

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İÇECEK SANAYİ ATIK SULARININ GERİ KAZANIMI VE SOĞUTMA
KULELERİNDE YENİDEN KULLANIMI**

Mustafa Çağlar GÜRBÜZ

ENTEGRE SU YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2023**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İÇECEK SANAYİ ATIK SULARININ GERİ KAZANIMI VE SOĞUTMA KULELERİNDE YENİDEN KULLANIMI

Mustafa Çağlar GÜRBÜZ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Entegre Su Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gökşen ÇAPAR

Alkolsüz içecek endüstrisinde su tasarrufu sağlamak amacıyla yürütülen tez çalışmasında, ticari bir içecek üretimi tesisinden alınan tank ve şişe yıkama, pastörizasyon ünitesi ve ortam temizliğinden kaynaklanan atıksuların membran prosesleri ile geri kazanılması ve aynı tesiste soğutma suyu olarak yeniden kullanılması amaçlanmıştır. Toplam geri çevirme modunda yürütülen deneysel çalışmalarda moleküler ağırlık ayırma sınırı (MWCO) 10 kDa ve 5 kDa olan iki ultrafiltrasyon (UF) membranı ve bir nanofiltrasyon (NF) membranı denenmiştir. Trans membran basıncı UF için 2 bar ve NF için 4 bar olarak ayarlanmıştır. Soğutma suyu için belirlenmiş olan su kalitesi kriterleri dikkate alınarak, atıksuda temel olarak askıda katı madde (AKM), bulanıklık ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimleri hesaplanmıştır. UF ve NF için AKM ve bulanıklık giderimi %100 olmuş; KOİ gideriminde ise farklı performanslar görülmüştür. UF (10 kDa) giriş KOİ değeri 796 mg/L olan atıksuda UF sonrası süzöntü suyunda 286 mg/L (%63 giderim) KOİ elde edilmiştir. Giriş KOİ değeri 254 mg/L olan atıksuda NF sonrası süzöntü suyunda ise 147 mg/L KOİ (%31 giderim) tespit edilmiştir. Membranlarda akı azalması %10 - %20 arasında olmuştur. Alınan sonuçlar değerlendirildiğinde, soğutma suyu olarak kullanımda KOİ için belirlenen 75 mg/L sınır değerinin her iki proses ile de sağlanamadığı görülmüştür. Yapılabilecek bir yatırım için belirlenen maliyette ilgili tesisten alınan atıksuyun hacmi göz önünde tutulmuştur. Sonuç olarak maliyet NF sistemi için 6.601 USD olarak hesaplanmıştır. Söz konusu atıksuyun tesiste kullanılan temiz su ile belli oranda karıştırılarak veya ek arıtma uygulayarak soğutma kulelerinde kullanılması mümkündür.

Temmuz 2023, 36 sayfa

Anahtar Kelimeler: alkolsüz içecek, atık su, geri kazanım, membran prosesleri, soğutma suyu

ABSTRACT

Master Thesis

RECOVERY OF BEVERAGE INDUSTRY WASTEWATER FOR REUSE IN COOLING TOWERS

Mustafa Çağlar GÜRBÜZ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Integrated Water Management

Supervisor: Prof. Dr. Gökşen ÇAPAR

In this thesis study, with the aim of water savings from non-alcoholic beverage industry, wastewaters originating from tank and bottle washing operations, pasteurization units and plant cleaning operations were subjected to membrane processes for recovery and reuse in cooling towers in the same plant. In experimental studies conducted under total recycle mode of operation, two ultrafiltration (UF) membranes with molecular weight cut off (MWCO) values of 10 kDa and 5 kDa and one nanofiltration (NF) membrane were tested. Trans membrane pressure was set to 2 bars for UF and 4 bars for NF. Considering the water quality criteria for cooling towers, removals were calculated for total suspended solids (TSS), turbidity and chemical oxygen demand (COD). TSS and turbidity removals were 100% for UF and NF, however COD removals varied. In UF, a feed COD concentration of 796 mg/L resulted in a permeate COD concentration of 286 mg/L (63% removal). On the other hand, in NF, a feed COD value of 207 mg/L resulted in a permeate COD of 147 mg/L (31% removal). Flux decline was in the range of 10% - 20%. It was revealed that both processes could not meet the water quality criteria of 75 mg/L COD for cooling towers. In the cost study for a possible investment, the volume of wastewater from the relevant facility was taken into consideration. As a result, the current cost for the NF system is calculated as 6.601 USD. It is possible to use the treated wastewater in cooling towers by either mixing with clean water at the required ratios or applying additional treatment.

July 2023, 36 pages

Key Words: cooling water, membrane processes, recovery, soft drinks, waste water

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde her aşamada sabırla beni dinleyen, yönlendiren ve katkıda bulunan sayın danışmanım Prof. Dr. Gökşen ÇAPAR'a; değerli yönlendirmeleri ile bana yardımcı olan sayın jüri üyelerine ve yardımlarını esirgemeyen eşim Ebru GÜRBÜZ' e teşekkür ederim.

Mustafa Çağlar GÜRBÜZ
Ankara, Temmuz 2023



İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR	11
3. YÖNTEM.....	15
3.1 Atık Su Özellikleri.....	15
3.2 Analitik Yöntemler	17
3.3 Membran Özellikleri.....	18
3.4 Membran Filtrasyon Deneyleri.....	18
3.5 Verilerin Toplanması.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1 UF (10 kDa) Membranı Giderim ve Akı Performansları.....	20
4.2 UF (5 kDa) Membranın Giderim ve Akı Performansı	23
4.3 NF Membrana Ait Giderim ve Akı Performansları	25
4.4 Geri Kazanılan Suyun Kalite Değerlendirmesi.....	29
5. SONUÇ.....	33
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ.....	36

KISALTMALAR DİZİNİ

KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
AKM	: Askıda katı madde
UF	: Ultrafiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon
RO	: Ters ozmoz
kDa	: Kilo dalton
TOC	: Toplam organik karbon
Jcw	: Saf su akısı
Jww	: Atık su akısı
Jmcw	: Mekanik temizlik sonrası saf su akısı
Jccw	: Kimyasal temizlik sonrası saf su akısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	İçeceklerle gaz kazandırma sistemi (Karbonasyon) (Çakır, 2010).....	3
Şekil 1.2	Şişe yıkama prosesi (Sever, 2021).....	6
Şekil 3.1	Hach Dr 890 Spektrofotometre.....	17
Şekil 3.2	Merck toplam sertlik ölçüm kiti	17
Şekil 3.3	Alfa Laval Labstak M20 membran test düzeneği.....	19
Şekil 4.1	UF (10 kDa) membranın akı değerleri	22
Şekil 4.2	UF (10 kDa) membran için zamana bağlı akı değişimi.....	22
Şekil 4.3	UF 5 (kDa) membranın zamana bağlı akı değişimi.....	25
Şekil 4.4	UF (5 kDa) membranı akı değerleri	25
Şekil 4.5	NF membranı akı değişimi	27
Şekil 4.6	NF membranı akı değerleri.....	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Kaynağına göre çekilen su miktarı (TUİK, 2022).....	9
Çizelge 2.1	Soğutma kulesi suyu için gereken değerler	12
Çizelge 2.2	Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliğinde değişiklik yapılmasına dair tebliğ göre soğutma kulelerinde kullanıma izin verilen atık su parametre değerleri.....	14
Çizelge 3.1	Atık suyun içerdiği maddeler	15
Çizelge 3.2	Örnek fabrikadan alınan atık su özellikleri.....	16
Çizelge 3.3	Aylara göre işletmeden çıkan yaklaşık atık su miktarları.....	16
Çizelge 4.1	UF (10 kDa) atık su giderim performansı	20
Çizelge 4.2	UF (10 kDa) membran akı değişimi	21
Çizelge 4.3	UF (5 kDa) atık su giderim performansı	23
Çizelge 4.4	UF (5 kDa) membran akı tablosu	24
Çizelge 4.5	NF membran giderim tablosu.....	26
Çizelge 4.6	NF membran akı verileri	27
Çizelge 4.7	Geri kazanılan suyun kalite kriterleri ile karşılaştırması	29
Çizelge 4.8	Klor dozaj sistemi.....	30
Çizelge 4.9	Multimedya kum filtresi	30
Çizelge 4.10	Aktif karbon filtre	31
Çizelge 4.11	Anti-skalan dozaj sistemi.....	31
Çizelge 4.12	Fiyatlandırma tablosu	32

1. GİRİŞ

Tüm dünyada artan nüfus ile birlikte, ekonomik büyüme, çevrenin kirlenmesi ve iklim değişikliği, küresel ısınma gibi sebeplerden dolayı özellikle tatlı su kaynaklarının sürdürülebilirliği tehdit altındadır. Su kaynaklarının yetersiz gelmesi dünyanın pek çok bölgesinde olduğu gibi Türkiye’de de sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle yakın geçmişte yaşanan COVID-19 salgınında hijyenin ve buna bağlı olarak kentsel su temininin önemi bir kez daha anlaşılmıştır. Su kaynaklarının giderek azalması, nüfus artış hızı ile birlikte artan su talebi, küresel iklim değişikliklerinin su kaynaklarına olan olumsuz etkileri, sanayinin günden güne büyümesinin su kaynaklarına olan etkileri yaşadığımız yüzyılın en önemli sorunları arasındadır (Çapar, 2019).

Kişi başına düşen kullanıma uygun su miktarı açısından Türkiye su stresi çeken bir ülkedir. Yapılan araştırmalara göre günümüzde kişi başına düşen 1.519 m³ su miktarı, 2030 yılına gelindiğinde 100 milyon nüfusa ulaşılacağı varsayıldığında 1100 m³’e düşecektir. Bu durum ise Türkiye’nin su fakiri bir ülke olması anlamına gelir (WWF, 2022). Bu değerler sürdürülebilir su yönetiminin önemini ortaya koymaktadır.

Türkiye’de su kullanımında önde gelen sektörler; tarım, sanayi, içme ve kullanma suyu olarak sınıflandırılabilir. Ülkemizde tatlı su kaynakları DSİ verilerine göre %77 oranında tarımsal üretimde kullanılmaktadır. Geriye kalan kısım ise evsel kullanım ve sanayiye aittir. TUIK (2021) verilerine göre 2018 yılında soğutma amaçlı olarak 9,5 milyar m³, toplamda ise 17,5 milyar m³ su maden işletmelerinde kullanılmıştır. 2018 yılında soğutma amaçlı olarak çekilen suyun % 22,9’u yeraltı suyu kaynaklarından, % 56,2’si deniz suyundan, %20,9’u ise yüzey sularından karşılanmıştır. Bu veriler göz önüne alındığında soğutma sularının toplamda %43,8’inin tatlı su kaynaklarından elde edildiği görülmektedir. 2020 yılına gelindiğinde ise %21,5’i yüzey sularından; %56’lık kısmı deniz sularından ve %22,5’i yeraltı suyu kaynaklarından çekilmiştir. Toplam çekilen tatlı su oranı %44 olarak belirlenmiştir.

Suyun çeşitli sektörlerdeki kullanım oranları incelendiğinde en fazla kullanım oranının 2012 yılında %73 olan ve 2020’de %77’ ye kadar ulaşan tarımdaki sulama uygulamaları olduğu görülmektedir. Bu oranlara dayanarak 2020 yılında Türkiye’nin toplam su

potansiyeli olan 112 milyar m³'ünün 57 milyar m³'ü kullanılmıştır. Bunun 44 milyar m³'ünün (%77) tarımda sulama suyu olarak kullanıldığı ve geriye kalan 13 milyar m³'ünün (%23) ise içme-kullanma ve sanayi amaçlı olarak kullanıldığı belirtilmektedir. Son yıllarda su potansiyelinin hem daha çok kullanılması hem de meydana gelen atıklarla daha çok kirlenmesine madencilik sektörü de neden olmaktadır. Türkiye'de madencilik sektöründe tatlı su kaynaklarından çekilen su miktarı 2018'de %2,4 iken 2020'de %4,7 olmuştur (TUIK, 2021).

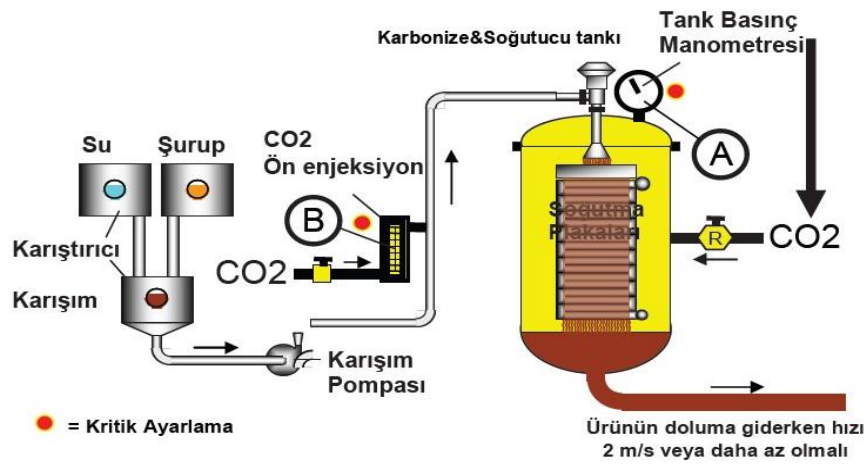
Tüm sektörlerin iklim değişikliğine karşı alabilecekleri başlıca önlemler kapsamında gerçekleştirilmesi muhtemel uyum faaliyetleri; içme ve kullanma suyu için kayıp/kaçak oranlarının azaltılması, yağmur suyu hasadı, duş ve sifonlarda tasarruflu ekipmanların kullanılması ve evsel atık suların yeniden kullanılması sayılabilir (Çapar, 2019). Endüstriyel tesislerde temiz üretim uygulamalarının yaygınlaştırılması, tesis içi kontrollerin artırılması, sıfır deşarj yaklaşımının yerleştirilmesi ve atık suların geri kazanılarak üretim işlemleri suyu ve benzeri amaçlarla yeniden kullanılması gerekmektedir. Tüm sektörler küresel iklim değişikliklerine karşı birtakım önlemler almalıdır. İçme sularında ve kullanma sularında kayıp/kaçak oranını azaltmak, yağmur sularını değerlendirmek, sifon ve duşlarda tasarruflu aletler kullanmak ve evsel atık suları tekrar kullanmak bu önlemler arasındadır. Endüstriyel tesislerde ise tesislerin daha fazla kontrol edilmesi, sıfır deşarj yaklaşımının benimsenmesi ve atık suların geri kazanılıp benzer amaçlarla tekrar kullanılması önemlidir (Çapar, 2019).

Tarım, evsel ve endüstriyel su kullanımında su verimliliği sağlanması büyük önem taşımaktadır. Suyun birincil kaynaktan alınarak üretimde kullanılması ve arıtma sonrası alıcı ortama deşarj edilmesi, günümüzde en yaygın uygulamadır. Ancak bu yöntemle su kullanımına devam etmek sürdürülebilir değildir. Atık suların ileri düzeyde arıtılarak yeniden kullanılması ile alternatif su kaynağı yaratmak ve geleneksel su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmak mümkündür. İçecek endüstrisi tesislerinde; üretim, temizlik ve yan ürünler aracılığı ile atık sular ortaya çıkmaktadır. Bu atık suların alıcı ortama verilmesi hem çevre için ciddi organik yük meydana getirmektedir, hem de su tüketimini artırarak su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmaktadır.

İçecek endüstrisi çok fazla su tüketim gerektiren bir sektördür. Endüstriyel kullanılan suların 2/3' ü gıda sanayinde kullanılmaktadır. Yaşadığımız coğrafyada ve dünyada kullanılan suyun büyük kısmı gıda sanayi için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar 2025 yılına gelindiğinde dünyanın su ihtiyacının büyük kısmını kullanan kesimin su sorunları veya su ihtiyacına sahip coğrafyalar olacağını göstermektedir. Alkolsüz içecek endüstrisi çok önemli bir su tüketimi miktarına sahiptir. Alkolsüz içecek sanayinde su kullanımı %80 oranlarına kadar ulaşmaktadır (Sever, 2021). Üretim aşamasında 1.000 gr içecek üretmek için yaklaşık 3.000 - 4500 gr şartlandırılmış su gerekmektedir. Yüksek miktarda su kullanımı yüksek hacimlerde atık su çıkışına da sebep olmaktadır. Endüstride su geri kazanımı uygulamaları ile söz konusu tüketimleri azaltmak mümkün olabilir.

İçecek endüstrisinde kullanılan proseslerin su ihtiyacının fazla olması; su tüketiminin ve deşarjının iyi yönetilmesini gerektirmektedir. Su kaynaklarının korunması ve çevreye verilen organik atık yükünün azaltılması ile alıcı ortamların biyolojik ve kimyasal yapısının bozulmasının engellenmesi sağlanır. Atık suyun deşarjı ve çekilen temiz su miktarının azaltılması doğal kaynakların tüketiminin azaltılması açısından önemlidir.

İçecek sanayinde özellikle karbondioksit içeren gazlı içeceklerde soğutma ihtiyacı oldukça önemlidir. Bu nedenle soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Sever, 2021). İçeceklere gaz kazandırma sistemi Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 İçeceklere gaz kazandırma sistemi (Karbonasyon) (Çakır, 2010)

Su, içecek sanayinde en önemli ana bileşen olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık %85 su içeren alkolsüz içeceklerin hem lezzet hem de rahat tüketelebilmeleri için suyun belli özelliklere getirilmesi gereklidir. Özellikle kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) tuzlarının su içerisinden uzaklaştırılması gereklidir (Sever, 2021). Kalsiyum ve magnezyum miktarının kullanılan suda fazla olması ieeğın görünümü de etkilemektedir. Bu nedenle su içeriğindeki katyonların miktarı görüntü ve berraklık açısından da önemli bir parametredir.

Su sertlik dereceleri şu şekilde özetlenebilir

Az Kireçli Su < 60 mg/L CO₃

Orta Kireçli Su: 60 – 110 mg/L CaCO₃

Kireçli Su: 110 – 220 mg/L CaCO₃

Fazla Kireçli Su: 220 – 310 mg/L CaCO₃

İçecek endüstrisinde az kireçli veya orta kireçli sular tercih edilmektedir (Sever 2021). Bu suların temin edilmesi için firmalar çeşitli işlemler uygulamaktadır. Su kaynağına bağlı olarak ön arıtma ve koagülasyon sistemleri, ultra- ve nanofiltrasyon teknikleri; daha sonrasında ise reçine ile yumuşatma ve ters ozmoz sistemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle üretilen temiz su tesis için oldukça değerlidir.

İçecekler içerisinde bir diğer yoğun kullanılan madde ise asitlerdir, bu asitler aşağıda gruplandırılmıştır:

Sitrik Asit: Özellikle meyveli içeceklerde kullanılan bir koruyucu asittir. Bakteri üremesini engelleme fonksiyonu bulunmaktadır.

Fosforik Asit: Daha çok kola endüstrisinde kullanılan bir asit çeşididir. İeeğın şurup niteliğinden dolayı kullanılan bir asittir. Kola ve gazozlar da şurup bazlı olduğundan neredeyse tamamı bu endüstrilerde kullanılmaktadır.

İçeceklerde sitrik ve fosforik asitin yanısıra Maleik asit, askorbik asit, fumarik asit gibi maddeler de kullanılmaktadır. Fakat bu asitler daha çok meyveli içeceklerde tercih

edilmektedir. Tez çalışmasında atıksuyu kullanılan tesisin şurup üzerine çalışması nedeni ile atık suyunda sitrik ve fosforik asit varlığı daha fazladır. Bu maddelerin önemi ise KOI parametresinin yükselmesine neden olmalarından kaynaklanmaktadır. Tartarik asit de içeceklerde kullanılmakta ve özellikle kuş üzümünden doğal olarak gelmektedir. Bu asit şuruplu içeceklerde genellikle bulunmamaktadır. Bazı meyve aromalı sodalarda doğal renklendirici olarak üzüm konsantreleri kullanıldığından; şuruplu içeceklerin içerisinde de bu asitten bulunma olasılığı vardır.

Şuruplu içeceklerde en çok kullanılan madde ise renklendirici ve aroma vericilerdir. Özellikle kola sektöründe gerekli lezzetin sağlanması; şurup içeriğindeki aromalara bağlıdır. Ayrıca görünüm de çok önemli olduğundan renk verici maddeler de şuruplara eklenmektedir. Aromalar genel olarak üçe ayrılır. Bunlar; doğal aromalar, doğala özdeş ve yapay aromalar olarak sınıflandırılabilir. Doğal aromalar enzimatik ve mikrobiyolojik olarak sentezlenen; doğal olarak üretilen aromaları tanımlamak için kullanılır. Doğala özdeş olanlar kimyasal sentezleme tekniği ile üretilmekte ve doğada karşılığı olan aromalardır. Yapay aromalar ise sentezlenerek üretilen; normalde doğada karşılaşılmayan aromalara verilen addir.

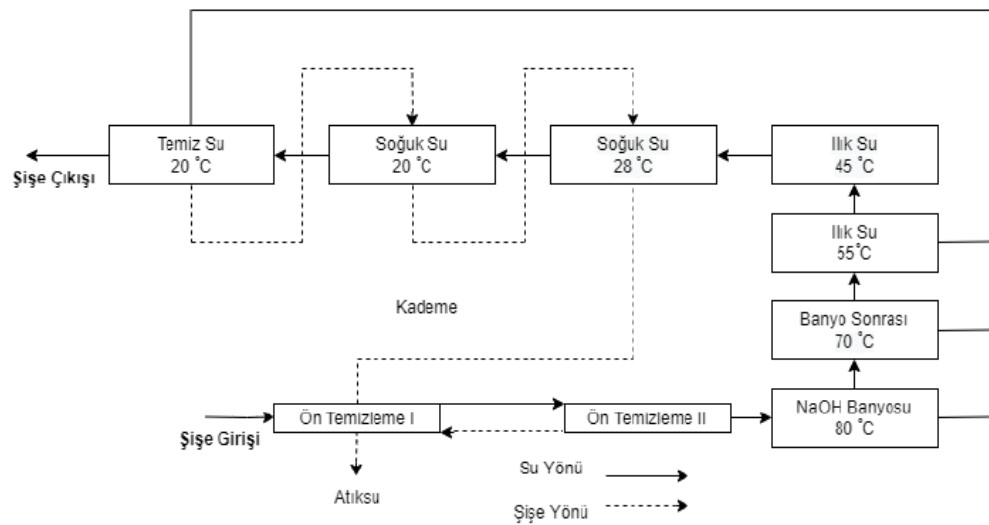
Şurup içerisinde bulunan diğer maddeler de tatlandırıcılardır. Bunlar glikoz şurubu, fruktoz, şeker gibi maddelerdir. Ayrıca aspartam gibi maddeler tat vermek için şurup içerisine katılmaktadır. Özellikle şurup hatlarının ve pastörizasyon gibi ünitelerin temizliği sırasında bu maddeler atık suya geçmekte ve atık su karakterinde büyük ölçüde belirleyici duruma gelmektedir. Atık suda KOI değerini kimyasallardan sonra en çok artıran madde şekerlerdir (Sever, 2021).

Şurup içerisinde organik maddelerin olması ve aynı zamanda içeceğin su oranının yüksek olması bakteriyolojik problemleri de beraberinde getirmektedir. Bunun engellenmesi için de içecek içerisine koruyucu maddeler eklenmektedir. Ayrıca soğutma, pastörizasyon gibi tekniklerle de içecek içerisinde bakteri üremesi engellenmektedir. Pastörizasyon üniteleri ve bunları temizliği atık suların miktarının daha fazla olmasına neden olmaktadır.

Gazlı iecekin yapılış aşamalarını şu şekilde özetlemektedir. İçeceklerin retiminde sarf edilen su, çeşitli süreçlerden geçirilir. Su şekerle karıştırılıp eritildikten sonra filtrelerden geçirilip sonrasında pastörize edilir. Karışım tekrar filtre edilip soğutularak şeker şurubu elde edilir. şeker şurubu ve içecek konsantresi özel makinelerle tanklara alınıp filtrelenmiş su eklenerek final şurubu oluşturulur. Final şurubuna karbondioksit ve su ilave edilerek doluma hazır hale getirilir. İçecek pek çok test ve incelemelerden geçirildikten sonra hijyenik ambalajlara doldurulur. Tüm bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için soğutma ve ısıtma aşamalarında oldukça fazla su tüketimi yapılır. Örneğin, 1 litre ürün elde etmek için 1,39 litre su kullanılması gerekmektedir (Engin, 2017).

Üretim aşamasında şişeleme de önemli bir yere sahiptir. şişelemede bulunan tanklar, hatlar ve bantlar atık suya iecekin veya şurubun karışmasında etkili olmaktadır. Tanklar ve hatlar belirli aralıklarla temizlenmekte; bu durum kimyasal ve atık su ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ayrıca bantların temizliği ve sızan, dökülen ürünler atık su miktar ve özelliklerini etkilemektedir.

şişeleme prosesi olan tesislerde; eğer pet üretimi yoksa ve geri dönüşümlü cam şişe kullanımı mevcut ise şişe yıkama prosesleri de kurulmaktadır. Bu prosesin en büyük etkisi atık su miktarının artmasıdır. En çok su tüketilen nokta şişe yıkama prosesidir. Bu noktalarda temizlik amaçlı su tüketimi fazla olmaktadır.



şekil 1.2 şişe yıkama prosesi (Sever, 2021)

Ülkemiz su tüketim değerleri göz önüne alındığında; bu sanayi kolunda kazanılacak atık su miktarı oldukça önemlidir. Bu nedenle tez çalışmasının öncelikli amacı, içecek sanayinden kaynaklanan günlük 5000 ton atık suyun geri kazanılarak soğutma sisteminde bulunan yaklaşık 400 tonluk su ihtiyacına kaynak oluşturmaktır.

Bir içecek üretim tesisinin soğutma suyu tüketim miktarı yıllık 519.000 m³ civarındadır. Ayrıca toplam su tüketimi ise yıllık 850.000 m³'ü bulmaktadır. Soğutma sularının diğer kaynaklardan karşılanması durumunda ise yaklaşık %11 soğutma suyu miktarından kazanç sağlanmaktadır (Kavurucu, 2022)

İçecek sanayi tesislerinde yer alan soğutma kulelerinde; işlem tesisinde ısınmış olan suları soğutmak amacıyla tatlı su kaynaklarından su çekimi yapılmaktadır. Bu amaçla kullanılan suların kireç ve silis içeriği düşük olmalıdır. Kullanılan suyun amacı; işlem tesisinden gelen ısının kulenin dışından devir daim edilen soğutma suyunun; sıcak olan işlem suyunun soğutulmasını sağlamasıdır. Bu sırada suyun büyük bir kısmı buharlaşır. İşleme aşamasında ortaya çıkan ısının havaya transferi ve ısı kaybı; buharlaşma prensibi ile gerçekleşmektedir. Bu işlem ile birlikte istenilen soğutma sağlanır iken; ciddi bir su kaybı yaşanmaktadır. Oluşan kayıp; otomatik su beslemesi ile giderilir ve sistemin çalışma sürekliliğine katkıda bulunur. Soğutma sularının sistemde tıkanmalar; biyolojik oluşumlara neden olmasını engellemek amacı ile çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Kimyasallar ile suyun şartlandırılması; kullanılan suyun içerdiği maddelerin yapışma riskini ve biyolojik büyüme problemlerinin önüne geçmektedir. Kireç taşı oluşumunu engellemek için fosfat içerikli ürünler; biyolojik oluşumlar için ise biyositler kullanılmaktadır. Bu kullanımlar beslenen suda organik besin olması durumunu ve belli miktarda kalsiyum karbonat (CaCO₃) olması toleransını yükseltmektedir.

Soğutmada kullanılan suların kalitelerinde belli bir tolerans mümkündür. Kullanılan kimyasalların da desteği ile içme suyu kalitesini gerektirmeyen besi suları kullanımı mümkün olmaktadır. Bu durum, atık suların bu noktalarda kullanımını olanaklı hale getirebilecektir.

Atık sulardan su geri kazanımı için en yaygın kullanılan teknoloji yarı geçirgen filtre elemanlarıdır. Bu filtreler “membran” olarak da adlandırılmaktadır. Membranlar belirli

bir gözenek çapına sahiptirler ve atık su veya su kalitesinin iyileştirilmesi için bazı materyallerin ayrıştırılması amacı ile kullanılmaktadırlar. Membranlar çok katmanlı ve sarmal yapıda olabilirler; basınçlı su geçişi sırasında yapısal özelliklerine göre belirli molekül kütlesindeki maddeleri tutar ve ürün suyuna geçişini engellerler. Belirli bir moleküler ağırlık ayırma sınır değerlerine (MWCO) sahiptirler ve bu kütleleri yüzeylerinden geçirmezler. Ayrıca geri yıkama ve temizleme teknikleri ile yüzeylerinde biriken bu maddelerden arındırılabilirler. Genellikle sistematik şekilde kurulmuş çoklu yapıda bulunurlar ve bir PLC yardımı ile kontrol edilirler.

Ülkemiz için önemli bir sektör olan alkolsüz içecek sanayi tesislerinden çıkan atık suların; soğutma sistemlerinde yeniden değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu şekilde özellikle suyun atmosfere kaybının çok yaşandığı ve besi suyu kalitesi ihtiyacı bakımından daha esnek bir sistem olan açık tip soğutma kuleleri ele alınmıştır. Tez kapsamında Elazığ'da yeni kurulmuş olan bir içecek fabrikasının üretim ve işletme noktalarında ortaya çıkan atık sular kullanılmıştır. Evsel atık su sistemleri ayrı olduğundan; bu noktadan su girişimi bulunmamaktadır.

Elazığ ili; Doğu Anadolu bölgesinde yer alan bir ilimizdir. Bölgede Karasu ve Murat nehirleri en önemli iki akarsudur. Bu nehirlerin beslediği Fırat Nehri üzerinde kurulu Keban Barajı ise elektrik üretimi ve sulama konusunda bölgeye destek olmaktadır. Keban Barajı; balıkçılık ve dinlenme amaçlı da kullanılmaktadır. Ayrıca sol sahil kısmında oluşan çöküntü sebebi ile sızan sulardan; ilçenin doğu tarafında ırır şelalesi oluşmuş ve alabalık üretimi için kullanılmaya başlanmıştır.

Bölge su bakımından zengin olarak görünse de sanayi ve kullanım suyu miktarı sınırlıdır. Özellikle sanayi tesislerinde kullanılan suyun büyük bir kısmı kuyulardan karşılanmaktadır. Gün geçtikçe artan sanayi tesisi sayısı bölgenin su stokları için tehlike oluşturmaktadır.

Sanayide su geri kazanımı uygulamaları ile söz konusu baskıları azaltmak mümkün olabilir. Böylelikle kaliteli suyun sadece insani tüketim ve gıda üretiminde kullanılması sağlanabilir. Atık su dan elde edilen ve soğutma besisine uygun olan su ise ilgili proseste kullanılabilir.

Tez kapsamında ele alınan endüstri kolu ülkemiz için önemli sektörlerden birisi olan içecek endüstrisidir. Tesisten alınan verilere göre, bu sanayi kolundan çıkan atık suyun soğutma suyu kaynağı olarak kullanılması oldukça verimli bir şekilde geri kazanılmasını sağlayacaktır. Bunula ilgili gerekli değerler TUIK den güncel olarak alınmış; incelemeleri yapılmış ve sektörel veriler göz önüne alınarak tezin gerekliliği, sonuçlarının ülkemiz için önemli olacağı belirlenmiştir.

Çizelge 1.1 Kaynağına göre çekilen su miktarı (TUIK, 2022)

Kaynağına göre çekilen su miktarı, 2018, 2020 Amount of water abstracted by resources, 2018, 2020	(Bin m³) (Thousand m ³) 2018	(Bin m³) (Thousand m ³) 2020
Toplam çekilen su miktarı Total amount of water abstracted	17 528 789	18 238 294
Tatlı su miktarı Amount of fresh water	7 679 343	8 021 131
Yüzey suyu miktarı⁽¹⁾ Amount of fresh surface water ⁽¹⁾	3 668 827	3 916 376
Belediyeler Municipalities	3 310 664	3 574 184
Köyler Villages	3 417	3 544
İmalat sanayi işyerleri Manufacturing industry establishments	161 714	175 386
Termik santraller Thermal power plants	109 531	78 852
Organize sanayi bölgeleri Organized industrial zones	51 442	c
Maden işletmeleri Mining establishments	32 059	c
Yeraltı suyu miktarı⁽²⁾ Amount of fresh ground water ⁽²⁾	4 010 516	4 104 754
Belediyeler Municipalities	2 878 503	2 916 585
Köyler Villages	391 407	412 097
İmalat sanayi işyerleri Manufacturing industry establishments	449 180	448 051
Termik santraller Thermal power plants	26 846	33 506
Organize sanayi bölgeleri Organized industrial zones	108 027	129 704
Maden işletmeleri Mining establishments	156 553	164 811
Deniz suyu Marine water	9 849 445	10 217 163
Termik santraller Thermal power plants	7 731 361	8 165 292
Soğutma suyu Cooling water	7 267 088	7 663 966
Diğer Other	464 273	501 326
İmalat sanayi işyerleri Manufacturing industry establishments	2 064 711	1 975 576
Soğutma suyu Cooling water	2 046 560	1 932 995
Diğer Other	18 151	42 581
Diğer⁽³⁾ Other ⁽³⁾	53 373	76 295

Sektörel olarak sanayide kullanılan suyun miktarının belirlenmesi amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmanın en önemlilerinden biri 2009 yılında altı Avrupa ülkesinde kamu ve özel sektör iş birliği çerçevesinde yapılan “üretimde kaynak verimliliği ve geri dönüşüm” isimli çalışmadır. Bu çalışma ile imalat sanayi işletmelerinin maliyetlerinin yaklaşık %40’ının hammadde, bunun da yaklaşık %50’sinin enerji ve su maliyetleri olduğu belirlenmiştir. Çevresel faktörler, küresel ısınma ve yağış rejimlerinin dengesiz ve düzensiz olması, sanayide geri kazanım çalışmaları yapılması gerekliliğini ön plana çıkarmıştır (Küçükgil, 2020).

Sheele ve Malz (2007) Avrupa ülkelerinde 1980’ler ve 1990’larda su tüketimini azaltan yeni üretim teknolojilerinin kullanılmaya başlamasıyla birlikte sanayideki su tüketiminin de azaldığını belirtmiştir. Çelik endüstrisinde İkinci Dünya Savaşı öncesinde 60–100-ton olan su tüketiminin, 2000’li yıllarda 6 tonun altına düşmesi buna örnek olarak verilebilir (Çapar ve Yetiş, 2018).

Demir çelik sektörü yerini yarı iletken ve teknolojik üretim prosesleri ile birlikte akrilonitril bütadien stiren (ABS) plastik üretimi gibi sektörlere bırakmıştır. Su arıtımı ve geri kazanımının yanı sıra suyun kullanıldığı proseslerde su tasarrufu sağlanabilmesi için su verimliliği odaklı yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Her tesis için ihtiyaç duyulan su miktarı ve kalitesi farklıdır. Türkiye’de çeşitli sanayilerde kullanılan su miktarları TÜİK verilerine göre değerlendirilmiş, sonuçlar Çizelge 1.1’de verilmiştir. Görüldüğü üzere kullanım miktarı bakımından soğutma sistemleri 2020 yılında imalat sanayinde 1.932.995 bin tonu geçmiştir; sanayi tesisleri içerisinde ise alkolsüz içecek sektörü ülkemizde oldukça yaygındır (TÜİK, 2022). Bu nedenle özellikle büyümekte olan bir sektör olan içecek endüstrisi atık sularının geri kazanılması çok önemlidir.

Sanayi sektörlerinde kullanılan suyun miktarının düşürülmesi için çeşitli çalışmalar yapılmış ve çeşitli yıkama ve sulu işlemlerde kullanılan tasarruf yöntemleri ile bu kullanım miktarı kısıtlanmıştır. Her tesis özelinde ayrı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, tezin amacı içecek sektörü atık sularının membran prosesleri ile arıtılarak geri kazanılması ve soğutma kulesinde yeniden kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

2. LİTERATÜR

Soğutma sistemlerinde kullanılan temiz su miktarının azaltılması çalışmanın ana amacıdır. Fakat atık suların çevreye verilmesinin engellenmesi, mevcut tatlı ve tuzlu su kaynaklarının korunması, toprak kalitesinin ve alıcı ortamların (göl, akarsu, sulak alanlar) korunması, atık sulardan gelebilecek ağır metallerin toprağa verilmesinin engellenmesi, ötrofikasyon sorunlarının engellenmesi gibi ikincil amaçlar da yer almaktadır.

Atık suların içermekte olduğu kirleticiler genel olarak soğutma sisteminde korozyon ve tıkanmalara neden olabilmektedir. Atık suların içeriği inorganik ve organik olarak iki ana kategoride ele alınabilir. İnorganik kirleticiler; verildiği taşıma hattı veya sistemde taşlaşmalar, tıkanmalar ve verim kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle atık suyun bertaraf ve depolanması da yeniden kullanımı kadar önem teşkil etmektedir.

Atık sulardaki organik kirlilik ise; en yaygın olarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) parametresi ile ölçülmektedir. Organik maddeler su sisteminde biyolojik faaliyetleri desteklemekte; biyofilm, biokütle oluşumunu hızlandırmaktadır. Ayrıca verildiği sistemlerde bu oluşumların engellenmesi için kullanılan biyosit miktarını da artırmaktadır.

Atık su içerisinde bulunan bir diğer kirletici parametre ise askıda katı maddelerdir (AKM). Askıda katı maddeler; inorganik maddeler gibi çözülmüş halde değildir ve bu parametrenin yüksek olması; mekanik korozyonu özellikle yüksek hız çevrimi soğutmalarda artırmaktadır.

Yapılan çalışmalar arasında Türkiye Kayseri ilinde gerçekleştirilen geri kazanım çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada içecek sanayi atık suyu geri kazanılarak soğutma sistemlerinde ve kazanlarda kullanılmış ve soğutma su ihtiyacı %91,8 oranında düşürülmüştür. Toplam su ihtiyacı ise %55 oranında düşürülmüştür. Atık su miktarı ise %57,4 azaltılmıştır. Bu işlemler için ozonlama, UV gibi dezenfeksiyon yöntemleri kullanılarak suyun geri kazanımı sağlanmıştır (Demirer ve Akkaya 2015).

Tuzluluk parametresi ve iletkenlik gibi değerlerin kule üretici firmaların verdiği maksimum besi suyu parametre değerlerinden fazla olması; suyun korozif etkisini artırmaktadır. Soğutma kulelerinde izin verilen atık su değerleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Soğutma kulesi suyu için gereken değerler

Parametre	Birim	Soğutma Suyu için Gereken Değerler	Referans
KOI		-	
AKM	mg/L	25	BAC
Renk		-	
Çinko		-	
Bakır	mg/L	0,5 0,1	Puckorius Argone
pH		7,0 - 9,0 6,8 - 7,9 6,0 - 9,0 7,8 - 8,4 7,1	BAC Badruzzaman Puckorius Argone GE Water
Sıcaklık		-	
İletkenlik	µS/cm	2000 2300 4830	BAC Badruzzaman GE Water
Klorür	mg/L	200 528 500 471	BAC Badruzzaman Puckorius GE Water
Serbest klor	mg/L	1	BAC
Sertlik	mg/L	50 - 600 147 900 256	BAC Badruzzaman Argone GE Water
Alkalinite	mg/L	500 200 - 250	BAC Argone
Silikat	mg/L	150 150 29	BAC Argone GE Water
Sülfat	mg/L	300 1980	Badruzzaman GE Water
Sodyum	mg/L	310	Badruzzaman
TOC	mg/L	5 11	Badruzzaman GE Water
Fosfat	mg/L	8 2	Badruzzaman GE Water

Kirlilik parametreleri önem sırasına göre sıralandığında KOİ ve AKM ye ek olarak; bakır, çinko ve fosfat gibi parametreler ön plana çıkmaktadır. Ayrıca endüstride kullanılan temizlik ürünlerine bağlı olarak sülfat ve ağır metaller de su içerisinde belli miktarları geçmemelidir. Bu sınır değerler soğutma üreticileri ve Amerikan Makine Mühendisleri Odası (ASME) tarafından verilmektedir.

Arıtma hususunda ise membran arıtma teknolojilerinin verimlerini ölçmek, daha verimli hale getirmek için araştırmalar yürütmek, büyük üretim tesisleri için ön projeksiyon ve yatırım modeli sağlamak, üretici firmalara yeşil işletme sorumluluklarında destek sağlayarak hem ekonomik hem de sosyal devlet desteklerinden yararlanır hale getirmek olarak belirtilebilir.

Membran kullanılarak yapılan atıksu arıtma işlemlerinde MBRs (biyoreaktörler), NF (nano filtrasyon), MF (mikro filtrasyon), UF (ultra filtrasyon), RO (ters ozmoz), FO (ileri ozmoz), ED (elektro diyaliz) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerin atıksudaki kirliliği giderme verimleri değişiklik göstermektedir. Membranların KOİ giderim verimlerini tespit etmeye yönelik yapılan çalışmalarda; günlük atık su üzerinde MF ve UF membranlar kullanılarak KOİ giderimi amaçlanmıştır. Çalışmada MF membranının KOİ giderimi %89 olarak kaydedilmiştir. Bunun haricinde UF kullanıldığında; daha küçük gözeneklere sahip olduğundan KOİ giderim oranı %95' e kadar çıkmıştır. Gıda endüstrisinde ise yapılan KOİ giderim çalışmalarında NF membrandan geçirilen suyun %60 KOİ giderimi ile karşılaştığı; RO da ise performansın %95 seviyesine çıktığı belirlenmiştir (Pervez vd., 2021).

Membran teknolojisi ile yapılan arıtma çalışmalarında bir başka örnek ise belediye atıksularının arıtılması konusunda yapılmıştır. Belediye atıksuyunda yüksek KOİ olması arıtma konusunda daha sıkı gözeneklere sahip olan RO membranlarının kullanımını ön plana çıkarmıştır. Direk yapılan RO geçişinde organik madde giderimi %67 olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda tuz giderimi de amaçlanmıştır. İnorganik madde giderimi RO membranda sağlanmıştır. Fakat organik madde gideriminde; adsorbsiyon, ultra filtrasyon ve RO tekniklerinin sırasıyla kullanımının daha başarılı sonuçlar vereceği belirtilmiştir (Fernandez vd., 2022).

Membranların tiplerine göre özellikleri şu şekildedir (Kavurucu B.; Ekmen E.; Yaman Ö.; Yılmaz S.; Kanmaz N.; Ünver Ü.; 2020):

MF: Gözenek çapı aralığı 0,1 - 3 µm arasındadır. Moleküler ağırlığı ayırma sınırı (MWCO) >1000 Da olan makro molekülleri ve askıda katı maddeleri ayıran bir sistemdir.

UF: Gözenek boyutu 0,005 - 0,1 µm arasındadır ve MWCO 1000 - 500 Da olan makro molekül içeren sıvıların saflaştırılmasında, ayırıştırılmasında veya konsantre edilmesinde tercih edilmektedir.

NF: Gözenek çapı yaklaşık olarak 0,001 µm ve MWCO 180-500 Da arasındadır. Yüzeyleri hafif yüklü olarak çalıştırılan NF membranlarında uygulanan basınç aralığı 3 -40 bar'dır. Ayırma prosesinde yüklü yüzeyden kaynaklı yük etkileşimi önemli rol oynamaktadır.

RO: Yüksek basınç uygulanarak çalıştırılan sistemde, düşük molekül ağırlığında organik maddeler ve tuzlar konsantre olurken, su ve çözücüler geçmektedir. Yoğun olarak, deniz suyunun ve kuyu suyunun arıtılmasında kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2 Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliğinde değişiklik yapılmasına dair tebliğ göre soğutma kulelerinde kullanıma izin verilen atık su parametre değerleri

Parametre	Soğutma Kulesi			
	Birim	Tek Geçişli Sistem		Resürkilasyonlu Sistem
		Tatlı su	Tuzlu su	Tatlı su
Silika (SiO ₂)	mg/L	50	25	25
Alimünyum (Al)	mg/L			
Demir (Fe)	mg/L			
Mangan (Mn)	mg/L			
Kalsiyum (Ca)	mg/L	200	520	420
Bikarbonat (HCO ₃)	mg/L	600		
Sülfat (SO ₄)	mg/L	680	2700	2700
Klorür (Cl)	mg/L	600		
Florür (F)	mg/L	600	19	19
Çözünmüş Madde	mg/L	1000	35	35
AKM	mg/L	5000	2500	100
Sertlik	mg/L CaCO ₃	850	6250	6250
Alkalinite	mg/L CaCO ₃	500	115	115
pH	-	5 - 8,3		
KOİ	mg/L	75	75	75
Sıcaklık	°C	38	49	49
Bulanıklık	NTU	5000	100	

3. YÖNTEM

Tez çalışmasında ilk olarak laboratuvardaki cihazların çalışır olması sağlanmıştır. Sarf malzeme temin edilerek ölçüm aralıklarına uygun KOİ kitleri temin edilmiştir. Tesisten atık su getirilmiş ve laboratuvarda analizleri yapılmıştır.

3.1 Atık Su Özellikleri

Atık su numunesi Elâzığ’ da bulunan alkolsüz içecek üretimi yapan tesisten 30 kg’ lık ıstık geçirmez bidonlar ile getirilmiş ve soğuk odada muhafaza edilerek; bir gün sonra analizlerine başlanmıştır. Yapılan üç farklı membran çalışması için üç defa; daha sonra da KOİ değeri için izlenmesi için iki defa atık su temini sağlanmıştır. Atık suyun içerdii maddeler Çizelge 3.1’de paylaşılmıştır. Örnek fabrikadan alınan atık su özellikleri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 Atık suyun içerdii maddeler

Atık Su Kompozisyonu
Nitrik Asit
Asetik Asit
Hidroklorik Asit
Sülfirik Asit
Şeker
Kostik
Fosfatlar
Sülfatlar
Potasyum Sitrata
Sodyum Benzoat
Bitkisel Yağ
Meyve Konsantreleri

Çizelge 3.2 Örnek fabrikadan alınan atık su özellikleri

Parametre	Değer	
	UF'da Kullanılan	NF'da Kullanılan
KOI (mg/L)	1110	254
pH	5.8	8.6
İletkenlik (µS/cm)	770	540
Askıda Katı Maddeler (mg/L)	152	32
Bulanıklılık (FAU)	207	78
Alkalinite (mg/L)	345	
Toplam Sertlik (mg/L CaCO ₃)	110	750

Tesisten çıkan ortalama atık su miktarları temin edilmiştir (Çizelge 3.3). Tesisten alınan atık suyun şişe yıkama ve üretim kaynaklı atık sulardan oluştuğu bildirilmiştir. Alınan atık su içeriği de firma ile görüşülmüş ve uygulanan üretim, temizlik ve yıkama proseslerinde kullanılan kimyasal içerikler ile işlem sonrasında temizlenen ürünler ile alakalı detaylı bilgiler alınmıştır.

Çizelge 3.3 Aylara göre işletmeden çıkan yaklaşık atık su miktarları

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Atık Su Miktarı (m ³ /ay)	400	450	450	450	500	550	600	550	550	400	400	400

3.2 Analitik Yöntemler

Analizlere başlamadan önce kâba filtre kullanılarak ön arıtma yapılmış; su içerisindeki partiküller uzaklaştırılmıştır. Daha sonra titrimetrik yöntemler ile toplam sertlik ölçülmüş ve ardından spektrofotometrik olarak bulanıklık ve askıda katı madde değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerde titrasyonda Merck marka titrasyon kiti; fotometrik ölçümler için ise Hach marka DR-890 model cihaz kullanılmıştır. Tesisten gelen atık su genel olarak şişe yıkama ve üretimden kaynaklanmaktadır. Soğutma suyu kalitesinde arıtım sağlamak için ultrafiltrasyon (UF) ve nanaofiltrason (NF) prosesleri uygulanmıştır. Ölçümlerde kullanılan titrasyon kiti ve toplam sertlik ölçüm kiti Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de paylaşılmıştır.



Şekil 3.1 Hach Dr 890 Spektrofotometre



Şekil 3.2 Merck toplam sertlik ölçüm kiti

3.3 Membran Özellikleri

Kullanılan membranlar yarı geçirgen ticari UF ve NF membranlarıdır (Alfa Laval). UF'lerin moleküler ağırlık ayırma sınırı (MWCO) 10.000 Da ve 5.000 Da olarak seçilmiştir. ETNA10 PP kodlu UF (10 kDa) membran kompozit floro polimer malzemeden, GR90PP kodlu UF (5 kDa) membran ise polietiler sülfon malzemeden yapılmıştır.

Atık su bu filtrelerden yüksek basınç pompası yardımı ile geçmeye zorlanmış ve membran atık su içerisindeki maddelerin beklenen bir kısmını tutmuştur. Karşı tarafa geçen süzüntü suyunun özellikleri ise analiz edilerek belirlenmiştir. Çıkan su kalite değerleri ilgili parametrelerle değerlendirilmiş, literatür ve üretici yönerge değerlerine uygunluğu kontrol edilerek karşılaştırılmıştır.

3.4 Membran Filtrasyon Deneyleri

Yapılan çalışmada basınçlı membran düzeneği ve membran plakaları kullanılmıştır. Bunun için önceden hazırlanmış Alfa Laval marka LabStak M20 model basınçlı su geçiş düzeneği ve membran tutucu kombinasyonu hazırlanmıştır. Denenmesi istenen membran sisteme yerleştirilmiş ve UF membranı için 2 bar, NF membranı için ise 4 bar basınç altında ultra saf su geçişi sağlanmıştır. Yapılan çalışmada sıcaklık kontrol altında tutulmuş ve çalışma 20 °C'de yapılmıştır. Otuz dakikada bir akı miktarları 50 ml'lik hacimde mezürün kaç saniyede dolduğunu hesaplamak için kronometre tutularak ölçülmüştür ve kayıt altına alınmıştır. Daha sonra atık su geçişi sağlanarak aynı süre dilimlerinde akılar ölçülmüş; aynı zamanda süzüntü suyu ile besleme suyundan 50 ml'lik numuneler alınmıştır. Bu işlemler 2'şer saat olarak ayarlanmıştır. Atık su geçişinden sonra 2 saat süre ile ultra saf su akışına geçilmekte ve aynı yöntem ile 30'ar dakikalık aralıklarla akı ölçümleri kayıt altına alınmaktadır. Daha sonra membranlar sistemden çıkarılmış ve mekanik temizlik yapılarak tekrar sisteme takılmıştır. Mekanik temizliğin faydasını görebilmek için saf su akış testleri tekrar yapılmıştır. Mekanik temizlik sonrası saf su içerisine %1'lik kostik solüsyonu eklenerek pH 10,50 olarak ayarlanmış ve bu su geçişi ile kimyasal temizlik yapılmıştır. Kimyasal temizlik sonrasında tekrar saf su akışı gerçekleştirilerek akılar kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.3 Alfa Laval Labstak M20 membran test düzeneği

3.5 Verilerin Toplanması

Yapılan çalışmada AKM, KOI, iletkenlik, toplam sertlik ve pH değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Daha sonra bu veriler tablo haline getirilerek; soğutma sisteminde istenen besi suyu değerleri ile karşılaştırmalı bir tablo haline getirilmiştir. Deneysel veriler; atık su özellikleri, giderim ve akı değerleri, yapılan arıtmanın parametrelerin uygun hale getirilmesindeki performansları gibi veriler karşılaştırmalı şekilde kayıt altına alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, UF (10 kDa), UF (5 kDa) ve NF membranları ile elde edilen giderim performansları ve akı azalma oranları verilmiştir.

4.1 UF (10 kDa) Membranı Giderim ve Akı Performansları

Membran besleme ve süzüntü hattından alınan numuneler analiz edilmiş ve giderimler parametrelere göre verilmiştir (Çizelge 4.1). Atık suyun KOI değeri 1100 mg/L iken, UF deneyinde hazırlık yapıldığı sırada muhtemel bir seyrelme nedeniyle besleme suyunda 796 mg/L olarak ölçülmüştür. Süzüntü suyunda deney sonunda 286 mg/L olarak ölçülmüş, KOI giderim verimi %63 olarak bulunmuştur. UF (10 kDa) besleme ve süzüntü sularında pH değerinde değişiklik olmazken, iletkenlik giderimi sadece %1 olmuştur. Kullanılan membranın MWCO değeri kalsiyum sertliğini tutmakta etkisiz kalmış; besleme suyunda ölçülen değerde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Bunun haricinde toplam askıda katı madde ve bulanıklık gideriminde %100 performans göstermiş ve filtrasyon sonrası bu değerler “0 mg/L” olarak ölçülmüştür. UF (10 kDa) membran ile yapılan testlerin sonucunda daha büyük partiküller olan askıda katı maddeler ve bulanıklık yaratan maddelerin giderimi için ideal olduğu; KOI gideriminde ise %63 oranında başarı sağladığı, fakat daha küçük moleküller olan ve çözünmüş halde bulunan kalsiyumu gidermede etkisiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.1 UF (10 kDa) atık su giderim performansı

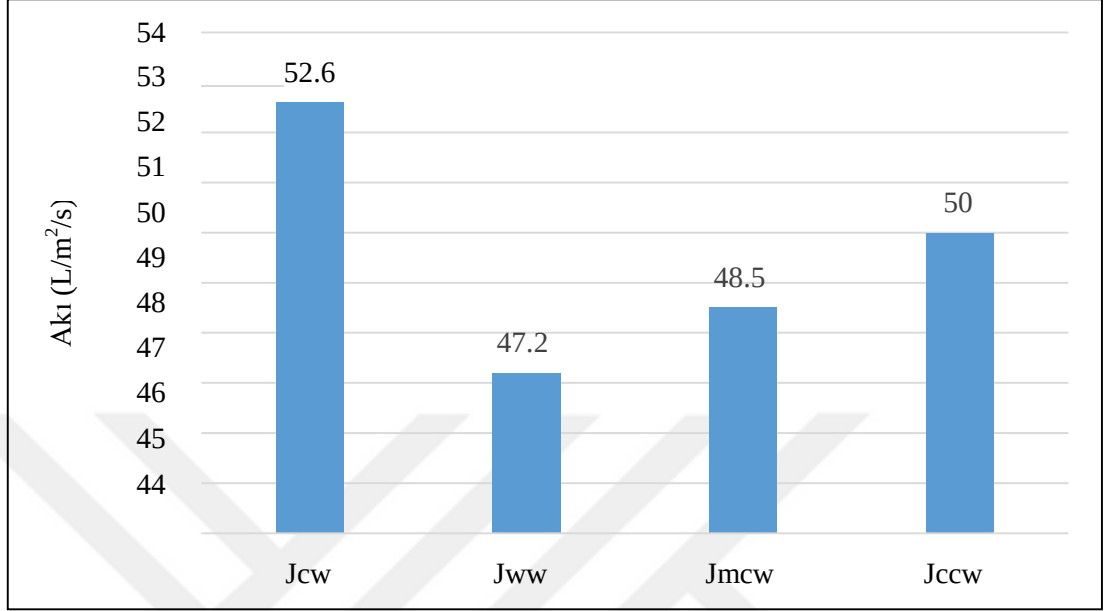
Parametre	Atık su	Besleme Suyu					Süzüntü Suyu					Giderim (%)
		F1	F2	F3	F4	F5	P1	P2	P3	P4	P5	
KOI (mg/L)	1110	796	820	786	768	780	310	251	260	298	286	63
pH	5,8	5,7	5,7	5,7	5,7	5,6	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	-
İletkenlik (µS/cm)	770	572	556	560	568	565	556	556	568	570	560	1
AKM (mg/L)	152	121	102	96	102	102	0	0	0	0	0	100
Bulanıklık (FAU)	207	162	134	138	132	134	0	0	0	0	0	100
Alkalinite(mg/l)	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	0
Toplam sertlik (mg/L CaCO ₃)	110	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0

UF (10 kDa) membranının akı verileri Çizelge 4.2’de verilmektedir. Görüldüğü üzere, saf su akısı 52,6 L/m²/s iken, atık su akısı 120 dakika sonunda 47,2 L/m².s olarak ölçülmüştür. Bu değer, %10 akı azalmasına denk gelmektedir. Atık sudan sonra mekanik ve kimyasal temizlik uygulanmış, membran akısı sırasıyla 48,5 L/m².s ve 50,0 L/m².s olarak ölçülmüştür. Görüldüğü üzere, akı azalması sadece %10 olduğu için yıkama işleminin etkisi de büyük olmamıştır.

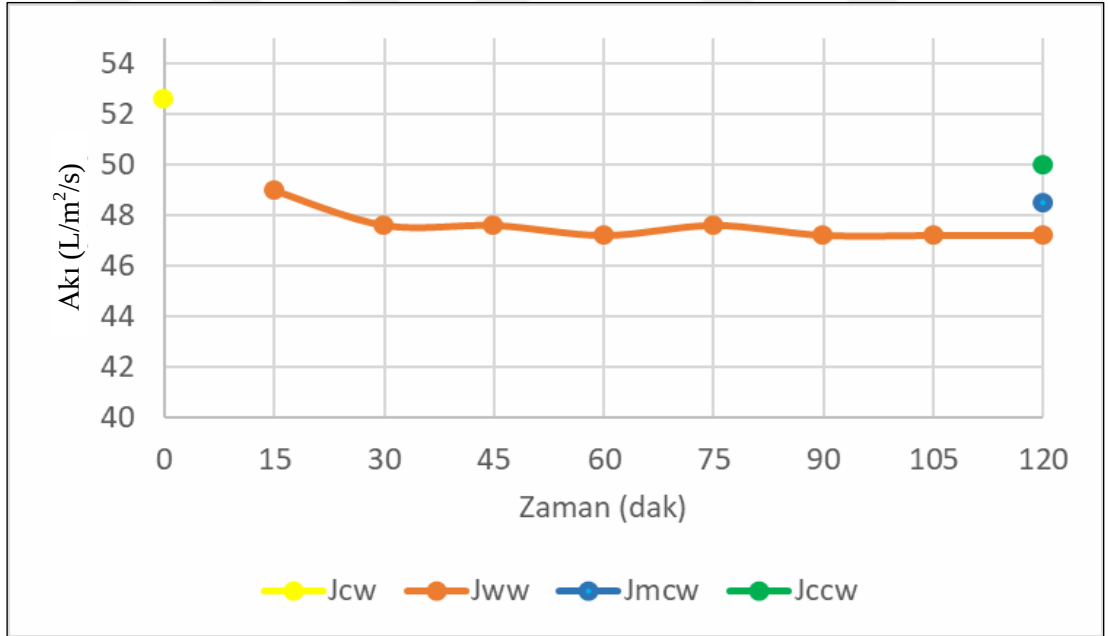
Çizelge 4.2 UF (10 kDa) membran akı değişimi

UF 10 kDa	Jcw, Saf Su Akısı (L/m ² /s)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre	90	95	95	95	95	95	95	95
Akı (L/m ² /s)	55,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6
	Jww, Atık Su Akısı (L/m ² /s)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)	102	105	105	106	105	106	106	106
Akı (L/m ² /s)	49,0	47,6	47,6	47,2	47,6	47,2	47,2	47,2
Akı azalması (%)	12	10	10	10	10	10	10	10
	Jmcw, Mekanik Temizlik Sonrası Saf Su Akısı (L/m ² /h)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)	103	103	103	103	85	97	103	103
Akı (L/m ² /s)	48,5	48,5	48,5	48,5	58,8	51,5	48,5	48,5
Akı geri kazanımı (%)								92
	Jccw, Kimyasal Temizlik Sonrası Saf Su Akısı (L/m ² /h)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)	96	100	100	100	98	100	100	100
Akı (L/m ² /s)	52,1	50,0	50,0	50,0	51,0	50,0	50,0	50,0
Akı geri kazanımı (%)								95

UF (10 kDa) membrana ait akılar Şekil 4.1’de, zamana bağlı akı değişimi ise Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1 UF (10 kDa) membranın akı değerleri



Şekil 4.2 UF (10 kDa) membran için zamana bağlı akı değişimi

4.2 UF (5 kDa) Membranın Giderim ve Akı Performansı

UF (5 kDa) deneyinde besleme suyunda KOİ 718 mg/L olarak ölçülmüştür. Süzüntü suyunda deney sonunda 255 mg/L olarak ölçülmüş, KOİ giderim verimi %64 olarak bulunmuştur. UF (5 kDa) besleme ve süzüntü sularında pH değerinde değişiklik olmazken, iletkenlik giderimi sadece %0,3 olmuştur. Kullanılan membranın MWCO değeri, kalsiyum sertliğini tutmakta etkisiz kalmış; besleme suyunda ölçülen değerde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Bunun haricinde toplam askıda katı madde ve bulanıklık gideriminde %100 performans göstermiş ve filtrasyon sonrası bu değerler “0 mg/L” olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.3).

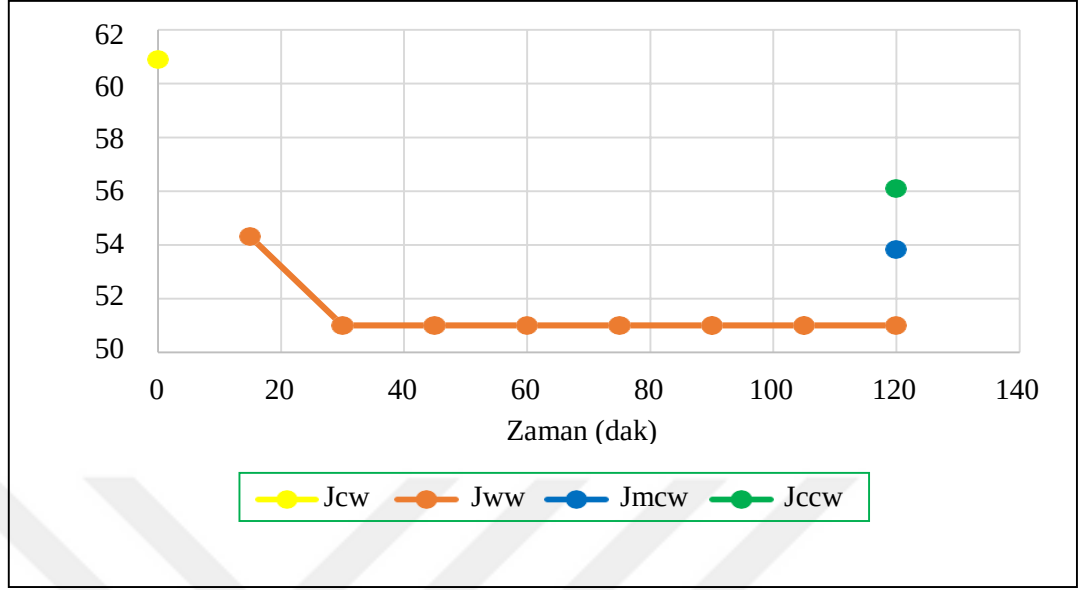
Çizelge 4.3 UF (5 kDa) atık su giderim performansı

Parametre	Atık su	Besleme Suyu					Süzüntü Suyu					Giderim (%)
		F1	F2	F3	F4	F5	P1	P2	P3	P4	P5	
KOI (mg/L)	111	718	-	-	-	-	310	251	260	298	255	64
pH	5,8	5,6	5,6	5,7	5,6	5,6	5,5	5,6	5,5	5,6	5,6	-
İletkenlik (µS/cm)	770	572	579	560	571	568	572	568	570	572	570	0,3
AKM (mg/L)	152	121	102	96	102	102	0	0	0	0	0	100
Bulanıklık (FAU)	207	162	134	138	132	132	0	0	0	0	0	100
Alkalinite (mg/L)	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	0
Toplam sertlik (mg/L CaCO ₃)	110	95	95	95	95	95	-	-	-	-	95	0

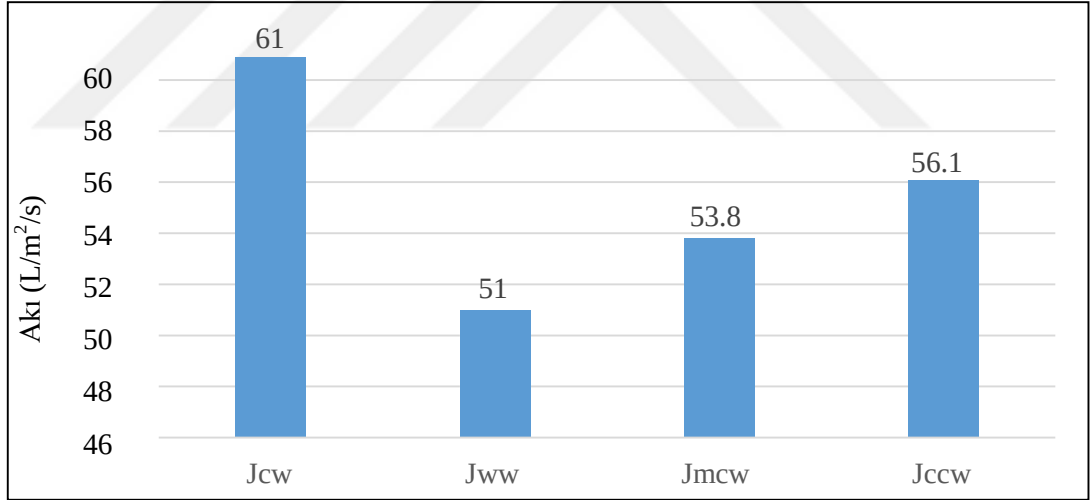
UF (5 kDa) membrana ait akı verileri; Çizelge 4.4’ de verilmiştir. Bu membranda atık su akısına geçildiğinde; akı azalması 2 saatin sonunda %16 olarak ölçülmüştür. Mekanik temizlik sonrası akı geri kazanımı %88, kimyasal temizlik sonrası ise %92 olmuştur.

Çizelge 4.4 UF (5 kDa) membran akı tablosu

UF (5 kDa)	Jcw, Saf Su Akısı (L/m ² /s)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)	82	83	82	82	82	82	82	82
Akı (L/m ² /s)	60,9	60,2	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9
	Jww, Atık Su Akısı (L/m ² /s)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)	92	98	98	98	98	98	98	98
Akı (L/m ² /s)	54,3	51	51	51	51	51	51	51
Akı azalması (%)	11	15	16	16	16	16	16	16
	Jmcw, Mekanik Temizlik Sonrası Saf Su Akısı (L/m ² /h)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)	93	94	93	92	92	93	92	93
Akı (L/m ² /s)	53,8	53,2	53,8	54,3	54,3	53,8	54,3	53,8
Akı geri kazanımı (%)								88
	Jccw, Kimyasal Temizlik Sonrası Saf Su Akısı (L/m ² /h)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)	90	88	88	88	88	88	88	89
Akı (L/m ² /s)	55,6	56,8	56,8	56,8	56,8	56,8	56,8	56,1
Akı geri kazanımı (%)								92



Şekil 4.3 UF 5 (kDa) membranının zamana bağlı akı değişimi



Şekil 4.4 UF (5 kDa) membranı akı değerleri

4.3 NF Membrana Ait Giderim ve Akı Performansları

Yapılan UF denemelerinin ardından nanofiltrasyon membranı denenmiştir. Çalışmalarda aynı yöntem izlenerek önce saf su akısı verileri kayda alınmış; daha sonra atık su değerleri ve sırasıyla mekanik temizlik ve kimyasal temizlik sonrası akı değerleri ölçülmüştür. NF membranı ile elde edilen giderimler Çizelge 4.5’de verilmiştir. Atık suyun KOI değeri

254 mg/L iken, NF deneyinde besleme suyunda F1 örneğinde 207 mg/L, F5 örneğinde ise 214 mg/L olarak ölçülmüştür. Süzüntü suyunda ise deney sonunda 147 mg/L olarak ölçülmüş, KOI giderim verimi %31 olarak bulunmuştur. NF besleme ve süzüntü sularında pH ve iletkenlik değerlerinde değişiklik olmamıştır. AKM ve bulanıklık gideriminde

%100 performans göstermiş ve filtrasyon sonrası bu değerler “0 mg/L” olarak ölçülmüştür. Toplam sertlik ise giderilememiştir.

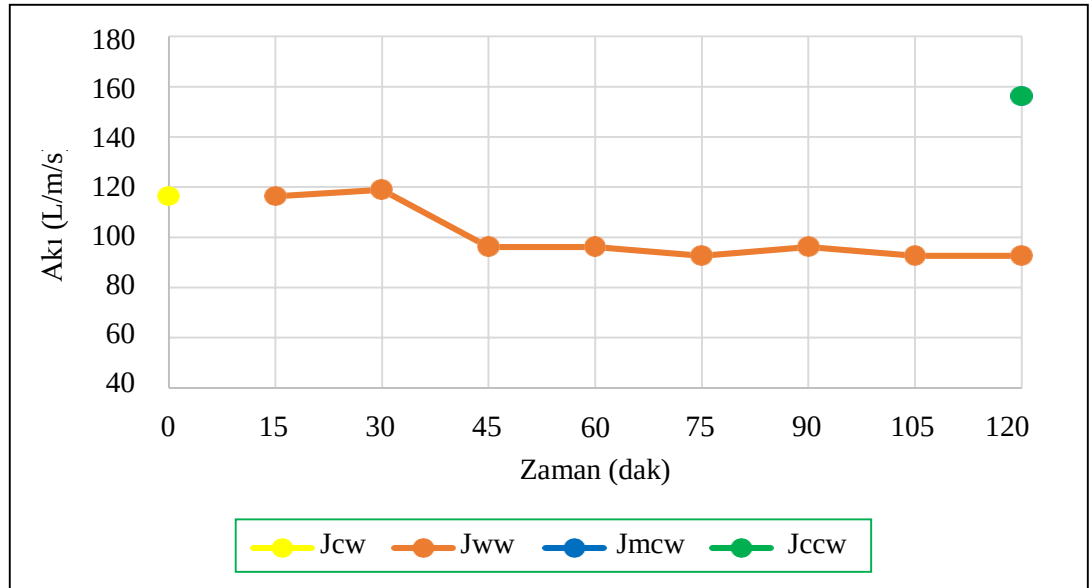
Çizelge 4.5 NF membran giderim tablosu

Parametre	Atık su	Besleme Suyu					Süzüntü Suyu					Giderim (%)
		F1	F2	F3	F4	F5	P1	P2	P3	P4	P5	
KOI (mg/L)	254	207	217	217	210	214	141	132	140	147	147	31
pH	8,6	8,6	8,5	8,4	8,6	8,7	8,6	8,6	8,7	8,6	8,6	-
İletkenlik (µS/cm)	540	520	530	540	540	530	535	540	530	532	530	0
AKM (mg/L)	32	30	28	32	30	30	0	0	0	0	0	100
Bulanıklık (FAU)	78	80	76	74	76	72	0	0	0	0	0	100
Alkalinite (mg/L)	142	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	43
Toplam sertlik (mg/L CaCO ₃)	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	0

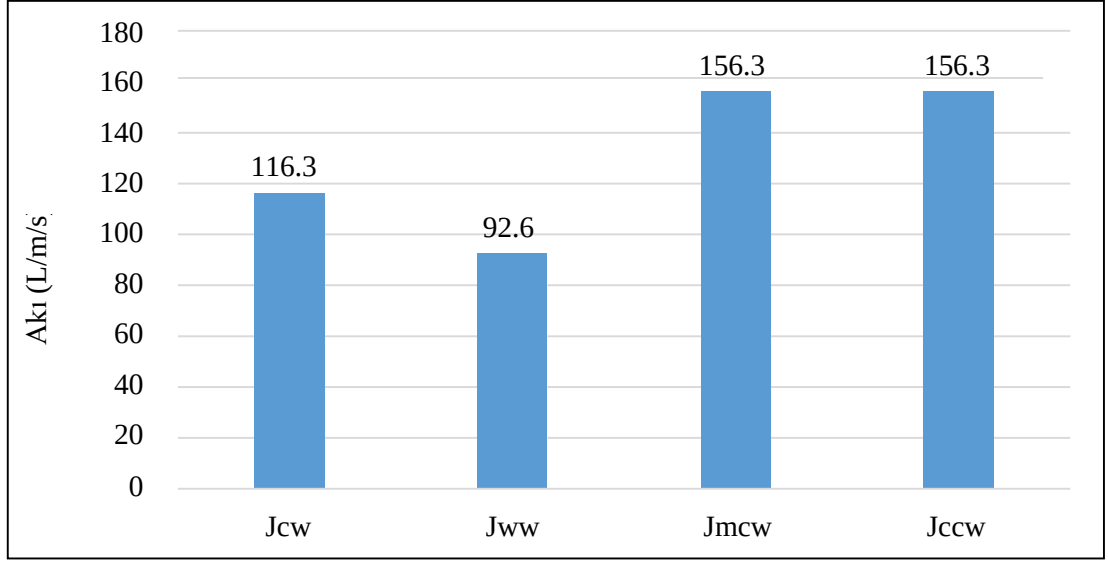
NF membranı ile toplanan akı verileri Çizelge 4.6 da verilmiştir. NF membranına ait akı değerleri ve akı değişimleri ayrıca Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 da gösterilmiştir. Saf su akısı 116,3 L/m²/s de sabitlenmiş; atık suyun verilmesi ile birlikte düşüşe geçmiş; iki saat sonunda saf su akısına göre %20 düşüş gözlenmiştir. Mekanik ve kimyasal temizlik sonrası ise akılar, saf su akısının üzerine çıkmış, geri kazanım oranı %134 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6 NF membranı akı verileri

NF	Jcw, Saf Su Akısı (L/m ² /s)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)								
	48	47	43	42	42	42	42	43
Akı (L/m ² /s)	104,2	106,4	116,3	119,0	119,0	119,0	119,0	116,3
	Jww, Atık Su Akısı (L/m ² /s)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)								
	43	42	52	52	54	52	54	54
Akı (L/m ² /s)	116,3	119,0	96,2	96,2	92,6	96,2	92,6	92,6
Akı azalması (%)	-	-	17	19	22	19	22	20
	Jmcw, Mekanik Temizlik Sonrası Saf Su Akısı (L/m ² /h)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)								
	32	32	33	33	33	32	32	32
Akı (L/m ² /s)	156,3	156,3	151,5	151,5	151,5	156,3	156,3	156,3
Akı geri kazanımı (%)								134
	Jccw, Kimyasal Temizlik Sonrası Saf Su Akısı (L/m ² /h)							
Zaman (dak)	15	30	45	60	75	90	105	120
50 mL örneğin toplandığı süre (saniye)								
	33	33	33	33	32	33	32	32
Akı (L/m ² /s)	151,5	151,5	151,5	151,5	156,3	151,5	156,3	156,3
Akı geri kazanımı (%)								134



Şekil 4.5 NF membranı akı değişimi



Şekil 4.6 NF membranı akı değerleri

Yapılan farklı bir çalışmada içecek sanayi atık suyunda KOİ giderimi için elektro-koagülasyon ve kimyasal koagülasyon yöntemleri ile adsorpsiyon yönteminin birbirlerini izleyerek uygulanması gerçekleştirilmiştir (Sever, 2021). Yapılan bu çalışmada demir elektrotların tercih edildiği, elektro koagülan ve kimyasal koagülan olarak $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'nun kullanıldığı kimyasal koagülasyon teknikleri KOİ giderim miktarları göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Çalışma neticesinde KOİ giderim miktarları elektro-koagülasyon tekniğiyle %42 bulunurken kimyasal koagülasyon tekniği kullanıldığında ise %23 giderim elde edildiği belirlenmiştir. Çıkış sularında belirlenen KOİ gideriminde, adsorpsiyon tekniğinin ne kadar etkin olduğu ölçülerek; elektro koagülasyon sonucunda elde edilen çıkış sularında %42, kimyasal koagülasyon sonucu elde edilen çıkış sularında ise %36 oranında KOİ giderim verimi ölçülmüştür.

Çalışmalar karşılaştırıldığında seri olarak denenen yöntemlerde dahi elde edilen KOİ giderim performansı %42'yi geçememiştir. Fakat bu çalışmada membran teknolojisi kullanılarak elde edilen giderimlerde performans seviyesi UF (10 kDa) membranda %63 seviyesindedir.

4.4 Geri Kazanılan Suyun Kalite Değerlendirmesi

Çalışmada uygulanan UF (10 kDa), UF (5 kDa) ve NF prosesleri ile elde edilen süzüntü suyu kalitesi, ilgili kriterler ile kıyaslanarak değerlendirme yapılmıştır (Çizelge 4.7). Görüldüğü üzere, ilgili tebliğ ile soğutma kulesi üreticisi tarafından yayınlanan kalite kriterleri oldukça farklıdır. Deneysel çalışmalarla elde edilen süzüntü sularında KOİ için Tebliğ’de rapor edilen 75 mg/L sınır değeri sağlanamamıştır. Ayrıca, UF çıkışında görülen pH 5,8 değeri, kule üreticisinin belirlediği aralığın altındadır.

İletkenlik için Tebliğ’de bir değer verilmemiştir ancak atık suyun iletkenlik değeri kule üreticisinin belirlediği değerin altında kalmıştır (2000 uS/cm). Tebliğ’de 100 mg/L, kule üreticisinde 25 mg/L olan AKM sınır değeri test edilen üç membran ile de sağlanmıştır. Bulanıklık için bir kriter rapor edilmemiştir, geri kazanılan suda sıfır olarak ölçülmüştür. Toplam sertlik için Tebliğ’de 6250 mg/L, kule üreticisinde 50 – 600 mg/L sınır değer belirtilmiş, atıksu örneklerinde oldukça farklı içerikler gözlemlendiğinden, UF membranları ile sınır değerler sağlanırken, NF çıkış suyu sertlik değeri kule üreticisi kriterinin üzerinde kalmıştır.

Altyapı ve malzeme eksikliği nedeniyle, Çizelge 4.7 da verilen diğer kalite parametreleri açısından geri kazanılan suların analizi yapılamamıştır.

Çizelge 4.7 Geri kazanılan suyun kalite kriterleri ile karşılaştırması

Parametre	Değer					
	Atıksu	UF (10 kDa)	UF (5 kDa)	NF	Kriter	
					Tebliğ Değeri*	Kule**
KOİ (mg/L)	254 - 1110	286	255	147	75	-
pH	5,8 - 8,6	5,7	5,6	8,6	-	7 – 9
İletkenlik (uS/cm)	540 – 770	560	570	530	-	2000
AKM (mg/L)	32 – 152	0	0	0	100	25
Bulanıklık (FTU)	78 – 207	0	0	0	-	-
Toplam Sertlik (mg/L CaCO ₃)	110 – 750	95	95	750	6250	50 – 600
Silika (mg/L)	-	-	-	-	25	150
Kalsiyum (mg/L)	-	-	-	-	420	-
Sülfat (mg/L)	-	-	-	-	2700	-
Florür (mg/L)	-	-	-	-	19	-
Çözünmüş madde (mg/L)	-	-	-	-	35	-
Alkalinite (mg/L)	42-345	345	345	142	115	500
Sıcaklık (°C)	-	-	-	-	49	-

* Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliğinde değişiklik yapılmasına dair tebliğ Resirkülasyonlu sistem için soğutma kulelerinde kullanımına izin verilen atıksu parametre değerleri

**BAC (Baltimore Aircoil Company) kule üretici değerleri

Çalışmada kullanılan UF sistemi için uygulanabilirlik maliyetleri açısından örnek olması için maliyet çalışması 08.2023 tarihli olarak gerçekleştirilmiş ve detaylı şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.8 Klor dozaj sistemi

Dozaj Pompası Adedi	1 Adet
Dozaj Pompası Markası	SEKO
Dozaj Pompası Kapasitesi	2 L/sa – 7 bar
Kontrol	On/Off Kontrollü
Kimyasal Tank Adedi	1 Adet
Kimyasal Tank Hacmi	100 L
Kimyasal Tank Malzemesi	Polietilen
Alt Seviye Elektrodu Adedi	1 Adet

Çizelge 4.9 Multimedya kum filtresi

Miktar	1 Adet
Nominal Debi	2 m ³ /saat
Filtrasyon Alanı	0,10 m ²
Filtrasyon Kesit Hızı	20 m/saat
Kontrol Mekanizması	Fleck veya muadili
Tank Boyutları	14’’x 65’’
Tank Malzemesi	FRP
Mineral Miktarı	35 kg Antrasit + 70 kg
Giriş-Çıkış Bağlantı Çapı	1’’
Ters Yıkama Debisi	2,5 m ³ /saat
Test Basıncı	9 bar
Çalışma Basıncı	2-6 bar

Çizelge 4.10 Aktif karbon filtre

Miktar	1 Adet
Nominal Debi	2 m ³ /saat
Filtrasyon Alanı	0,10 m ²
Filtrasyon Kesit Hızı	20 m/saat
Kontrol Mekanizması	Fleck veya muadili
Tank Boyutları	14’’x 65’’
Tank Malzemesi	FRP
Mineral Miktarı	45 kg Aktif Karbon + 15 kg Quartz
Giriş-Çıkış Bağlantı Çapı	1’’
Ters Yıkama Debisi	2,5 m ³ /saat
Test Basıncı	9 bar
Çalışma Basıncı	2-6 bar

Çizelge 4.11 Anti-skalant dozaj sistemi

Dozaj Pompası Adedi	1 Adet
Dozaj Pompası Markası	SEKO
Dozaj Pompası Kapasitesi	0,6 L/sa – 7 bar
Kontrol	On/Off Kontrollü
Kimyasal Tank Adedi	1 Adet
Kimyasal Tank Hacmi	100 L
Kimyasal Tank Malzemesi	Polietilen
Alt Seviye Elektrodu Adedi	1 Adet

Çizelge 4.12 Fiyatlandırma tablosu

Açıklama	Adet	Fiyat
Oto. Klor Dozaj Sistemi	1	300 USD
Kum Filtresi	1	545 USD
Karbon Filtresi	1	656 USD
Oto. Asc. Dozaj Sistemi	1	300 USD
NF Sistemi	1	4.800 USD
TOPLAM		6.601 USD + KDV

5. SONUÇ

Çalışma kapsamında KOİ sınır değerinin sağlanması ana hedef olarak alınmıştır. UF ve NF ile askıda katı madde ve bulanıklık tamamen giderilmiştir. KOİ ve çözünmüş maddelerin giderimi tam anlamıyla sağlanamamıştır. Özellikle toplam sertlik giderilememiştir. Bu nedenle KOİ ve toplam sertlik sınır değerlerinin sağlanması için ek bir arıtma tekniğinin uygulanması gerekli olacaktır. Tek kademe ters ozmoz (RO) veya çift kademe NF uygulanarak gerekli kalite değerinin sağlanacağı düşünülmektedir.

Tesislerde genellikle arıtma sistemlerinin bulunması ve örnek alınan bu tesis için de arıtma tesisinin proje aşamasında olması çalışmanın sonuçlarının uygulanabilirliği açısından umut vericidir. Ön arıtmadan çıkan suyun membrandan geçirilerek hızlı ve etkili şekilde soğutma sistemlerine verilmesi hatta kapalı devreler ve buhar kazanlarına beslenmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle katı maddelerin tamamen giderilmiş olması ve sertlik değerinin orta düzeyde olması soğutma kulesine besleme öncesinde reçineden geçirme yöntemi ile sistemlere verilmesini olanaklı kılmaktadır. Fakat KOİ değerinin Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ'de belirtilen 75 mg/L sınır değerine düşürülmemesinden dolayı sadece bu çalışma baz alınarak suyun soğutma kulesine beslenmesi önerilmemektedir. Suyun tesislerde kullanımı için belirtilen 75 mg/L değerinin altına indirilmesi gereklidir. Beslenen su içerisinde yeralan organik kirlilik, soğutma kulesinde mikrobiyolojik canlıların üremesine neden olabilmektedir. Ek biyosit kullanımı gerekebilir. Fakat besi suyu organik yükü her zaman risk teşkil etmektedir. Çalışmada kullanılan NF ve UF membranlarından farklı karakterde atıksuyun geçirilerek sonuçların alınması nedeni ile tam anlamıyla UF ve NF membran arıtma verimi karşılaştırılması yapılamamaktadır. Arıtması hâlihazırda bulunan tesislerin çıkışında kum filtre, karbon filtre ve ultrafiltrasyon uygulanma sırası ile kullanıma uygun su elde edilebilir. Geri kazanılan su, ürün suyu haricinde birçok yerde kullanıma uygun halde olacaktır. Atıksu örneklerinin alındığı tesisin atık suyu hacmi göz önüne alınarak; NF arıtma sistemi kurulumu için bir maliyet tespit çalışması yapılmış ve ön arıtma üniteleri kum, karbon filtreler ve klor dozajlaması ile antiskalant dozaj üniteleri dahil 6601 USD bir yatırım gerekliliği tespit edilmiştir. Kullanılan membranların en az 3 yıl sorunsuz çalışacağı da göz önüne alınmıştır. Ancak 3 yıl sonunda ek maliyetler ortaya çıkabilecektir.

KAYNAKLAR

- Alkaya, E., Demirer, N. G. 2015. Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A case study for sustainable industrial water management in Turkey. Resources, Conservation and Recycling. 104 (172-180).
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ, resmi gazete No. 31994, Tablo E.7.21. 2022
- Alkaya, E. ve Demirer, N. G. 2015. Technology Development Foundation of Turkey, Department of Environmental Engineering. Middle East Technical University, Ankara.
- Avrupa Çevre Ajansı. 2021. Web Sitesi: <https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/aca-isaretler-2018/makaleler/avrupa2019da-su-kullanimi-2014-miktar>, Erişim Tarihi: 07.02.2022
- Borja G., Noemi M., Alejandro M., Carlos N. 2021. Sustainable recovery of wastewater to be reused in cooling towers: Towards circular economy approach, Journal of Water Process Engineering. 41 (1-3).
- Çakır, F. 2010. Farklı polietilentereftalat (pet) şişelerde ambalajlanan gazlı kola içeceğinin CO₂ içeriği üzerinde çeşitli faktörlerin etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Çapar, G. ve Yetiş Ü. 2018. Sanayide su verimliliğinin ülkemizdeki durumu, Anahtar Dergisi, Haziran, 2018; 19-29.
- Çapar, G. 2019. Su Kaynakları Yönetimi ve İklim Değişikliği. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 8. 1-42, 2019.
- Engin, Y. 2017. Alkollü ve Alkolsüz İçecekler Teknolojisi. Web Sitesi: <https://akademik.adu.edu.tr/myo/cine/webfolders/File/ders%20notlari/Alkollu%20ve%20alkolsuz%20icecek%20teknolojisi.pdf>. Erişim Tarihi: 03.07.2023.
- Fallah, H., Hassan H., Mohammad S., Mansooreh D., Mohammad H., Azita S., 2020. Reclamation of real oil refinery effluent as makeup water in cooling towers using ultrafiltration, ion exchange and multioxidant disinfectant, Water Resources and Industry, 23 (1-18).
- Fernandez, V., Uribe, B.C., Bes-Pia, M.A., Mendoza-Roca, J.A. 2022. Application of Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes for Tannery Wastewater Reuse, Water 2022, 14, 2035.
- Kavurucu B.; Ekmen E.; Yaman Ö.; Yılmaz S.; Kanmaz N.; Ünver Ü.; 2020. Türkiye’de sanayi sektöründe su kullanımı, Web Sitesi: <https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2020/08/06/turkiyede-sanayi-sektorunde-su-kullanimi> Erişim Tarihi: 06.02.2023

Öztürk, M. 2021. Su Kıtlığı ve Kuraklık. Independent Türkiye. Web Sitesi: <https://www.indyturk.com/node/293996/turkiyeden-sesler/su-kıtlığı-ve-kuraklık>, Erişim Tarihi: 08.02.2022.

Pervez, N., Mishu, M.N., Stylios, G.K., Hasan, S.W., Zhao, Y., Cai, Y., Zarra, T., Belgiorno, V., Naddeo, V. 2021. Sustainable Treatment of Food Industry Wastewater Using Membrane Technology: A Short Review. Water 2021, 13 (3450).

Türkiye İstatistik Kurumu, 2022. Web Sitesi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atıksu-Istatistikleri-2020-37197> Erişim Tarihi: 05.02.2022, Ankara.

T.C. Kalkınma Bakanlığı Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği. 2018. On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023). Ankara

Taylor, B.; 2016. Other beverage ingredients, Chemistry and technology of Soft drinks and fruit juices. P.R. Ashurst, (2. Baskı) içinde (88-125), Wiley&Interscience.

World Wide Fund for Nature, 2022. Web Sitesi: https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/ayak_izinin_azaltilmasi/su/turkiyesuzengini Erişim Tarihi: 05.02.2022.

Veil, J.A. 2007. Use of Reclaimed Water for Power Plant Cooling, Argonne National Lab., ABD.