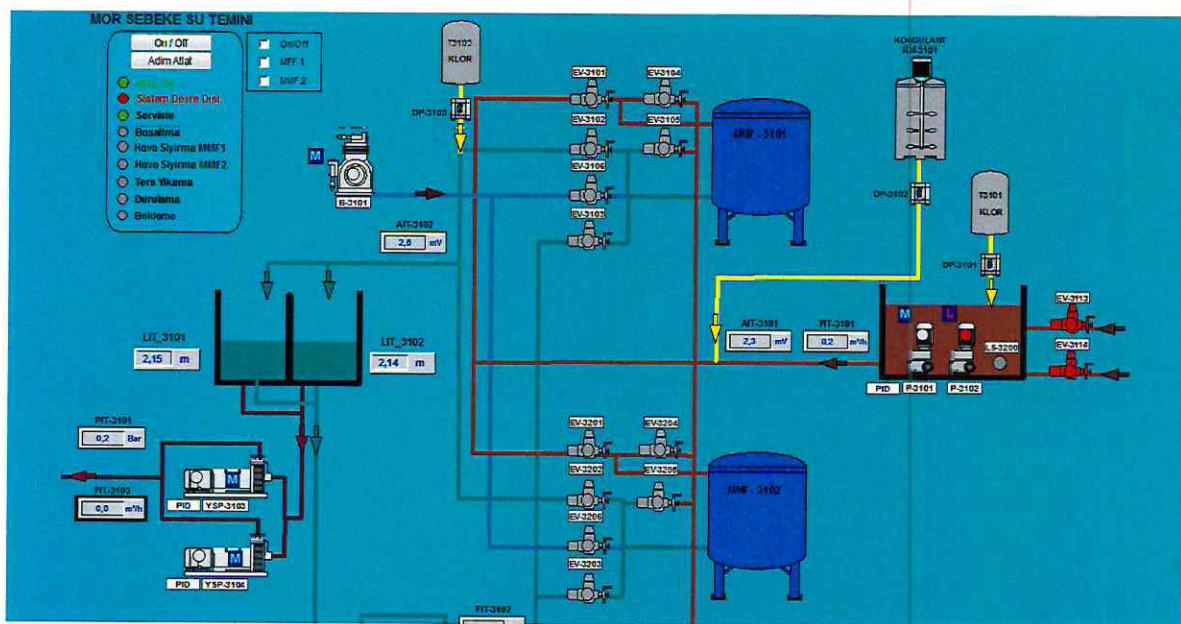
Geri kazanım tesisi binasında ön klorlama ünitesi, koagülant ünitesi, multimedya filtreler, son klorlama ünitesi ve UV dezenfeksiyon ünitesi bulunmaktadır.

Şekil 3.4.'te geri kazanım binasının içten görünümü verilmiştir.



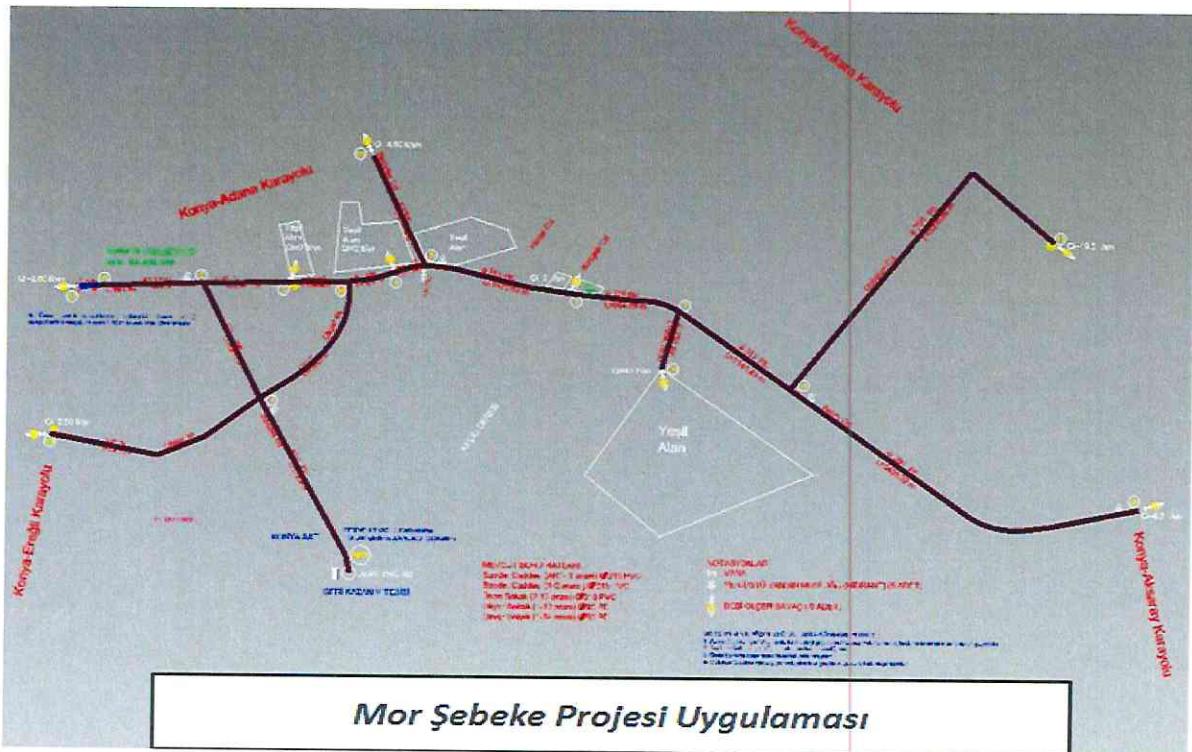
Şekil 3.4. Atıksu geri kazanım tesisi iç görünüm

Geri kazanım tesisi otomasyon programı ile otomatik olarak çalıştırılmaktadır. Şekil 3.5.'te geri kazanım tesisi ait SCADA ekranı verilmiştir.



Şekil 3.5. Geri kazanım tesisi SCADA ekranı

Geri kazanım tesisi arıtılan atıksular mor şebeke adı verilen 24 km'lik bir hat ile sulama yapılacak olan yeşil alanlara iletilmektedir. Şekil 3.6.'da mor şebeke hattı gösterilmiştir.



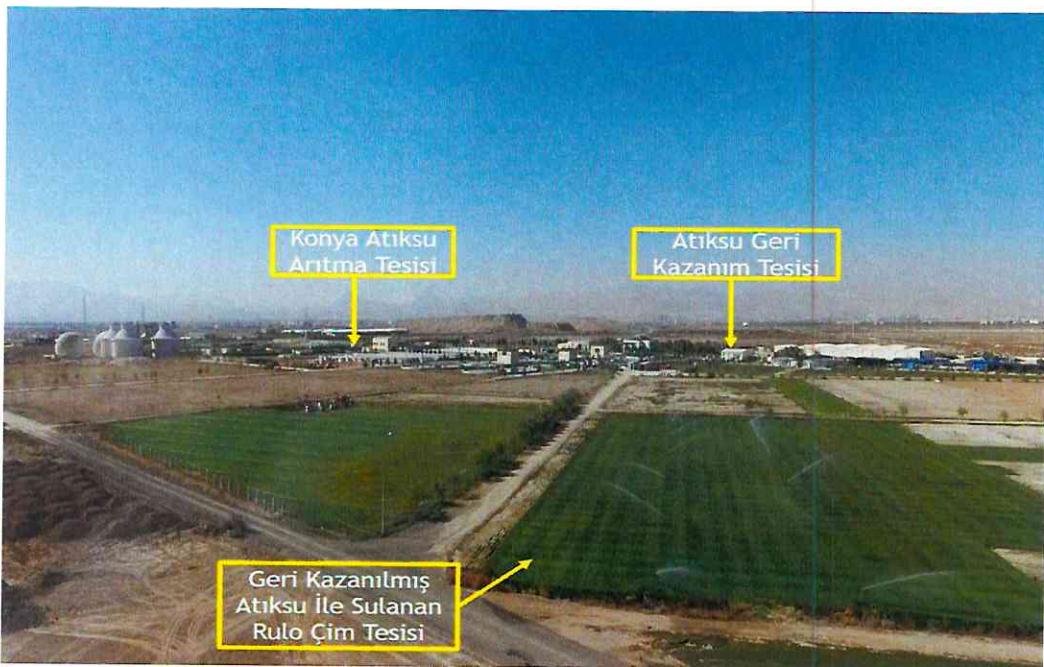
Şekil 3.6. Arıtılmış atıksukollektör hattı (mor şebeke)

Mor şebeke hattıyla yeşil alanlara ulaştırılan arıtılmış atıksular damlama sulama yöntemi kullanılarak ağaç sulaması sağlanmaktadır. Şekil 3.7.'de sulama yapılan alandan bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.7. Geri kazanılmış atıksu ile sulanan yeşil alanlar

Atıksu arıtma tesisi sahasında geri kazanılmış atıksu ile sulaması yapılan rulo çim tesisi kurulmuştur. Şekil 3.8.'de yağmurlama sistemiyle sulanan rulo çim tesisi verilmiştir.



Şekil 3.8.Geri kazanılmış atıksu ile sulanan rulo çim tesisi

3.3.Pilot Ölçekli Membran Tesisi

Nas ve ark., (2019) tarafından yürütülen ve TÜBİTAK tarafından desteklenen “Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikrokirleticilerin İzlenmesi ve Kontrolü” Projesi (Proje No: 115Y167) ile Konya AAT'de işletilmekte olan atıksu geri kazanım tesisi binasına $90 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli pilot ölçekli yeni bir geri kazanım tesisi kurulmuştur. Pilot tesis; UF,NF ve RO sistemlerinden oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde mikrokirleticilerin farklı arıtma proseslerinde giderimlerinin araştırıldığı bu $90 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli pilot tesis tez çalışmasında kullanılmıştır.

Şekil 3.11'depilot ölçekli atıksu geri kazanım tesisinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.11 Pilot ölçekli atıksu geri kazanım tesisi

Konya AAT'de mevcut olan geri kazanım tesisi çıkış suyu özelliklerine göre pilot tesis tasarımı yapılmıştır. Pilot tesise giriş atıksu özellikleri; Bulanıklık < 5 NTU, KOİ<40 mg/L, BOİ₅<20 mg/L, AKM<10 mg/L ve İletkenlik ise 1700-2000 µS/cm olarak belirlenmiştir.Konya atıksu arıtma tesisi, atıksu geri kazanım tesisi ve yeni kurulan pilot ölçekli membran tesisinde bulanıklık, KOİ, BOİ₅, fekalkoliform, iletkenlik ve bakiye klor analizleri yapılarak herbir tesis için ayrı ayrı giderim verimleri hesaplanmıştır. Pilot tesisaşağıdaki prosesler ve ekipmanlardan oluşmaktadır.

- Ham Su Deposu: Konya kentsel AAT çıkış sularının çok katmanlı kum滤resi, UV dezenfeksiyon sisteminden oluşan atıksu geri kazanım tesisinden geçtikten sonra elde edilen ürün suyunun sisteme beslemesini sağlamak üzere kurulan 8 m³ kapasiteli depo
- Ham su besleme hidroforu: 4,6 m³/saat ve 3,5 bar basınç sağlayabilen 100 lt genleşme haznesine sahip hidrofor. Ünite bünyesinde ayrıca emme-basma hatları izolasyon vanaları, basma hattı çek valfi, manometre, basınç switchi bulunmaktadır.
- Klor dozaj sistemi: 1 adet 2 L/saat kapasiteli ve 7 bar basınç sağlayan dozaj pompası ve 100 L hacminde klor tankından oluşmaktadır.

- Koagülant dozaj sistemi: 1 adet 0,7 L/saat kapasiteli ve 7 bar basınç sağlayan dozaj pompası ve 100 L hacminde klor tankından oluşmaktadır.
- Ultrafiltrasyon sistemi: $5,6 \text{ m}^3/\text{saat}$ ürün suyu debiside sahip ve yaklaşık %89,4 verimle çalışabilen kartuş filtre şeklinde üretilmiştir. 50 micron gözenek açılığı olan 2 adet kartuş filtre toplam 120 m^2 yüzey alanı vardır. Ünite giriş ve çıkışında 1'er adet basınç kontrolü sağlayan 1 – 10 bar hassasiyette ölçüm yapabilen manometre bulunmaktadır. Ters yıkama yapabilmek için 2 adet ters yıkama pompası bulunmaktadır. Elde edilen ürün suyu 5 m^3 kapasiteli ürün suyu deposunda biriktirilmektedir.
- Nanofiltrasyon sistemi: $1,82 \text{ m}^3/\text{saat}$ ürün suyu debisine sahip ve yaklaşık olarak %50 verimle çalışabilmektedir. 2 adet 8”*40” çapında membran bulunmaktadır. Ünite giriş ve çıkışında 1'er adet basınç kontrolü sağlayan 1 – 20 bar hassasiyette ölçüm yapabilen manometre bulunmaktadır. Ters yıkama yapabilmek için 1 adet $7 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteli ters yıkama pompası bulunmaktadır. Elde edilen ürün suyu 1 m^3 kapasiteli ürün suyu deposunda biriktirilmektedir.
- Ters Ozmoz sistemi: $1 \text{ m}^3/\text{saat}$ ürün suyu debisine sahip ve yaklaşık olarak %60 verimle çalışabilmektedir. 1 adet 8”*40” çapında membran bulunmaktadır. Yüksek basınç pompası giriş ve çıkışında 1'er adet basınç kontrolü sağlayan 1 – 20 bar hassasiyette ölçüm yapabilen manometre bulunmaktadır.

Atıksu geri kazanım tesisi ikincil arıtımından geçen atıksular öncelikle $90 \text{ m}^3/\text{gün}$ Ultrafiltrasyon sisteminden geçirilmiş ve buradan çıkan sular UF ürün suyu deposuna alınarak Nanofiltrasyon sisteminin beslemesi yapılmıştır. Nanofiltrasyon sisteminde çıkan ürün suyu Ters Ozmoz sistemine alınmıştır. Tersozmoz sisteminin kapasitesi yaklaşık $20 \text{ m}^3/\text{gün}$ dür.

Şekil 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15 te membran sistemlerin herbiri için genel görünümleri verilmiştir.



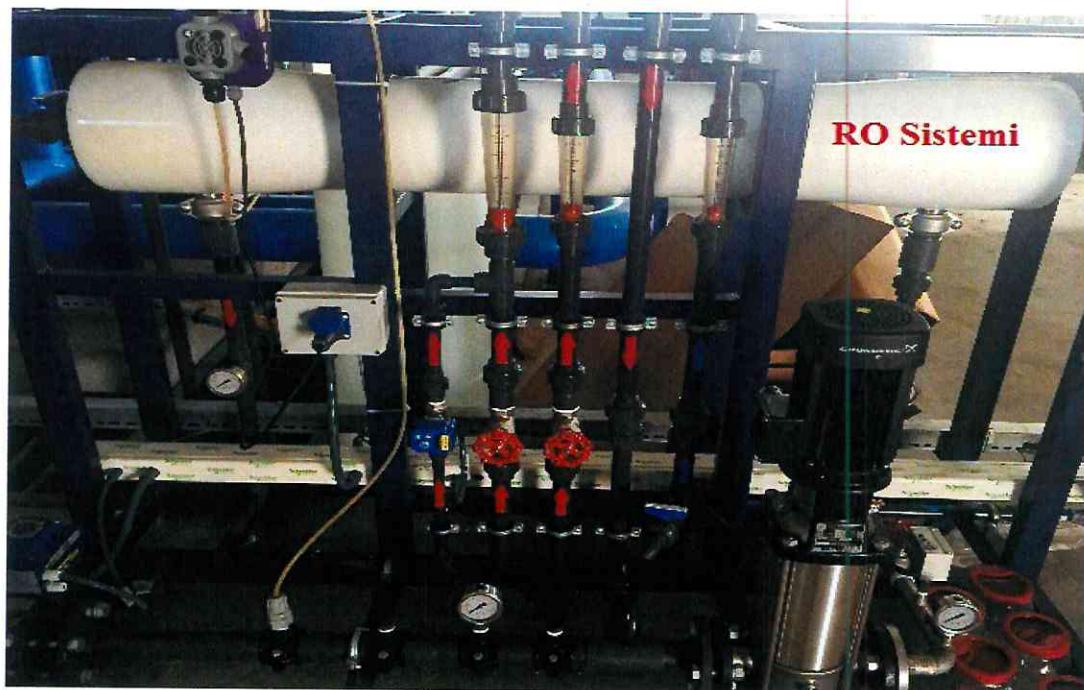
Şekil 3.12.UF Membranlar



Şekil 3.13.NF sistemi



Şekil 3.14.NF ve RO sistemi



Şekil 3.15.NF ve RO sistemi

3.4.Numune Alma ve Analizler

Konya Atıksu arıtma tesisi, atıksu geri kazanım tesisi ve pilot ölçekli tesisten alınan numuneler Konya AAT bünyesinde bulunan laboratuvara analizleri yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında 21.11.2017 ile 28.03.2018 tarihleri arasında farklı günlerde toplam 10 adet numune alınarak analizleri yapılmıştır. Numune alım noktaları ve yapılan analizler çizelge 3.4.'te belirtilmiştir.

Çizelge3.4.Numune alma noktaları ve analizler

Numune Alma Noktası	Yapılan Analizler
Konya AAT girişi ham atıksu	KOİ, BOİ ₅ , İletkenlik
Konya AAT son çökeltme havuzu çıkışı	KOİ, BOİ ₅ , Bulanıklık, İletkenlik
Geri kazanım tesisi kum filtersi çıkışı	KOİ, BOİ ₅ , Bulanıklık, İletkenlik, Bakiye Klor, Fekal Koliform
Pilot ölçekli tesis UF çıkışı	KOİ, BOİ ₅ , Bulanıklık, İletkenlik, Bakiye Klor, Fekal Koliform
Pilot ölçekli tesis NF çıkışı	KOİ, BOİ ₅ , Bulanıklık, İletkenlik, Bakiye Klor, Fekal Koliform
Pilot ölçekli tesis RO çıkışı	KOİ, BOİ ₅ , Bulanıklık, İletkenlik, Bakiye Klor, Fekal Koliform

Bulanıklık; HACH marka 2100N model turbidimetre kullanılarak SM 2130 Bmetodu ile ölçülmüştür. BOİ₅; Respirometrik metod (SM 5210 D) ile, KOİ; Açık Reflux metoduyla (SM 5220 B) analiz edilmiştir. Fekalkoliform; membranfiltrasyon metodu ile hazır besiyeri kullanılarak Binder marka inkübatörde bekletilerek analizi yapılmıştır. İletkenlik, HACH marka HQ4OB model multimetre ile ölçülmüştür (SM 2510 B), Bakiye klor kolorimetrik tayin yöntemiyle ölçülmüştür (American Public Health Association, 1998).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Aritilmiş atıksuların yeniden kullanılmasına ilişkin ulusal mevzuatlara bakıldığından öncelikle Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan 31.12.2004 tarih ve 25867 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizin yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını korumak ve en iyi şekilde kullanımını sağlamak için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları belirlemek amacıyla yayımlanan yönetmelikte arıtılmış atıksuların sulamada kullanımına ilişkin madde 28'de "Sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atıksuların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilir. Bu amaçla uygulanacak ön işlemler ve yapılması gereken incelemeler Teknik Usuller Tebliğine göre yapılır" denilmektedir. 1 Ocak 1991 tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği" 20 Mart 2010 tarihinde Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nin yayımlanmasıyla yürürlükten kaldırılmıştır.

Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 20 Mart 2010 tarih ve 27527 sayılı resmi gazetede yayımlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT) yerleşim yerlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması ile ilgili bilgilerin yanı sıra arıtılmış atıksuların sulamada kullanımına yönelik sınırlandırmalar da içermektedir.

AATTUT Tablo E7.1'de belirtilen standartlar genel sınıflandırma olup, arıtılmış atıksuların kullanım amacına göre özel sınıflandırmalar yapmak mümkündür. Tez çalışması kapsamında alınan arıtılmış atıksu numuneleri ve sonuçları bu tabloda belirtilen standartlara göre yorumlanmıştır.

4.1.Konya Atıksu Arıtma Tesisi Veriminin Değerlendirilmesi

KOSKİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilmekte olan 200.000 m³/gün kapasiteli Konya AAT'ningirişinden ve çıkışından alınan numunelerden KOİ, BOİ₅ ve iletkenlik analizleri yapılarak giderim verimleri incelenmiştir. Tesis karbon giderimi yanı sıra kısmi azot ve fosfor gideren ileri biyolojik (4 basamaklı modifiyeBardenpho) atıksu arıtma tesisidir. Tesisin tasarımda dikkate alınan kirlilik yükleri ve SKKY'ne göre deşarj standartları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1.Konya AAT Tasarım kriterleri ve deşarj standartları

Parametre	Birim	Giriş	Çıkış	SKKY'ye göre Desarj standartı (2 Saatlik Kompozit Numune)
KOİ	mg/L	775	90	120
BOİ ₅	mg/L	320	20	40
AKM	mg/L	295	20	40
pH	-	6-9	6-9	6-9

Konya AAT'ndemembran prosesler ile atıksu geri kazanımının araştırıldığı bu tez kapsamında numune alınan 21.11.2017 ile 28.03.2018 tarihleri arasında Konya AAT'de iç izleme kapsamında günlük olarak alınan numunelerdeki sonuçlara göre Çizelge 4.2.' de giriş ve Çizelge 4.3.'de çıkış suyu atıksukarakterizasyonu verilmiştir.

Çizelge 4.2.Konya AAT giriş atıksukarakterizasyonu(n:84 ölçüm sayısı)

İşletme Parametreleri	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L)	576	1728	1074	215
BOİ ₅ (mg/L)	370	1050	655	142
AKM (mg/L)	212	930	488	143
pH	7,34	8,81	8,12	0,29
İletkenlik (μs/cm)	1144	2570	2067	274

Çizelge 4.3.Konya AAT çıkış suyu karakterizasyonu(n:84 ölçüm sayısı)

İşletme Parametreleri	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L)	29	93	70	16,21
BOİ ₅ (mg/L)	11	42	29	9,35
AKM (mg/L)	6	40	24	9,45
pH	7,82	8,79	8,22	0,23
İletkenlik (μs/cm)	1405	2340	2002	196

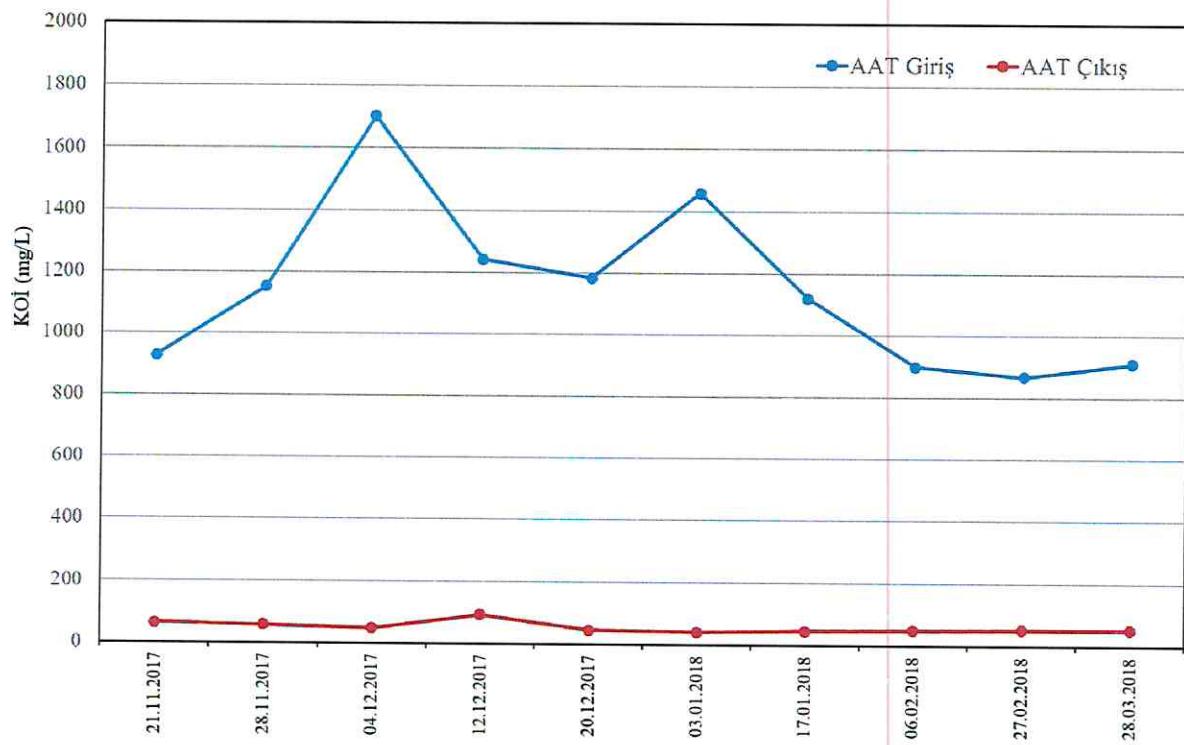
Tez çalışması kapsamında, 21.11.2017 ile 28.03.2018 tarihleri arasında membran tesislerin işletildiği günlerde, Konya AAT giriş ham atıksudan ve son çökeltme havuzu çıkışındaki arıtlan atıksudantoplam 10 adet numune alınmıştır. Numune alma tarihleri için KOİ parametresi istatistiksel verileri çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4.Konya AAT numune alma tarihleri için KOİ parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

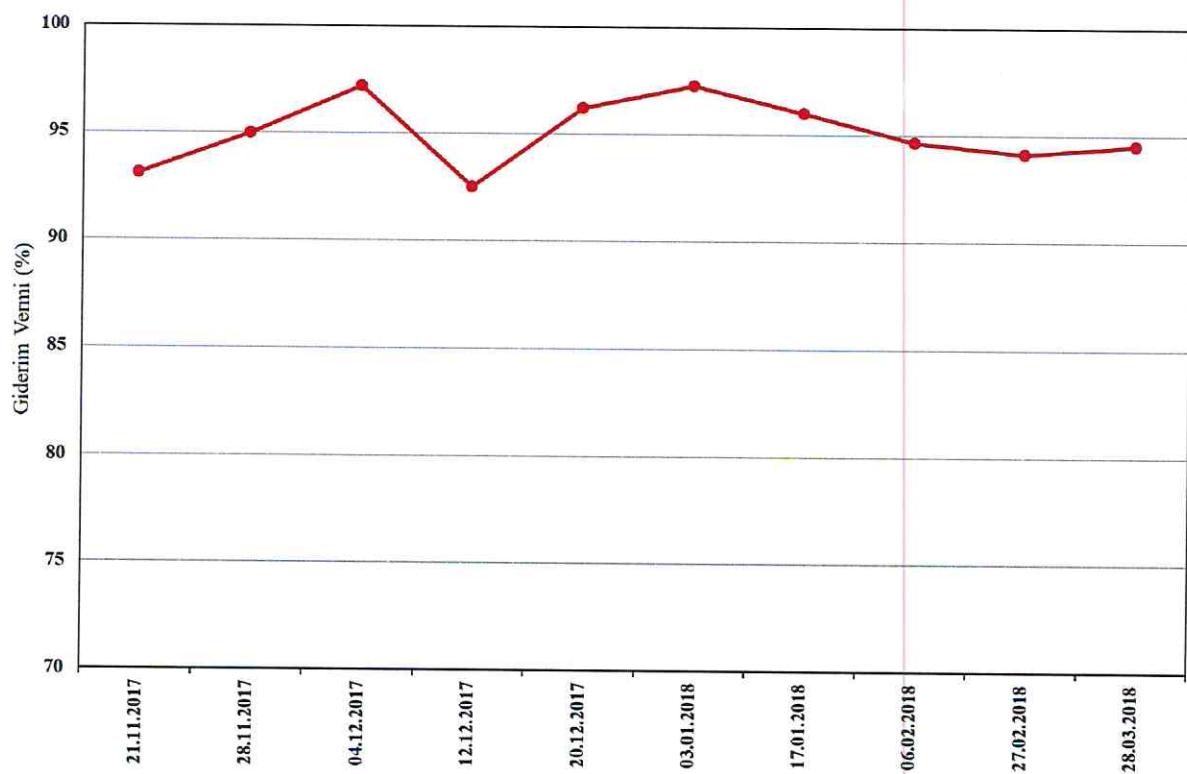
Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L) Giriş	868,0	1702,0	1146,7	54,2
KOİ (mg/L) Çıkış	40,0	93,0	54,2	15,2

Tesis tasarımda KOİ değeri 775 mg/L öngörülmüş iken, membran proseslerde izleme yaptığımız günler için KOİ değeri minimum 868mg/L, maksimum 1702 mg/L ve ortalama 1146,7 mg/L olarak tespit edilmiştir. Giriş KOİ değeri için standart sapma $\pm 54,2$ olarak bulunmuştur. Buna rağmen tesis çıkışında hem tasarım hemde SKKY Tablo 21.4'te belirtilen deşarj standardına ulaşılmaktadır. Tesis çıkışında KOİ değeri minimum 40 mg/L, maksimum 93 mg/L ve ortalama 54,2 mg/L olup çıkış standart sapması $\pm 15,2$ dir. Artan nüfus ve sanayileşme atıksu arıtma tesisi girişindekikarakterizasyonu tasarımda öngörülen değerlerin üzerinde gerçekleşmesine neden olmaktadır.

Şekil 4.1'de tez çalışması süresinde Konya AAT'de KOİ değerinin AAT giriş ve çıkışındaki değişimi verilmiştir. Şekil 4.2.'de ise Konya AAT'de KOİ giderim veriminin değişimi bulunmaktadır. Tesiste numune alma döneminde %92.5 ile %97.3 arasında ve ortalama %95.1 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.



Şekil 4.1.Konya AAT ham atıksu – son çökeltme havuzu çıkışındaki KOİ parametresinin değişimi



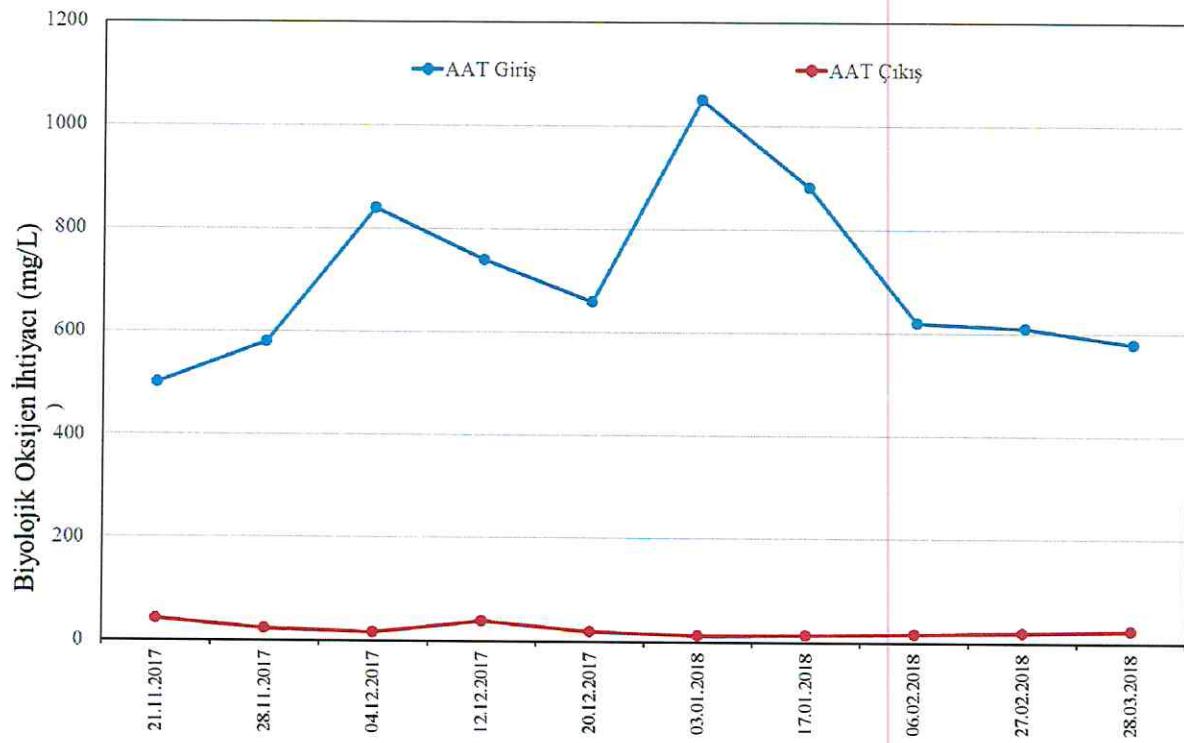
Şekil 4.2.Konya AAT ham atıksu – son çökeltme havuzu çıkışındaki KOİ giderim verimi

Tez çalışması kapsamında, Konya AAT'de giriş ham atıksudan ve arıtulan atıksudan alınan 10 adet numune içinknumune alma tarihlerindeki BO₁₅ parametresi istatistiksel verileri Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

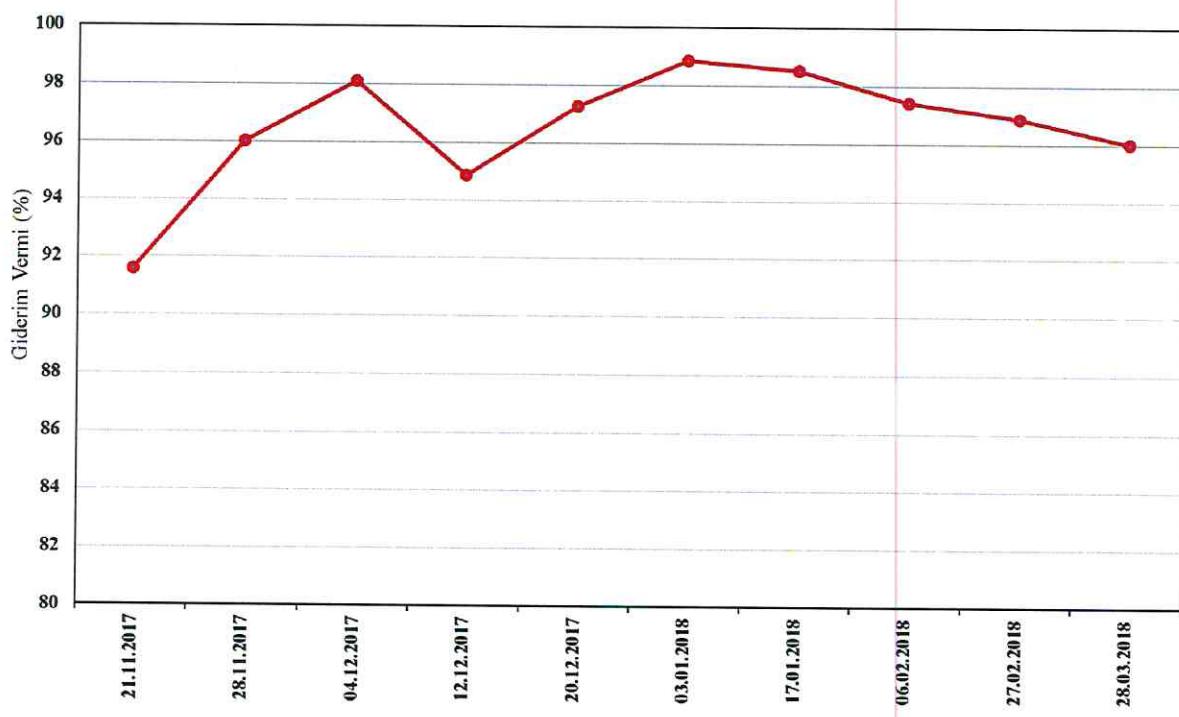
Çizelge 4.5. Konya AAT numune alma tarihleri için BO₁₅ parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
BO ₁₅ (mg/L) Giriş	500	1050	705	170,3
BO ₁₅ (mg/L) Çıkış	12	42	22	10,2

Atıksu Arıtma tesinine gelen ham atıksudan ve son çökeltme havuzu çıkışından alınan numunelerde BO₁₅ sonuçlarına göre, tesise tasarımda BO₁₅ değeri 320 mg/Liken yaptığımız analizlerde BO₁₅ değerinin minimum 500 mg/L, maksimum 1050 mg/L ve ortalama 705 mg/L olduğunu espit edilmiştir. Giriş BO₁₅ değeri için standart sapma $\pm 170,3$ bulunmuştur. KOİ değerinde olduğu gibi BO₁₅ değerinde de tesise çıkışında hem tasarım hemde SKKY Tablo 21.4'te belirtilen deserj standardına ulaşmaktadır. Tesise çıkışında BO₁₅ değeri minimum 12 mg/L, maksimum 42 mg/L ve ortalama 22 mg/L olup çıkış standart sapması $\pm 10,2$ dir. Artan nüfus ve sanayileşme atıksu arıtma tesisi girişindeki kirlilik yüklerini artırırken verimli işletilen bir tesiste bu artışlar tolere edilebilmektedir. Şekil 4.3.'de BO₁₅ değerinin AAT giriş ve çıkışındaki, Şekil 4.4.'de ise BO₁₅ giderim verimleri gösterilmiştir. Tesiste numune alma döneminde %91,6 ile %98,9 arasında ve ortalama %96,6 BO₁₅ giderim verimi elde edilmiştir.



Şekil 4.3.Konya AAT ham atıksu – son çökeltme havuzu çıkışındaki BOI₅ parametresinin değişimi



Şekil 4.4.Konya AAT ham atıksu – son çökeltme havuzu çıkışındaki BOI₅ giderim verimi

Konya AAT giriş ve çıkış atıksularında iletkenlik parametresinin istatistiksel verileri çizelge 4.6.'te verilmiştir.

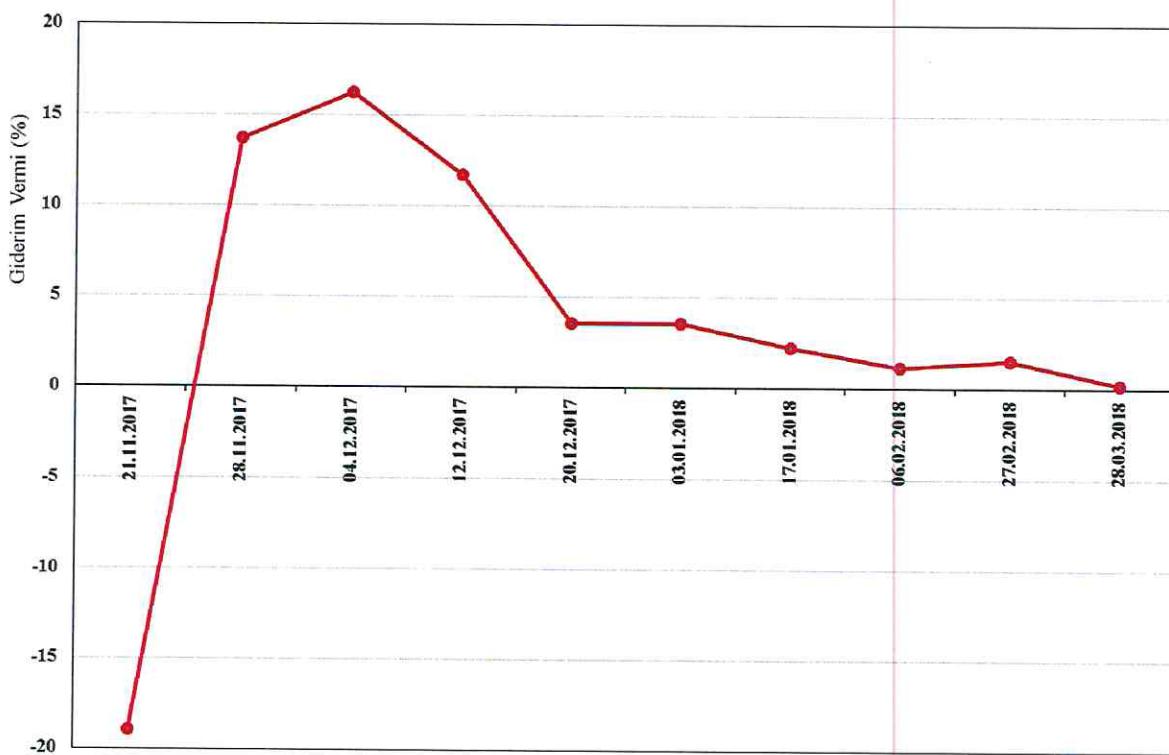
Çizelge 4.6. Konya AAT'de pilot tesis numune alma tarihleri için iletkenlik parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
İletkenlik(μs/cm) Giriş	1633	2350	2109	194,2
İletkenlik (μs/cm) Çıkış	1907	2100	2019	69,1

Konya AAT tasarım parametrelerinde ve SKKY Tablo 21.4'te deşarj standarı olarak iletkenlik bulunmamaktadır. Ancak, AATTUT (2010) ve EPA (2012)'de sular tuzluluk oranına göre sınıflandırılmaktadır. Buna göre; 700 ile 3000 μs/cm arasındaki sular sulamada kullanım kısıtlamalarına göre hafif-orta olarak tanımlanmaktadır(EPA, 2012). Yaptığımız analizlerde tesis girişinde iletkenliğin maksimum 2350 μs/cm, minimum 1633 μs/cm ve ortalama 2109,1 μs/cm olduğu tespit edilmiş olup çıkış suyu kalitesi iletkenlik açısından hafif – orta sınıfına girmektedir. İletkenlik için standart sapma değeri ±194,2 dir. Tesis çıkışında ise iletkenlik maksimum 2100 μs/cm, minimum 1907 μs/cm ve ortalama 2018,9 μs/cm dir. Tesis çıkışında iletkenlik için standart sapma değeri ±69,1'dir. Şekil 4.5.'de iletkenlik değerinin giriş ve çıkıştaki değişimi Şekil 4.6.'da ise iletkenlik giderim verimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.5.Konya AAT ham atıksu – son çökeltme havuzu çıkışındaki iletkenlik analiz sonuçları



Şekil 4.6.Konya AAT ham atıksu – son çökeltme havuzu çıkışındaki iletkenlik giderim verimi

Konya AAT son çökeltme havuzu çıkışından alınan numunelerde ayrıca bulanıklık parametresine bakılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7.Konya AAT son çökeltme havuzu çıkış numune alma tarihleri için bulanıklık parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Bulanıklık (NTU)	3,9	17,4	8,5	4,2

Son çökeltme havuzundan çıkan arıtılmış atıksuda bulanıklık değeri minimum 3,9 NTU, maksimum 17,4 NTU ve ortalama 8,5 NTU olarak bulunmuştur. Bulanıklık için standart sapma değeri $\pm 4,2$ 'dir.

Bulanıklık değeri, arıtılmış atıksuların UV dezenfeksiyonu öncesi ve yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan önemli bir su kalitesi parametresidir. Konya AAT çıkış suyunda ölçülen ortalama 8,5 NTU bulanıklık değeri AKM giderimi açısından oldukça iyi bir işletme göstergesidir.

AATTUT Ek 7'de Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılmasına göre; Sınıf A da yer alan , a-Tarimsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerini ve b-Kentsel alanların sulanması için Bulanıklık < 2 NTU değeri sağlanmalıdır. (*Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.*)

Buna göre, Konya AAT çıkış suyunda Sınıf A kategorisi için ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerini ve kentsel alanların sulanması için Bulanıklık değerinin 8,5 NTU dan < 2 NTU değerine indirilmesi gerekmektedir.

Konya AAT son çökeltme havuzu çıkışından alınan numunelerde ölçülen su kalitesi parametrelerinin özet sonuçları Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8.Konya AAT son çökeltme havuzu çıkışında ölçülen parametrelerin istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L) Çıkış	40,0	93,0	54,2	15,2
BOİ ₅ (mg/L) Çıkış	12	42	22	10,2
İletkenlik (μs/cm)	1907	2100	2019	69,1
Bulanıklık (NTU)	3,9	17,4	8,5	4,2

Konya AAT'de biyolojik arıtma prosesleri sonrası ulaşılan su kalitesi parametreleri incelendiğinde, AATTUT Tablo E7.1'e göre arıtılmış atıksuların B sınıfı sulama suyu

kriterlerinde istenen AKM/bulanıklık sınır değerini sağladığı ancak BO \bar{I}_5 değerinin zaman zaman tabloda belirtilen <30 değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Ph değeri de tüm numunelerde istenilen 6-9 aralığındadır.

A sınıfı sulama suyu kriterlerinde istenen AKM<5 veya bulanıklık<2 NTU sınır değerinin son çökeltme çıkış suyunda sağlanmadığı, BO \bar{I}_5 <20 mg/L değerinin ortalama 22 mg/L olduğu ve sınır değeri aştığı görülmektedir. Konya AAT'de mevcut UV dezenfeksiyon prosesi işletmede olmadığından son çökeltme çıkış suyunda fekalkoliform ölçümleri yapılmamaktadır.

Bu sonuçlara göre, Konya AAT çıkış suyunun farklı yeniden kullanım alternatifleri için ilave arıtma proseslerine gerek bulunmaktadır. Bu tez kapsamında; Konya AAT çıkış suyunun Mor Şebeke atıksu geri kazanım tesisinin (KF+UV+Klorlama) ve pilot ölçekli membran prosesleri (UF, NF, RO) ile arıtılması durumunda ulaşılabilen su kalitesi incelenmiştir. Aşağıda her bir ileri arıtma prosesinin uygulanması ile elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

4.2. Atıksu Geri Kazanımında Kum Filtresinin Veriminin Değerlendirilmesi

Konya AAT'de arıtılan atıksuların sulamada kullanılması amacıyla kurulan 3600 m³/gün kapasiteli geri kazanım tesisinin çıkışından alınan numunelerden KOİ, BO \bar{I}_5 , İletkenlik ve Bulanıklık kanalizleri yapılarak geri kazanım ünitesinde kullanılan basınçlı kum filtesinin giderim verimlerine bakılmıştır. AATTUT Tablo E7.1'e göre B sınıfı sulama suyu elde edilen geri kazanım tesisinde kullanılan basınçlı kum filtesitank, medya malzemesi ve ters yıkama blowerinden oluşmaktadır. Medya malzemesi yukarıdan aşağı doğru antrasit – kum - çakıl katmanlarından oluşmaktadır. Ters yıkama özellikle bulunan filtreler 1–2 bar basınç aralığında çalışmaktadır. Tesiste 2 adet 110m³/h kapasiteli basınçlı kum filtersi bulunmaktadır.

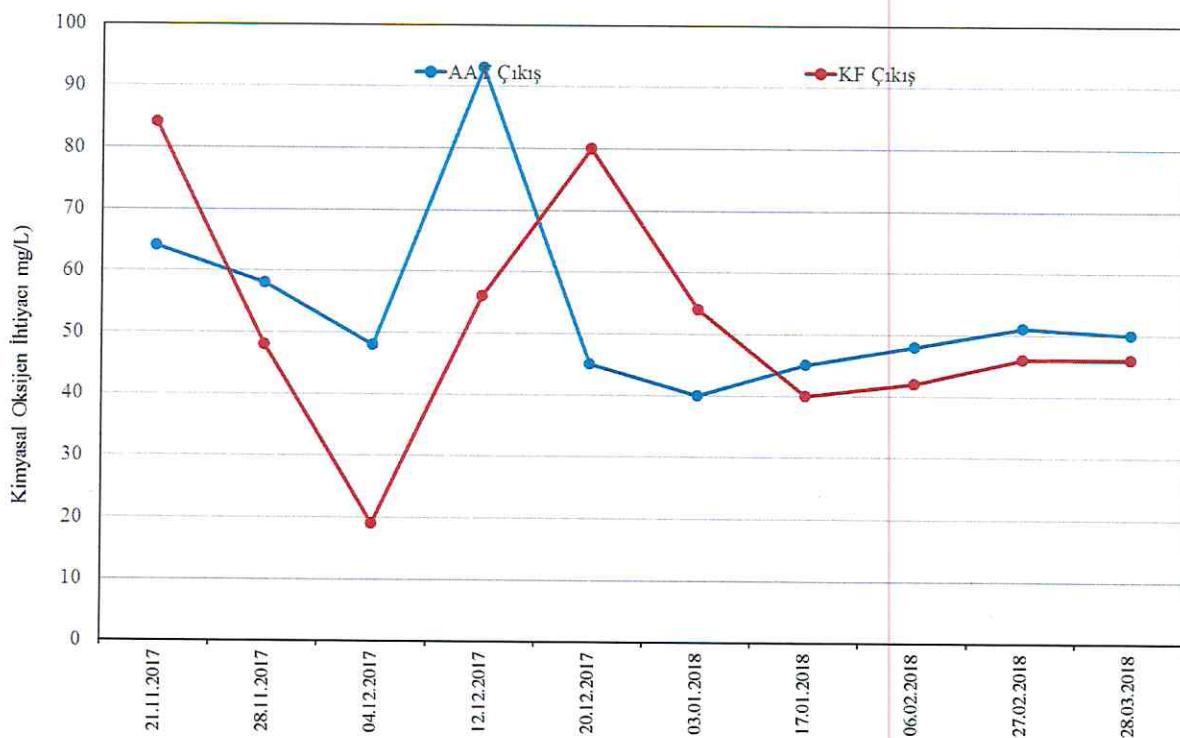
Tez çalışması kapsamında Konya AAT'de bulunan atıksu geri kazanım tesisinden toplam 10 adet numune alınmıştır. Numune alma tarihleri için KOİ parametresi istatistiksel verileri çizelge 4.9.'da verilmiştir.

**Çizelge 4.9. Konya AAT geri kazanım tesisinde numune alma tarihleri için KOİ parametresi istatistiksel verileri
(n: 10 ölçüm sayısı)**

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L) Giriş	40,0	93,0	54,2	15,2
KOİ (mg/L) Çıkış	19,0	84,0	51,5	19

Son çökeltme havuzundan çıkan atıksular ham su deposuna alınarak pompalar vasıtasıyla geri kazanım tesisi içerisindeki basınçlı kum filtrelerine verilmektedir. Son

çökeltme havuzu çıkışından ve basınçlı kum fitresi çıkışından alınan numenelerde KOİ sonuçlarına bakılmıştır. Yaptığımız analizlerde Kum filtesi girişinde KOİ değeri minimum 40 mg/L, maksimum 93 mg/L ve ortalama 54,2 mg/L olarak görülmüştür. Giriş KOİ için standart sapma değeri 15,2 dir. Basınçlı Kum Filtresi çıkışında ise KOİ değeri minimum 19 mg/L, maksimum 84 mg/L ve ortalama 51,5 mg/L'dir. Çıkış KOİ değeri için standart sapma 19 dur. Şekil 4.7.'de KOİ değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.7.Konya AAT geri kazanım tesisi giriş çıkış KOİ analiz sonuçları

Tesis bünyesinde işletilmekte olan geri kazanım tesisisinde numune alım dönemlerinde sürekli üretim olmamasından kaynaklı olarak filtreler sürekli çalıştırılamamıştır. Filtre içerisinde biriken katı maddelerin zaman içerisinde dibe çökmesinden kaynaklı olarak kum fitresi çıkışındaki KOİ değerinde girişe göre yükselme olduğu görülmüştür. Kesikli çalıştırılacak olan geri kazanım tesislerinde滤re haznesinde biriken atıkların deşarj edilerek yeniden su üretimine başlanması gerekmektedir.

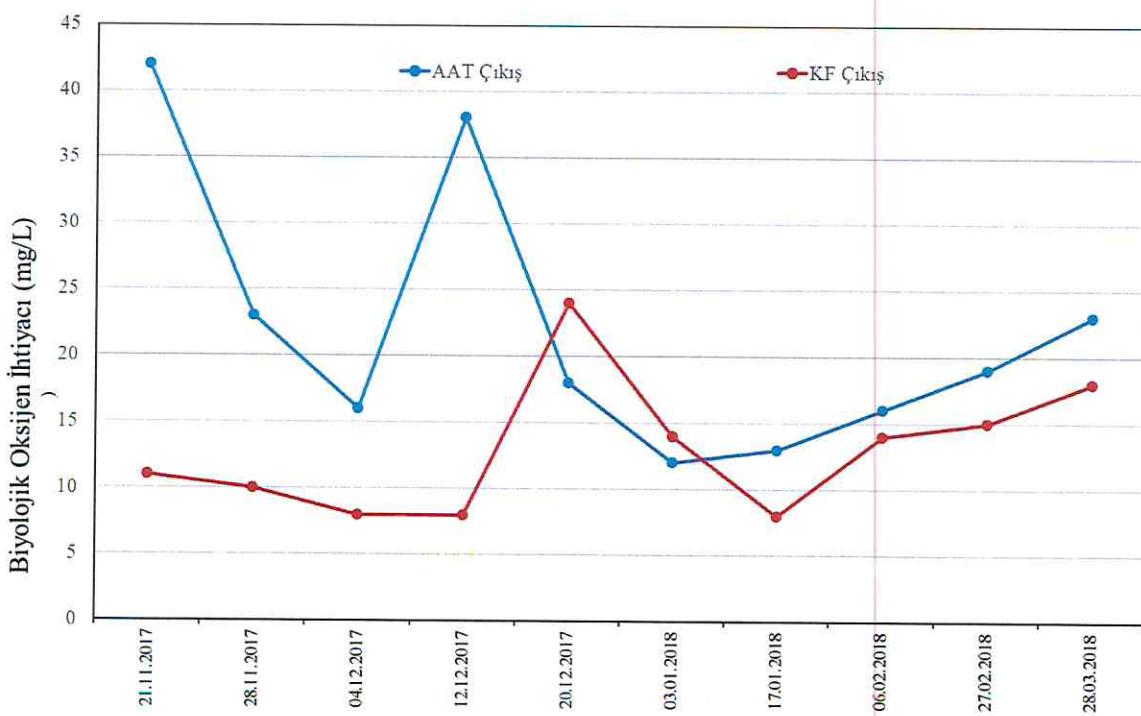
Tez çalışması kapsamında Konya AAT'debulunanatıksu geri kazanım tesisinden alınan toplam 10 adet numune için BOİ₅ parametresi istatistiksel verileri çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10.Konya AAT geri kazanım tesisinde numune alma tarihleri için BO_{İ₅} parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
BO _{İ₅} (mg/L) Giriş	12	42	22	10,2
BO _{İ₅} (mg/L) Çıkış	8	24	13	5,2

Güney Kıbrıs'ın Larnaka bölgesinde bulunan atıksu geri kazanım tesisinde oksidasyon hendekleri, çökeltim havuzları, kum filtersi veklorlama yapılan arıtma tesisinin çıkış suları sulama sistemine verilmektedir. Larnaka'da yapılan çalışmada BO_{İ₅} değeri 2,6 mg/L olarak analiz edilmiştir(Fatta ve ark., 2005). İspanya'da bulunan Almeria Atık Su Geri Kazanım Tesisinde ise hızlı kum filtersinden sonra ozonla dezenfeksiyon yapılarak atık su geri kazanımı yapılmaktadır. Arıtlan bu suyun BO_{İ₅} değeri 35 mg/L'dir ve tarımsal sulamada kullanılmaktadır(Fatta ve ark., 2005).

Son çökeltme havuzu çıkışından ve basınçlı kum fitresi çıkışından alınan numunelerde BO_{İ₅} sonuçlarına bakılmıştır. Yaptığımız analizlerde Kum filtersi girişinde BO_{İ₅} değeri minimum 12 mg/L, maksimum 42 mg/L ve ortalama 22 mg/L olarak görülmüştür. Giriş BO_{İ₅} için standart sapma değeri 10,2 dir. Basınçlı Kum Filtresi çıkışında ise BO_{İ₅} değeri minimum 8 mg/L, maksimum 24 mg/L ve ortalama 13 mg/L'dir. Çıkış BO_{İ₅} değeri için standart sapma 5,2 dir. Şekil 4.8.'de BO_{İ₅} değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.8.Konya AAT geri kazanım tesisi giriş çıkış BO_{İ₅} analiz sonuçları

KOİ parametresinde belirttiğimiz gibi BOİ₅parametresi içinde kum fitresi çıkışında girişten daha yüksek değerler karşımıza çıkmıştır. Filtre içerisinde biriken katı maddelerin zaman içerisinde dibe çökmesinden kaynaklı olarak kum滤resi çıkışındaki kirlilik değerlerini yükseltmesinin yanısıra içeride oluşan anaerobik ortamdan dolayı zaman içerisinde metan oluşumu ve kötü kokuların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

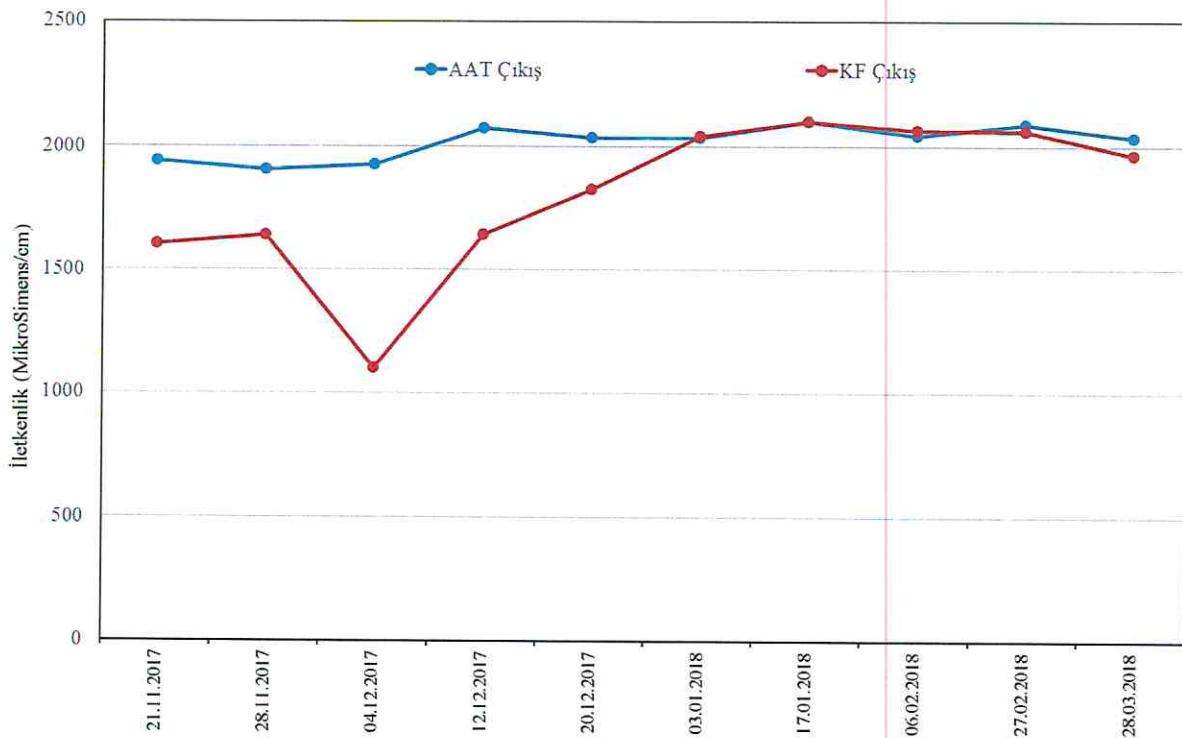
Tez çalışması kapsamında alınan 10 numunede analizi yapılan bir diğer parametre ise iletkenliktir. İletkenlik parametresi için istatistiksel verileri çizelge 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11.Konya AAT geri kazanım tesisiinde numune alma tarihleri için iletkenlik parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Giriş	1907	2100	2019	69,1
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Çıkış	1100	2100	1804	315

AATUT Tablo E7.1'de geri kazanılmış atıklar için iletkenlik sınır değeri bulunmamaktadır. Yaptığımız analizlerde kum filteri girişinde iletkenliğin maksimum 2100 $\mu\text{s}/\text{cm}$, minimum 1907 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ve ortalama 2018,9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ olduğu görülmüştür. İletkenlik için standart sapma değeri 69,1dir. Kum filteri çıkışında ise iletkenlik maksimum 2100 $\mu\text{s}/\text{cm}$, minimum 1100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ve ortalama 1804,6 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dir. Kum filteri çıkışında iletkenlik için standart sapma değeri 315 dir. Kıbrıs Larnaka AAT'nde yapılan benzer bir çalışmada çıkış suyunda bulanıklık değeri 3,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmüştür(Fatta ve ark., 2005).

Şekil 4.9'da atıksu geri kazanım tesisiinde iletkenlik değerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 4.9.Konya AAT geri kazanım tesisi giriş çıkış iletkenlik analiz sonuçları

Tez çalışması kapsamında geri kazanım tesisi çıkışından alınan alınan 10 numunede bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. Bulanıklık parametresi için istatistiksel verileri çizele 4.12.'de verilmiştir.

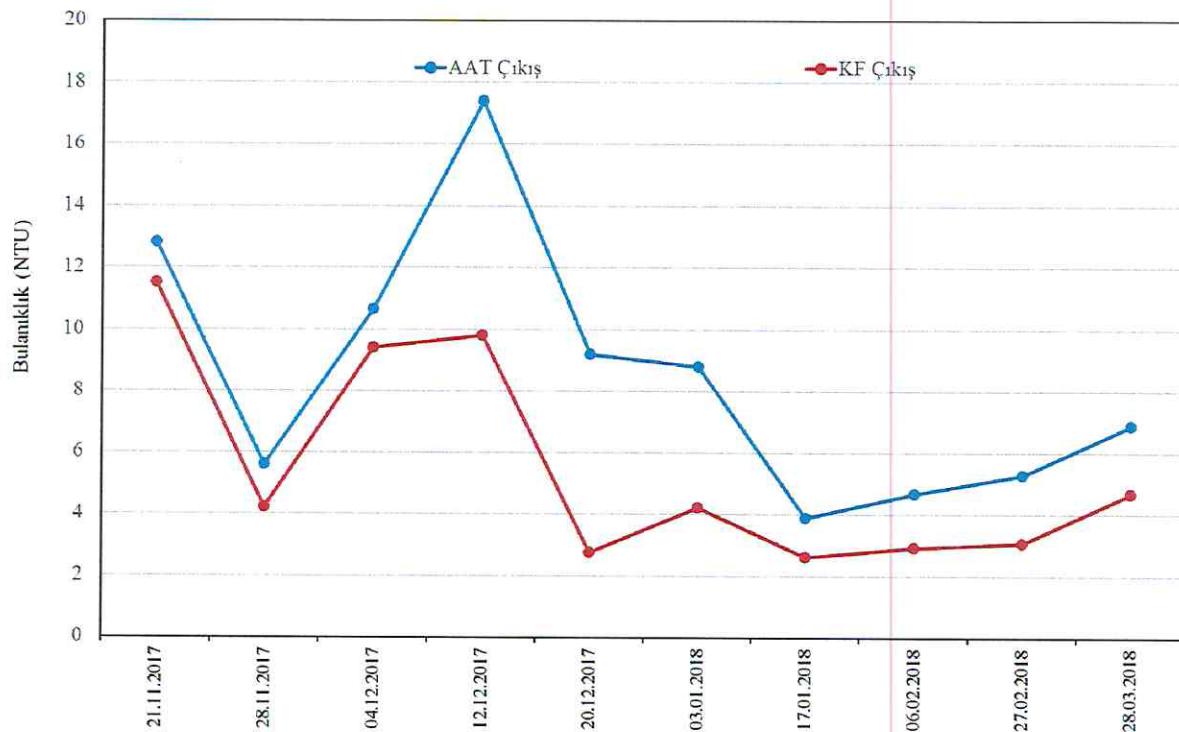
Çizele 4.12.Konya AAT geri kazanım tesiste numune alma tarihleri için bulanıklık parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Bulanıklık (NTU) Giriş	3,9	17,4	8,5	4,2
Bulanıklık (NTU) Çıkış	2,6	11,5	5,5	3,4

Yunanistan'da yapılan bir çalışmada yaklaşık $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli tesisin çıkış suları, $45 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteye sahip(kumfiltresi + aktif karbonfiltresi + ozon)geri kazanım tesiste ileri arıtmadan geçirilerek, çıkış suyunda bulanıklık, TOK, NH4-N ve koliform bakteri analizi yapılmıştır. Bu geri kazanım tesisi sayesinde yalnızca filtrasyon uygulandığı zaman bulanıklık giderme verimi %42 iken, filtrasyon + aktif karbon adsorbsiyonu uygulandığında verimin %60'a ulaşlığı görülmüştür Farklı konsantrasyonlarda ozon uygulanması durumunda da bulanıklık giderimine etkisi ozon dozajına bağlı olarak %8'den %78'e kadar ulaşmıştır(Petala ve ark., 2006).

AATTUT Tablo E7.1'de geri kazanılmış atıksular sınıflandırılmasında bulanıklık önemli bir parametre olarak görülmektedir. A sınıfı sulama suyu sınıfında bulanıklık değeri

<2 NTU olması gerekmektedir. Yaptığımız analizlerde kumfiltresi girişinde bulanıklık değerinin maksimum 17,4 NTU, minimum 3,9 NTU ve ortalama 8,5 NTU olduğu görülmüştür. Kumfiltresi çıkışında ise maksimum 11,5 NTU, minimum 2,6 NTU ve ortalama 5,5 NTU'dur. Elde edilen verilere göre basınçlı kumfiltresi ile A sınıfı sulama suyu elde edilememektedir. Şekil 4.10.'da bulanıklık değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.10. Konya AAT geri kazanım tesisi giriş çıkış bulanıklık analiz sonuçları

Konya AAT'de işletilmekte olan geri kazanım tesisi kumfiltresi çıkışından alınan numunelerden yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.13.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Pilot ölçekli tesis kumfiltresi çıkışında ölçülen parametrelerin istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L) Çıkış	19,0	84,0	51,5	19
BOİ ₅ (mg/L) Çıkış	8	24	13	5,2
İletkenlik (μs/cm)	1100	2100	1804	315
Bulanıklık (NTU)	2,6	11,5	5,5	3,4
Bakiye Klor (mg/L)	0	0,1	0,04	-
FekalKoliform (ad/100 mL)	0	0	0	-

Genel olarak basınçlı kum filtresinin KOİ, BOİ₅, iletkenlik ve bulanıklık giderim verimlerine baktığımız zaman, atıksu arıtma tesislerinin çıkışına kurulacak olan geri kazanım tesislerinin AATTUT Tablo E7.1'de de belirtilen B sınıfı sulama suyu üretimi için yeterli olduğu görülmektedir. Kum fitresi girişinde yapılan ön klorlamanın arıtlımsı atıksu içerisinde bulunan fekalkoliformları yok etmek için yeterli olduğu, arıtlımsı atıksu deposunda yada mor şebeke hattında yapılacak olan klor dozlaması ile AATTUT'nde istenen bakiye klor şartını da sağlayacağı görülmüştür. Üretilen su ile meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması, lifli bitkilerin sulanması (pamuk vb.), ağaçlandırma, çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ile otlak hayvanları için mera sulaması yapılabileceği gibi tarımsal sulamada ticari olarak işlenen gıda ürünleri, gıda ürünü olmayan bitkiler ve girişi kısıtlı sulama alanlarında kullanılabilir. Sanayide yeniden kullanım alanlarında ise endüstriyel proses suyu, kazan besi suyu, soğutma kulesi besi suyu, beton üretimi, toz kontrolü, balık üretme çiftlikleri ve agrega (kum, çakıl) yıkaması amacıyla kullanılabilir. Çevresel yeniden kullanım alanlarında ise sulak alan beslenmesi (erisimi kısıtlı), insan yapımı rekreatif akarsular (erisimi kısıtlı), rekreatif göller ve göletler (erisimi kısıtlı) ve akarsu akış besleme olarak kullanılabilir.

4.3. Atıksu Geri Kazanımında Ultrafiltrasyon (UF) Prosesinin Değerlendirilmesi

Konya AAT atıksu geri kazanım tesisinden elde edilen geri kazanılmış atıksular 8 m³ kapasiteli hamsu deposuna alınmış ve buradan pilot ölçekli tesise besleme yapılmıştır. Geri kazanılmış atıksular 5,6 m³/saat ürün suyu debisine sahip ve yaklaşık %89,4 verimle çalışabilen 50 micron gözenek açıklığı olan 2 adet kartuş filtrede geçirilerek alınan numunelerden KOİ, BOİ₅, bulanıklık, iletkenlik, bakiye klor ve fekalkoliform analizleri yapılmıştır. UF Prosesi; koagülant dozaj sistemi, kartuş filtre, UF modülleri, analizörler (iletkenlik, debi, basınç), UF kimyasal yıkama ve ters yıkama sistemi, UF ürün suyu deposundan oluşmaktadır.

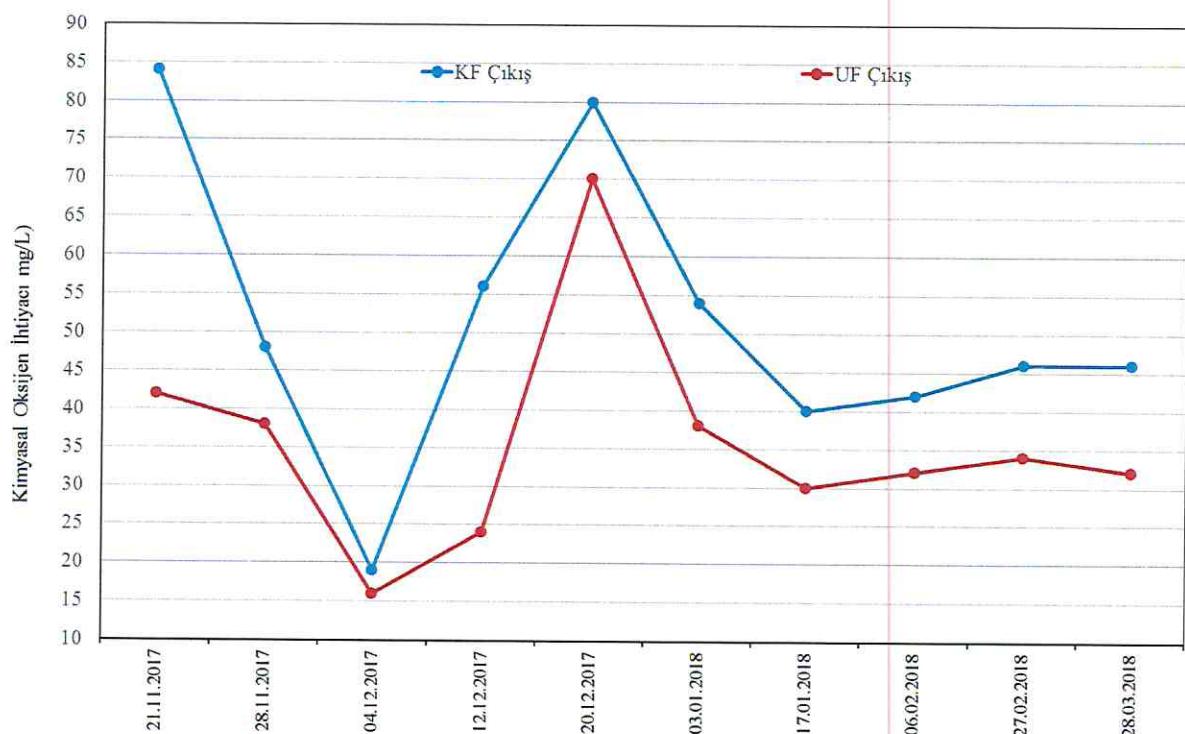
Pilot ölçekli tesiste bulunan UF çıkışındaki çalışma kapsamında toplam 10 adet numune alınmıştır. Numune alma tarihleri için KOİ parametresi istatistiksel verileri Çizelge 4.14.'de verilmiştir.

Çizelge 4.14.Pilot ölçekli tesis ultrafiltrasyon çıkışında numune alma tarihleri için KOİ parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L) Giriş	19,0	84,0	51,5	19

KOİ (mg/L) Çıkış	16,0	70,0	35,6	14,2
------------------	------	------	------	------

Yapılan analizler neticesinde UF girişinde KOİ değeri minimum 19 mg/L, maksimum 84 mg/L ve ortalama 51,5 mg/L olup standart sapma 19 dur. UF çıkışındaki analiz sonuçlarına incelediğimizde ise KOİ değeri minimum 16 mg/L, maksimum 70 mg/L ve ortalama 35,6 mg/L'dir. UF çıkışındaki standart sapma değeri 14,2'dir. Şekil 4.11.'de KOİ değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.11.UF sistemi giriş çıkış KOİ analiz sonuçları

UF sisteminin verimine baktığımız zaman numune alma döneminde %12,5 ile %57,1 arasında ve ortalama %29,1 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

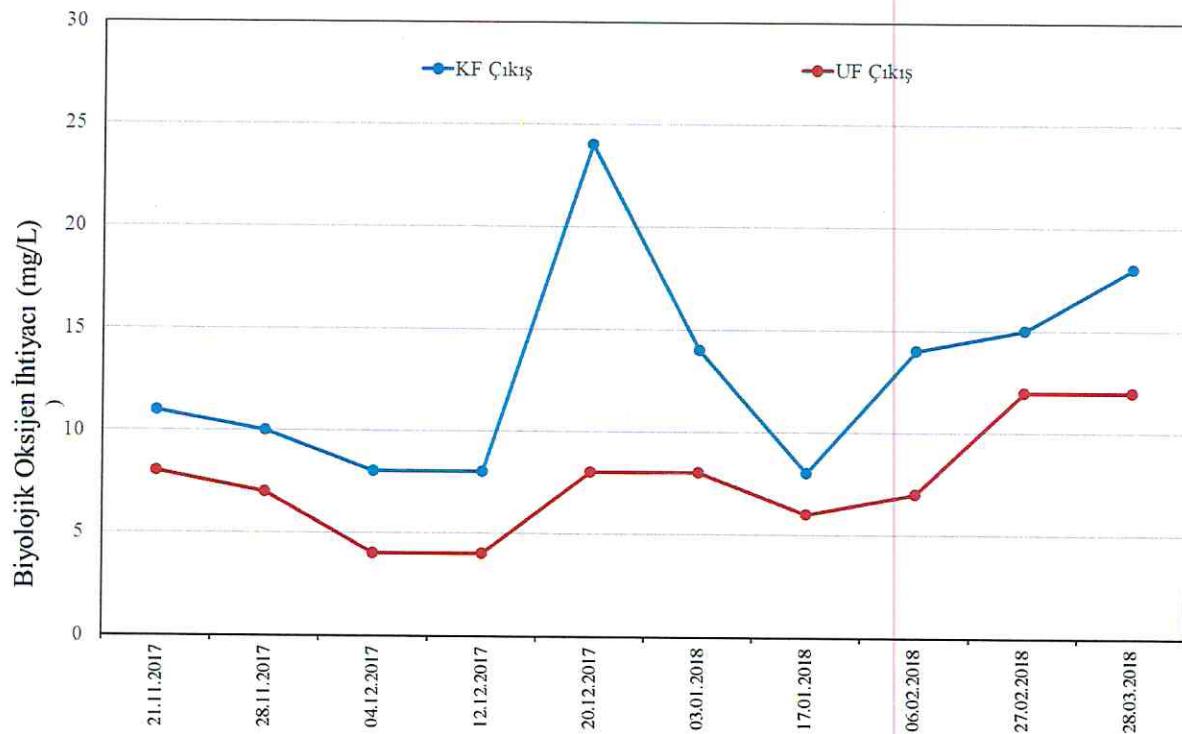
İspanya Quart Benager AAT'de yapılan bir çalışmada ise; AAT çıkışına 2 adet $2\text{m}^3/\text{saat}$ kapasiteli pilot ölçekli tesis kurulmuş ve ileri arıtmadan çıkan sularla tarımsal alanların sulaması amaçlanmıştır. Bu çalışmadaki amaç özellikle Valencia bölgesinde yaşanan su sıkıntısına çözüm bulmak amacıyla bölgedeki atık suyun geri kazanım oranını artırarak bu su ile tarımsal alanların sulanmasını sağlamaktır. Pilot ölçekli bu tesiste 3 alternatif değerlendirilmiştir. 1.Koagülasyon-Flokülasyon + çöktürme + filtrasyon + UV dezenfeksiyon, 2.Filtrasyon + UV dezenfeksiyon, 3.UF sistemleridir. UF sistemi %50 ile KOİ de en yüksek giderimi sağlamıştır(Illueca-Muñoz ve ark., 2008).

Yaptığımız çalışmalar neticesinde UF sistemi çıkışından alınan numunelerde yapılan analizler sonucu elde edilen BO_{I₅} sonuçları çizelge 4.15.'de verilmiştir.

Çizelge 4.15.Pilot ölçekli tesis UF çıkışında numune alma tarihleri için BO_{I₅} parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
BO _{I₅} (mg/L) Giriş	8	24	13	5,2
BO _{I₅} (mg/L) Çıkış	4	12	7,6	2,5

Elde edilen analiz sonuçları neticesinde UF girişinde BO_{I₅} değeri minimum 8 mg/L, maksimum 24 mg/L ve ortalama 13 mg/L olup standart sapma 5,2 dir. UF çıkışındaki değerlere incelediğimizde ise BO_{I₅} değeri minimum 4 mg/L, maksimum 12 mg/L ve ortalama 7,6 mg/L'dir. UF çıkışındaki standart sapma değeri 2,5'dir. Şekil 4.12.'de analiz sonucu elde edilen BO_{I₅} değerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.12.UF sistemi giriş çıkış BO_{I₅} analiz sonuçları

UF sisteminin verimine baktığımız zaman numune alma döneminde %20 ile %66,7 arasında ve ortalama %39,5 BO_{I₅} giderim verimi elde edilmiştir.

Analizini yaptığımız bir diğer parametre ise iletkenliktir. İletkenlik parametresi için istatistiksel veriler çizele 4.16.'da verilmiştir.

Çizele 4.16.Pilot ölçekli tesis UF çıkışında numune alma tarihleri için iletkenlik parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Giriş	1100	2100	1804	315
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Çıkış	1237	1886	1671	214

Yapmış olduğumuz analizler neticesinde UF girişinde iletkenlik değeri minimum 1100 $\mu\text{s}/\text{cm}$, maksimum 2100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ve ortalama 1804 $\mu\text{s}/\text{cm}$ olup standart sapma 315 dir. UF çıkışındaki değerleri incelediğimizde ise iletkenlik değeri minimum 1237 $\mu\text{s}/\text{cm}$, maksimum 1886 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ve ortalama 1672 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'dir. UF çıkışındaki standart sapma değeri 214'dür. Şekil 4.13.'de iletkenlik değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.13.UF sistemi giriş çıkış iletkenlik analiz sonuçları

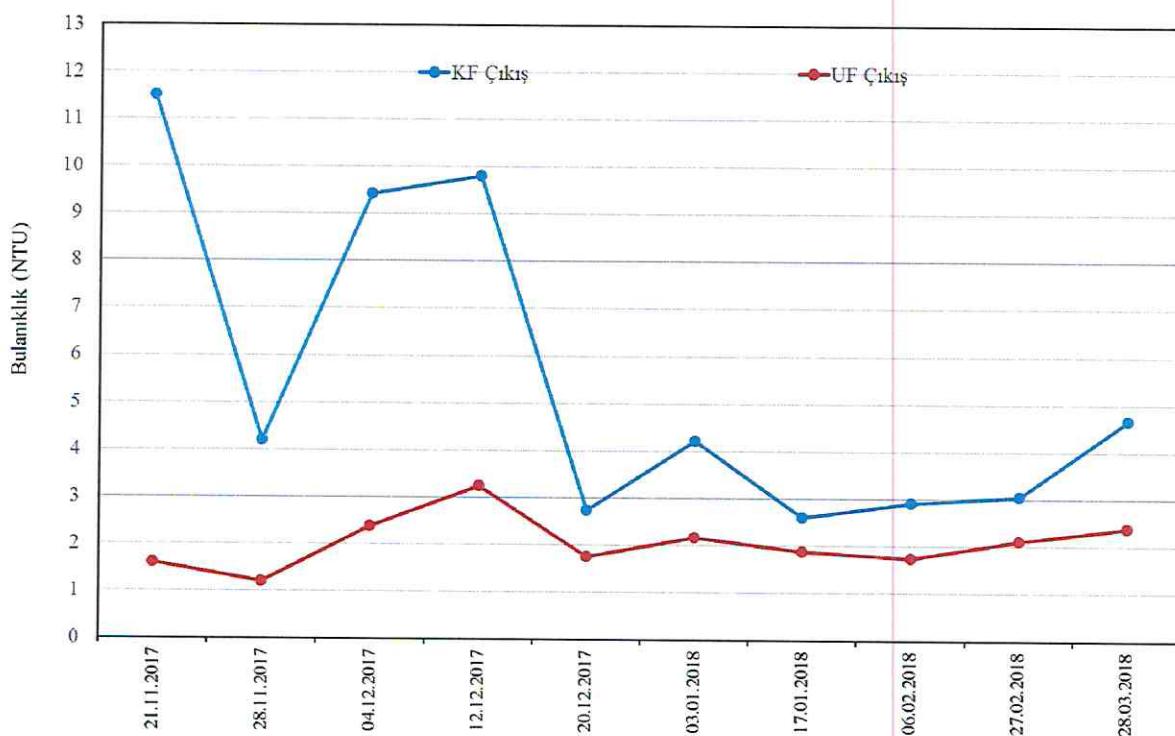
Numune alma dönemi için UF sisteminin %20 iletkenlik giderimi sağladığı görülmüştür.

UF çıkışında analizi yapılan bir diğer parametre ise bulanıklıktır. UF sistemi giriş ve çıkışından alınan 10 numunede bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. Bulanıklık parametresi için istatistiksel verileri çizelge 4.17.'de verilmiştir.

Çizelge 4.17.Pilot ölçekli tesis UF çıkışında numune alma tarihleri için bulanıklık parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Bulanıklık (NTU) Giriş	2,6	11,5	5,5	3,4
Bulanıklık (NTU) Çıkış	1,2	3,2	2,0	0,6

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Tablo E7.1'de A sınıfı sulama suyu sınıfında bulanıklık değeri <2 NTU olması gerekmektedir. Yaptığımız analizlerde UF çıkışında bulanıklık değerinin maksimum 3,2 NTU, minimum 1,2 NTU ve ortalama 2,0 NTU olduğu görülmüştür.. Elde edilen verilerin ortalamasına göre UF sistemi ile A sınıfı sulama suyu elde edilebilmektedir. Ancak zaman zaman UF sisteminden önce kurulan basınçlı kum filtersi çıkışındaki bulanıklık değerinin yüksek olması UF sisteminin çıkışındaki bulanıklık değerinin de yüksek olmasına neden olmaktadır. Şekil 4.14.'de bulanıklık değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.14.UF sistemi giriş çıkış bulanıklık analiz sonuçları

UF çıkışından alınan numunelerden yapılan analizler neticesinde UF sisteminin verimli işletilmesi neticesinde AATTUT'ne göre A sınıfı sulama suyu elde edilebileceği görülmektedir. Çizelge 4.18.'de UF sistemi çıkışında ölçülen parametrelerin ortalama analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.18.Pilot ölçekli tesis UF çıkışında ölçülen parametrelerin istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L) Çıkış	16,0	70,0	35,6	14,2
BOİ ₅ (mg/L) Çıkış	4	12	7,6	2,5
İletkenlik (μs/cm)	1327	1886	1671	214
Bulanıklık (NTU)	1,2	3,2	2,0	0,6
Bakiye Klor (mg/L)	0	0,1	0,04	-
FekalKoliform (ad/100 mL)	0	0	0	-

Elde edilen sonuçlara bakıldığından UF sisteminin AATTUT'nde A sınıfı sulama suyu standartlarını tamamen sağladığı görülmektedir. Ancak UF çıkışında bakiye klor miktarının maksimum 0,1 mg/l olduğu görülmektedir. Kum滤resi öncesinde yapılan ön klorlamanın ise atıksu içerisindeki fekalkoliformları yok etmek için yeterli olduğu görülmüştür. Ancak AATTUT'ne göre A sınıfı sulama suyunda bakiye klorun 1 mg/L'den büyük olması istenmektedir. UF sistemi kurularak A sınıfı sulama suyu elde edilmek istenen yerlerde UF ürün suyu deposuna yada sulama yapılacak olan kollektör hattına klor dozajı yapılarak bu miktarın sağlanması mümkündür. Elde edilen ürün suyunun kullanım alanlarına baktığımızda; yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürününde, köklü bitkilerin (havuç, turp vs.) sulanmasında, her türlü yeşil alan sulamasında (parklar, golf sahaları vb.), ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinde, kentsel alanların sulanmasında kullanılabileceği görülmektedir(Çevre ve Bakanlığı, 2010).Çevresel yeniden kullanım olarak bakıldığından sulak alan beslenmesinde (erisimi kısıtlanmamış) ve rekreatif göller ve göletlerde (erisimi kısıtlanmamış), kentsel yeniden kullanım alanlarına baktığımızda ise golf sahalarının sulanması, halkın erişimine açık parkların sulanması, spor sahalarının sulanması, peyzaj alanlarının sulanması, tuvalet temizliği, ticari kimyasal madde karışımı (pestisid, herbisid), ticari araç yıkama, yangın suyu ve sokak temizliğinde kullanılabilmektedir(EPA, 2012)

4.4. Atıksu Geri Kazanımında Nanofiltrasyon (NF) Prosesinin Değerlendirilmesi

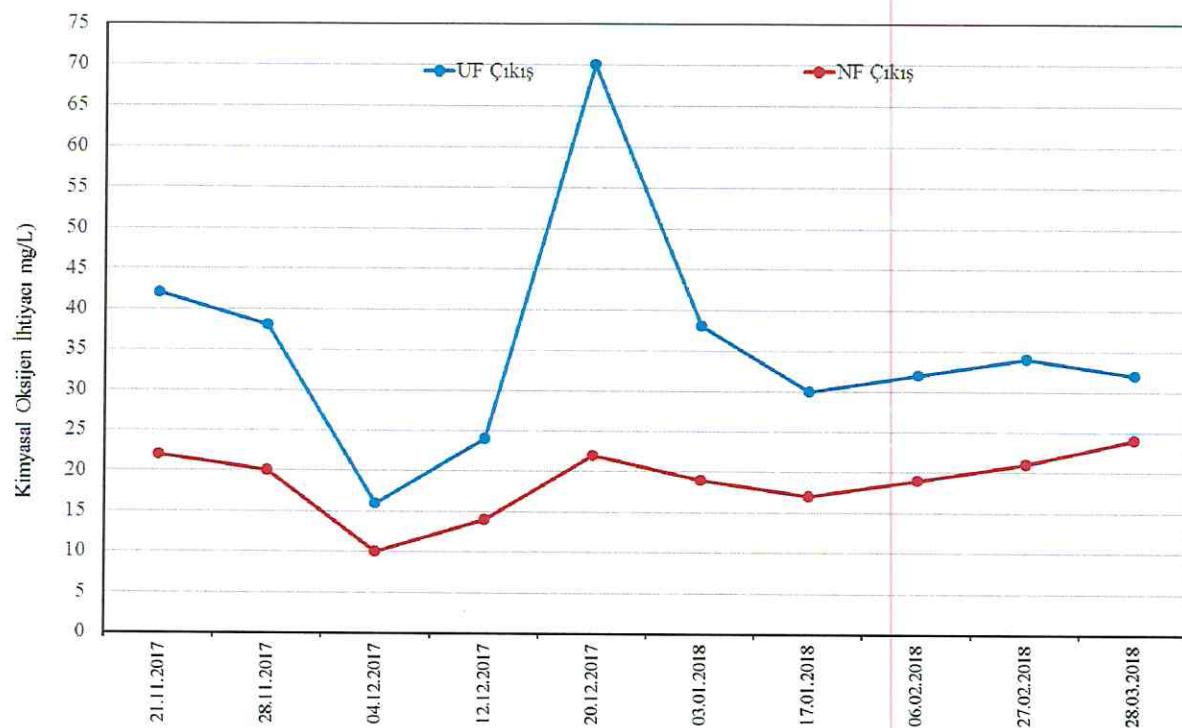
UF sisteminden elde edilen ürün suları pilot tesis içerisinde bulunan 5 m^3 kapasiteli UF ürün suyu deposuna alınmıştır. UF ürün suyu deposu aynı zamanda NF hamsu deposu olarak da kullanılmış ve NF sisteminin beslemesi bu depodan yapılmıştır. UF sisteminden elde edilen sular UF ürün deposundan pompalar vasıtasıyla $1,82\text{ m}^3/\text{saat}$ ürün suyu debisine sahip ve yaklaşık olarak %50 verimle çalışabilen 2 adet $8''*40''$ çapında membrandan geçirilmiştir. Alınan numunelerden KOİ, BOİ₅, bulanıklık, iletkenlik, bakiye klor ve fekalkoliform analizleri yapılmıştır. NF sisteminden elde edilen ürün suyu 1 m^3 kapasiteli ürün suyu deposunda biriktirilmiştir. NF Prosesi; NF besleme pompası, antiskalant dozaj sistemi, kartuş filtre, yüksek basınç pompası, NF membranları, analizörler, otomatik durulama ve CIP sistemi, antiskalant dozaj sistemi, kostik dozaj sisteminden oluşmaktadır.

Pilot ölçekli tesiste bulunan NF çıkışından alınan numuneler sonucu elde edilen KOİ değerinin istatistiksel verileri çizelge 4.19.'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Pilot ölçekli tesis NF çıkışında numune alma tarihleri için KOİ parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L) Giriş	16,0	70,0	35,6	14,2
KOİ (mg/L) Çıkış	10,0	24,0	18,8	4,2

NF sistemi çıkışından alınan numunelerden yapmış olduğumuz analizler neticesinde NF girişinde KOİ değeri minimum 16 mg/L, maksimum 70 mg/L ve ortalama 35,6 mg/L olup standart sapma 14,2 dir. NF çıkışındaki değerlere baktığımızda ise KOİ değeri minimum 10 mg/L, maksimum 24 mg/L ve ortalama 18,8 mg/L'dir. NF çıkışındaki standart sapma değeri 4,2'dir. Şekil 4.15.'de KOİ değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.15.NF sistemi giriş çıkış KOİ analiz sonuçları

NF sisteminin verimine baktığımız zaman numune alma döneminde % 25 ile % 68,6 arasında ve ortalama %44 KOİgiderim verimi elde edilmiştir.

NF sistemi çıkışından alınan 10 adet numuneden yapılan analizler neticesinde elde edilen BOİ₅ sonuçları çizelge 4.20.'de verilmiştir.

Çizelge 4.20.Pilot ölçekli tesis NF çıkışında numune alma tarihleri için BOİ₅ parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
BOİ ₅ (mg/L) Giriş	4	12	7,6	2,5
BOİ ₅ (mg/L) Çıkış	2	10	4,7	2,5

Yapmış olduğumuz analizler neticesinde NF girişinde BOİ₅ değeri minimum 4 mg/L, maksimum 12 mg/L ve ortalama 7,6 mg/L olup standart sapma 2,5 dir. NF çıkışındaki değerler incelendiğinde ise BOİ₅ değeri minimum 2 mg/L, maksimum 10 mg/L ve ortalama 4,7 mg/L'dir. NF çıkışındaki standart sapma değeri 2,5'dir. Şekil 4.16.'da BOİ₅ değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.16.NF sistemi giriş çıkış BOİ₅ analiz sonuçları

NF sistemi numune alma döneminde %16,7 ile %62,5 arasında ve ortalama %40,5 BOİ₅ giderimsağlamıştır.

Şekil 4.21.'de tez çalışması kapsamında NF sistemi çıkışından alınan 10 adet numunenin istatistiksel verileri göstermiştir.

Çizelge 4.21.Pilot ölçekli tesis NF çıkışında numune alma tarihleri için iletkenlik parametresi istatistiksel verileri
(n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Giriş	1237	1886	1671	214
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Çıkış	1446	1760	1608	109

NF sistemi girişinde iletkenlik değeri minimum $1237\mu\text{s}/\text{cm}$, maksimum $1886\mu\text{s}/\text{cm}$ ve ortalama $1671\mu\text{s}/\text{cm}$ olup standart sapma 214'dür. NF çıkışındaki değerlere baktığımızda ise iletkenlik değeri minimum $1446 \mu\text{s}/\text{cm}$, maksimum $1760\mu\text{s}/\text{cm}$ ve ortalama $1608\mu\text{s}/\text{cm}$ 'dir. NF çıkışındaki standart sapma değeri 109'dur. Şekil 4.17.'de iletkenlik değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.17.NF sistemi giriş çıkış iletkenlik analiz sonuçları

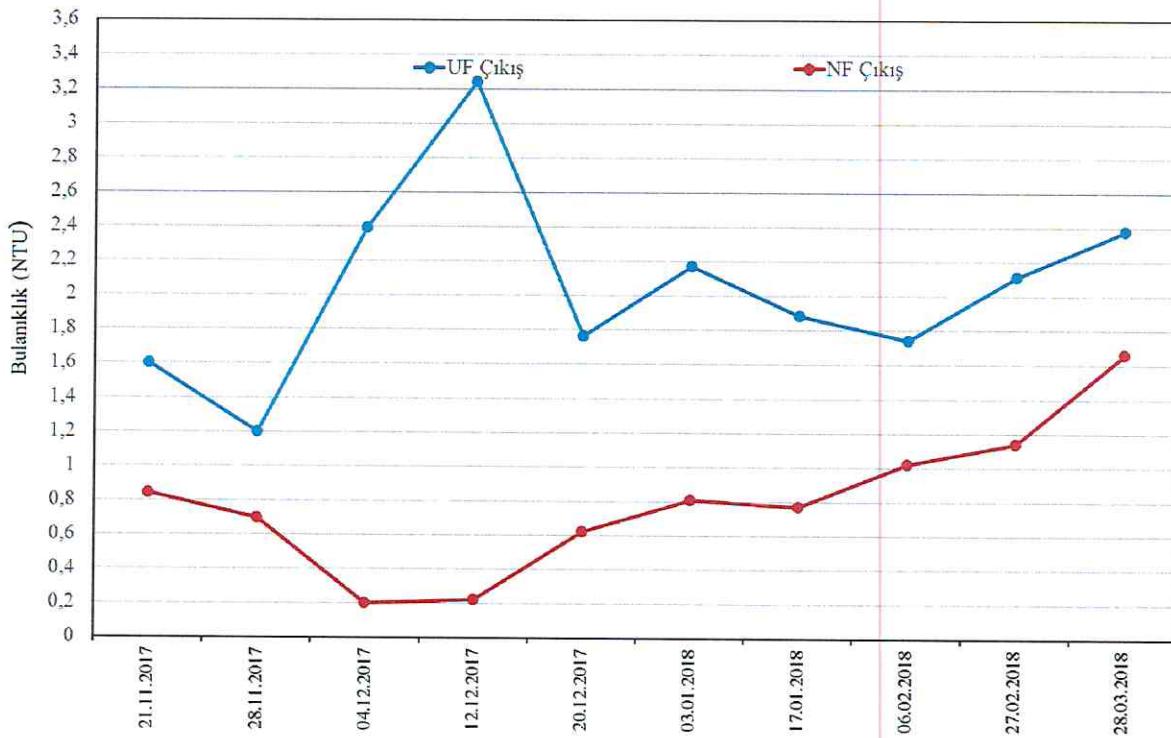
NF sisteminin numune alma döneminde ortalama %14,6 giderim sağladığı tespit edilmiştir.

NF sisteminin bulanıklık giderim veriminin incelenmesi amacıyla, alınan 10 numunede bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. Bulanıklık parametresi için istatistiksel veriler çizele 4.22.'de verilmiştir.

Çizelge 4.22.Pilot ölçekli tesis NF çıkışında numune alma tarihleri için bulanıklık parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Bulanıklık (NTU) Giriş	1,2	3,2	2,0	0,6
Bulanıklık (NTU) Çıkış	0,2	1,7	0,8	0,4

Elde edilen sonuçlarda NF çıkışında bulanıklık değerinin maksimum 1,7 NTU, minimum 0,2 NTU ve ortalama 0,8 NTU olduğu görülmüştür.. NF sistemi ile AATTUT'ne göre A sınıfı sulama suyundan daha kaliteli su elde edilebilmektedir. Üretilen suyun kullanım amacı yalnızca sulama suyu olarak kullanmaksa NF sistemi işletme maliyetlerinden dolayı A sınıfı sulama suyu için yüksek olacaktır.Şekil 4.18.'de bulanıklık değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.18.NF sistemi giriş çıkış bulanıklık analiz sonuçları
Çizelge 4.23.'de NF sistemi çıkışında analizi yapılan parametrelerin ortalama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.23.Pilot ölçekli tesis NF çıkışında ölçülen parametrelerin istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L)	10,0	24,0	18,8	4,2
BOİ ₅ (mg/L)	2	10	4,7	2,5
İletkenlik (μs/cm)	1446	1760	1608	109
Bulanıklık (NTU)	0,2	1,7	0,8	0,4
Bakiye Klor (mg/L)	0	0	0	-
FekalKoliform (ad/100 mL)	0	0	0	-

NF sisteminden alınan numune sonuçlarına göre sistem verimi AATTUT tablo E7.1 de belirtilen A sınıfı sulama suyu kalitesinden daha iyi çıkış suyu elde edilebileceğini göstermiştir.Eğeryeniden kullanım hedefi yalnızca tarımsal sulama olacak ise NF sistemleri hem ilk yatırım hemde işletme maliyeti açısından yüksek olacaktır. NF sisteminden elde edilen ürün suyunun kullanım alanları yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünler, köklü bitkilerin (havuç, turp vs.) sulanması, her türlü yeşil alan sulaması (parklar, golf sahaları vb.), ticari olarak işlenmeyecek

gıda ürünleri, kentsel alanların sulanmasıdır. Ayrıca elde edilen ürün suyu sulak alan beslenmesinde (erişimi kısıtlanmamış) ve rekreatif göller ve göletlerde (erişimi kısıtlanmamış), kentsel yeniden kullanım alanlarına baktığımızda ise golf sahalarının sulanması, halkın erişimine açık parkların sulanması, spor sahalarının sulanması, peyzaj alanlarının sulanması, tuvalet temizliği, ticari kimyasal madde karışımı (pestisid, herbisid), ticari araç yıkama, yangın suyu ve sokak temizliğinde kullanılabilmektedir (EPA, 2012)

4.5. Atıksu Geri Kazanımında Ters Ozmoz (RO) Prosesinin Değerlendirilmesi

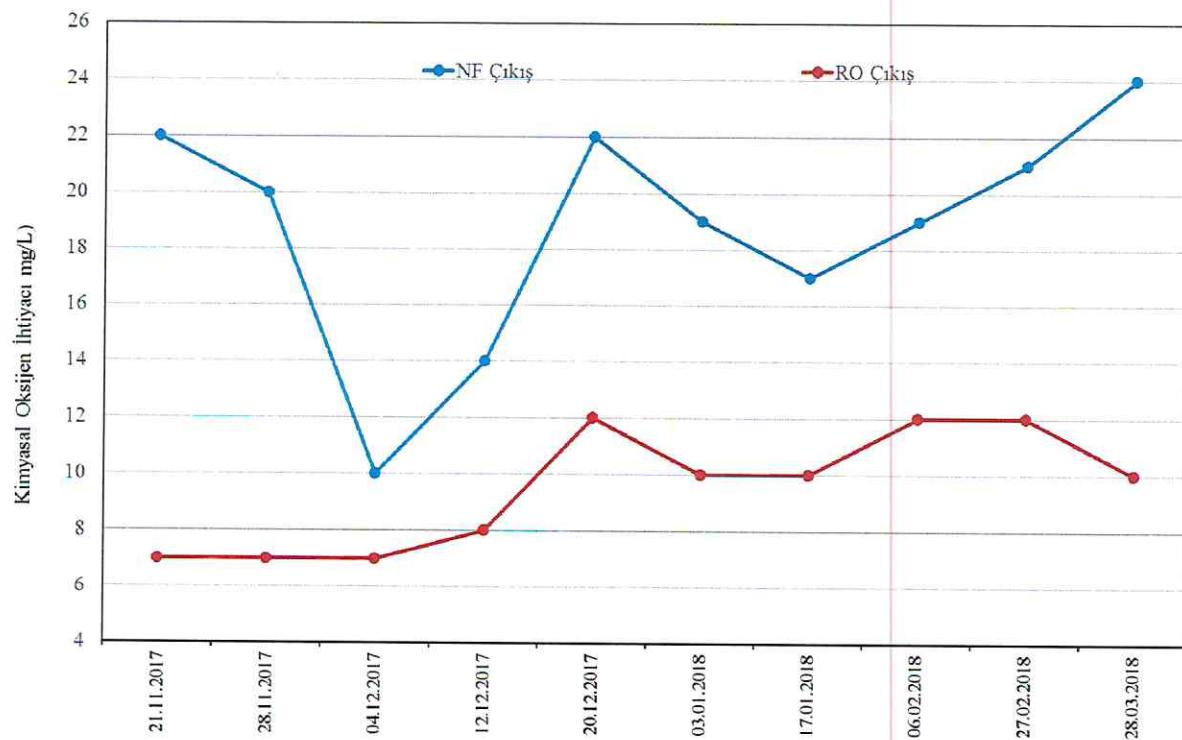
NF sisteminden elde edilen ürün suları 1 m^3 kapasiteli NF ürün suyu deposuna, buradan da pompalar vasıtasıyla RO sistemine alınmıştır. RO sistemi $1 \text{ m}^3/\text{saat}$ ürün suyu debisine sahip, yaklaşık olarak %60 verimle çalışabilmektedir. Ters ozmoz sisteminde 1 adet $8''*40''$ çapında membran bulunmaktadır. Alınan numunelerden KOİ, BOİ₅, bulanıklık, iletkenlik, bakiye klor ve fekalkoliform analizleri yapılmıştır. Yüksek basınç pompa, RO membranları ve analizörlerden oluşmaktadır.

Numune alma tarihlerinde alınan 10 adet numune için KOİ parametresi istatistiksel verileri çizelge 4.24.'de verilmiştir.

Çizelge 4.24.Pilot ölçekli tesis RO çıkışında numune alma tarihleri için KOİ parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L) Giriş	10,0	24,0	18,8	4,2
KOİ (mg/L) Çıkış	7,0	12,0	9,5	2,1

Yapılan analizler neticesinde RO girişinde KOİ değeri minimum 10 mg/L, maksimum 24 mg/L ve ortalama 18,8 mg/L olup standart sapma 4,2 dir. RO çıkışındaki değerlere baktığımızda ise KOİ değeri minimum 7 mg/L, maksimum 12 mg/L ve ortalama 9,5 mg/L'dir. RO çıkışındaki standart sapma değeri 2,1'dir. Şekil 4.19.'da KOİ değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.19. RO sistemi giriş çıkış KOİ analiz sonuçları

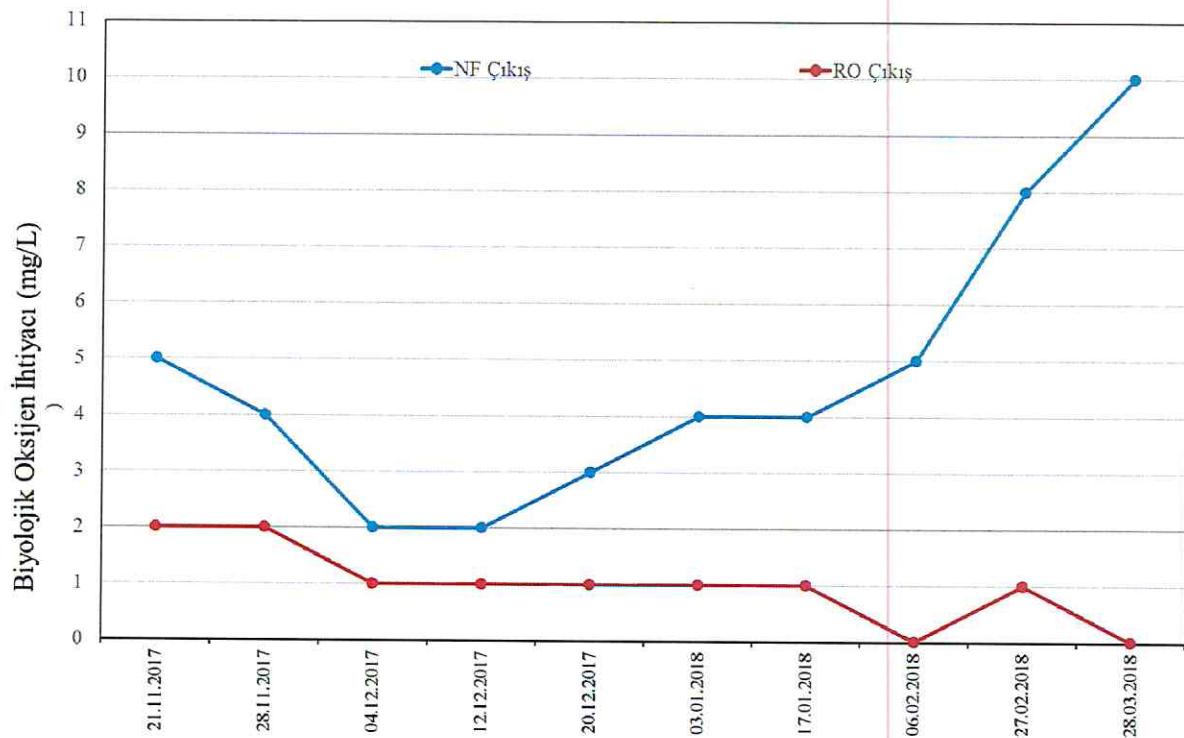
RO sistemi numune alma döneminde % 30 ile % 68,2 arasında ve ortalama %47,8 KOİ giderim verimi sağlamıştır.

RO sistemi çıkışından alınan numunelerde yapmış olduğumuz analizler neticesinde elde edilen BOİ₅ sonuçları çizele 4.25.'de verilmiştir.

Çizelge 4.25.Pilot ölçekli tesis RO çıkışında numune alma tarihleri için BOİ₅ parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
BOİ ₅ (mg/L) Giriş	2	10	4,7	2,5
BOİ ₅ (mg/L) Çıkış	0	2,0	1	0,7

RO girişinde BOİ₅ değeri minimum 2 mg/L, maksimum 10 mg/L ve ortalama 4,7 mg/L olup standart sapma 2,5 dir. RO çıkışında ise BOİ₅ değeri minimum 0 mg/L, maksimum 2 mg/L ve ortalama 1 mg/L'dir. RO çıkışındaki standart sapma değeri 0,7'dir. Şekil 4.20.'de BOİ₅ değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.20. RO sistemi giriş çıkış BOİ₅ analiz sonuçları

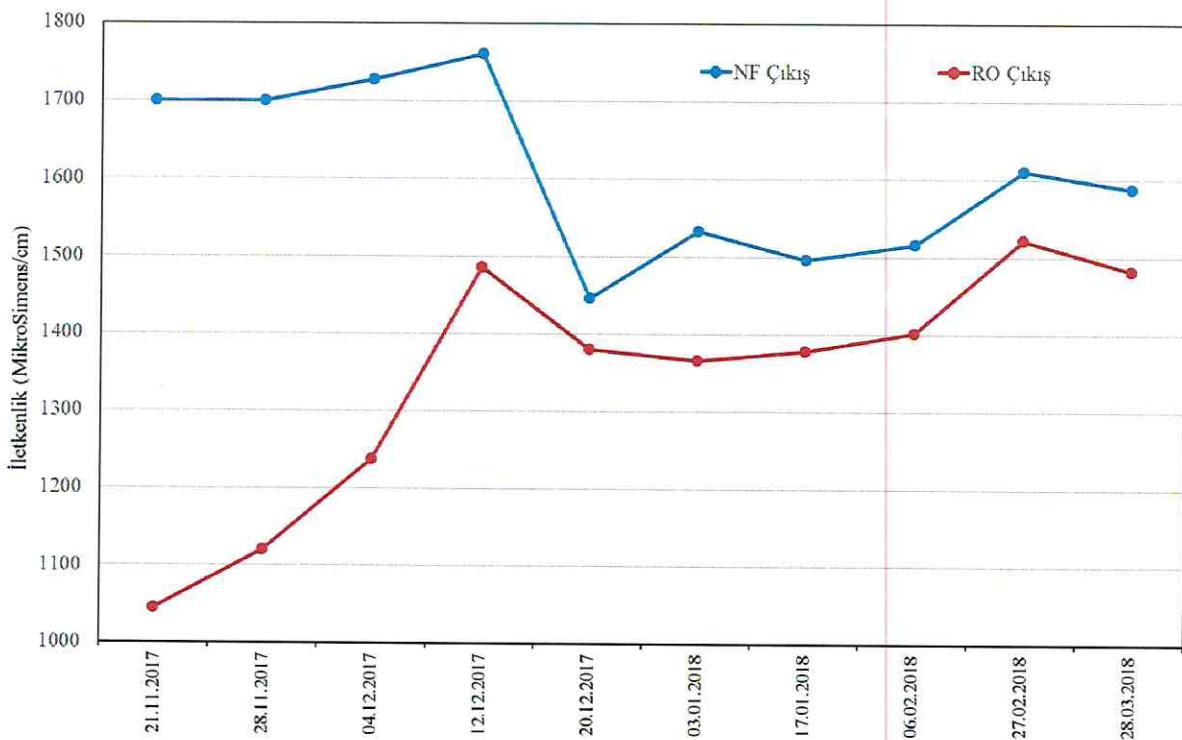
RO sisteminin BOİ₅ giderim verimini incelediğimizde numune alma döneminde %50 ile %100 arasında ve ortalama %71,4 BOİ₅ giderim verimi elde edilmiştir.

RO sistemi çıkışından tez çalışması kapsamında alınan 10 numunede analizi yapılan bir diğer parametre ise iletkenliktir. İletkenlik parametresi için istatistiksel verileri çizelge 4.26.'da verilmiştir.

Çizelge 4.26.Pilot ölçekli tesis RO çıkışında numune alma tarihleri için iletkenlik parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Giriş	1446	1760	1608	109
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Çıkış	1045	1522	1342	159

RO sistemi çıkışından alınan numunelerden yapılan analizler neticesinde iletkenlik değeri minimum 1045 $\mu\text{s}/\text{cm}$, maksimum 1522 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ve ortalama 1342 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'dir. RO çıkışındaki standart sapma değeri 159'dur. Şekil 4.17.'de iletkenlik değerinin giriş ve çıkıştaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.21.RO sistemi giriş çıkış iletkenlik analiz sonuçları

RO sisteminin iletkenlik giderim verimine baktığımız zaman numune alma döneminde ortalama %16 giderim sağladığı görülmüştür.

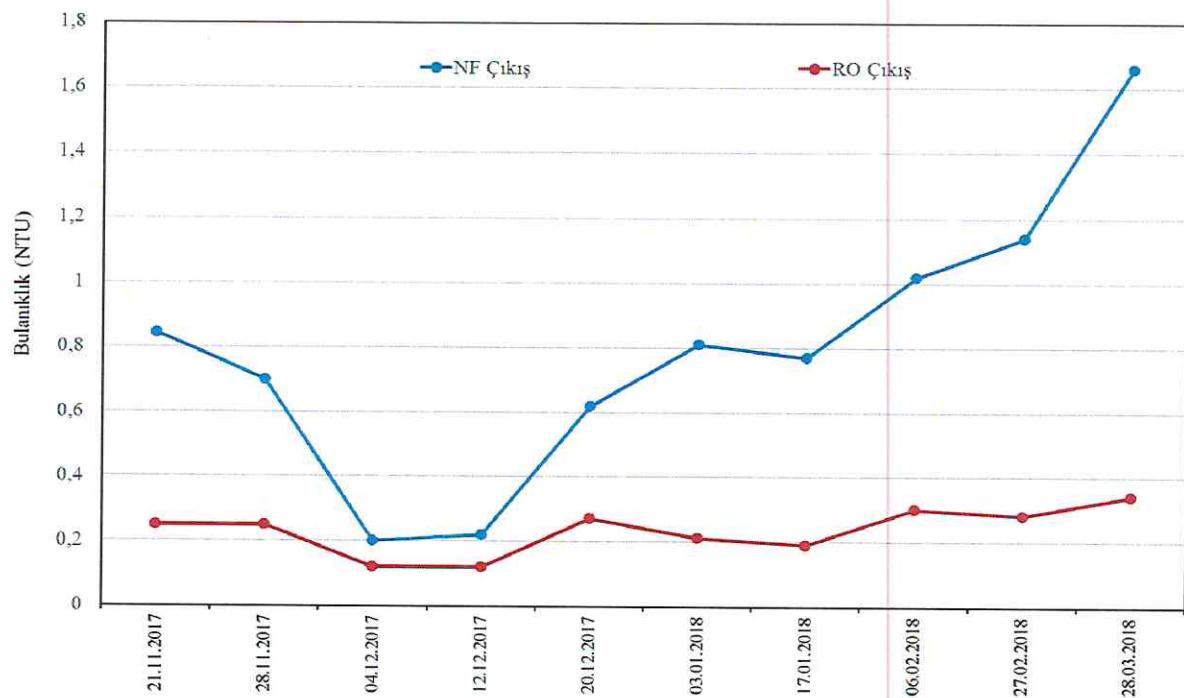
RO çıkışında bulanıklık parametresi için yapılan ölçümler neticesinde elde edilen veriler çizelge 4.27.'de verilmiştir.

Çizelge 4.27.Pilot ölçekli tesis RO çıkışında numune alma tarihleri için bulanıklık parametresi istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Bulanıklık (NTU) Giriş	0,2	1,7	0,8	0,4
Bulanıklık (NTU) Çıkış	0,1	0,3	0,2	0,1

Elde edilen analiz sonuçlarını incelediğimizde RO çıkışında bulanıklık değerinin maksimum 0,3 NTU, minimum 0,1 NTU ve ortalama 0,2 NTU olduğu tespit edilmiştir. RO sisteminden elde edilen ürün suyu TSE 266 içme suyu standartlarında belirtilen bulanıklık sınır değerinin altındadır. Elde edilen verilerin ortalamasına bakıldığından RO sistemi ile AATTUT'ne göre A sınıfı sulama suyundan daha kaliteli su elde edilebilmektedir. Üretilen suyun kullanım amacı yalnızca sulama suyu olarak kullanmaksa RO sistemi işletme maliyetlerinden dolayı A sınıfı

sulama suyu için yüksek olacaktır. Şekil 4.18.'de bulanıklık değerinin giriş ve çıkışındaki grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.22. RO sistemi giriş çıkış bulanıklık analiz sonuçları

Çizelge 4.28.'de RO sistemi çıkışında analizi yapılan parametrelerin ortalama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.28. Pilot ölçekli tesis RO çıkışında ölçülen parametrelerin istatistiksel verileri (n: 10 ölçüm sayısı)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
KOİ (mg/L)	7,0	12,0	9,5	2,1
BOİ ₅ (mg/L)	0	2,0	1	0,7
İletkenlik (μs/cm)	1045	1522	1342	159
Bulanıklık (NTU)	0,1	0,3	0,2	0,1
Bakiye Klor (mg/L)	0	0	0	-
FekalKoliform (ad/100 mL)	0	0	0	-

RO sisteminden alınan sonuçlara bakıldığından sistemden elde edilen ürün suyunun içme suyu kalitesinde olduğu görülmektedir. Arıtılan suyun kullanım amacı içmesuyu akiferlerini besleme (direkt enjeksiyon), içmesuyu amacıyla kullanılmayan akiferlere besleme (direkt enjeksiyon) yada tuzlu su girişim bariyerleri (direkt enjeksiyon) olması durumunda RO

sisteminin kullanılması gerekmektedir. Ancak tarımsal sulama yada yeşil alan sulaması amacıyla kullanılacaksız sistemin ilk yatırım ve işletme maliyeti yüksek olacağından dolayı sistem tarımsal sulama amaçlı kurulacak olan geri kazanım tesislerinde tercih edilmemektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya'da olduğu gibi ülkemizde de hızla artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerdeki artış insanların kullanılabilir su kaynaklarına olan talebini artırmaktadır. Su tüketimindeki artış rağmen kullanılabilir su kaynaklarının kısıtlı ve gün geçtikçe azalıyor olması, kaynakların daha dikkatli yönetilmesini, daha verimli kullanılmasını su tüketimini azaltıcı tedbirler alınmasını ve kullanılmış suların geri kazanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Su sıkıntısının ortaya çıkmasındaki başlıca nedenlerden birisi mevcut kaynakların verimli kullanılmaması ve kullanılabilir kaynaklarımızın gün geçtikçe daha çok kirliliğe maruz kalmasıdır. Kentsel ve endüstriyel atıksuların arıtılıarak deşarj edilmesinin yanı sıra

arıtılmış atıksuların yeniden kullanılması da su kaynaklarımızın korunması açısından büyük bir öneme sahiptir.

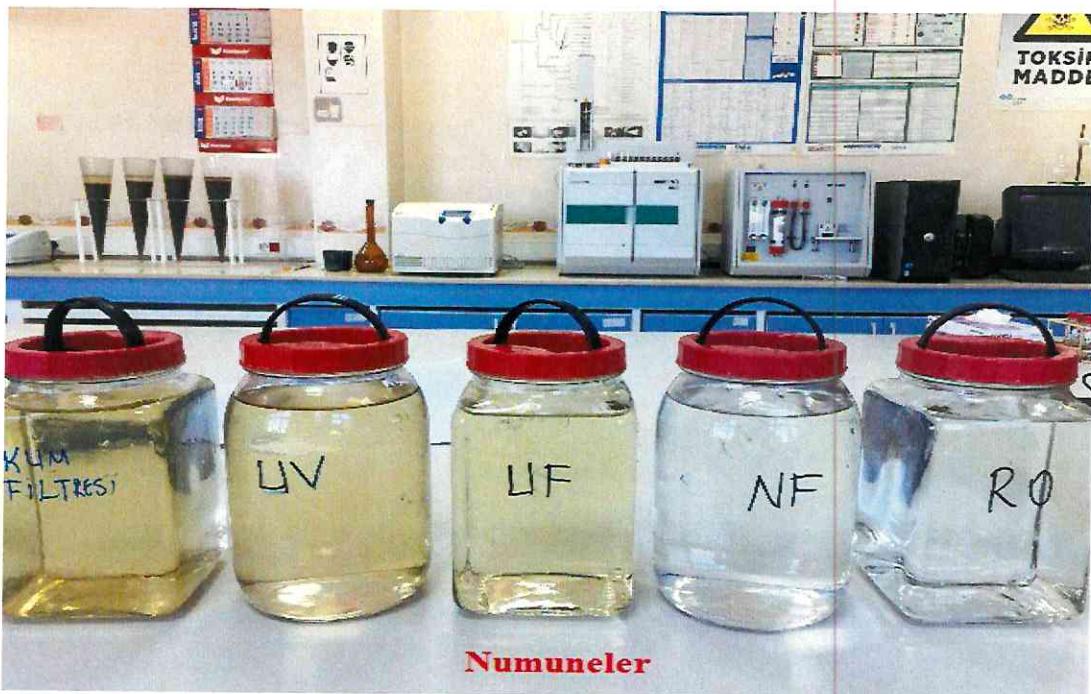
Ülkemizdeki evsel/kentsel arıtılmış atıksuların geri kazanımı yapılan tesislerdeki kapasite %1.2 olarak verilmektedir. Dünya ortalamasına bakıldığından ülkemizdeki bu oranın ortalamanın altında olduğu görülmektedir. Yarı kurak iklimde sahip ve ilerde su stresi çekecek ülkeler arasında yer alan ülkemiz için arıtılmış atıksuların bir kaynak olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde evsel/kentsel arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ile uygulama bulunmakla birlikte yapılan bazı geri kazanım tesislerinde istenilen çıkış suyu kalitesi elde edilememektedir. Bazı tesisler de ise geri kazanım tesisi işletmeye dahi alınamamış ve atıl durumdadır.

Arıtılmış atıksuların tarımsal alanlarda kullanımının yanı sıra endüstriyel faaliyetlerde de kullanımının artması ilerleyen yıllarda ülkemizde yaşanabilecek su sıkıntısının önüne geçecektir. Bu konuda yapılacak olan yasal düzenlemeler arıtılmış atıksuların yeniden kullanım konusunda ülkemizin daha yüksek kullanım oranlarına çıkmasını sağlayacaktır.

Ülkemizde arıtılmış atıksuların geri kazanımında en iyi uygulamaların birisi de Konya evsel atıksu arıtma tesisisinde (Konya AAT) uygulaması yapılan ve kentsel yeniden kullanım için tasarlanan “Mor Şebeke” dir. Tez çalışması kapsamında Konya AAT’de işletilmekte olan geri kazanım tesisisinde sonra kurulan pilot tesis ile UF, NF ve RO sistemlerinin arıtma verimleri ve elde edilen ürün sularının kullanım alanları incelenmiştir.

Şekil 4.1.’de Konya AAT atıksu geri kazanım tesisi ve membran proseslerden elde edilen suların görsel olarak karşılaştırılması kalitesi gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Konya AAT atıksu geri kazanım tesisi ve membran proseslerden elde edilen suların görsel olarak karşılaştırılması

Nas ve ark., (2019) tarafından yürütülen ve TÜBİTAK tarafından desteklenen “Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikrokirleticilerin İzlenmesi ve Kontrolü” Projesi (Proje No: 115Y167) ile Konya AAT’de işletilmekte olan atıksu geri kazanım tesisi binasına $90 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli pilot ölçekli yeni bir geri kazanım tesisi kurulmuştur. Pilot tesis; UF,NF ve RO sistemlerinden oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde mikrokirleticilerin farklı arıtma proseslerinde giderimlerinin araştırıldığı bu $90 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli pilot tesis tez çalışmasında kullanılmıştır.

Konya AAT, atıksu geri kazanım tesisi, UF, NF ve RO sistemlerinin çıkışından alınan numunelerden KOİ,BOİ₅, Bulanıklık, İletkenlik, Bakiye Klor,FekalKoliform analizleri yapılmış ve AATTUT’ne göre verim değerlendirmesi yapılarak elde edilen sonuçlar buna göre yorumlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar AATTUT tablo E7.1'e göre yorumlandığında atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atıksuların direkt olarak tarımsal sulamada kullanılmasının mümkün olmadığı izlenmiştir. Arıtma tesisi çıkış sularının ileri bir arıtma tabi tutularak tarımsal sulamada yada yeşil alan sulamasında kullanılabileceği görülmüştür.

Atıksu geri kazanım tesisi çıkışından alınan numunelerde yapılan analizlerde ise,geri kazanım tesisinin AATTUT Tablo E7.1'de de belirtilen B sınıfı sulama suyu üretimi için yeterli olduğu görülmüştür. Kum fitresi girişinde yapılan ön klorlamanın arıtılmış atıksu

îçerisinde bulunan fekalkoliformları yok etmek için yeterli olduğu, arıtılmış atıksu deposunda yada mor şebeke hattında yapılacak olan klor dozlaması ile AATTUT’nde istenen bakiye klor şartını da sağlayacağı görülmüştür. Üretilen su ile meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması, lifli bitkilerin sulanması (pamuk vb.), ağaçlandırma, çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ile otlak hayvanları için mera sulaması yapılabileceği gibi tarımsal sulamada ticari olarak işlenen gıda ürünlerini, gıda ürünü olmayan bitkiler ve girişi kısıtlı sulama alanlarında kullanılabılır. Sanayide yeniden kullanım alanlarında ise endüstriyel proses suyu, kazan besi suyu, soğutma kulesi besi suyu, beton üretimi, toz kontrolü, balık üretme çiftlikleri ve agrega (kum, çakıl) yıkanması amacıyla kullanılabilir. Çevresel yeniden kullanım alanlarında ise sulak alan beslenmesi (erişimi kısıtlı), insan yapımı rekreatif akarsular (erişimi kısıtlı), rekreatif göller ve göletler (erişimi kısıtlı) ve akarsu akış besleme olarak kullanılabilir.

Konya AAT atıksu geri kazanım tesisinden elde edilen geri kazanılmış atıksular 8 m^3 kapasiteli hamsu deposuna alınmış ve buradan pilot ölçekli tesise besleme yapılmıştır. Pilot ölçekli tesis UF sisteminin çıkışından alınan numune sonuçlarına bakıldığından ise AATTUT’nde A sınıfı sulama suyu standartlarını tamamen sağladığı görülmüştür. Kum filtresi öncesinde yapılan ön klorlama sonucu atıksu içerisindeki fekalkoliformların tamamen yok olduğu ancak UF çıkışında bakiye klor miktarının maksimum $0,1 \text{ mg/l}$ olduğu görülmüştür. Ancak AATTUT’ne göre A sınıfı sulama suyunda bakiye klorun 1 mg/L ’den büyük olması istenmektedir. UF sistemi kurularak A sınıfı sulama suyu elde edilmek istenen yerlerde UF ürün suyu deposuna yada sulama yapılacak olan kollektör hattına klor dozajı yapılarak bu miktarın sağlanması mümkündür. Elde edilen ürün suyunun kullanım alanlarına baktığımızda; yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanın ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürününde, köklü bitkilerin (havuç, turp vs.) sulanmasında, her türlü yeşil alan sulamasında (parklar, golf sahaları vb.), ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinde, kentsel alanların sulanmasında kullanılabileceği görülmüştür.

UF sisteminden elde edilen ürün suları ile NF sistemibeslenmiştir. NF çıkışında alınan numunelerden KOİ, BOİ₅, bulanıklık, iletkenlik, bakiye klor ve fekalkoliform analizleri yapılmıştır. NF sisteminden alınan numune sonuçlarına göre sistem verimi AATTUT tablo E7.1 de belirtilen A sınıfı sulama suyu kalitesinden daha iyi çıkış suyu elde edilebileceğini göstermiştir. Şayet kullanım amacımız yalnızca tarımsal sulama olacak ise NF sistemleri bunun için hem ilk yatırım hemde işletme maliyeti açısından yüksek olacaktır. NF sisteminden elde edilen ürün suyunun kullanım alanları yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanın ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünleri, köklü bitkilerin (havuç,

turp vs.) sulanması, her türlü yeşil alan sulaması (parklar, golf sahaları vb.), ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerini, kentsel alanların sulanmasıdır. Ayrıca elde edilen ürün suyu sulak alan beslenmesinde (erişimi kısıtlanmamış) ve rekreatif göller ve göletlerde (erişimi kısıtlanmamış), kentsel yeniden kullanım alanlarına baktığımızda ise golf sahalarının sulanması, halkın erişimine açık parkların sulanması, spor sahalarının sulanması, peyzaj alanlarının sulanması, tuvalet temizliği, ticari kimyasal madde karışımı (pestisid, herbisid), ticari araç yıkama, yangın suyu ve sokak temizliğinde kullanılabilmektedir.

NF sisteminden elde edilen ürün suları RO sistemine alınmıştır. RO sisteminden alınan sonuçlara bakıldığından sistemden elde edilen ürün suyunun içme suyu kalitesinde olduğu görülmektedir. Arıtılan suyun kullanım amacı içmesuyu akiferlerini besleme (direkt enjeksiyon), içmesuyu amacıyla kullanılmayan akiferlere besleme (direkt enjeksiyon) yada tuzlu su girişim bariyerleri (direkt enjeksiyon) olması durumunda RO sisteminin kullanılması gerekmektedir. Ancak tarımsal sulama yada yeşil alan sulaması amacıyla kullanılacaksa sistemin ilk yatırım ve işletme maliyeti yüksek olacağından dolayı sistem tarımsal sulama amaçlı kurulacak olan geri kazanım tesislerinde tercih edilmemektedir.

Konya AAT $200.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteye sahiptir. Yıllık arıtılan atıksu miktarı ise yaklaşık $73.000.000 \text{ m}^3$ 'tür. Bölgede şeker pancarı, mısır, arpa ve buğday gibi ürünler yetişirildiğinden dolayı özellikle ilkbahar ile sonbahar arasında sulama suyu ihtiyacı artmaktadır. Yıllık olarak 7 ay sulama yapıldığı hesap edildiğinde AAT'de 7 ay boyunca arıtılan atıksuların yeniden kullanılması durumunda yaklaşık $45.000.000 \text{ m}^3$ arıtılmış atıksu sulama suyu olarak kullanılabilecektir. AAT'de arıtılan atıksuların tarımsal sulama amaçlı kullanılması durumunda bölgede sulama suyu sıkıntısı yaşayan çiftçilerin su sorununun çözülmesinin yanı sıra ürün çeşitliliğine de katkı sağlanabilecektir. AAT'de kısmi olarak N ve P giderimi yapıldıktan dolayı çiftçilerin kimyasal gübre ihtiyacı da azalacaktır. Ayrıca sulamanın yeraltı suyu ile yapıldığı düşünüldüğünde hem yeraltı suyundan tasarruf sağlanacak hemde enerji gideri azalacaktır.

Arıtılan atıksuların kapalı sistem borular ile çiftcilere iletilmesi durumunda hat boyunca oluşacak buharlaşmanın önüne geçilecek ve arıtılmış atıksular ile sulama yapılan alanların kontrolü sağlanmış olacaktır. Üretilen suyun ücret karşılığı çiftçiye satılması durumunda ise geri kazanım tesisinin işletme maliyetleri karşılanabilecektir.

Konya AAT'de arıtılan atıksular yalnızca tarımsal sulama suyu olarak kullanılmak istenirse; AAT çıkışında kurulacak geri kazanım tesisinin basınçlı kum filtersi + dezenfeksiyon şeklinde olması durumunda AATTUT'ne göre B sınıfı sulama suyu, Basınçlı kum filtersi + UF + dezenfeksiyon şeklinde olması durumunda ise A sınıfı sulama suyu elde

edilebilecektir. Günlük 250.000 m³ suyun geri kazanılacağı bir tesis kurulması durumunda önümüzdeki yıllar için de gerekli kapasite artışlarını karşılayacaktır. Geri kazanım tesisinin yalnızca sulama sezonunda çalıştırılması durumunda kış döneminde tesisdeki gerekli bakımlar yapılabilecektir. Geri kazanılmış atıksuların sulama sezonu haricinde depolanabileceği bir yapay gölet yapılması durumunda ise çiftçilerin su ihtiyacının olmadığı kış aylarında geri kazanılan atıksular bu yapay gölette biriktirilerek yaz aylarında oluşacak su ihtiyacı buradan karşılanabilir.

KAYNAKLAR

- American Public Health Association, A., 1998, Standard methods for the examination of water and wastewater.
- Asano, T., 2002, Water from (waste) water—the dependable water resource (The 2001 Stockholm Water Prize Laureate Lecture), *Water science and technology*, 45 (8), 23-33.
- Aslan, M., 2016, Membran Teknolojileri, *TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Türkiye Çevre Koruma Vakfı* (s 200).
- Aziz, F. ve Farissi, M., 2014, Reuse of treated wastewater in agriculture: Solving water deficit problems in arid areas, *Annales of West University of Timisoara. Series of Biology*, 17 (2), 95.
- Büyükkamacı, N. ve Onbaşı, A., 2007, Endüstriyel Atık Suların Yeniden Kullanımının Değerlendirilmesi: Entegre Et Tesisi Atık suları, 7, *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, İzmir*, 502-510.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, *Ankara, Türkiye*.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016, Türkiye Çevre Durum Raporu, *Ankara*, p. 318.
- de Morais Coutinho, C., Chiu, M. C., Basso, R. C., Ribeiro, A. P. B., Gonçalves, L. A. G. ve Viotto, L. A., 2009, State of art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review, *Food Research International*, 42 (5-6), 536-550.
- EPA, U., 2004, Guidelines for water reuse EPA.
- EPA, U., 2012, Benchmark dose technical guidance document, *Technical Report# EPA/100/R-12/001*.
- Fane, A. T., Wang, R. ve Jia, Y., 2011, Membrane technology: past, present and future, In: Membrane and Desalination Technologies, Eds: Springer, p. 1-45.
- Fatta, D., Arslan Alaton, I., Gokcay, C., Rusan, M., Assobhei, O., Mountadar, M. ve Papadopoulos, A., 2005, Wastewater reuse: problems and challenges in Cyprus, Turkey, Jordan and Morocco, *European water*, 11 (12), 63-69.
- Illueca-Muñoz, J., Mendoza-Roca, J., Iborra-Clar, A., Bes-Pia, A., Fajardo-Montañana, V., Martínez-Francisco, F. ve Bernacer-Bonora, I., 2008, Study of different alternatives of tertiary treatments for wastewater reclamation to optimize the water quality for irrigation reuse, *Desalination*, 222 (1-3), 222-229.

- Jaramillo, M. ve Restrepo, I., 2017, Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits, *Sustainability*, 9 (10), 1734.
- Koyuncu ve ark., 2018, Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara,
- Lamas, W. ve Fujisawa, R., 2018, Reuse Of Wastewater From Polyester Fibres Dyeing Process By Thermal Fixation With Dye Acid Base: Case Study In A Brazilian Auto Parts Facility, *Revista De Engenharia Térmica*, 8 (2), 42-49.
- Lofrano, G. ve Brown, J., 2010, Wastewater management through the ages: A history of mankind, *Science of the Total Environment*, 408 (22), 5254-5264.
- Miller, G. W., 2006, Integrated concepts in water reuse: managing global water needs, *Desalination*, 187 (1-3), 65-75.
- Nas B., 2016, Ülke Genelinde Evsel/Kentsel Atıksu Aritma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti, Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi (TÜRAAT), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Selçuk Üniversitesi Ankara, Turkey.
- Petala, M., Tsiridis, V., Samaras, P., Zouboulis, A. ve Sakellaropoulos, G., 2006, Wastewater reclamation by advanced treatment of secondary effluents, *Desalination*, 195 (1-3), 109-118.
- Ravanchi, M. T., Kaghazchi, T. ve Kargari, A., 2009, Application of membrane separation processes in petrochemical industry: a review, *Desalination*, 235 (1-3), 199-244.
- Samsunlu, A., 2006, Atıksuların Arıtılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Tsiridis, V., Kougochos, A., Kotios, A., Plageras, P. ve Saratsis, Y., 2009, Wastewater reclamation and reuse, *Discuss. Pap. Ser*, 15, 139-148.
- Urkiaga, A., De las Fuentes, L., Bis, B., Chiru, E., Balasz, B. ve Hernández, F., 2008, Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse, *Desalination*, 218 (1-3), 81-91.
- Ünlü, M., 2008, Indigo dyeing wastewater treatment by the membrane based filtration process, *Master Thesis*, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Wintgens, T., Melin, T., Schäfer, A., Khan, S., Muston, M., Bixio, D. ve Thoeye, C., 2005, The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse, *Desalination*, 178 (1-3), 1-11.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yunus BALIK
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Şarkışla 11.09.1984
Telefon : 0555 867 5375
Faks :
E-Posta : ynsbalik@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı İlçe İl
Lise	: Konya Lisesi, Meram / KONYA
Üniversite	: Cumhuriyet Üniversitesi, Merkez / SİVAS
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu / KONYA
Doktora	:

Bitirme Yılı
2002
2008

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010 - 2013	Atıksan Geri Dönüşüm	Çevre Mühendisi
2013 – 2019	KOSKİ Genel Müdürlüğü	Çevre Mühendisi
2019 - Halen	Konya Büyükşehir Belediyesi	Çevre Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Atıksu Arıtma Tesisinin İşletmesi, Atıksu Arıtma Tesisinin Projelendirme ve Yapımı, Atıksu Geri Kazanımı

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Nas B., Balık Y., "Membrane Processes (Uf, Nf, Ro) For Wastewater Reuse" "1 St International Conference On Environment, Technology And Management(Icetem), Niğde, Türkiye, June 27 – 29, 2019, (Oral Presentation)