T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERAMİK MEMBRAN FİLTRASYONU İLE TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KOSTİK VE SICAK SU GERİ KAZANIMI

MEHMET DİLAVER

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERAMİK MEMBRAN FİLTRASYONU İLE TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KOSTİK VE SICAK SU GERİ KAZANIMI

MEHMET DİLAVER

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT KESKİNLER
II. DANIŞMANI
PROF.DR. İSMAİL KOYUNCU

GEBZE
2018

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

CAUSTIC AND HOT WATER RECOVERY IN TEXTILE INDUSTRY BY USING CERAMIC MEMBRANE FILTRATION

MEHMET DİLAVER

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF

DOCTOR OF PHILOSOPHY

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. BÜLENT KESKİNLER

II. THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. İSMAİL KOYUNCU

GEBZE

2018

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**DOKTORA JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/03/2018 tarih ve 2018/16 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23/03/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mehmet DİLAVER'in tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	:Prof. Dr. Bülent KESKİNLER
ÜYE	:Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ
ÜYE	:Doç. Dr. Derya Yüksel İMER
ÜYE	:Doç. Dr. Hasan KÖSEOĞLU
ÜYE	:Doç. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

……/……/..…. tarih ve …..…/…..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Tez çalışmasında tekstil endüstrisinin çeşitli proseslerinde oluşan sıcak atıksuların ve atık kostik çözeltisinin çapraz akış seramik membran filtrasyonu ile geri kazanımı ve yeniden kullanılabilirliği incelenmiştir. Su ve kimyasal geri kazanımının yanı sıra enerji maliyetlerinde önemli miktarda kazanç sağlanabileceği potansiyeli görülmüştür.

Çalışılan tekstil endüstrisinde atıksuların oluştuğu noktalar yerinde incelenmiş ve geri kazanım için değerlendirilen noktalarda, üç ay süre ile atıksu karakterizasyonu yapılmıştır. Geri kazanımı uygun bulunan noktalardan alınan atıksular ile disk ve tubular tip seramik membranlar kullanılarak laboratuvar ölçekli çapraz akış membran filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Çapraz akış filtrasyon deneylerinde, kirletici giderimi, yeniden kullanılabilirliği ve membran kirlenme mekanizması beraber değerlendirilmiştir.

Sıcak su geri kazanımı hedefi için toplam su tüketiminin yaklaşık %22'si olan emprime baskı karışım noktası, kirletici giderimi ve yeniden kullanılabilirlik açısından uygun bulunmuştur. Sıcak su geri kazanımı ile su geri kazanımı ile en büyük etki ısıtma maliyetlerinde düşmesinde görülecektir. Proses sıcaklığı için (95-99 ^{O}C) sıcaklığa ısıtılan sular, seramik membran filtrasyonu çıkışında çok az bir ısıtma ihtiyacı sonrasında kullanılabilecektir.

Kostik geri kazanımı hedefi için Viskon Kasar prosesinin ana banyosu uygun bulunmuştur.

Sıcak atıksu filtrasyonunda oluşan denge akısı 20-30 LMH değerinde, kostik geri kazanımında 10-20 LMH değerlerinde gerçekleşmiştir. Tüm deneylerde en hızlı akı azalması, en büyük MWCO olan 300 kDa membran filtrasyonunda gerçekleşmiştir. Kirlenme mekanizması, tüm deneylerde fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmuş ve kimyasal temizlik sonrasında saf su geri kazanımı %90 ve üzerinde gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil, Seramik Membran Filtrasyonu, Geri Kazanım, Temiz Üretim, Mevcut En İyi Teknikler, Enerji, kimyasal ve su hammadde tasarrufu, sıfır sıvı deşarjı.

SUMMARY

In this study, applicability of ceramic membrane cross flow filtration and evaluate reusability for recovery of hot wastewater and caustic solution where discharged from various processes in the textile industry has been investigated. In addition to water and valuable chemical recovery potential energy related costs would be decreased.

The sampling points where wastewater were discharged were examined in situ and wastewater characterization were carried out for three months at these potential recovery points. Laboratory scale ceramic membrane cross flow filtration carried out using with disc and tubular type ceramic membranes with this selected wastewater streams. Pollutant removal, reusability of treated wastewater, membrane fouling mechanisms was assessed together for each cross flow membrane filtration experiments.

Emprime Printing Mixing Point which has a potential 22% of total water consumption has been found suitable for hot wastewater recovery target based on reuse limits for textile processes. Recovery of hot wastewater may contribute decreasing water heating related expenses. This recovered hot wastewater may be used after a minimum heating requirement to meet rinsing baths water temperature (≈95-99 ^{O}C).

Viskon Kasar Main Bath has been found suitable for caustic recovery target based on wastewater characterization and process period frequency.

Steady-state flux were seen around 20-30 LMH during hot wastewater filtration and around 10-20 LMH during caustic recovery filtration experiments. Fastest flux decline were seen at 300 kDa ceramic membrane filtration which was the largest pore size among tested membranes. The main contributor of total membrane fouling was physically removable cake resistance (Rc) for all experiments. Flux recovery after chemical cleaning was 90% and more.

Key Words: Textile, Ceramic Membrane Filtration, Recovery, Cleaner Production, Best Available Techniques Energy, chemical and water raw material saving, zero liquid discharge.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince desteklerini esirgemeyen değerli danışmanlarım Prof. Dr. Bülent KESKİNLER'e ve Prof. Dr. İsmail KOYUNCU'ya, tez izleme komitesi değerli hocalarım Doç. Dr. Derya İMER'e ve Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ'e,

"Yüksek Alkali Özelliğe Sahip Endüstriyel Atıksulardan Kimyasal Madde ve Su Geri Kazanımı için Seramik Membranların Üretimi ve Uygulanması" TÜBİTAK 1003 projesinin maddi desteğini sağlayan TÜBİTAK ÇAYDAG'a (114Y498 Nolu proje ve 114Y507 nolu alt proje),

Proje yürütücülüğü sorumluluğu vererek güvenini eksik etmeyen Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ'e, doktora çalışmalarımı destekleyen ve mensubu olmakla gurur duyduğum TÜBİTAK MAM'ın değerli idarecilerine, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü Müdürü Dr. Selma AYAZ'a,

Desteklerini esirgemeyen, Prof. Dr. Kadir ALP'e, Yük. Müh.Türker TÜRKEN'e, Yük. Müh. Meltem AĞTAŞ'a, Dr. Selda M. HOCAOĞLUNA, Yük. Müh. Mehtap DURSUN'a Yük. Müh. Gamze Gül AVCI'ya, Dr. Ceyda KOYUNCU'ya, Yük. Kimyager Merve Buldu'ya ve tez çalışmalarım süresince her daim desteğini veren Dr. Gülfem SOYDEMİR'e,

Atıksu analizlerinde desteklerini veren TÜBİTAK MAM ÇTÜE Su ve Atıksu Laboratuvarı çalışma arkadaşlarıma,

Numune alımı, veri paylaşımı, her daim bilgi ve desteklerini esirgemeyen SAVCAN Tekstil Yönetim Kuruluna, Emrah ÇOKÇAĞLAYAN'a, İlker GÜN'e, Semih GÜNEŞ'e, İsmail YILMAZ'a ve Burak DEMİRCİOĞLU'na,

Doktora çalışmalarım süresince pozitif desteklerini esirgemeyen havza grubu mesai arkadaşlarıma,

5 yaşında iken 2000 yılına oku diye mektup yazan, desteğini ve duasını eksik etmeyen annem Melihat DİLAVER'e, makale yazımında mentorluk yapan Dr. Arzu GÜNEŞ GRANBERG'e,

Benim ile hiç düşünmeden Dünya'nın her yerine gelen ve desteğini hiç esirgemeyen sevgili hayat arkadaşım Fatma GÜNEŞ DİLAVER'e, varlığı ile umudumu arttıran canım oğlum Deniz Efe DİLAVER'e,

Sonsuz saygı ve sevgimle teşekkür ederim...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLOLAR DİZİNİ	xxi
1.GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	3
2.LİTERATÜR	5
2.1. Tekstil Endüstrisi ile İlgili Genel Bilgiler	5
2.2. Endüstrilerde Su ve Değerli Hammadde Geri Kazanımının Önemi	9
2.3. Tekstil Atıksuyu Karakterizasyonu	12
2.4. Tekstil Atıksuların Arıtılması, Kimyasal Madde ve Atık Su Geri Kazanım	23
2.5. Membran Teknolojileri	26
2.5.1. Seramik Membranların Kullanım Alanları	36
2.6. Tekstil Endüstrisinde Membran Teknolojilerinin Uygulanması	42
3.MATERYAL VE METOT	47
3.1. Çalışılan Tekstil Firması ve Potansiyel Geri Kazanım Noktaların Seçimi	47
3.2. Ham Atıksu Karakterizasyonu ve Atıksu Analiz Yöntemleri	56
3.3. Kullanılan Seramik Membranlar ve Membran Filtrasyon Hücreleri	58
3.4. Laboratuvar Ölçekli Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneyleri Prosedürü	63
3.4.1. Seramik Membranların Kullanıma Hazır Hale Getirilmesi ve Temizliği	63
3.4.2. Ölü Uç (dead-end) Seramik Membran Filtrasyonu	64
3.4.3. Çapraz Akış Seramik Membran Filtrasyonu	65
3.5. Membran Kirlenmesi ve Kirlenme Mekanizmaları	67
3.5.1. Seri Direnç Modeli ile Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi	70

Sayfa

3.6. Yerli Üretim Seramik Membranlarda Saf Su Geçirgenlik ve Gözeneklilik Deneyleri 75
3.6.1. Saf Su Geçirgenlik Deneyleri 75
3.6.2. Moleküler Engelleme Sınırı (MWCO) Analizleri 76
4.BULGULAR VE TARTIŞMA 77
4.1.Endüstriyel Atıksuyun Karakterizasyonu 77
4.1.1. Kasar Ana Banyo ve Durulama Banyolarının Atıksu Karakterizasyonu 79
4.1.1.1.Kostik Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 89
4.1.1.2.KOİ Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 91
4.1.1.3.Renk Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 93
4.1.1.4.Partikül Boyut Dağılımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi 95
4.1.2. Reaktif Emprime Baskı ve Dispers Emprime Baskı Banyoları, Emprime Karışım ve Isı Geri Kazanım Noktalarının Atıksu Karakterizasyonu 98
4.1.2.1.Dispers Emprime Baskı Banyolarının Değerlendirilmesi 99
4.1.2.2.Reaktif Emprime Baskı Banyolarının Değerlendirilmesi 99
4.1.2.3.Emprime Karışım ve Isı Geri Kazanım Noktalarının Değerlendirilmesi 100
4.1.3. KOİ Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 103
4.1.4. Renk Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 104
4.1.5. Partikül Boyut Dağılımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi 107
4.1.6. Endüstriyel Atıksuyun Karakterizasyonu Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi 108
4.2. Geri Kazanım Noktaları Çapraz Akış Membran Filtrasyon Deneylerinin Değerlendirilmesi 113
4.2.1. Sıcak Su Geri Kazanım Çalışmalarının Değerlendirilmesi 116
4.2.1.1.Dispers Emprime Baskı Banyolarından Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi 116

Sayfa

4.2.1.1.1.Dispers Emprime Baskı Banyoları ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Ham ve Süzüntü Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 117
4.2.1.1.2.Dispers Emprime Baskı Banyoları ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Akı Davranışlarının Değerlendirilmesi 127
4.2.1.1.3.Dispers Emprime Baskı Banyoları ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi 135
4.2.1.2. Isı Geri Kazanım Noktasında Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi 143
4.2.1.2.1.Isı Geri Kazanım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Ham ve Süzüntü Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 143
4.2.1.2.2.Isı Geri Kazanım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Akı Davranışlarının Değerlendirilmesi 155
4.2.1.2.3.Isı Geri Kazanım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi 163
4.2.1.3. Emprime Karışım Noktasında Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi 170
4.2.1.3.1.Emprime Karışım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Ham ve Süzüntü Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 170
4.2.1.3.2.Emprime Karışım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Akı Davranışlarının Değerlendirilmesi 184
4.2.1.3.3.Emprime Karışım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi 194

Sayfa

4.2.1.4. Viskon Kasar 4. Durulama Banyosundan Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi 202
4.2.2. Kostik Geri Kazanımı Çalışmalarının Değerlendirilmesi 205
4.2.2.1. Viskon Kasar Ana Banyosundan Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi 205
4.2.2.1.1. Viskon Kasar Ana Banyo ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Ham ve Süzüntü Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 206
4.2.2.1.2. Viskon Kasar Ana Banyo ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Akı Davranışlarının Değerlendirilmesi 218
4.2.2.1.3. Viskon Kasar Ana Banyo ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi 225
4.2.3. Laboratuvar Ölçekli Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi 233
4.2.4. Emprime Karışım Noktasının Detaylı Değerlendirilmesi 247
4.2.4.1. Emprime Karışım 2. Set için Kirletici Boyut Dağılımı 247
4.2.4.2. Emprime Karışım Noktası Üç Farklı İşletme Basıncında İşletilen 3kDa Tubular Membran Filtrasyonu Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 251
4.2.4.3. Emprime Karışım Noktası Üç Farklı İşletme Basıncında İşletilen 3 kDa Tubular Membran Filtrasyonu Akılarının ve Membran Temizliğinin Saf Su Akısı Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi 255
4.2.4.4. Emprime Karışım Noktası Üç Farklı İşletme Basıncında İşletilen 3 kDa Tubular Membran Filtrasyonu Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi 258
4.3. Yerli Üretilen Seramik Membranların Performans Deneyleri 262
4.3.1. Saf Su Geçirgenlik Deneylerinin Değerlendirilmesi 262
4.3.2. Moleküler Engelleme Sınırı (MWCO) Deneylerinin Değerlendirilmesi 266

Sayfa

4.4. Potansiyel Geri Kazanım Noktalarında Elde Edilen Sonuçların Geri Kazanım Açısından Değerlendirilmesi 269
4.4.1. Seramik Membra Filtrasyonu ile Sıca Atıksu Geri Kazanımının Teknik ve Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi 272
4.4.2. Seramik Membran Filtrasyonu ile Kostik Geri Kazanımının Teknik ve Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi 275
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 277

KAYNAKLAR 280
ÖZGEÇMİŞ 289
EKLER 290

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
A^0	:	Angstrom
Da	:	Dalton
cm	:	Santimetre
J	:	Akı (LMH)
kDa	:	Kilo Dalton
Kn	:	Kilonewton
Na+	:	Sodyum İyonu
m	:	Metre
mm	:	Milimetre
MPa	:	Megapascal
nm	:	Nanometre
Pt-Co	:	Pilatin Kobalt
R	:	Direnç (Resistance, m^{-1})
Rc	:	Fiziksel Olarak Uzaklaştırılabilen Direnç
Rif	:	Geri Çevrilemeyen Kirlenme (Irreversible Fouling) Direnci
Rm	:	Kirlenmemiş membran direnci
Rp	:	Fiziksel olarak uzaklaştırılamayan membran direnci
Rt	:	Toplam Membran Direnci
AAT	:	Atıksu Arıtma Tesisi
ADMI	:	Amerikan Boya Üreticileri Enstitüsü
AKM	:	Askıda Katı Madde
CFV	:	Çapraz akış filtrasyon hızı (Cross flow velocity)
ÇTÜE	:	Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü
EC	:	Elektriksel İletkenlik
H_3PO_4	:	Fosforik Asit
KOİ	:	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LMH	:	Litre/m^2-saat
MAM	:	Marmara Araştırma Merkezi

ME	:	Malzeme Enstitüsü Prof. Dr. Dinçer TOPACIK Ulusal Membran Teknolojileri
MEMTEK	:	Uygulama -Araştırmaları Merkezi
MET	:	Mevcut En İyi Teknikler
MF	:	Mikrofiltrasyon
MWCO	:	Moleküler Engelleme Sınırı (MolecularWeight Cut Off)
NaOH	:	Sodyum Hidroksit
NF	:	Nanofiltrasyon
OSB	:	Organize Sanayi Bölgesi
PEG	:	Polietilen Glikol
PEO	:	Polietilen Oksit
RES	:	Renklilik Sayısı
RO	:	Ters Ozmoz
TKM		Toplam Katı Madde
TÜBİTAK	:	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TOK	:	Toplam Organik Karbon
TMP	:	İşletme Basıncı (Trans Membrane Pressure
UF	:	Ultrafiltrasyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Tekstil sektöründe kostikleme ve durulama banyoları örnek akım şeması.	8
2.2:	Membran prosesler ile iki fazın seperasyonunun şematik gösterimi.	27
2.3:	En çok kullanılan membran filtrasyonu türlerinde ayrımı gerçekleşen maddelerin şematik gösterimi.	28
2.5:	İki temel filtrasyon işletme modunun şematik gösterimi.	34
3.1:	Tekstil firmasına ait iş akım şeması.	49
3.2:	Kasar ana banyo ve durulama banyoları şematik gösterim.	50
3.3:	a) Kasar ana banyo b) Kasar durulama banyoları.	50
3.4:	Reaktif emprime baskı banyoları şematik gösterimi.	51
3.5:	Dispers emprime baskı banyoları şematik gösterimi.	51
3.6:	a) Emprime baskı banyoları, b) Emprime karışım noktası.	52
3.7:	Pamuk Kasar-1 prosesi kostik miktarı (kg/ay).	53
3.8:	Pamuk Kasar-2 prosesi kostik miktarı (kg/ay).	54
3.9:	Viskon Kasar prosesi kostik miktarı (kg/ay).	54
3.10:	Tekstil firmasında yıkama işlemlerinin bulunduğu prosesler.	55
3.11:	Atıksu karakterizasyonu gerçekleştirilen prosesler.	57
3.12:	TAMI -STERLITECH Ticari Seramik Membranlar a) tubular tek kanal, b) disk 47 mm ve disk 90 mm.	59
3.13:	a) Dead-end Sistemi Şematik Diyagramı, b) Ölü Uç Hücresi CELLULEDIS47V.	60
3.14:	a) Çapraz Akış Sistem Şematik Diyagramı, b) Çapraz Akış Hücresi, CELLULEDIS90VT.	61
3.15:	Tubular çapraz akış membran filtrasyon sistemi (Tami Minifilter-Valisette ceramic test cell).	62
3.16:	Membran kirlenmesi tipleri.	68
3.17:	Seramik membran çapraz akış filtrasyon deney prosedürü.	71
3.18:	Filtrasyon deneyi aşamalarında seri direnç modelinin bileşenleri.	73
4.1:	Viskon Kasar ana banyo için Elektriksel İletkenlik, KOI, Renk ve NaOH analizi sonuçları.	86

Şekil No: **Sayfa**

4.2: Pamuk Kasar-1 ana banyo için Elektriksel İletkenlik, KOI, Renk ve NaOH analizi sonuçları. 87

4.3: Viskon Kasar prosesi için KOI konsantrasyonu (mg/L) grafiği. 92

4.4: Pamuk Kasar-1 prosesi için KOI konsantrasyonu (mg/L) grafiği. 92

4.5: Kasar prosesleri için renk analizi sonuçları. 94

4.6: Kasar prosesleri için ortalama partikül boyut dağılımı. 97

4.7: Dispers Emprime Reaktif Isı Geri Kazanım atıksularının KOI sonuçları (mg/L). 103

4.8: Dispers - Emprime - Reaktif - Isı Geri Kazanım atıksularının renk analizi ortalama sonuçları. 106

4.9: Dispers-Emprime-Karışım-Isı Geri Kazanım için ortalama partikül boyut dağılımı. 107

4.10: Dispers Emprime Baskı 1.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 121

4.11: Dispers Emprime Baskı 2.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 121

4.12: Dispers Emprime Baskı 3.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 122

4.13: Dispers Emprime Baskı 1.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 122

4.14: Dispers Emprime Baskı 2.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 123

4.15: Dispers Emprime Baskı 3.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 123

4.16: Dispers Emprime Baskı 1.set renk RES değerleri (nm). 124

4.17: Dispers Emprime Baskı 1.set renk giderimleri (%). 124

4.18: Dispers Emprime Baskı 2.set renk RES (nm) değerleri ve giderimleri (%). 125

4.19: Dispers Emprime Baskı 3.set renk RES değerleri (nm) ve giderimleri (%). 125

4.20: Dispers Emprime Baskı 1.set ham ve süzüntüler. 126

4.21: Dispers Emprime Baskı 2.set ham ve süzüntüler. 126

4.22: Dispers Emprime Baskı 3.set ham ve süzüntüler. 127

4.23: Dispers Emprime Baskı 1.set atıksu akısı zaman grafiği. 131

4.24: Dispers Emprime Baskı 2.set atıksu akısı zaman grafiği. 131

4.25: Dispers Emprime Baskı 3.set atıksu akısı zaman grafiği. 132

4.26: Dispers Emprime Baskı 1.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 132

4.27: Dispers Emprime Baskı 2.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 133

4.28: Dispers Emprime Baskı 3.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 133

4.29: Dispers Emprime Baskı 1.set akı geri kazanım oranları (%). 134

Şekil No: **Sayfa**

4.30: Dispers Emprime Baskı 2.set akı geri kazanım oranları (%). 134
4.31: Dispers Emprime Baskı 3.set akı geri kazanım oranları (%). 135
4.32: Dispers Emprime Baskı 1.set direnç değerleri (m^{-1}). 140
4.33: Dispers Emprime Baskı 1.set direnç oranları (%). 140
4.34: Dispers Emprime Baskı 2.set direnç değerleri (m^{-1}). 141
4.35: Dispers Emprime Baskı 2.set direnç oranları (%). 141
4.36: Dispers Emprime Baskı 3.set direnç değerleri (m^{-1}). 142
4.37: Dispers Emprime Baskı 3.set direnç oranları (%). 142
4.38: Isı Geri Kazanım 1.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 148
4.39: Isı Geri Kazanım 2.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 148
4.40: Isı Geri Kazanım 3.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 149
4.41: Isı Geri Kazanım 1.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 149
4.42: Isı Geri Kazanım 2.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 150
4.43: Isı Geri Kazanım 3.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 150
4.44: Isı Geri Kazanım 1.set renk RES değerleri (nm). 151
4.45: Isı Geri Kazanım 1.set renk giderimleri (%). 151
4.46: Isı Geri Kazanım 2.set renk RES değerleri (nm). 152
4.47: Isı Geri Kazanım 2.set renk giderimleri (%). 152
4.48: Isı Geri Kazanım 3.set renk RES değerleri (nm) ve giderim verimleri (%). 153
4.49: Isı geri kazanım 1.set ham ve süzüntüler. 154
4.50: Isı geri kazanım 2.set ham ve süzüntüler. 154
4.51: Isı geri kazanım 3.set ham ve süzüntüler. 155
4.52: Isı geri kazanım 1.set atıksu akısı zaman grafiği. 159
4.53: Isı geri kazanım 2.set atıksu akısı zaman grafiği. 159
4.54: Isı geri kazanım 3.set atıksu akısı zaman grafiği. 160
4.55: Isı geri kazanım 1.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 160
4.56: Isı geri kazanım 2.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 161
4.57: Isı geri kazanım 3.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 161
4.56: Isı Geri Kazanım 1.set akı geri kazanım oranları (%). 162
4.57: Isı Geri Kazanım 2.set akı geri kazanım oranları (%). 162
4.60: Isı Geri Kazanım 3.set akı geri kazanım oranları (%). 163
4.61: Isı Geri Kazanım 1.set direnç değerleri (m^{-1}). 167

Şekil No: **Sayfa**

4.62: Isı Geri Kazanım 1.set direnç oranları (%). 167

4.63: Isı Geri Kazanım 2.set direnç değerleri (m^{-1}). 168

4.64: Isı Geri Kazanım 2.set direnç oranları (%). 168

4.65: Isı Geri Kazanım 3.set direnç değerleri (m^{-1}). 169

4.66: Isı Geri Kazanım 3.set direnç oranları (%). 169

4.67: Emprime Karışım 1.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 175

4.68: Emprime Karışım 2.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 175

4.69: Emprime Karışım 3.set için KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi. 176

4.70: Emprime Karışım 2.set 3 kDa için KOI değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 176

4.71: Emprime Karışım 1.set için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 177

4.72: Emprime Karışım 2.set için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 177

4.73: Emprime Karışım 3.set için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi(%). 178

4.74: Emprime Karışım 2.set 3kDa için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 178

4.75: Emprime Karışım 2.set KOI ve TOK değerleri (mg/L). 179

4.76: Emprime Karışım 1.set için renk RES değerleri (nm) ve giderimi (%). 179

4.77: Emprime Karışım 2.set için Renk RES değerleri (nm). 180

4.78: Emprime Karışım 2.set için renk giderimi (%). 180

4.79: Emprime Karışım 3.set için Renk RES değerleri (nm) ve giderimi (%). 181

4.80: Emprime Karışım 3 kDa için renk RES değerleri (nm). 181

4.81: Emprime Karışım 3 kDa için renk giderim verimi (%). 182

4.82: Emprime Karışım Renk RES değerleri (nm). 182

4.83: Emprime karışım 1.set ham ve süzüntüler. 183

4.84: Emprime karışım 2.set ham ve süzüntüler. 183

4.85: Emprime karışım 3.set ham ve süzüntüler. 184

4.86: Emprime Karışım 1.set atıksu akısı zaman grafiği. 189

4.87: Emprime Karışım 2.set atıksu akısı zaman grafiği. 189

4.88: Emprime Karışım 3.set atıksu akısı zaman grafiği. 190

4.89: Emprime Karışım 2.set 3 kDa atıksu akısı zaman grafiği. 190

4.90: Emprime Karışım 1.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 191

4.91: Emprime Karışım 2.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 191

4.92: Emprime Karışım 3.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jwo). 192

4.93: Emprime Karışım 2.set 3 kDa atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 192

Şekil No: **Sayfa**

4.94: Emprime Karışım 1.set akı geri kazanım oranları (%). 193

4.95: Emprime Karışım 2.set akı geri kazanım oranları (%). 193

4.96: Emprime Karışım 3.set akı geri kazanım oranları (%). 194

4.97: Emprime Karışım 1.set direnç değerleri (m^{-1}). 198

4.98: Emprime Karışım 1.set direnç oranları (%). 198

4.99: Emprime Karışım 2.set direnç değerleri (m^{-1}). 199

4.100: Emprime Karışım 2.set direnç oranları (%). 199

4.101: Emprime Karışım 2.set 3 kDa için direnç değerleri (m^{-1}). 200

4.102: Emprime Karışım 2.set 3 kDa için direnç oranları (%). 200

4.103: Emprime Karışım 3.set direnç değerleri (m^{-1}). 201

4.104: Emprime Karışım 3.set direnç oranları (%). 201

4.105: Viskon Kasar 4. Durulama ham ve süzüntüler. 203

4.106: Viskon Kasar Ana Banyosu atıksuyunda kaba elek sonrası kalan havlar. 205

4.107: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 211

4.108: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 211

4.109: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 212

4.110: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 212

4.111: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 213

4.112: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 213

4.113: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set için Renk RES değerleri (nm). 214

4.114: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set için renk giderimi (%). 214

4.115: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set için Renk RES değerleri (nm). 215

4.116: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set için renk giderimi (%). 215

4.117: Viskon Ana Banyo 3.set renk RES değerleri (nm) ve giderimi (%). 216

4.118: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set ham ve süzüntüler. 216

4.119: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set ham ve süzüntüler. 217

4.120: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set ham ve süzüntüler. 217

4.121: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set atıksu akısı zaman grafiği. 221

4.122: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set atıksu akısı zaman grafiği. 221

4.123: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set atıksu akısı zaman grafiği. 222

4.124: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 222

4.125: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 223

Şekil No: **Sayfa**

4.126: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o). 223
4.127: Kasar Ana Banyo 1.set akı geri kazanım oranları (%). 224
4.128: Kasar Ana Banyo 2.set akı geri kazanım oranları (%). 224
4.129: Kasar Ana Banyo 3.set akı geri kazanım oranları (%). 225
4.130: Kasar Ana Banyo 1.set direnç değerleri (m^{-1}). 230
4.131: Kasar Ana Banyo 1.set direnç oranları (%). 230
4.132: Kasar Ana Banyo 2.set direnç değerleri (m^{-1}). 231
4.133: Kasar Ana Banyo 2.set direnç oranları (%). 231
4.134: Kasar Ana Banyo 3.set direnç değerleri (m^{-1}). 232
4.135: Kasar Ana Banyo 3.set direnç oranları (%). 232
4.136: Emprime karışım KOI ve TOK konsantrasyonlar (mg/L). 249
4.137: Emprime karışım KOI ve TOK fark konsantrasyonları (mg/L). 249
4.138: Emprime karışım renk RES değerleri (nm). 250
4.139: Emprime karışım renk RES değerleri (nm). 250
4.140: Emprime Karışım TMP için KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 253
4.141: Emprime Karışım TMP için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%). 253
4.142: Emprime Karışım TMP için RES değerleri (nm) ve giderimi (%). 254
4.131: Emprime karışım 3 kDa ve 3 farklı TMP için ham ve süzüntüler. 254
4.144: Emprime Karışım farklı TMP'de atıksu akısı zaman grafiği. 257
4.145: Emprime Karışım farklı TMP'de atıksu akı azalması (Jwi/Jwo). 257
4.146: Emprime karışım farklı TMP'da akı geri kazanım oranları (%). 258
4.147: Emprime karışım farklı TMP için dirençler (m^{-1}). 261
4.148: Emprime karışım farklı TMP için direnç oranları (%). 261
4.149: TiTi 5 f ve ds değerlerinden elde edilen doğru denklemi. 266
4.150: SH6 (1) f ve ds değerlerinden elde edilen doğru denklemi. 267
4.151: AlAl-1 f ve ds değerlerinden elde edilen doğru denklemi. 268

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	Kostikleme prosesinden kaynaklı farklı atıksuların karakteristikleri.	7
2.2:	Elyaf türlerine göre boyar maddeler ve uygulanma yöntemleri.	8
2.3:	Tekstil endüstrisinde uygulanan proseslerde kullanılan kimyasallar ve atıksu özellikleri.	15
2.4:	Boyama atıksularının karakterizasyonu.	18
2.5:	Çıkış suyu parametre yükleri.	18
2.6:	Tekstil endüstrisi atıksularının proses bazlı karakterizasyonu.	19
2.7:	Tekstil endüstrisi atıksu karakterizasyonu.	20
2.8:	Membran proseslerin tarihsel gelişimi.	26
2.9:	Bazı membran prosesler ve sürücü kuvvetleri.	27
2.10:	Nanofiltrasyon ve Ters Ozmoz membranların farklı moleküleri tutma verimlerinin karşılaştırılması.	31
2.11:	Farklı basınç sürücülü membran proseslerinin karşılaştırılması.	31
2.12:	Su arıtımında kullanılan yoğun ve gözenekli membranların özellikleri.	32
2.13:	Çapraz akışlı filtrasyon ve ölü uç filtrasyonun ayırma verimleri arasındaki farklar.	34
2.14:	Seramik membranların polimerik membranlar ile karşılaştırılması.	38
2.15:	Tekstil endüstrisi proses ve atıksularında kullanılan membran tipleri ve işletme koşulları.	43
3.1:	Ham atıksu ve süzüntülerde yapılan atıksu analizleri ve yöntemleri.	56
3.2:	Ticari seramik membranların özellikleri.	58
3.3:	Membran filtrasyon hücrelerinin fiziksel özellikleri.	59
3.4:	Membran filtrasyonunda gerçekleşen dirençler ve tanımları.	72
4.1:	Viskon kasar prosesi atıksu karakterizasyonu.	81
4.2:	Pamuk kasar-1 prosesi atıksu karakterizasyonu.	83
4.3:	Pamuk kasar-2 prosesi atıksu karakterizasyonu.	84
4.4:	Pamuk kasar-2 ana banyo analiz sonuçları.	88
4.5:	Kasar ana banyolar Na^+ ve NaOH* konsantrasyonları.	89
4.6:	Kasar proseslerinde ana banyo ve durulama banyoları için Na^+ ve NaOH ortalama konsantrasyonları.	90

Tablo No: **Sayfa**

4.7: Kasar proseslerinde bome tayini. 91

4.8: Kasar prosesleri için ortalama partikül boyutu dağılımı sonuçları. 96

4.9: Sıcak su geri kazanımı hedef noktalarının sıcaklık, debi ve proses sıklığı. 98

4.10: Reaktif ve dispers emprime baskı banyolarının atıksu karakterizasyonu: 101

4.11: Emprime karışım ve ısı geri kazanım noktalarının atıksu karakterizasyonu. 102

4.12: Tekstil endüstrilerinden alının karışık tekstil atıksuyu RES değerleri. 104

4.13: Emprime baskı banyoları atıksu karakterizasyonunun sıcak su geri kazanımı açısından değerlendirilmesi. 108

4.14: Kasar proseslerinde ana banyo ve 1. ve 4. durulama banyoları için Na^+ ve NaOH ortalama konsantrasyonları. 109

4.15: Sıcak akımlarda yapılan atıksu karakterizasyon sonuçları ve literatür ile karşılaştırılması. 111

4.16: Kostik akımlarında yapılan atıksu karakterizasyon sonuçları ve literatür ile karşılaştırılması. 112

4.17: Geri kazanım hedefleri için numune alma noktaları. 113

4.18: Laboratuvar ölçekli çapraz akış filtrasyon deneyleri. 114

4.19: Dispers Emprime Baskı 1. Set analiz sonuçları. 119

4.20: Dispers Emprime Baskı 2. Set analiz sonuçları. 119

4.21: Dispers Emprime Baskı 3. Set analiz sonuçları. 120

4.22: Dispers Emprime Baskı 1. Set akı sonuçları. 129

4.23: Dispers Emprime Baskı 2. Set akı sonuçları. 129

4.24: Dispers Emprime Baskı 3. Set akı sonuçları. 130

4.25: Dispers Emprime Baskı 1. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 138

4.26: Dispers Emprime Baskı 2. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 138

4.27: Dispers Emprime Baskı 3. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 139

4.28: Isı Geri Kazanım Noktası 1. Set analiz sonuçları. 146

4.29: Isı Geri Kazanım Noktası 2. Set analiz sonuçları. 146

4.30: Isı Geri Kazanım Noktası 3. Set analiz sonuçları. 147

4.31: Isı Geri Kazanım 1. Set akı sonuçları. 157

4.32: Isı Geri Kazanım 2. Set akı sonuçları. 157

4.33: Isı Geri Kazanım 3. Set akı sonuçları. 158

4.34: Isı Geri Kazanım 1. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 165

Tablo No: **Sayfa**

4.35: Isı Geri Kazanım 2. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 165
4.36: Isı Geri Kazanım 3. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 166
4.37: Emprime Karışım 1. Set analiz sonuçları. 173
4.38: Emprime Karışım 2. Set analiz sonuçları. 174
4.39: Emprime Karışım 3. Set analiz sonuçları. 174
4.40: Emprime Karışım 1. Set akı sonuçları. 187
4.41: Emprime Karışım 2. Set akı sonuçları. 188
4.42: Emprime Karışım 3. Set akı sonuçları. 188
4.43: Emprime Karışım Noktası 1. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 196
4.44: Emprime Karışım Noktası 2. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 197
4.45: Emprime Karışım Noktası 3. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 197
4.46: Viskon Kasar 4. Durulama analiz sonuçları. 204
4.47: Viskon Kasar Ana Banyo 1. Set analiz sonuçları. 209
4.48: Viskon Kasar Ana Banyo 2. Set analiz sonuçları. 209
4.49: Viskon Kasar Ana Banyo 3. Set analiz sonuçları. 210
4.50: Viskon Kasar 1.Set akı sonuçları. 219
4.51: Viskon Kasar 2.Set akı sonuçları. 219
4.52: Viskon Kasar 3.Set akı sonuçları. 220
4.53: Viskon Kasar Ana Banyo 1. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 228
4.54: Viskon Kasar Ana Banyo 2. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 228
4.55: Viskon Kasar Ana Banyo 3. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri. 229
4.56: Çapraz akış filtrasyonu analiz sonuçlarının genel değerlendirilmesi. 236
4.57: Sıcak su akımlarında elde edilen atıksu karakterizasyonun geri kullanım limitleri ile karşılaştırılması 239
4.58: Çapraz akış filtrasyonu akıların ve kirlenme mekanizmasının genel değerlendirilmesi. 243
4.59: Emprime Karışım atıksuyu kirleticilerin boyut dağılımı çalışması sonuçları (toplam konsantrasyon). 248
4.60: Emprime Karışım 3 farklı TMP deneyleri analiz sonuçları. 252
4.61: Emprime Karışım tubular 3 kDa için farklı TMP akı sonuçları. 256
4.62: Emprime Karışım 3 kDa farklı TMP direnç değerleri. 260

Tablo No: **Sayfa**

4.63: Titan altlık üzerine Titan ara tabaka kapanmış tubular seramik membranların safsu geçirgenlik testleri. 263
4.64: Alumina altlık üzerine Titan ara tabaka kaplanmış tubular seramik membranların safsu geçirgenlik testleri. 264
4.65: Alumina A7 serisi disk tip (Φ 47 mm) seramik membranların safsu geçirgenlik testleri. 264
4.66: Titan A9 serisi disk tip (Φ 47 mm) seramik membranların safsu geçirgenlik testleri. 265
4.67: Titan disk tip (Φ 47 mm) seramik membranların safsu geçirgenlik testleri. 265
4.68: TiTi 5 MWCO deney seti ham ve süzüntü TOK değerleri. 266
4.69: SH6 (1) MWCO deney seti ham ve süzüntü TOK değerleri. 267
4.70: Al Al-1 MWCO deney seti ham ve süzüntü TOK değerleri. 268
4.71: Sıcak Su Geri Kazanım Noktalarının Değerlendirilmesi. 271
4.72: Sıcak su ve kostik geri kazanımı için hesaplanan maliyetler. 276

1.GİRİŞ

Günümüzde kullanılabilir su kaynakları giderek azalmaktadır. Ülkemiz, kişi başına düşen yıllık yaklaşık 1.519 m^3 kullanılabilir su miktarı ile su azlığı yaşayan ülkeler arasında olup 2040 yılında su stresi yaşayacak ülkeler arasında gösterilmektedir. [DSİ, 2016], [WRI, 2016]. Ülkemizde su politikalarından sorumlu kurumlar artık suyun sadece nitelik değil nicelik olarak korunması yönünde önlemler almaktadırlar. Su kaynaklarımızın su kalitesinin ve miktarının korunması amacı ile atıksuların arıtılıp yeniden kullanılması zorunlu bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu sebepler ile günümüzde çevre teknolojilerinde gelinen noktada atıksular ileri arıtma yöntemleri ile yeniden kullanılabilmektedir. İleri arıtma teknolojilerinde membran prosesler son yıllarda önemli bir rol almaktadır [Van der Bruggen et al., 2003], [Mujeriego and Asano, 1999], [McGinnis and Elimelech, 2008], [Fane, 1996], [Wintgens et al., 2005].

Su tüketiminin yoğun olduğu gıda, tekstil, metal, kağıt ve kimya endüstrilerinde [EUROSTAT, 2016] su geri kazanım ve yeniden kullanım uygulamalarının kullanılması; ham su tüketimini ve alıcı ortama deşarj edilen atıksuları ve atıksuların içeriğinde bulunan kirleticilerin miktarlarının azalmasında önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Ülkemizde tekstil sektöründe kaynak, hammadde ve atıkların azaltılması amacı ile Mevcut En İyi Teknikler (MET) hedefleri öneren "Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği'' 14 Aralık 2011 tarihinde 28142 sayılı resmi gazetede yayımlanmıştır. Tebliğe göre üretim kapasitesi 10 ton/gün üzerinde olan yıkama, ağartma, merserizasyon, haşıllama, baskı, haşıl sökme ve benzeri ön işlem, boyama ve son işlemlerinin gerçekleştirildiği tekstil tesisleri tebliğin hükümlerine tabidir [ResGaz 1, 2011]. İlgili tebliğin ekinde, terbiye atıksuyu (C.2.1.2) ve boyama atıksuları (C.1.2.1) için verilen MET önerisinde membran filtrasyonu önerilmektedir. Boyama atıksuları için adsorpsiyon (C.1.2.2.) ve kimyasal çöktürme (C.1.2.3.) alternatifileri, terbiye atıksularından kostik geri kazanımında buharlaştırma yöntemi (C.2.1.1.) önerilmektedir ancak bu yöntemlerde ortaya çıkması muhtemel renk problemi nedeni ile membran filtrasyonu uygulanması MET hedefi için uygun olacaktır. 10 Mart 2015 tarihinde söz konusu tebliğ revize edilerek üretim kapasitesi 1 ton/gün üzerindeki kumaş merserizasyon yapan işletmelerde tebliğ kapsamına alınmıştır [ResGaz 2,2015]. Bu işletmelerin tebliğin EK-1'de yer alan B.2.4 nolu

MET' önerilerinden birisini temiz üretim planlarında sunması gerekmektedir. Buna göre revize tebliğ hükmüne tabi olan tesislerin; merserizasyon durulama suyundaki alkalinin geri kazanılması ve tekrar kullanılması veya alkali içeren atıksuların diğer ön işlemlerinde tekrar kullanılması beklenmektedir. Alkalinin geri kazanılması ve yeniden kullanılması için membran filtrasyonu uygulanması MET hedefi için uygun olacaktır. Böylece revize edilen tebliğ ile tez önerisinin kapsadığı MET hedefleri ve çıktılarının kullanılabileceği sektör sayısı artmıştır.

Tez çalışmasında, su kullanımının yüksek olması ve "Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği''nin yayımlanmış olması sebebiyle tekstil endüstrisi atıksuları ile çalışılmıştır. İlgili tebliğe göre, tekstil sektöründe terbiye ve boyama atıksuları için MET hedefi olarak membran filtrasyonu önerilmekte, ancak üretim esnasında yüksek sıcaklıkta ve yüksek alkali atıksu oluşumu polimerik membranların kullanımını kısıtlamaktadır. Benzer şekilde, yine tebliğde yer alan kostik geri kazanımı için hali hazırda uygulanan buharlaştırma yöntemi, kazanılan kostikte renk ve safsızlıklar kalması sebebiyle kullanıcı tarafından tercih edilmemekte ve geri kazanım yaygınlaşamamaktadır.

"Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği'' ekinde verilen yüksek alkali içerikli sular (B 2.4.1 ve C 2.1.2) ile boyalı ve sıcak süzüntünün (C 1.2.1) geri kazanılması için termal ve mekanik olarak dayanımı yüksek olan seramik membranların kullanımı MET hedeflerinin uygulanabilmesi için uygun olacaktır. Seramik membran filtrasyonu, hem yüksek alkali atıksuların, hem kostiğin, hemde yüksek sıcaklıktaki atıksuların sıcak olarak geri kazanımı için iyi bir alternatif oluşturmaktadır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Tez çalışmasında tekstil sektöründe kostik geri kazanımı ve sıcak su geri kazanımı hedeflenmiş olup böylece uygulamaya yönelik çözüm getirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda gerçekleşen tez çalışmalarının kapsamı; tekstil sektöründe; ön terbiye işlemlerinden kasar ve kostikleme sonucu oluşan yüksek alkali özellikteki sulardan kostik soda (NaOH) ve emprime baskı sonrası gerçekleştirilen yıkama işlemleri sonucunda oluşan sıcak atık sulardan ise boyar maddeler, kostik, hidrojen sülfit, sabun ve çeşitli inorganik bileşikleri ayırıp sıcaklığı 70-95 ^{O}C olan suyu geri kazanarak yeniden prosese dahil etmektir.

Seramik membran filtrasyonunda yüksek sıcaklıkta yüksek akı potansiyelinin bulunması da tez çalışması sonuçlarının diğer sektörlerin sıcak su geri kazanımı ve sıcak atıksularının arıtılmasında olumlu etkileri olacaktır.

Tez çalışmasının çıktıları ile seramik membran proseslerinin, yüksek sıcaklık, yüksek asidik veya yüksek bazik özelliklere sahip endüstriyel atıksuların ve değerli kimyasalların geri kazanımına yönelik olarak uygulamasının yaygınlaştırılmasında öncü olacağı düşünülmektedir.

Polimerik membranların uygulanamadığı endüstriyel atıksulara seramik membranların uygulanması açısından tez çalışmasının sahip olduğu özgün değerler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Ülkemiz koşullarında tekstil endüstrisi atıksularından su geri kazanımı, katma değeri yüksek kimyasalların geri kazanılması ve tehlikeli toksik maddelerin arıtılması seramik membranlar ile yapılamamaktadır. Polimerik membranlarda yapısal dezavantajları nedeni ile kullanımda yeterli olamamaktadır. Tez çalışmalarında kullanılan seramik membranlar ile tekstil sektöründe değerli kimyasal ve sıcak su geri kazanımı laboratuvar ölçeğinde sağlanmıştır.

Termal ve mekanik dayanımı polimerik membranlara göre yüksek olan seramik membranların, tekstil sektörü dışında yüksek veya düşük pH sahip ve/veya sıcak atıksuları bulunan diğer endüstrilerde su geri kazanımı için kullanımları mümkün olabilecektir.

Su geri kazanımı potansiyeli bulunan birden fazla prosesten alınan gerçek atıksular ile laboratuvar ölçekli çalışmalar yapılarak elde edilen sonuçların gerçekçi olduğu düşünülmektedir.

Yapılan tez çalışması Türkçe ve yabancı literatürde seramik mebranlar ile farklı tekstil prosesleri için yapılan oldukça kapsamlı bir çalışma olup sonuçları literatüre kazandırılmış olacaktır. Ayrıca, kullanılan yöntemler ve metotlar detaylı olarak verilmiş olup bundan sonra yapılacak olan seramik membran filtrasyon çalışmalarına katkısı olacaktır.

2.LİTERATÜR

2.1. Tekstil Endüstrisi ile İlgili Genel Bilgiler

- Kullanılan Prosesler

Tekstil endüstrisi gün geçtikçe gelişen sanayilerden biri olup yüksek debilerde ve farklı kimyasal içerikli atıksuların oluşmasına neden olur. Tekstil sanayi doğal ve sentetik elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünleri üreten tesisleri kapsar.

Doğal elyaflar arasında pamuk, keten, kenevir, yün, ipek, mohair ve kıllar bulunur. Sentetik elyaflar arasında ise reyon, kazein, asetatselüloz ester, naylon, polyester, akrilik ve vinil bulunur [Tünay, 1996]. Tekstil sanayi kullanılan elyaf türüne göre başlıca 3 kısma ayrılır.

i) Pamuklu Tekstil Sanayi
ii) Yünlü Tekstil Sanayi
iii) Sentetik Tekstil Sanayi

Tekstil endüstrisinde kullanılan prosesler kısaca aşağıda anlatılmıştır;

Haşıllama, pamuk ipliklerinden örülmüş kumaş elde edilirken, örme işlemi esnasında iplikleri kuvvetlendirmek, iplikler arasında meydana gelebilecek sürtünmeleri ve hasarları önlemek amacı ile çözgü ipliklerine nişasta, polivinil asetat, karboksimetil selüloz gibi sentetik haşıl maddeleri eklenmektedir.

Örme, ipliklerden ürün elde etmek için yapılan işleme örme denmektedir. Haşıl sökme, çözgü ipliklerinin mukavemetini arttırarak dokumada kopmaları önlemek üzere dokuma öncesi uygulanan haşıl maddelerini baskı ve boyamadan önce tekstil malzemesinden uzaklaştırmak için çözünürlük, hidroliz ve oksidasyon metodlarıyla yapılan işlemlerdir.

Yıkama, kumaş ve doğal sentetik elyaf üzerindeki harman yağlarını, yabancı maddeleri gidermeye yönelik bir işlemdir. Bu işlemin yoğunluğu giderilmesi istenen maddelerin cinsine bağlıdır.

Ağartma, beyaz veya açık renk tonlarında üretim yapılması durumunda pamuk ve elyaftaki sarımsı rengin giderilmesi amacıyla yapılan oksidasyon işlemidir. Ağartma hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit veya sodyum klorit gibi ağartıcılar ve sülfirik asit, hipoklorik asit, kostik soda, sodyum bisülfit gibi kimyasallar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

Merserizasyon, saf pamuğun konsantre kostik soda banyosundan geçirilmesine dayanmaktadır. Daha sonra nötralizasyon amacı ile asitli yıkama yapılır. Bu işlemin amacı ürüne parlaklık vermek ve daha yumuşak bir yapıya sahip olmasını sağlamaktır.

Karbonizasyon, yün üzerindeki bitki artıklarını temizlemek amacıyla %100 yüne uygulanan bir işlemdir. Bu işlemden geçirilecek madde önce seyreltik sülfürik asit solüsyonundan geçirilmekte, daha sonra kurutulup, pişirilmektedir. Sert selülozik maddeler mekanik işlemler ile uzaklaştırılmaktadır. Daha sonra sodyum karbonat ile nötralize edilen yün elyaf durulama sularından geçirilmekte ve kurutulmaktadır.

Boyama, kumaş ve elyaf gibi maddelerin renkli hale getirilmesi işlemine boyama adı verilmektedir. Boyar maddeler boyanacak cisimler ile devamlılık ile dayanıklılık arz eden bir şekilde birleşmekte ve boyanan cismin yüzeyini değiştirmektedir [Kurt, 2012].

Tez kapsamında, kostik geri kazanımı ve sıcak su geri kazanımı hedeflendiğinden ilerleyen bölümde kostikleme işlemi ve boya baskı prosesleri detaylı olarak irdelenmiştir.

Kostikleme/kasar işlemi, pamuk elyafına özgü bir işlem olup, pamuklu iplik, dokuma ya da örme kumaşlara kalıcı bir parlaklık kazandıran, renk verimini arttıran ön terbiye işlemidir.

- Kostikleme/kasar işlemi atıksuyunun özellikleri;

Kostikleme işlemi sonrasında oldukça alkali (60-70 g/L NaOH), renkli (4.000 – 10.000 Pt-Co), çeşitli organik ve inorganik kirleticilerin bulunduğu sıcak atıksu (40-50 ^{O}C) oluşmaktadır [Yang et al., 2007], [Varol, 2008], [Varol et al., 2015]. Kostikleme atıksuyu düşük KOİ, BOİ ve AKM içermekte olup yüksek pH değerine sahiptir. Ağartma işlemi sonrasında kostikleme işlemi gerçekleştiğinden ağartma işlemi atıksuyu özelliklerini de taşımaktadır. Literatürde ağartma işlemi atıksuyunda Na^{+}, NH_4^{+}, ClO^{-}, Cl^{-} ve O_2^{2-}, gibi inorganik kirleticiler mevcuttur. Kostikleme

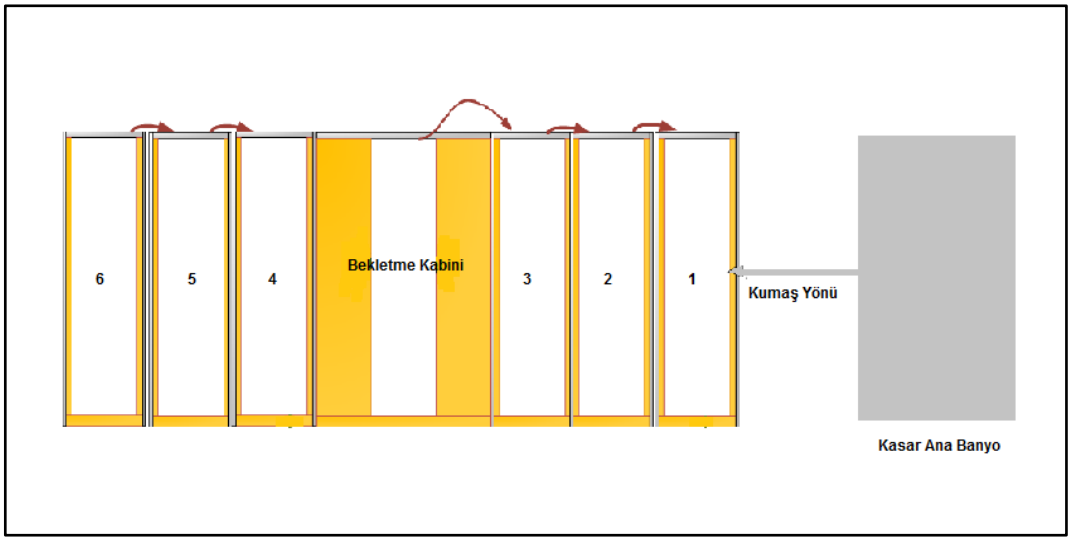
işleminden kaynaklı inorganik kirleticiler (Na^+, NH_4^+, CO_3^{2-}ve SO_4^{2-}) ve organik kirleticiler (alkol sülfatları, an iyonik yüzey aktif maddeler, kresol vb.) olarak tanımlanmıştır [Venceslau et al., 1994]. Giwa ve arkadaşları (2012) tarafından tekstil atıksuyunun temel kirletici tipleri ve kaynakları verilmiştir [Giwa and Ogunribido, 2012]. Buna göre pH ve tuzların esas kaynağı ağartma ve kostikleme işlemleridir. Tablo 2.1' de farklı kostik proseslerinden kaynaklı atıksuların karakterizasyonu verilmektedir [Marcucci et al., 2002].

Tablo 2.1**:** Kostikleme prosesinden kaynaklı farklı atıksuların karakteristikleri.

Parametre	**Minimum**	**Maksimum**
pH	6	12,8
İletkenlik (mS/cm)	2,5	26
KOİ (mg/L)	706	6.755
Renk (Pt-Co)	1.179	6.775
Alkalinite (mg/L)	310	6.140
AKM (mg/L)	58	467
Bulanıklık (NTU)	154	488

Şekil 2.1'de genel bir kostikleme/kasar prosesi akım şeması verilmektedir. Bu proseste ham kumaş yoğun kostiğe (22 Bome, pH=13-14, T=40 ^{O}C) muamele edildikten sonra, yüksek sıcaklıkta durulama banyolarına alınmaktadır. Bu banyolarda genellikle ilk iki banyoda yüksek pH ve kostik içeriği bulunmaktadır [Varol , 2008], [Varol et al., 2015], [Yang et al., 2007].

Tekstil sektöründe yıkama işlemleri, pigment baskılar dışındaki bütün baskılarda boya fiksajını yıkama işlemi takip eder. Böylece kıvam maddelerinin, fikse olmamış boya partüküllerinin, kimyasal madde artıkları vs. nin kumaştan uzaklaştırılması, mümkün olur. Bazı boyar maddelerin (örneğin küp boyaların) fiksajı yıkama sırasında tamamlanır. Sonuç olarak yıkama optimum haslık özellikleri sağlar, rengi parlatır. Elyaf üzerine tutulmuş boyar maddelerin üründen uzaklaştırılması amacı ile boyama ve baskı işlemlerinden sonra yıkama yapılır [İçoğlu, 2006].



Şekil 2.1: Tekstil sektöründe kostikleme ve durulama banyoları örnek akım şeması.

Elyaf türlerine göre kullanılan boyar maddeler, uygulanma yöntemleri ile atıksu içerikleri Tablo 2.2' de verilmektedir [EPA, 1996].

Tablo 2.2: Elyaf türlerine göre boyar maddeler ve uygulanma yöntemleri.

Boyar Madde Sınıfı	**Elyafa Tutulma %**	**Uygulandığı Elyaf Türü**	**Uygulanma Yöntemi**	**Atıksu Özelliği**	**İçerdiği Metal**
Dispers Boyar Maddeler	80-92	Polyester, asetat ve diğer sentetikler	pH=4,5 ve 130°C	Nötral	Yok
Reaktif Boyar Maddeler	50-80	Pamuk, viskon, yün	Alkali ortamda ve tuz ilavesi ile	Alkali, yüksek tuz konsantrasyonu	Cu, Ni
Asit Boyar Maddeler	80-93	Yün, naylon	pH=3-5 arasında, asidik karakterde, 50-110 ^{O}C	Asidik, ağır metal tuzları	Cu, Cr, Co

2.2. Endüstrilerde Su ve Değerli Hammadde Geri Kazanımının Önemi

Günümüzde çok hızlı tükenmekte olan su kaynakları nedeni ile su kaynaklarının kalitesi ve miktarının korunması için ilgili kurumlar tarafından önlemler alınmakta ve düzenlemeler yapılmaktadır.

Su kaynaklarının su kalitesinin ve miktarlarının korunması amacı ile atıksuların arıtıldıktan sonra yeniden kullanılması ve kirletici vasfı yüksek değerli kimyasalların geri kazanılarak prosese dahil edilmesi ve deşarj edilmesinin önüne geçilmesi için araştırılmalar yapılmaktadır.

Vajnhandl ve Valh tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada ekonomik büyüme senaryolarına gore küresel su tüketiminin 2009 yılında 800 milyar m^3 olan su tüketiminin 1,8 kat artarak 1.500 milyar m^3 artacağı tahmin edilmiştir [Vajnhandl and Valh, 2014]. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılması ile ham madde olarak kullanılan su miktarı ile alıcı ortamlara deşarj edilen atıksuların miktarı önemli ölçüde azaltılmış olacaktır. Özellikle yüksek su tüketimi olan gıda, tekstil, çelik, kağıt ve kimya gibi sektörlerde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı en uygun çözüm olacaktır [EUROSTAT, 2016].

Su tüketiminin yoğun olduğu gıda, tekstil, metal, kağıt ve kimya endüstrileri, proses sularının ve arıtılmış atıksularının yeniden kullanılması yönünde yatırımlar yapmaya başlamıştır. Ancak proses sularının ve atıksuların geri kazanımı için koagülasyon/flokülasyon, biyolojik arıtma, kum filtrasyonu gibi klasik yöntemlerin yanı sıra yeni arıtma yöntemlerinin de kullanılması gerekmektedir.

Farklı ülkelerde tekstil sektörü için hazırlanan Mevcut En İyi Teknikler (MET) dokümanlarında ham madde tüketiminin ve su tüketiminin azaltılması en iyi teknik olarak önerilmektedir [US EPA, 1978], [US EPA, 1996], [US EPA, 1997], [EC, 2003], [Barclay and Buckley, 2000], [Vajnhandl and Valh, 2014].

Avrupa'da yıllık ortalama tüketilen su miktarı yaklaşık 600 milyon m^3 olup 36 milyon ton çeşitli kirletici içeren 108 milyon m^3 tekstil atıksuyunun arıtılması gerekmektedir [Voljamer Valh and Le Marechal, 2009], [Voljamer Valh et al., 2012].

Su tüketimi prosese ve kumaş tipine göre değişmekle beraber kg ürün başına 2,5-932 L olduğu çeşitli kaynaklarda rapor edilmiştir [Marcucci et al., 2001], [Bisschops and Spanjers, 2003], [Brik et al., 2006], [Kocabas, 2008], [Amar et al.,

2009]. AB' de mevcut olan Tekstil Sektörüne ait MET Kılavuzunda kg ürün başına su tüketimi 10-645 L olarak verilmiş olup ortalama 22-184 L olduğu belirtilmiştir [Ozturk et al., 2016b], [EC, 2003].

Turkiye'de tekstil sektörü, toplam endüstriyel su tüketiminin %15'i ile ikinci sıradadır [Alkaya and Demirer, 2014], [Guyer et al., 2016]. 2000 yılında yapılan çalışmada 410 milyon m^3 olan su tüketiminin 2030 yılında 22 milyar m^3 çıkacağı tahmin edilmiştir [Barceló and Petrovic, 2011].

Tekstil endüstrisinde yüksek su tüketiminin yanı sıra sıcak yıkama banyolarında kullanılan suların ısıtılması için kayda değer enerji ihtiyacı bulunmaktadır [Kocabas et al., 2009]. Bu sebeple, sıcak atıksuların geri kazanılması ile hem enerji verimliliği sağlanacak, hem atıksu miktarının azaltılmış olacak hem de enerji ve su kullanımı ve arıtımı ile ilişkili maliyetler azaltılmış olacaktır [Voigt et al., 2001].

Tekstil endüstrisi haşıl sökme, baskı, boyama, ovma, yıkama, durulama, ağartma, merserizasyon, bitirme gibi farklı üretimde kullanılan prosesler bulunmaktadır [Bisschops and Spanjers, 2003], [Ozturk et al., 2016a], [EPA, 1997]. Bu proseslerin yüksek miktarda su ihtiyacı olup aynı zamanda bu proseslerden yüksek miktarda atıksu oluşmaktadır [Voigt et al., 2001], [Ozturk et al., 2015], [Sahinkaya et al., 2017].

Tekstil endüstrisi atıksularının kompozisyonu diğer sektörlerden farklı çeşitli miktarlarda kirleticilerden oluşmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularının karakteristiği prosese, kullanılan ekipmana, kumaşa ve atıksu miktarına göre farklılık göstermektedir [Koyuncu et al., 2004a], [Bisschops and Spanjers, 2003], [Verma et al., 2012], [Vajnhandl and Valh, 2014].

Tekstil endüstrisinde atıksu kaynakları boyama, ovma, haşıl sökme, merserizasyon ve yıkama işlemleri olup bu proseslerde su geri kazanımı için önemli bir potansiyel bulunmaktadır [Wang et al., 2011]. Bu proseslerden kaynaklı atıksular, boya, deterjan, sülfid, çözücüler, ağır metaller, inorganik tuzlar, yüzey aktif maddeler gibi çeşitli maddeleri içermektedir [Wang et al., 2011], [Majewska-Nowak, 2010].

2003 tarihli AB' de yayımlanan Tekstil MET kılavuzu tekstilde yapılabilecek temiz üretim uygulamaları hakkında en kapsamlı referans olsada atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımı için genel öneriler getirmektedir [Vajnhandl and Valh, 2014].

Kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma teknolojileri ile tekstil atıksularının arıtılması ve yeniden kullanımı ile ilgili oldukça fazla çalışmalar yapılmıştır [Lin and Chen, 1997], [Seif and Malak, 2001], [Bes-Pia et al., 2002], [Schoeberl et al., 2004], [Aslam et al., 2004], [Van der Bruggen et al., 2005], [Somensi et al., 2010]. Web of Science verisine göre 1945-2018 yılları arasında yaklaşık 4.000 çalışma bulunmaktadır [Web of Science, erişim tarihi 22/02/2018].

Birçok araştırmacı su geri kazanımı ve kimyasal geri kazanımı için oldukça verimli olan membran teknolojilerini önermektedir [Sojka-Ledakowicz et al., 1998], [Marcucci et al., 2001], [Akbari et al., 2002], [Capar et al., 2006], [Majewska-Nowak, 2010], [Verma et al., 2012], [Sahinkaya et al., 2017].

Membran teknolojileri arasında polimerik membran filtrasyonu en çok kullanılan metot olmakla beraber düşük pH (0-3) ve yüksek pH (11-14) için, yüksek sıcaklıkta (>70 ^{O}C) olan atıksular, polimerik membranların yapısını bozabileceğinden polimerik membranlar ile arıtılması uygun değildir. Bu sebeple yüksek sıcaklıkta olan atıksular bir miktar soğutulduktan sonra polimerik membran filtrasyonu gerçekleştirilebilmektedir. Seramik membranlar sıcaklık, asit, baz, oksidant ve organik çözücülere karşı dayanıklı olduğunundan bu tip atıksuların arıtılmasında iyi bir alternatiftir [Cheryan, 1998], [Finley, 2005], [Sondhi et al., 2003], [Zhao et al., 2005], [Freeman and Shorney-Darby, 2011]. Mekanik, termal dayanıklılık avantajları ile uzun kullanım ömrü, membran değiştirme ihtiyacının azaltılması ve agresif kimyasal temizlemeye olanak vermektedir [Lee et al., 2013], [Lamminen et al., 2004], [Lee et al., 2002], [Guerra and Pellegrino, 2012]. Yüksek sıcaklıklarda seramik membran filtrasyonun kullanılabilmesi avantajı ile de yüksek miktarda süzüntü akısı alınabilmektedir [Cheryan, 1986], [Snow et al., 1996], [Kallioinen et al., 2007]; [Vladisavljevic et al., 1992], [Zhao et al., 2005], [Lindmark et al., 2011], [Lee et al., 2013]. Cromey ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yüksek süzüntü akısı elde etme avantajı nedeni ile atıksuları yüksek sıcaklığa sahip endüstriler için seramik membran filtrasyonunun kullanılması önerilmiştir [Cromey et al., 2015].

Seramik membranların polimerik membranlara göre termal ve mekanik sağlamlık avantajlarının yanında etkin kirlenme mekanizmasının fiziksel olarak giderilebilen direnç olmasıdır [Lee et al., 2013], [Lee et al., 2014], [Cromey et al., 2015].

2.3. Tekstil Atıksuyu Karakterizasyonu

Tekstil endüstrisi çok miktarda su kullanılan bir endüstridir. Bunun sonucunda kirlilik yükü çok yüksek, günlük ve mevsimsel olarak karakterizasyonu çok değişen atıksular oluşmaktadır. Orta boyut kapasiteye sahip bir tekstil fabrikasında günlük su tüketimi 2000-3000 m^3 dür. Dünya genelinde, 2004-2005 yıllarında 652.000 ton olan boya son yıllarda 900.000 ton ve üzeridir. Yıllık boya ihtiyacı her yıl %6.5 artış göstermektedir [Neamtu M. et al., 2004].

Voljamer ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda, Avrupa'da yılda ortalama 36 milyon ton çeşitli kirletici içeren 108 milyon m^3 tekstil atıksuyunun arıtılması gerektiği vurgulanmıştır [Voljamer Valh and Le Marechal, 2009], [Voljamer Valh et al., 2012]. Tekstil endüstrisinde atıksu kaynakları boyama, ovma, haşıl sökme, merserizasyon ve yıkama işlemleri olup, bu proseslerden kaynaklı atıksular, boya, deterjan, sülfid, çözücüler, ağır metaller, inorganik tuzlar, yüzey aktif maddeler gibi çeşitli maddeleri içermektedir [Wang et.al, 2011], [Majewska-Nowak, 2010].

Su kaynaklarına verilen boyar maddeler organik yük olarak kirliliğin küçük bir kısmını oluştursa bile istenmeyen bir durumdur. Boyar maddeler içerisindeki organik ve inorganik formdaki birleşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, atıksuların özellikleri de farklılık gösterir. Tekstil boya konsantrasyonunun 1 mg/L'den düşük olması halinde dahi atıksu gözle görülebilecek bir kirletici olarak su içerisinde ışık geçirgenliğini engellemekte ve sudaki tür çeşitliliğini azaltmaktadır. Ayrıca bazı sucul organizmalarda biriken boyar maddeler toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelmesine neden olur. Bu yüzden renk giderim prosesleri ekolojik açıdan çok önemlidir.

Tekstil sektöründen kaynaklanan atıksuların genel olarak içeriği;

- Organik madde, askıda katı madde, yağ-gres, amonyum iyonu, sülfit, nitrat,
- Hidrolize olmuş sodyum asetat silikat larpartin sülfat türevleri,
- Hidrolize olmuş vinil sülfat türevleri, fosfat türevleri, polimerler, üre,
- Seyrelmiş halde, hidrolize olmuş boyama prosesi atıkları,
- Hidrolize olmuş yağ asitleri, türevleri ve etoksilatlar,
- Hidrolize olmuş organik ve inorganik bileşikler,

- Çözünmüş oksijen, haşıl maddeleri ve inorganik iyonlar (sodyum, sülfat),
- Hidrolize olmuş antarkinon türevlerini içeren kimyasal karakterli maddelerden oluşmaktadır.

Tekstil endüstrisi genelinde atıksuları karakterize eden başlıca kirletici parametreler, organik madde, askıda katı madde, yağ ve gres, renk, toplam krom, fenoller, toplam sülfür, yüzey aktif maddeler, pH ve sıcaklık olarak sıralanabilir.

Renk, 12 farklı kromojen grubunu içeren boya molekülleri arasında en sık kullanılan ve tekstil boya maddelerinin %60-70‟ini oluşturan grup azo boyalardır. Boyaların ikinci tür sınıflandırılması ise boyanın tekstile uygulanma Şekline göre değişerek, reaktif, asit, metal-kompleks, dispers, vat, mordant, direkt, küp, naftol, bazik ve sülfür boyalar olarak ayrılmaktadır.

Renk analizi Amerikan Boya Üreticileri Enstitüsü (ADMI) birimleri veya Hazen birimleri kullanılarak ifade edilebilir. ADMI testi tüm görülebilir spektrumu kapladığı için renk şiddeti yönünden sadece tek bir dalga boyunda performans gösteren Hazen testine göre daha temsil edici kabul edilmektedir.

Tekstil endüstrisi atıksuları, sahip oldukları renge bağlı olarak üç farklı sınıfta ele alınmaktadır. Zayıf renge sahip atıksular bazik, asidik ve metal kompleks boyaların kullanımı; kuvvetli renge sahip atıksular dispers, küp, naftol, direkt ve kükürtlü boyaların kullanımı; kuvvetli renge sahip atıksular ise reaktif boyaların kullanımı sonucunda meydana gelmektedir.

Tekstil atıksularında renk giderimi çalışmaları genellikle üç farklı nedenden dolayı reaktif boyalar üzerinde yapılmaktadır;

i) Reaktif boyalar artan maliyet ihtiyacını göstermektedir. Özellikle pamuklu boyama prosesi dünyadaki toplam marketin %20 – 30‟unu temsil etmektedir.
ii) Reaktif boyaların yaklaşık %30’u alkali banyolarında hidrolize uğradığı için büyük kısmı atılmaktadır.
iii) Sorpsiyon ve aerobik biyolojik ayrışmaya dayanan konvansiyonel arıtma ünitelerinde reaktif ve diğer çözünmüş anyonik boyaların giderim verimleri çok düşük olmaktadır.

Boyalar ayrışmaya karşı dirençli oldukları için test edilen 100 azo boyadan sadece birkaç tanesi aktif çamur sistemi içerisinde aerobik olarak ayrışmaktadır. Aerobik koşullar altında azo boyaların stabilitesi molekül yapısının kompleksitesi ile orantılıdır. Anoksik koşullar altında elektron taşıma zincirinde azo bağları elektron alıcısı olarak görev yaparak aromatik aminlere kolayca yapışmaktadırlar. Azo bağının ayrılması ile oluşan yan ürünler ve aromatik aminler aerobik koşullar altında biyolojik olarak ayrışabilmektedir.

Toksik maddeler; Tekstil atıksuları, aktif çamur içerisindeki heterotrofik aktiviteyi tamamen olmamakla beraber az olacak şekilde inhibe etme eğilimindedir. Laboratuvar ölçekli yapılan aktif çamur ve biofilm reaktörlerinde çeşitli azo boyaların ilavesi ile Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) gideriminde % 10–20 arasında azalma olmakta ve daha az biofilm oluşumu gerçekleşmektedir. Heterotroflardan farklı olarak kemootototrofik nitrifikasyon bakterileri de tekstil atıksuyu ile beslenen aktif çamur içerisinde inhibe olmaktadır.

Su yaşamı üzerinde tekstil atıksularının toksisitesinin etkilerini belirlemek üzere geniş ölçekli çalışmalar yapılmaktadır. Baskı işlemlerinde kullanılan organik solventlerin yasal olmayan deşarjı aktif çamur ve su yaşantısı üzerinde toksik etki yapmaktadır.

İnert organik maddeler; Tekstil atıksularında mevcut kalıcı moleküller, genellikle az miktarlarda kullanılan kimyasalların çeşitliliğine göre değişmektedir. Boya moleküllerinin yanı sıra boya yardımcı maddeleri gibi poliakrilat, fosfonat, etilendiamin tetraasetikasit, lignin, antistatik maddeler, dispers boyamada taşıyıcılar, pamuklu direkt boyamada sıkıştırıcılar, koruyucular ve büyük oranda son işlemlerin yardımcı maddeleri bu gruba girmektedir. Saf yün yıkama prosesi ile deterjan emülsiyonları, hayvan yağları, tuzlar ve pestisidler gibi kalıcı organikler açığa çıkmaktadır [Koyuncu, 2012].

Organik halojenler ve ağır metaller; Sodyum hipoklorit, hidrojen peroksite göre pamuklu ve ketenin ağartma işlemlerinde daha fazla tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise hipokloritin beyazlatıcı etkisinin fazla olması, düşük maliyeti ve hidrojen peroksidin parçalanması sonucunda oluşan radikallerin tekstil liflerine zarar vermesidir. Hipoklorit ağartma prosesi sonucunda 100 mg/L gibi ciddi miktarlarda kanserojenik kloroform oluşmaktadır. Reaktif boyaların çoğu organik halojenlerdir.

Kanserojenik yapılarından dolayı birçok ülkede deşarj limitleri 0,8 mg/L olarak değişmektedir.

Tekstil endüstrisi atıksuları için kesin ortalama değerler vermek mümkün değildir. Ancak atıksu karakteri bazı yaklaşımlar ve karşılaştırmalar sayesinde belirli bir çerçeveye oturtulabilmektedir. Bazı parametreler açısından tekstil endüstrisinin kirletici potansiyeli evsel atıksuya oranla daha düşük olabilmektedir. Örneğin; organik azot ve amonyum azotu, baskı işlemi gerçekleştirmeyen tekstil endüstrisi atıksularında oldukça az miktarda bulunmaktadır. pH değeri, daha çok bazik olup, bazen 7'nin altına düşebilmektedir. Organik madde açısından kirlilik yükü, yaklaşık olarak evsel atıksu seviyesinde olup bazen daha yüksek değerlere de ulaşabilmektedir. İletkenlik, sodyum tuzları (sülfat, klorür, anyonik yüzey aktif maddeler) nedeniyle oldukça yüksektir. Polifosfatların kullanımı halinde fosfat konsantrasyonları yüksek olabilmektedir. Aksi takdirde evsel atıksulardan daha düşük değerlere rastlanmaktadır. Klorlu organik maddelerin miktarı, büyük ölçüde ürüne ve ilave katkı maddelerine bağlı bulunmaktadır. Klorla ağartma yapılması durumunda ise atıksudaki klorlu organik madde miktarı artmaktadır. Tablo 2.3' te alt kategorizasyona ayrılmış olan tekstil endüstrilerinde kullanılan proseslere ait uygulanan kimyasallar ve atıksu karakteristikleri verilmektedir.

Tablo 2.3: Tekstil endüstrisinde uygulanan proseslerde kullanılan kimyasallar ve atıksu özellikleri.

Proses	**Kullanılan kimyasallar**	**Atıksu karakteristikleri**
Haşıllama	Nişasta, selüloz, polivinil asetat, poliakrilat ve yapıştırıcı	Düşük atıksu hacmi, yüksek BOİ, KOİ, AKM
Haşıl sökme	Enzimler, asit ve alkali	Çok yüksek BOİ ve TKM (haşıllamada nişasta kullanılmış ise)
Yıkama	Sıcak kostik soda, klor, peroksitler, silikat, sodyum bisülfit, deterjanlar	Kirletici yükünün % 35 ve çıkış BOİ konsantrasyonunun % 3 değeri
Ağartma	NSOCl, H_2O_2, H_2SO_4, HCl, kostik soda, sodyum bisülfit	Yüksek TKM, yüksek çözünmüş katı madde ve orta seviyede BOİ konsantrasyonu
Merserizasyon	Konsantre kostik soda ve asit yıkama	Düşük BOİ ve TKM, nötralizasyondan önce oldukça alkali
Boyama	Boyalar ve kullanılan yardımcı kimyasallar	Yüksek renk, TÇM, BOİ ve pH, düşük AKM, toksisite
Apreleme	Pentaklorofenoller, etilklorofosfatlar	Düşük konsantrasyonda çeşitli bileşenler ve toksisite

Endüstriyel atıksu, özellikle dokuma hazırlık ve mamul terbiye safhasındaki haşıllama, haşıl sökme, yıkama, kasarlama, merserizasyon, boya-baskı ve apreleme işlemleri neticesi oluşur. Haşıllama prosesi sonucu oluşan atıksu düşük hacimde olmasına karşın, uygulanan haşıl yöntemine göre yüksek organik madde ve toplam katı madde (TKM) konsantrasyonu içermektedir. Örme genelde kuru bir işlemdir fakat atkı ipliklerinin çözgülerin arasına girmesi için dokuma tezgahında su jeti kullanılmaktadır. Bu üniteden çıkan atıksu çözgü ipliklerine uygulanmış haşıl maddelerini içerdiğinden tekrar kullanılamaz. Bu atıksular haşıllamadan çıkan atıksular ile aynı karakterdedir. Haşıl Sökme prosesinin atıksu karakteristiği kullanılan katkı maddelerine bağlıdır. Eğer haşıllama sentetik haşıl maddeleriyle yapılırsa, biyolojik olarak ayrışabilir organik madde konsantrasyonunda %90 oranında azalma meydana gelmektedir.

Pamuklu üretimde yıkama parafin, pektin, eğirme yağları ve diğer non-selülozik bileşiklerin giderilmesi amacıyla deterjan veya sabun içeren sıcak alkali solüsyonlar ile yapılmaktadır. Buradan çıkan atıksular kimyasal olarak agresiftir ve zehirli olabilirler. Haşıl sökmenin yanı sıra yıkama işlemlerinden çıkan atıksular da yüksek $BOİ_5$ değerlerine sahiptir. Bundan dolayı pamuklu üretimden oluşan atıksularda en yüksek $BOİ_5$ yükü yıkama ve haşıl sökme işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

Tekstil endüstrisinde kirlilik yükü en yüksek proses ham yün yıkama işlemidir. Oluşan büyük hacimdeki atıksu ve bu atıksuda mevcut yüksek konsantrasyondaki kirleticiler yıkama prosesini başlı başına bir araştırma sahası haline getirmiştir. Ham yün yıkamada sabun, deterjan ve alkali maddeler kullanılmaktadır. Hayvancılıkta parazitlerle mücadele için kullanılan lindan, dieldrin gibi persistant organoklorinli bileşikler veya organofosfatlar gibi bileşikler yünü kaplayan doğal yağ tabakasında erirler ve böylelikle yün yıkama atıksularında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar.

Yıkama atıksularında bulunan antiskalant ajanlar, pestisidler, parafin ve yağlar toksisite ve inert özellikleri nedeniyle biyolojik arıtma ünitelerinde problemlere neden olabilmektedirler [Koyuncu, 2012]. Ağartmadan çıkan atıksuların katı muhtevası yüksek, BOİ'si orta seviyededir. Klorit ve hidrojen peroksit arıtma ünitelerinin biyolojik kademelerinde toksisiteye neden olabilmektedir. Merserizasyondan çıkan atıksularda toplam katı madde ve BOİ konsantrasyonları düşüktür. Nötralizasyondan önce yüksek alkalinite değerleri gözlenmektedir.

Karbonizasyon atıksuları bitkisel maddelerden dolayı düşük konsantrasyonlarda organik madde ihtiva etmektedir. Asitli maddelerden dolayı çözünmüş madde muhtevası yüksektir. Bu işlem ham yünün yıkanması ile birlikte yapıldığında, yün yıkamanın kirlilik yükünü azaltmaktadır.

Boyahane çıkış sularında bulunan kalıntı boyar maddeler ile organik ve inorganik yardımcı kimyasalların yaptıkları bileşikler bu sulara renk ve diğer kirletici özellikleri verirler. Bu atıksuların karakteristiği boyamanın yanında elyafın cinsine ve uygulanan boyama teknolojisine de bağlıdır. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler, boyanacak olan kumaşın cinsine bağlı olarak değişik özellikler göstermektedir. Boya banyolarında boyanın yanında yardımcı kimyasallar da kullanılmaktadır. Bu kimyasallar boyanın kumaşa daha iyi tutunabilmesi için kullanılan tuzlar, iyon tutucular ve tamponlama görevini üstlenen çeĢitli kimyasallardır. Kullanılan çeşitli kimyasal maddelerin renk parametresine doğrudan bir katkıları olmamasına rağmen, atıksularda kirliliği arttıran bir unsur olarak büyük problemler yaratabilmektedir. Atıksulardaki rengin başlıca kaynağı kullanılan boyalardır. Boyahane atıksuları genelde düşük TKM, yüksek iletkenlik, yüksek renk, yüksek KOİ ve nispeten düşük $BOİ_5$ değerleri ile karakterize edilmektedirler. $BOİ_5$, KOİ, TOK gibi değerler biyolojik arıtma ile giderilebilir. Fakat birçok boya molekülü biyolojik ayrışmaya dayanıklı olduğundan bu metotla istenilen renk giderimi sağlanamaz. Bu atıksularda boya moleküllerinin metal kısımlarından kaynaklanan ağır metal kirliliğine de rastlanabilir. Asit boyalardan kaynaklanan krom, direkt boyalardan kaynaklanan bakır ve birçok kimyasal maddede iz olarak bulunan civa buna örnek olarak verilebilir.

Tablo 2.4' de [Correia et al., 1994], farklı boyaların kullanıldığı ve farklı elyafların boyandığı boyahane atıksularının karakterizasyonuna ilişkin bazı değerler, Tablo 2.5' de ise çıkış sularına ait parametre yükleri görülmektedir. Tablo 2.6' da ise tekstil endüstrisi atıksularının karakterizasyonu proses bazında verilmektedir.

Tablo 2.4: Boyama atıksularının karakterizasyonu.

Boya Türü	**Elyaf Çeşidi**	**Renk (ADMI)**	**BOİ (mg/l)**	**TOK (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**ÇKM (mg/l)**	**pH**
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5.1
1:2 Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6.8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4.5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6.6
Reaktif, kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11.2
Reaktif, sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9.1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11.8
Dispers, yüksek sıcaklıkta	Polyester	1245	198	360	76	1700	10.2

Tablo 2.5: Çıkış suyu parametre yükleri.

Proses	**Su (l/kg kumaş)**	**TÇM (g/kg kumaş)**	**Na (g/kg kumaş)**	**KOİ (g/kg kumaş)**	**TOK (g/kg kumaş)**	**Renk (ADMI birimi)**
Pamuk boyama + ilk ve son arıtım	90	320	74	50	19	58000
Pamuk/sentetik orta renk tonunda + ilk ve son arıtım	150	330	83	53	22	52000
Pamuk/reyon (suni ipek) boyama, basma, tekne, direkt	70	106	83	-	80	50000
Pamuk/sentetik ıslak hazırlama sürekli temizleme	2,5	59	22	30	13	Düşük
Pamuk/sentetik ıslak hazırlama sürekli ağartma	2,5	12	<1	7	3	Düşük
Pamuk/sentetik ıslak hazırlama sürekli haşıl sökme	2,4	78	<1	74	34	Düşük

Tablo 2.6: Tekstil endüstrisi atıksularının proses bazlı karakterizasyonu.

Proses	**pH**	**BOİ (mg/l)**	**KOİ (mg/l)**	**AKM**	**Yağ-Gres (mg/l)**
Haşıllama	7-9,5	600-2000	1100-3000	-	-
Haşıl sökme	4-8	1600-3800	2100-6200	400-6000	100-400
Yıkama	12	600-900	1200-1500	150-250	600-900
Merserizasyon	9-12	100-250	150-300	300-400	400-60
Kasarlama	10-12.5	650-2700	1000-3500	400-700	-
Boyama	6,5-12	80-500	200-700	50-100	-
Baskı	6-11	100-600	500-800	40-85	-
Bileşik atıksu	10-12	400-1100	1000-2000	400-600	100-300

Yüzey aktif maddeler; Tekstil endüstrisi ıslak proseslerinin çoğu; haşıllama, eğirme, dikme, haşıl sökme, boyama, ağartma ve yıkama işlemleri olarak yüksek miktarda yüzey aktif madde tüketmektedir. Tekstil proseslerinde kullanılan alkilfenol etoksilat tekstil endüstrisinde çok geniş tüketimi olan bir non–iyonik yüzey aktif maddedir. Alkilfenol etoksilat alkilfenole parçalanmakta ve çamura adsorblanma ve birikme eğilimi göstermektedir. Ayrıca alkilfenoller toksik yapıda olup, izin verilen maksimum konsantrasyon değerleri ppb (µg/L) olarak belirtilmektedir [Kurt, 2012].
Tekstil atıksuları ile ilgili yapılmış çalışmalardan derlenen atıksu kompozisyonu Tablo 2.7’ de verilmektedir. Genel olarak tekstil atıksularının, pH değeri 6-13, elektriksel iletkenlik değeri 200-21.000 µS/cm, KOİ konsantrasyonu 200-44.000 mg/L, renk değeri Pt-Co biriminde 300-7.000 ve kostik içeriği 1-70 g/L aralığındadır.

Tablo 2.7: Tekstil endüstrisi atıksu karakterizasyonu.

Parametre	Merserizasyon	Alkali prosesler	Karışık Tekstik atıksuyu											Reaktif Boya	Pamuk tekstil boyama	1-Ham yün temizleme, 2-İplik ve kumaş üretimi, 3-Yün apreleme, 4-Dokuma ve kumaş apreleme 5-İplik boyama ve apreleme					Boyama ve apreleme					
	Varol, 2008	Schlesinger, et;al, (2006)	Buscio, et.al, (2015) (d after the dyeing	Fersi. et.al (2005) (Karışık Tekstil)	Aslam et.al, (2004) (hepsi aynı proses atıksuyu)	Fers i and Dhahbi, (2008)	Marcucci,et .al, (2002) (desizing, dyeing, printing and finishing processes)				Tomei et.al, (2016) (Boyama Banyosu)	Touati et.al, (2015)	Kehinde ve Aziz (2015) (cotton and polyester textile industry)	Jorfivd., (2016)	Doumic et.al, (2015)	EPA-625/778-002 (1978).					Ciardelli et.al, (2001)					
							1	2	3	4						1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
pH	6-12,8		6,9		5,7-11,02	8,04	6.9	8.9	7.8	7.3	9	10,5	11,2-12,2	7,9	11.5 (11.9)*	8.0	7.0	10	10	11	7,8	7,9	8	8,1	6,3	8,1
İletkenlik µS/cm	250-2.600		1.825	10.300		8,62	2.702	2.938	2956	2778		7350		2250	21900						3630	3610	3550	3610	35	6780
KOI (mg/L)	706-6.755	44.200	806	1110.4	400-583	329.4	1017	660	512	352	1017		2600-3000	5400	346 (226)*	30000	1040	1000	1200	800	263	164	139	303	34	182
BOI (mg/L)					165-211						10			350	150 (40) *	6000	300	350	650	250						
Renk (Pt-Co)	1.179-6.775		300	-		975.2							2870-3000													
Toplam Sertlik (mg/L CaCO3)	310-6.140	207.180	15 F	-																						
AKM (mg/L)	58-467		112		174-925		173	121	56	15	535	6070		776	52	8000	130	200	300	75						
UAKM(mg/L)											230	4400			73											
Bulanıklık (NTU)	154-488			17.71		0.948								32												
Klor mg/L			270	-		609.6	123	63	34	0.8																
Sertlik F			5	-			-	-	-	25																
Sülfat mg/L			387	-		1326.0					4500				6,2						225				7	
TÇM mg/L				8.461	1.943-4.067	4240							190-650	21.308												
Kalsiyum (mg/L)		4,48		599.0											170											

Tablo 2.7: Tekstil endüstrisi atıksu karakterizasyonu.

Parametre	Merserizasyon	Alkali prosesler	Karışık Tekstik atıksuyu											Reaktif Boya	Pamuk tekstil boyama	1-Ham yün temizleme, 2-İplik ve kumaş üretimi, 3-Yün apreleme, 4-Dokuma ve kumaş apreleme 5-İplik boyama ve apreleme					Boyama ve apreleme					
	Varol, 2008	Schlesinger, et;al, (2006)	Buscio, et.al, (2015) (d after the dyeing	Fersi. et.al (2005) (Karışık Tekstil)	Aslam et.al, (2004) (hepsi aynı proses atıksuyu)	Fers i and Dhahbi, (2008)	Marcucci,et .al, (2002) (desizing, dyeing, printing and finishing processes)				Tomei et.al, (2016) (Boyama Banyosu)	Touati et.al, (2015)	Kehinde ve Aziz (2015) (cotton and polyester textile industry)	Jorfivd., (2016)	Doumic et.al, (2015)	EPA-625/778-002 (1978).					Ciardelli et.al, (2001)					
							1	2	3	4						1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Potasyum (mg/L)				158.6											10						21,2				1,1	
Magnezyum (mg/L)		0,4		42.2											29						7				4,2	
Sodyum (mg/L)				2113. 8											2100											
Sülfit (mg/L)																0.2	0.1	8.0	3.0	0.09						
Klorür (mg/L)											38600				700						725				42	
Yağ-Gress (mg/L)					17-40											5500	—	—	14	—						
Çinko (mg/L)					3-5																					
Bakır (mg/L)					2-4																					
Krom (mg/L)					2-4																					
CO_3 (mg/L)						1800																				
TOK (mg/L)		17200									158	700		1150												
Fosfat (mg/L)											3200				0,26											
Asetik Asit (mg/L)															113											
Nitrit (mg/L)															4,9											
Nitrat(mg/L)											3800				4,9											

Tablo 2.7: Tekstil endüstrisi atıksu karakterizasyonu.

Parametre	Merserizasyon	Alkali prosesler	Karışık Tekstik atıksuyu											Reaktif Boya	Pamuk tekstil boyama	1-Ham yün temizleme, 2-İplik ve kumaş üretimi, 3-Yün apreleme, 4-Dokuma ve kumaş apreleme 5-İplik boyama ve apreleme					Boyama ve apreleme					
	Varol, 2008	Schlesinger, et;al, (2006)	Buscio, et.al, (2015) (d after the dyeing	Fersi. et.al (2005) (Karışık Tekstil)	Aslam et.al, (2004) (hepsi aynı proses atıksuyu)	Fers i and Dhahbi, (2008)	Marcucci,et .al, (2002) (desizing, dyeing, printing and finishing processes)				Tomei et.al, (2016) (Boyama Banyosu)	Touati et.al, (2015)	Kehinde ve Aziz (2015) (cotton and polyester textile industry)	Jorfivd., (2016)	Doumic et.al, (2015)	EPA-625/778-002 (1978).					Ciardelli et.al, (2001)					
							1	2	3	4						1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Amonyum Azotu (mg/L)											40,01															
Toplam Azot (mg/L)															10											
Tuzluluk (p.p.t)													2,77-2,80													
Toplam Krom (mg/L)																0.05	4	0.014	0.04	0.27						
Fenol (mg/L)																1.5	0.5	---	0.04	0.12						
Sıcaklık oC																28	62	21	37	38						
Renk (ADMI)																2000	1000	—	325	600						
Demir (mg/L)		0,68																			0,28				0,07	
NaOH(g/L)	1,4-67,5	202.96																								
Mangan (mg/L)		0,01																								
Silisyum(mg/L)		1,51																								
Yoğunluk g/cm^3		1,19																								
Dinamik Viskozite mPas		3,33																								

2.4. Tekstil Atıksuların Arıtılması, Kimyasal Madde ve Atık Su Geri Kazanım

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasına yönelik uzun yıllardan beri çok sayıda çalışma yapılmıştır. Tekstil endüstrisi aşırı miktarda su tüketiminin gerçekleştirildiği ve kirletici karakterinin hem hammaddenin kendisinden, hem de son ürünü elde etmek için kullanılan geniş yelpazedeki kimyasallardan kaynaklanan bir sanayi koludur.

Tekstil endüstrisi baskı, boyama, terbiye, haşıl sökme, dokuma, ovma, ağartma, merserizasyon, karbonizasyon ve bitirme gibi çok çeşitli prosesleri içermektedir [Correia et al., 1994]. Dolayısıyla işlenen hammaddenin yanında, proses kategorisine bağlı olarak da atıksuyun kompozisyonu ve kirlilik yükü gün içerisinde değişiklikler gösterebilmektedir. Bu nedenle tekstil endüstrisi atıksularının kirletici yükünün azaltılarak arıtılması ve yeniden kullanımı için uygun arıtım metotlarının seçilmesi gerekmektedir.

Tekstil endüstrisi atıksularından geri kazanım yapılabilecek potansiyel noktalar, boyama, terbiye, haşıl sökme ve merserizasyon proseslerinden gelen atıksulardır. Boyama sonrası yıkama atıksuları boyalı ve sıcak olduklarından bu noktalarda sıcak su ve boyama atıksularının geri kazanımı mümkündür. MET hedeflerini içeren "Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği'nde, boyama sonrası yıkama atıksularının geri kazanımında aktif karbon ile adsorpsiyon, inorganik koagülantlarla kimyasal çöktürme, membran filtrasyonu ve ozonlama metotlarının kullanımı önerilmektedir. Terbiye işleminden gelen atıksuların kostik içeriğinin yüksek olması sebebiyle, kostik içeriğinin kaynağında azaltılması ve geri kazanımı da mümkün olmaktadır. Bunun için MET hedeflerine göre, buharlaştırma ve CO_2 ile nötralizasyon tekniklerinin kullanılabileceği, ayrıca membran prosesler ile ayırım sağlanabileceği belirtilmektedir. MET hedefleri doğrultusunda haşıl sökme prosesi atıksularındaki haşıl kimyasallarının (Polyvinyl alkol, polyacrylates, carboxymethyl cellulose ve nişasta gibi) ultrafiltrasyon ile geri kazanımı önerilmektedir. Ayrıca haşıl sökme atıksuları da boyama atıksuları gibi sıcak atıksulardır. Dolayısıyla bu noktalardan sıcak su geri kazanımı sayesinde, su tekrar ısıtma ihtiyacı duyulmadan prosese döndürülebileceğinden, enerji tasarrufu sağlanması da münkün olabilmektedir. MET hedefleri çerçevesinde merserizasyon

prosesi atıksuları da yüksek alkali içeriği nedeniyle potansiyel geri kazanım noktası olarak tanımlanmaktadır [ResGaz 2, 2015].

Literatürde tekstil endüstrisi atıksularının kimyasal, biyolojik ve ileri arıtım teknolojileri kullanılarak arıtımının ve geri kazanımının incelendiği çeşitli çalışmalar mevcuttur [Lin and Chen, 1996], [Seif and Malak, 2001], [Bes-Pia et al., 2002], [Schoeberl et al., 2004], [Aslam et al., 2004], [Van der Bruggen et al., 2005], [Somensi et al., 2010].

Genel olarak elektrokimyasal metot ve kimyasal koagülasyon atıksuyun renk bulanıklık, KOİ konsantrasyonlarının giderimine yönelik olarak kullanılırken, iyon değişimi KOİ, Fe iyonu, iletkenlik ve toplam sertlik parametrelerinin azaltılması için kullanıldığı rapor edilmiştir [Lin and Chen, 1997].

Tekstil atıksuyunun arıtımında demir, magnezyum ve aluminyum tuzları gibi inorganik koagülantlar uzun yıllar kullanılmakla birlikte, su kalitesi parametrelerinin sağlanamaması ve boyanın karakterizasyonundaki değişkenlikler nedeniyle, yeterli oranda arıtımın gerçekleştirilemediği görülmüştür [Raghu and Basha, 2007]. Aktif çamur ile biyolojik arıtım yönteminde, KOİ giderimi açısından yüksek verim sağlandığı, fakat renk gideriminin boyanın bozunmaya dirençli yapısından dolayı tamamen ortadan kaldırılamadığı ve genellikle sistemde tekstil atıksuyunun karakterinden dolayı kabarma problemlerinin yaşandığı belirtilmektedir [Bes-Pia et al., 2002], [Wu et al., 2008].

Tekstil endüstrisinde önemli bir bileşen olan renk parametresinin gideriminde aktif karbon, hidrojen peroksit (H_2O_2), sodyum hipoklorit (NaClO) ve diğer kimyasal ajanlarının geniş ölçüde kullanıldığı belirtilmektedir [Lin and Chen, 1997].

Literatürde ayrıca ileri artım yöntemi olarak son yıllarda renk giderimi ve atıksuyun organik yükünün azaltılarak yeniden kullanılabilirliğinin sağlandığı ozon, ozon/UV ışınları ve UV/H_2O_2 kombinasyonları ile kimyasal oksidasyon yöntemlerinin kullanıldığı da görülmektedir [Wu et al., 2008], [Oğuz and Keskinler, 2008], [Somensi et al., 2010]. Bu ileri arıtım yöntemleri özellikle KOİ ve renk gideriminde potansiyel bir alternatif olarak geniş ölçüde ilgi çeken yöntemler olmakla birlikte, maliyetleri halen çok yüksektir.

Son dönemlerde ise tekstil atıksuyunun arıtımı ve boya, kostik ve su geri kazanımının sağlanması açılarından ayırma (seperasyon)teknolojileri yüzey sularına deşarj ile kıyaslandığında daha avantajlı olarak görülmektedir. Özellikle

nanofiltrasyon ve ters ozmoz gibi membran prosesler bu amaçlar için artan oranda kullanılmaktadır [Majewska-Nowak, 2010].

Atıksuların arıtılmasının yanında ham madde ve su tüketimlerinin azaltılmasına yönelik temiz üretim yöntemleri geliştirilmiştir. ABD, AB ve ülkemizde tekstil sektörü özelinde kirlilik kontrolü için çalışmalar yürütülmüş, Mevcut En İyi Teknikler oluşturulmuştur [US EPA, 1978], [US EPA, 1996], [US EPA, 1997], [IPPC, 2003], [ResGaz 1, 2011], [Res Gaz 2, 2015], [Barclay and Buckley, 2000].

Geleneksel tekstil atık su arıtma yöntemleri olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtmalar atık su yönetmeliklerine uygunluğu sağlamada yeterli olsa da suyun ve içerdiği kimyasalların yeniden kullanımı için yeterli değildir. Özellikle tekstil endüstrisinde, membran prosesler ile kostik geri kazanımı ve boyar madde ayırma işlemleri konusunda literatürde çok sayıda araştırma ve uygulama çalışmaları yayımlanmıştır [Giwa A., Ogunribido A., 2012], [Koyuncu et.al, 2004a], [Koyuncu et.al, 2004b], [Van der Bruggen et al., 2004]. Bu çalışmaların önemli bir çoğunluğu polimerik membranlar ile yapılmıştır. Ülkemizde ve uluslararası alanda polimerik membran filtrasyonu ile kostik geri kazanımı konusunda yayınlar mevcuttur [Varol et al., 2015], [Tunç et al., 2014]. Bununla birlikte geri kazanım için polimerik membranların kullanımı suyun yüksek derecede alkali ve sıcak olduğu, mekanik ve termal kararlılığın gerekli olduğu ortamlarda uygun olmamaktadır. Bu gibi ortamlarda özellikleri nedeni ile seramik membranların kullanımı gerekmektedir. Seramik membranlar; (1) asitlere, bazlara, oksidanlara ve organik solventlere karşı yüksek dayanım, (2) yüksek sıcaklıklara dayanım, (3) buharla dezenfekte edilebilme, (4) aşınmalara karşı yüksek dayanım, (5) kolay yıkanma ve (6) uzun kullanım ömürleri ile polimerik membranlara üstünlük sağlarlar [Freeman and Shorney-Darby, 2011], [Finley, 2005], [Sondhi et al., 2003] . Seramik membranlar, yukarıda verilen özellikleri nedeni ile son yıllarda gittikçe artan kullanım alanı bulmaya başlamışlar ve konu ile ilgili çalışılmalarda yoğunlaşmıştır.

2.5. Membran Teknolojileri

1861 yılında Graham T., sentetik membranlar kullanarak yapılan ilk diyaliz deneyini rapor etmiştir. Membran filtrasyonu ayırma prosesleri içerisinde 1970'li yıllara kadar önemli görülmemekte iken kullanımı giderek yaygınlaşan ve teknolojisi geliştirilen bir teknoloji olmuştur. Membran proseslerinin tarihsel gelişimi Tablo 2.8' de verilmektedir [Mulder, 1996].

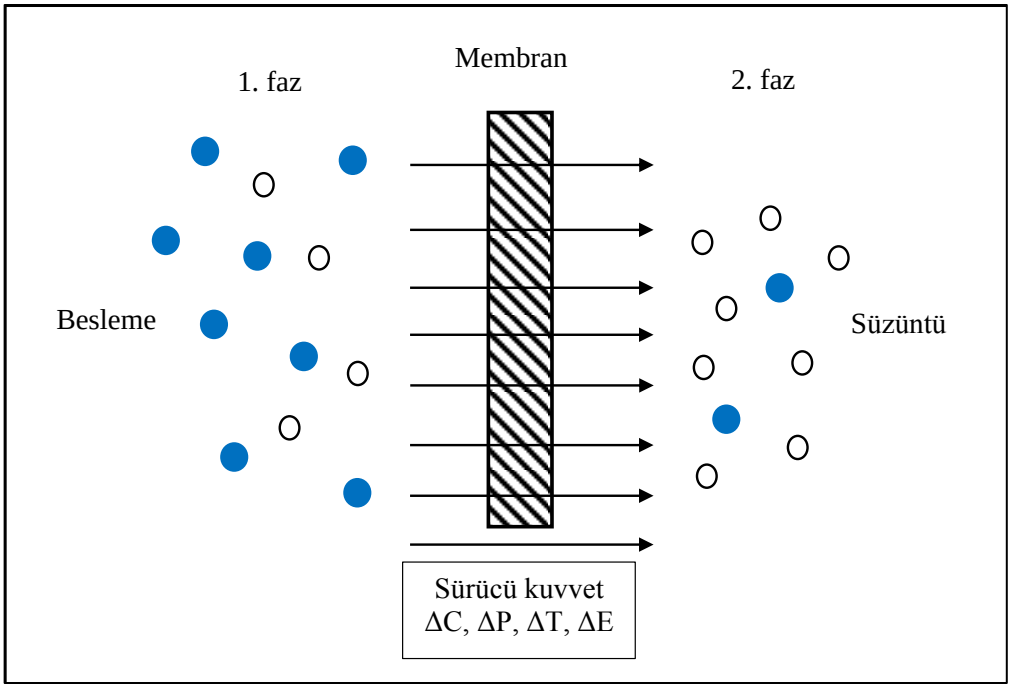
Tablo 2.8: Membran proseslerin tarihsel gelişimi.

Membran Prosesi	**Ülke**	**Yıl**	**Uygulama**
Mikrofiltrasyon*	Almanya	1920	Bakteri filtrasyonu
Ultrafiltrasyon*	Almanya	1930	Laboratuvar
Hemodiyaliz*	Hollanda	1950	Yapay böbrek
Elektrodiyaliz**	ABD	1955	Desalinasyon
Ters Ozmoz**	ABD	1960	Deniz suyu desalinasyonu
Ultrafiltrasyon**	ABD	1960	Makromoleküllerin konsantre edilmesi
Gaz ayırma**	ABD	1979	Hidrojen geri kazanımı
Membran Distilasyonu	Almanya	1981	Sıvı çözeltinin konsantre edilmesi
*Laboratuvar ölçekli ** Endüstriyel ölçekli			

Membran prosesler seperasyon prosesi olup arıtma prosesi değildir, sadece katalitik membranlar arıtma prosesi olarak nitelendirilebilir. Membran, iki homojen faz arasında seçici geçirgen bir bariyer olarak tanımlanabilir. Taşınım besleme çözeltisini sürücü kuvvetin uygulanması ile gerçekleşir (Şekil 2.2). Sürücü kuvvetleri, fazların tanımlandığı bazı membran prosesleri Tablo 2.9' da verilmektedir [Mulder, 1996].

Tablo 2.9: Bazı membran prosesler ve sürücü kuvvetleri.

Membrane Prosesi	**Faz 1**	**Faz 2**	**Sürücü Kuvvet**
Mikrofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ultrafiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Nanofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ters Ozmoz	Sıvı	Sıvı	Basınç
Gaz Ayırma	Gaz	Gaz	Basınç
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	Basınç
Elektrodiyaliz	Sıvı	Sıvı	Elektriksel Potansiyel
Membran Kontaktor	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon
Membran Distilasyonu	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık veya Basınç



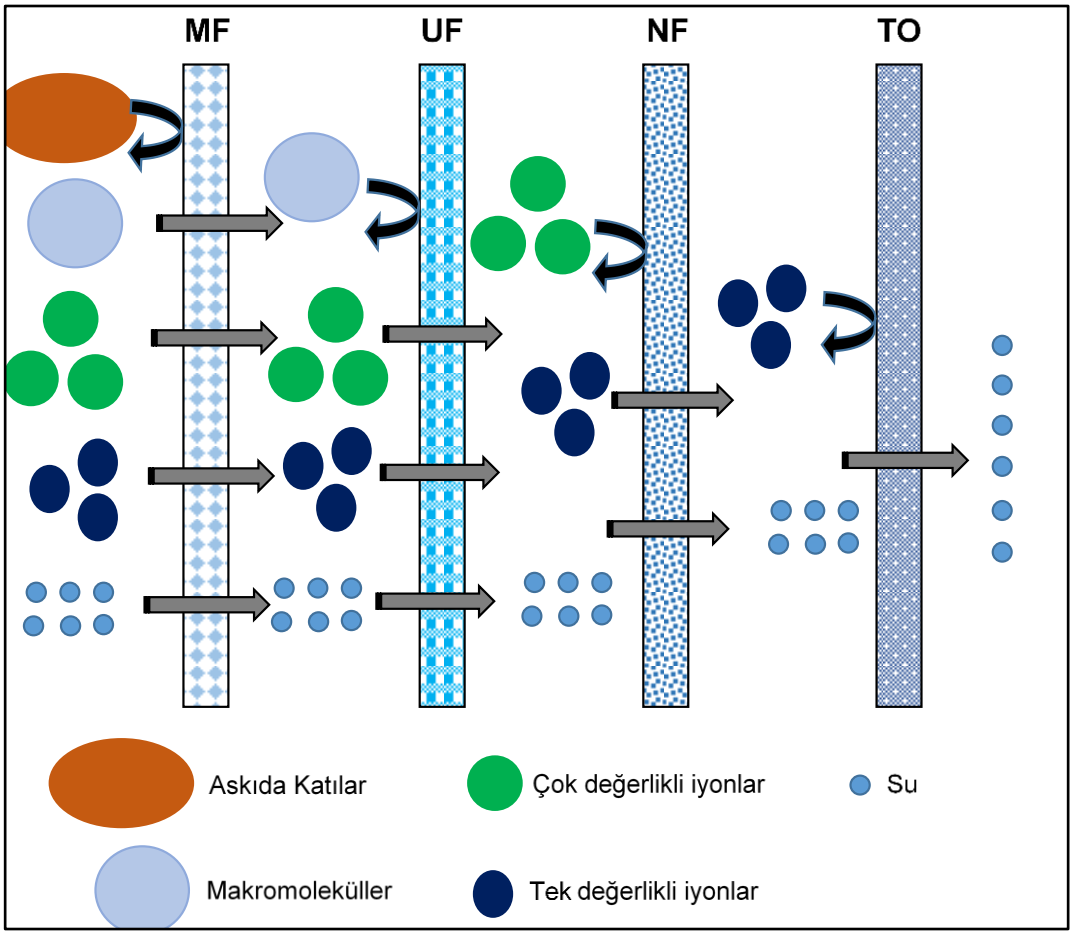
Şekil 2.2: Membran prosesler ile iki fazın seperasyonunun şematik gösterimi.

Basınç sürücülü membran prosesleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu proseslerden, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz geri kazanım uygulamalarında son yıllarda önemli rol oynamaktadır. Basınçla çalışan membran ayırma sistemleri, geleneksel filtreler, damıtma sistemleri ve iyon değişim reçinelerine göre enerji tüketimi kabul edilebilirdir ve yüksek ayırma özellikleri gösterirler.

Membranlar yapılarına göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

- Gözenekli membranlar (mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon)
  - i) Büyük gözenekli (>50 nm)
  - ii) Orta gözenekli (2-50 nm)
  - iii) Küçük gözenekli (<2 nm)
- Gözeneksiz (yoğun) membranlar (nanofiltrasyon, ters osmoz)' dır [Taşıyıcı S., 2009].

Su ve atıksu filtrasyonunda en çok kullanıllan membran filtrasyon türleri aşağıda özetlenmiş ve Şekil 2.3' te şematize edilmiştir.



Şekil 2.3: En çok kullanılan membran filtrasyonu türlerinde ayrımı gerçekleşen maddelerin şematik gösterimi.

- Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon membranları simetrik veya asimetrik yapıda olup kalınlıkları yaklaşık 10-150 μm aralığındadır. Ayırma prensibi, eleme (sieving) mekanizması olan mikrofiltrasyon membranlar için gerekli olan işletme basıncı maksimum 2 bardır [Mulder, 1996]. Mikrofiltrasyon membranları kullanılarak boyutu 0,1 ile 20 μm arasında olan moleküller tutulabilir. Bu membran türü yaygın olarak kapiler ve borusal membran modüllerinde kullanılır. Mikrofiltrasyon prosesinde ayırma mekanizması boyut farklılığını temel alır. Mikrofiltrasyonun kullanıldığı uygulamalar, içecek ve ilaçların soğuk sterilizasyonu, hücre hasadı, içecek endüstrisinde arıtma, saf su eldesi, metal geri kazanımı, su ve atıksu arıtımı, yağ-su emisyonların ayırımı olarak sayılabilir [Mulder, 1996]. Mikrofiltrasyonun kullanıldığı işlemlerden biride, fermantasyon sonucu oluşan ürünlerden mikroorganizmaların uzaklaştırılmasıdır. Ayrıca kolloidler, yağ molekülleri ve hücreler gibi heterojen olarak dağılmış parçacıkların da ayrıştırılmasında da kullanılabilmektedir [Dinçer, 2006].

- Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon benzer membran proseslerdir ancak Ultrafiltrasyon membranlar asimetrik yapıdadır, mikrofiltrasyon membranlara göre düşük gözenek boyutuna ve düşük poroziteye sahiptir [Mulder, 1996]. Gözenek boyutları 0.001-0.1 μm arasında olan maddeleri tutmak için kullanılan ultrafiltrasyon membranlarında, membran boyunca kütle akışını sağlayan itici güç basınçtır ve 30-80 psig gibi düşük basınçlarda işletilebilirler. Genellikle spiral sargılı, kapiler ve borusalmodüllerin yapımında kullanılır. Ultrafiltasyon membranları, makro moleküllerin, kolloidal parçacıkların tutulmasında ve derişik olmayan ürünlerin daha yoğun hale getirilmesinde kullanılırlar. Ultrafiltrasyonun ilaç ve gıda endüstrisinde, fabrika atık sularının arıtılması ve değerlendirilmesinde kullanımı, ayrıca meyve suyu ve süt üretiminde uygulamaları da mevcuttur [Dinçer, 2006].

- Nanofiltrasyon

Solüsyon difüzyon prensibi ile ayırma işlemi gerçekleştiren Nanofiltrasyon membranlar, kompozit yapıda olup destek tabakası yaklaşık 150 μm, akitf tabakası ise yaklaşık 1 μm'dir. 10-25 bar işletme basıncında çalıştırılan nanofiltrasyon membranlar, ters ozmoz membranlar ile benzer olup sadece yapısı bir miktar daha açıktır [Mulder, 1996]. Nanofiltrasyon membranlarının gözenek boyutu, ters osmoz membranlarının gözenek boyutundan daha büyük, ultrafiltrasyon membranlarının gözenek boyutlarındansa daha küçüktür ve gözenek boyutu 0.002 μm'dır. Genellikle 200 Da'dan büyük molekül ağırlığına sahip organiklerin (laktoz, sukroz ve glikoz gibi) belirli bir karışımdan uzaklaştırılması amacıyla kullanılır. Nanofiltrasyon membranları, şeker ve bazı multivalent tuzları ($MgSO_4$ gibi) tutarken çoğu monovalent tuzu (NaCl gibi) geçirir. Nanofiltrasyon membranları; kalsiyum ve magnezyum gibi iyonların tutularak suyun yumuşatılmasında, suyun demineralizasyonunda, atık sulardaki TOK seviyesinin düşürülmesinde ve ağır metallerin uzaklaştırılması işlemlerinde kullanılır [Salt, 2006].

- Ters Osmoz

Asimetrik veya kompozit yapıda olan ters ozmoz membranların destek tabakası yaklaşık 150 μm, akitf tabakası ise yaklaşık 1 μm'dir. Ters ozmoz membranların işletme basıncı tuzlu/tuzlanmış suyun seperasyonu için 15-25 bar, deniz suyunun seperasyonu için 40-80 bar aralığındadır [Mulder, 1996]. Ters osmoz membranları kullanılarak gözenek çapı 0.001 μm'den küçük olan, su içinde mevcut çözünmüş katı, bakteri, virüs ve diğer mikroplar sudan uzaklaştırılabilir. Deniz suyundan içme suyu eldesi ters osmoz prosesinin en önemli kullanım alanıdır. Bu prosesteki en belirgin özellik ise, hiç bir faz değişiminin meydana gelmemesidir. Ters osmoz membranları, ince boşluklu lif ve spiral sargı modüllerin yapımında tercih edilir. Uygulama alanları oldukça geniştir. Gıda işleme ve elektronik endüstrileri için ultra saf su üretimi, kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisi için su eldesi, ilaç sektöründe kullanılabilecek kalitede su eldesi ve atık su muamelesi gibi uygulamalar örnek verilebilir [Dinçer, 2006].

Nanofiltrasyon ve Ters Ozmoz membranların farklı moleküler ağırlığa sahip molekülleri tutma (retention) karakteristiklerinin karşılaştırılması Tablo 2.10' da verilmektedir [Mulder, 1996].

Tablo 2.10: Nanofiltrasyon ve Ters Ozmoz membranların farklı molekülleri tutma verimlerinin karşılaştırılması.

Çözünen	**% Tutma**	
	NF	**TO**
Monovalent iyonlar (Na^+, K^+, Cl^-, NO_3^- vb)	<50	>98
Bivalent iyonlar (Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, CO_3^{2}	>90	>99
Bakteri ve Virüsler	<99	>99
Mikrokirleticiler (>100 Da)	>50	>90
Mikrokirleticiler (<100 Da)	0-50	0-99

Farklı basınç sürücülü membran proseslerinin karşılaştırılması Tablo 2.11' de verilmektedir [Mulder, 1996].

Tablo 2.11: Farklı basınç sürücülü membran proseslerinin karşılaştırılması.

Mikrofiltrasyon	**Ultrafiltrasyon**	**Nanofiltrasyon/Ters Ozmoz**
Partikül ayırımı	Makromolekül (bakteri, maya vb) ayırımı	Düşük moleküllü çözünürler (tuz, glukoz, mikro kirleticler vb)
Ozmotik basınç ihmal edilebilir*	Ozmotik basınç ihmal edilebilir*	Ozmotik basınç yüksektir (≈1-25 bar)
Ayırma işlemi partikül boyutuna göre	Ayırma işlemi partikül boyutuna göre	Ayırma işlemi çözünürlük ve difüzyona göre
Düşük işletme basıncı (<2bar)	Düşük işletme basıncı (≈1-10 bar)	Yüksek işletme basıncı (≈10-60 bar)
Simetrik veya asimetrik yapı	Asimetrik yapı	Asimetrik yapı
Aktif tabaka simetrik membranlarda ≈10-150μm asimetrik membranlarda ≈1μm		
*Konsantrasyon polarizasyonunun olmadığı durumda		

Su arıtımında kullanılan yoğun ve gözenekli membranların özellikleri Tablo 2.12' de verilmiştir [Judd S, 2010].

Tablo 2.12: Su arıtımında kullanılan yoğun ve gözenekli membranların özellikleri.

Basınç sürücülü	**Ekstraktif/difüzif**
Ters osmoz (RO) Ayırma işlemi, çözünürlüğü ve, su(çözücü) ve çözünen maddenin difüzyon oranını farklılaştırılarak yapılır.	*Elektrodiyaliz (ED)* Ayırma işlemi; iyon büyüklüğü, yük ve çözünmüş iyonların yük yoğunluğunun farklılaştırılması ve iyon değiştirici membranların kullanılması ile yapılır.
Nanofiltrasyon (NF) Eskiden sızıntılı ters osmoz olarak bilinen bu yöntemde ayırma işlemi; çözünürlük-difüzyon ve mikroporlardan (<2 nm) yapılan eleme işleminin kombinasyonu olarak yapılır.	*Pervoporasyon (PV)* Ters osmozla aynı mekanizmaya sahip olmakla birlikte; süzüntünün kısmen vakumlanmasıyla, çözünen madde(uçucu) membranda kısmen buharlaştırılır.
Ultrafiltrasyon (UF) Mezoporlardan (2-50 nm)* yapılan eleme işlemi ile ayrıma gerçekleştirilir.	*Membran ekstraksiyonu (ME)* Bileşen, membranın kenarlarındaki süzüntü ve filtre edilemeyen kısım arasındaki konsantrasyon gradyanından dolayı giderilir.
Mikrofiltrasyon (MF) Sudaki askıdakatıların makroporlardan (>50 nm)* elenerek ayrılmasıdır.	*Gaz transferi (GT)* Gaz; moleküler formda, kısmi basınç gradyanı altında, sudan ve ya suya transfer edilir.

Membranların performansları genellikle iki parametre ile ifade edilmektedir. Bunlar seçicilik ve akı olarak ifade edilebilir. Akı, birim alan ve zamanda membrandan geçen hacim olarak tanımlanır. Hacimsel olarak ifade edilen akının birimi genellikle L/m^{2}sa, L/m^{2}gün ve cm^3/cm^{2}sa olarak verilir. Akı genel olarak basınca, sıcaklığa, çapraz akış hızına, filtre edilecek ortamın içeriğine ve çözeltideki partikül madde miktarına bağlıdır [Koyuncu et al., 2004]. Membranlardaki akı ifadesi aşağıdaki eşitlik 2.1' göre hesaplanır;

$$J = -A\frac{Dx}{dx} \qquad (2.1)$$

- *dX/dx*; sürücü kuvveti ifade eder.
- *A*; akı ve sürücü kuvvete bağlı bir katsayıdır.

Konvansiyonel membran prosesleri iki farklı yöntemle işletilebilmektedir. Eğer konsantre akım yoksa, bu işletme sistemine ölü uç (dead-end) filtrasyonu; eğer konsantre akım modül çıkışından sürekli olarak akıyorsa bu işletim sistemine çapraz akışlı (crossflow) filtrasyon denir.

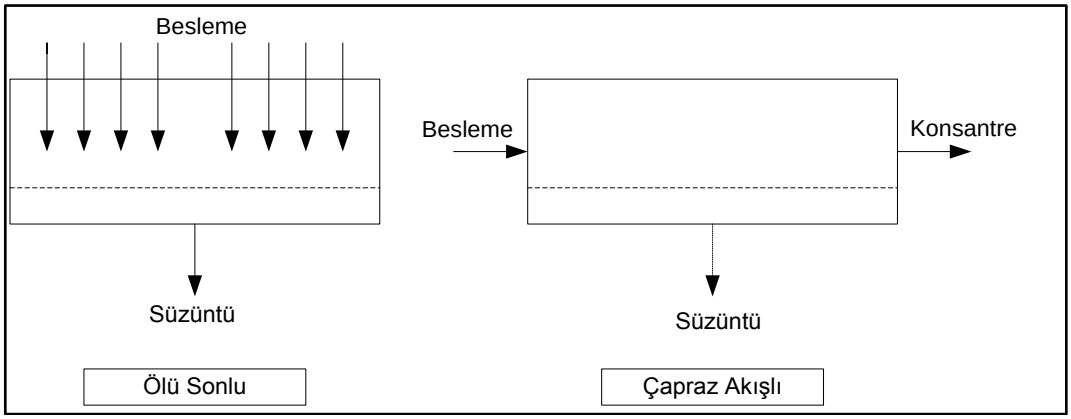
Ölü uç filtrasyonu (klasik filtrasyon), içerisinde 0.1-10 μm boyut aralığındaki partikülleri içeren sıvı veya gazların ayırma işleminde kullanılmaktadır. Bu filtrasyon şekli yaygın olarak mikrofiltrasyon membranlarının kullanıldığı sistemlerde tercih edilmektedir. Prosesin verimliliği genellikle filtre edilecek partiküllerin boyutuna bağlıdır. Sürücü kuvvetin basınç olduğu klasik filtrasyon sisteminde, çözelti membrana yüzeyine dikey olarak gelirken, partiküller veya askıda katı maddeler membran tarafından tutulur. Tutulan bu maddeler yüzeyde birikime sebep olurlar. Bu birikim membran gözeneklerinde ve membran yüzeyinde oluşur. Birikim sonucunda membrandan geçen su miktarı yani akış tamamen durabilir ya da ciddi miktarda azalabilir. Böyle durumlarda membranın temizlenmesi veya değiştirilmesi gerekir. Teoride, membran gözeneklerinin, ayrım yapılması istenen çözeltideki partiküllerden küçük olduğu ve partiküllerin membran yüzeyinde tutulduğu düşünülür. Fakat pratikte, istenen bu durum tamamen gerçekleşmez. Çünkü membranın üzerinde bulunan gözeneklerin hepsi aynı boyutta değildir ve rastgele dağılmıştır. Ayrıca besleme çözeltisindeki partiküller de eş ve aynı boyutta değildir. Bu nedenle tüm partiküller membran yüzeyinde tutulamaz. Partiküller membranın gözeneklerinin içinde veya yüzeyinde tutunur. Bu da filtrasyon akısının düşmesine neden olur. Klasik filtrasyonun uygulama alanları genellikle saflaştırma, berraklaştırma ve sterilizasyondur [Scott, 1995].

Çapraz akış filtrasyonu, askıda ya da çözünmüş maddelerin membran yüzeyine paralel doğrultuda basınç uygulayarak molekül ağırlıklarına ve molekül büyüklüklerine göre ayrılmasını sağlayan bir ayırma tekniğidir. Çapraz akış filtrasyonunda akış membran yüzeyine paraleldir. Membran üzerinde oluşan tabaka membranın yüzeyinden devamlı sıyrılarak membranın geçirgenliği arttırılmış olur [Cardew and Lee, 1998].

Çapraz akış filtrasyon tekniği, oluşturulan basınç farkı sayesinde filtrelenecek olan sıvı veya gaz akımının, membran yüzeyine paralel olarak geçirilmesi ve bu sırada süzüntünün akım yönüne dik doğrultuda membran içerisinden geçmesi olarak tanımlanır. Bu sırada membran tabakası üzerinde kek tabakası meydana gelip çapraz

akış uygulaması bu kek tabakasının kalınlığını düşük seviyede tutmaktadır. Çapraz akışın bu etkisi sayesinde, sistemin uzun süreli periyotta sabit bir akıda çalıştırılabilmesi mümkün olmaktadır [Ripperger and Altmann, 2002].

Membran proseslerde en çok kullanılan iki temel işletme modunun, ölü-uç (dead end) ve çapraz akım şeması Şekil 2.4' de verilmiştir. Tablo 2.13' te [Vogel et.al, 1997], çapraz akışlı filtrasyon ve ölü uç filtrasyonun ayırma verimleri arasındaki farklar verilmiştir.



Şekil 2.4: İki temel filtrasyon işletme modunun şematik gösterimi.

Tablo 2.13: Çapraz akışlı filtrasyon ve ölü uç filtrasyonun ayırma verimleri arasındaki farklar.

Ayırım mekanizması	**Ayırım Performansı**	
	Çapraz akışlı filtrasyon	**Ölü uç filtrasyon**
Çeşitli partikül boyutuna sahip sıvının filtrasyonunda	Yüksek verimli	Düşük verimli
Değişen ve farklı katı konsantrasyonlarına sahip sıvıların filtrasyonunda	Yüksek verimli	Genellikle tercih edilmez
Katı minimizasyonunda	Yüksek verimli	Çözelti düşük katı miktarına ve besleme debilerine sahip olduğunda verim yüksek
Saflaştırma proseslerinde	Eğer akıdaki azalmalar önlenebilirse verim yüksek	Adsorbsiyona bağlı olarak gerçekleşen kirlenme problemi engellenebilirse verim yüksek

Membran malzemeleri genellikle, polimerik ve seramik olmak üzere iki çeşittir. Metalik membran filtreleri de bulunmaktadır fakat bu tip membranların özel uygulama alanları vardır.

Son yıllarda özellikle tekstil endüstrisinde membran teknolojilerinin kullanımının önemi gittikçe artmaktadır. Atıksu arıtımı için birçok polimerik membran mevcuttur. Bununla birlikte, bu polimerik membranların başarılı bir şekilde uygulama alanı bulabilmesi için, membranın işletim sırasındaki kimyasal, termal ve mekanik sınırlandırmaları ya da temizlenmesi optimum düzeye çekilebilmelidir. Düşük kimyasal ve termal dayanımlılılık, polimerik membranların üretim bazlı atıksuların arıtımında kullanımına engel olmaktadır. Bu membranlardan bazıları ile laboratuvar ölçeğinde başarılı bir şekilde asit, baz ya da solvent geri kazanımı yapılmış olsa da uzun süreli kullanımda bu membranların dayanımı, yüksek termal, mekanik ve kimyasal dayanım gerektiren endüstriyel atıksu arıtımında yeterli gelmemektedir. Ayrıca, dayanımı yüksek olan bu tür membranlar diğer membranlarına göre daha pahalıdır. Polimerik membranlar ile karşılaştırıldığında seramik membranlar, yüksek kimyasal, termal ve mekanik dayanım avantajlarına sahiptirler. Bu nedenle, çoğu şirket ve araştırma enstitüsü seramik membranların geliştirilmesi üzerine çalışmaktadırlar. Hatta son yıllarda 1000 g/mol kesme seviyesine sahip nanofiltrasyon membranı olarak kullanılabilecek, endüstriyel ölçekte seramik membranlar üretilebilmektedir.

2.5.1. Seramik Membranların Kullanım Alanları

Mekanik, kimyasal ve termik dayanımları yüksek olan gözenekli seramik membranların geliştirilmesi U_{235}'in zenginleştirilmesine uygun membranları üretmek amacı ile 1980'li yıllarda başlamıştır [Gillot, 1991].

1990' lı yıllara kadar ise endüstriyel ölçekte sıvı seperasyonuna yönelik ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membranların geliştirilmesi devam etmiştir. Günümüzde ise gözenek boyutları ~2 nm (≈1 kDa) ve altında olan nanofiltrasyon, pervaporasyon/gaz ayırma membranları üretilmeye başlanmıştır. Sıvı filtrasyonu için laboratuvar ölçekli 500 Da ve daha küçük MWCO sahip seramik membran üretimleri gerçekleştirilmiştir [Puhlfürß P. et al., 2000], [Voigt et al., 2001], [Zeidler et al., 2014].

Gözenekli seramik membranlardan başka, yoğun membranlar da üretilmektedir. Yüksek basınç ve sıcaklıkların görüldüğü endüstriler için en uygun membran malzemeleri ısıl, mekanik ve kimyasal kararlılık gösteren gözenekli seramik membranlardır.

Günümüzde gözenekli seramik membranların üretiminde çok çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Ancak ticari olarak üretilen hemen hemen tüm seramik membranlar metal oksitlerden çıkılarak hazırlanmaktadır. En çok kullanılan oksitler aluminyum oksit (alumina- Al_2O_3), zirkonyum oksit (zirkonya-ZrO_2), titanyum oksit (titanya-TiO_2) ve silisyum oksittir (silika-SiO_2). Bu metal oksitlerin karışımları da kullanılmaktadır.

Seramik membranlar destek tabakası (altlık-support) ve aktif tabaka (active layer) olmak üzere iki aşamalı olarak üretilebilmektedir. Destek tabakası üretimi gerçekleştikten sonra istenen gözenek çapı için aktif tabakanın üretimi gerçekleştirilir.

Seramik membran prosesleri; termal ve mekanik avantajları nedeni ile polimerik membranların kullanılamadığı alanlarda son yıllarda önem kazanmıştır [Freeman and Shorney-Darby, 2011], [Zhao et al., 2005], [Finley, 2005], [Cheryan, 1998]. Seramik membranların kimyasal dayanımlarının yüksek olması, membranların kimyasal temizliklerinin membranların zarar görmeden yüksek kimyasal konsantrasyonlarında yapılabilmesi imkanı vermektedir. Böylece membranlar daha uzun ömürlü kullanılabilmektedir. Seramik membranların mekanik

dayanımlarının yüksek olması ile polimerik membranlarda yaşanan membran kırılması, tamir ihtiyacı ve membranların değiştirilmesi gibi problemler en az seviyede olmaktadır [Lee et al., 2013], [Lamminen et al., 2004], [Lee et al., 2002], [Guerra and Pellegrino, 2012]. Hidrofilik yüzeylerinden ve yüksek poroziteye sahip olmalarından dolayı benzer MWCO sahip polimerik membranlara göre daha yüksek akı eldesi beklenmektedir.

Seramik membran filtrasyonunun termal ve mekanik dayanımlarının yanında, polimerik membranlara göre kek kirlenmesinin baskın olması nedeni ile fiziksel temizlik ve geri yıkama yapılarak oluşan kek tabakasının kolayca uzaklaştırılabilme avantajı da bulunmaktadır. Böylece kimyasal yıkama gereksinimi azalmakta ve uzun bir süre yüksek akı eldesi mümkün olmakta ve membran daha az zarar görerek kullanım ömrü artmaktadır [Lee et al., 2013], [Lee et al., 2014], [Cromey et al., 2015]. Yüksek sıcaklıkta membran kirlenmesi ve verim konusunda yapılan tekstil endüstrisi dışındaki farklı çalışmalarda da yüksek akı potansiyeli vurgulanmaktadır [Lee et al., 2013], [Lindmark et al., 2011].

Seramik membranlar, membran maliyeti olarak polimerik membranlara göre 2-3 kat fazla olsada, ekonomik verim yaklaşımı (Ekonomik verim=Akı*ömür*fiyat^{-1}) ile değerlendirdiğimizde alan ihtiyacı, yüksek akı, membran ömrü dikkate alındığında fiyat farkı polimerik membranlar ile rekabet edebilir düzeydedir. Seramik membranların polimerik membranlar ile genel olarak karşılaştırılması Tablo 2.14'de verilmiştir.

Tablo 2.14: Seramik membranların polimerik membranlar ile karşılaştırılması.

Seramik Membranlar		**Polimerik Membranlar**	
Avantaj	**Dezavantaj**	**Avantaj**	**Dezavantaj**
İnorganik malzemelerden yapılmışlardır	Uygulamaları yaygın değildir	Uygulamaları yaygın	
Kimyasal, termal ve mekanik dirençleri yüksektir	Yüksek ilk yatırım maliyetleri	İlk yatırım maliyetleri çok daha düşük	Kimyasal, termal ve mekanik dirençleri düşüktür
Agresif kimyasal temizleme yapılabilir, Rutin temizlenme süreleri daha uzundur	0-4 bar aralığında çalışabilmektedir	Yüksek basınç filtrasyonu	Yüksek bazik, düşük asidik ve yüksek sıcaklıklara uygun değildir
Daha uzun kullanım ömrü			Kullanım ömrü kısadır
Yüksek kazanım oranı			
Daha hidrofiliktir			
Yüksek poroziteye sahiptir ve aynı MWCO için yüksek akı performansı			
Temel kirlenme mekanizması kek filtrasyonudur, böylece kimyasal temizleme ihtiyacı daha azdır.			Sık kimyasal temizlik ihtiyacı
Çevre dostudur			

Seramik membran filtrasyonu günümüzde içme suyu ve atıksu arıtımında, yiyecek-içecek endüstrisi, kimya, ilaç, kağıt, tekstil, deri, petrokimya endüstrilerinde proses sularının ve atıksularının arıtılmasında kullanımı giderek artmaktadır [Luque et al., 2008], [Guizard and Stevenson , 2008].

Seramik membranların termal ve mekanik avantajları olmasına karşın ticari olarak satılabilen minimum gözenek çaplı membran 1 kDa MWCO ile sınırlıdır. Tekstil sektöründe kullanılan boyaların molekül boyutları genellikle 1 kDa altında olup mevcut ticari seramik membranların MWCO'dan küçüktür. Ancak seramik membranların, aynı MWCO sahip polimeriklere göre daha düşük gözenek çapına sahip olduğu görülmüştür [Finley, 2005], [Lee et al., 2013]. Bazı yayınlarda <500 Da, <300Da MWCO seramik membranlar ile çalışıldığı görülmektedir [Puhlfürß P et al., 2000], [Voigt et al., 2001], [Van Gestel et al., 2006].

Literatürde kDa ile nanometre ilişkileri verilmektedir. Howe ve Clark, (2002)' ye göre 1 kDa 2 nm iken, Erickson (2009)'a göre 0,7 nm gözenek çapındadır denilmektedir.

Katarzyna M. ve Majewska-Nowak., (2010), organik aniyonik yapıdaki 600 Da üzerinde olan boyaların giderilebildiğini gözlemlemiştir. Başka bir çalışmada kullanılan 30, 50 ve 150 kDa (UF) ticari seramik membranlar tekstil atıksularının arıtılmasında polimerik NF/RO sisteminin öncesinde ön arıtma olarak kullanılmış, bulanıklık, renk ve KOİ gideriminde %80 üzerinde giderim sağlanmıştır [Barredo-Damas et al., 2010]. Tekstil atıksuyunda renk giderimi üzerine yapılan bir çalışmada 450Da MWCO sahip seramik membran filtrasyonu 30 farklı tipte renkli atıksuyun renk giderimi için kullanılmış ve yaklaşık %70 giderim sağlandığı rapor edilmiştir [Voigt et al., 2001].

Yüksek sıcaklıktaki atıksular (70-90 ^{O}C) ve proses sularının polimerik membranlar ile arıtılmasında membran yapısında problem çıkarmaması için, atıksular düşük sıcaklıklara getirilerek arıtımları sağlanabilmektedir. Seramik membranların termal dayanımının yüksek olması özelliği ile yüksek sıcaklıktaki sular filtre edilebilmekte ve yüksek sıcaklıkta düşük viskozitenin etkisi ile yüksek süzüntü akıları elde edilebilmektedir [Cheryan, 1986], [Kallioinen et al., 2007], [Vladisavljevic et al., 1992], [Zhao et al., 2005], [Lindmark et al., 2011]. Seramik membranlara göre polimerik membranlar 75 ^{O}C'nin üzerindeki sıcaklıklarda fonksiyonlarını yitiriyor olduklarından işletme koşulları açısından kısıtlayıcı

olmaktadırlar. Bu yüzden termal stabilitesi avantajları ile seramik membranların yüksek sıcaklık içerikli atıksuların filtrasyonunda kullanılması ile yüksek akı eldesi potansiyeli bulunmaktadır [Kallioinen et al., 2007], [Freeman and Shorney-Darby, 2011], [Cheryan, 1998], [Snow et al., 1996].

Vincent-Vela ve arkadaşları (2012), sıcaklık artışı ile akının artmasının sadece viskozitenin azalmasına değil yüksek sıcaklıkta başlangıç kirlenmesinin az olduğunu ve kirlenme potansiyeli nedeninin az olması ile de akının arttığını gözlemlemişlerdir [Vincent-Vela et al., 2012]. Akı azalmasının temel nedeni, membran yüzeyinde partiküllerin birikerek kek tabakasını oluşturmasıdır. Büyük partiküllerin birikimi yüksek sıcaklıkta kek tabakasının kalınlığının artması ile toplam direncin (Rt) artmasına neden olur. Sıcaklığın artması ile kek tabakasının özellikleri değişmektedir [Cromey, 2014], [Cromey et al., 2015].

Lee. et al., (2013) tarafından yapılan çalışmada sıcaklıktan bağımsız olarak seramik membranların temel kirlenme mekanizmasının kek kirlenmesi olduğu . Koltuniewicz ve arkadaşları (1995), tarafından yapılan çalışmada, çapraz akış filtrasyonunda dead-end filtrasyonuna göre daha az kirlenme görülmüştür [Koltuniewicz et al., 1995]. Seramik membranların, temel kirlenme mekanizmasının fiziksel olarak kolayca uzaklaştırılabilen kek kirlenmesi olması polimerik membranlara göre avantaj sağlamaktadır.

Cromey (2014), kolloidal silika içeren besleme suyununda, 25-90 ^{O}C sıcaklık aralıklarında çapraz akış filtrasyonu ile 50 kDa disk tip seramik UF membranların performansını değerlendirmiştir. Çalışmada bulunan en önemli bulgular; yüksek sıcaklıklarda süzüntü miktarının arttığı şeklindedir. 25-90 ^{O}C artışta saf su akısı yaklaşık 60 LMH değerinden 120 LMH değerine 2 kat artarken, kolloidal silika besleme suyunun akısı ise aynı sıcaklık artışında yaklaşık %90 oranında artmıştır. Seri direnç (Resistance-in-series) model analizi ve kek özellikleri karakteristiği verilerine göre, toplam kirlenme sıcaklıkla artmakta olup, baskın kirlenmenin fiziksel temizlik ile kolayca temizlenebilen kek kirlenmesi olduğu belirtilmiştir. Toplam direncin (R_T) %95'i fiziksel olarak uzaklaştırılabilen dirençtir (Rpr). Tüm sıcaklıklarda kimyasal olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rcr) ve geri çevrilemeyen kirlenme (irreversible fouling) direnci (Rif) ihmal edilebilir düzeyde bulunmuştur. Seramik membranların sıcak atıksuyu bulunan endüstriyel proseslerde kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi önerilmiştir.

Membran filtrasyonunda yüksek sıcaklıklarda yüksek akı elde etme potansiyeli bulunmaktadır. Cromey et al., (2015), seramik membran filtrasyonunda sıcaklık etkisi üzerinde çalışmış ve yüksek sıcaklıkta yüksek akı eldesi gözlemlemiştir. Aynı çalışmada yüksek akı potansiyeline dikkat çekilmekte ve sıcak su geri kazanımı potansiyeli bulunan endüstriler için uygulanabilirliği vurgulanmaktadır. Voigt et al., (2001), seramik membran filtrasyonu ile tekstil atıksuyunda renk giderimi üzerinde çalışmış ve sıcak süzüntü suları sıcak olarak prosese geri verilebilmiştir.

Seramik membran filtrasyonunun termal ve mekanik dayanımlarının yanında, polimerik membranlara göre kek kirlenmesinin baskın olması nedeni ile fiziksel temizlik ve geri yıkama yapılarak oluşan kek tabakasının kolayca uzaklaştırılabilme avantajı da bulunmaktadır. Böylece kimyasal yıkama gereksinimi azalmakta ve uzun bir süre yüksek akı eldesi mümkün olmaktadır [Lee et al., 2013], [Cromey et al., 2015]. Yüksek sıcaklıkta membran kirlenmesi ve verim konusunda yapılan tekstil endüstrisi dışındaki farklı çalışmalarda da yüksek akı potansiyeli vurgulanmaktadır [Lee et al., 2013], [Lindmark et al., 2011].

2.6. Tekstil Endüstrisinde Membran Teknolojilerinin Uygulanması

Geleneksel tekstil atık su arıtma yöntemleri suyun yeniden kullanımı için yeterli değildir. Özellikle tekstil endüstrisinde, membran prosesler ile kostik geri kazanımı ve boyar madde ayırma işlemleri konusunda literatürde çok sayıda çalışmalar bulunmaktadır [Koyuncu et.al, 2004a], [Van der Bruggen et al., 2004], [Van der Bruggen et al., 2005], [Marcucci, 2002], [Fersi and Dhabbi, 2008], [Voigt et al., 2001]. Bu çalışmaların önemli bir çoğunluğu polimerik membranlar ile yapılmıştır. Ülkemizde ve uluslararası alanda polimerik membran filtrasyonu ile kostik geri kazanımı konusunda yayınlar mevcuttur [Varol et al., 2015], [Tunç et al., 2014].

Literatürde tekstil atıksularının arıtılmasında ve geri kazanılmasında seramik membranların kullanımı kısıtlıdır Web of Science verilerine göre 1945-2018 yılları arasında tekstil atıksuyu ile ilişkili 3.983 adet makale bulunmaktadır ve bunların 496 adedi membranlar ile 33 adedi seramik membranların kullanıldığı yayımlardır. 3983 adet makaleden 5 adedi kostik geri kazanımı ile ilişkilidir [Web of Science, 22/02/2018].

Seramik membranlar polimerik membranlara kıyasla yüksek termal, kimyasal ve mekanik dirençleri nedeniyle çok daha avantajlıdır. Bu avantajlar, seramik membranları özellikle yüksek sıcaklık ve yüksek alkali özelliğe sahip tekstil atık sularının arıtımı için uygun yapmaktadır. [Alventosa-deLara et al., 2014]. Özellikle pH dayanımı avantajına rağmen literatürde kostik geri kazanımı için seramik membranların kullanıldığı çalışmalar oldukça azdır. Literatürde polimerik UF öncesinde seramik MF ile kostik geri kazanımı çalışması [Yang et al., 2007] ve doğrudan seramik membranlar ile kostik geri kazanımı çalışmaları sınırlıdır.

Tablo 2.15' de farklı tekstil endüstrisi atıksuları ile yapılan polimerik ve seramik membran filtrasyon çalışmaları verilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda polimerik membranların uygulandığı sıcaklıklar ve pH aralıkları kısıtlı olup, ancak özel üretim polimerik membranlar kullanılarak yüksek sıcaklık ve yüksek asidik/ yüksek bazik koşullarda çalışılabilmiştir. Seramik membranlar, mekanik ve termal dayanımları açısından polimerik membranlara göre avantajlı olmasına rağmen uygulamada polimerik membranlar kadar yaygın değildir.

Tablo 2.15**:** Tekstil endüstrisi proses ve atıksularında kullanılan membran tipleri ve işletme koşulları.

Tekstil Atıksuyu Birimi	**Membran İsmi**	**Membran Malzemesi**	**Membran Türü**	**MWCO**	**Basınç**	**Sıcaklık °C**	**CFV**	**pH aralığı**	**Referans**
Genel Proses Suyu	Dow NF45		NF		1 Mpa			8,5	Bes-Piá,A, et.al, (2002)
	Dow NF70		NF		1 Mpa			8,5	
	10 BIOMAX of MILLIPORE		UF	5 kD	0.15 MPa	20		8,5	
	IRIS 3065 of TECHSEP		UF	40 kD	0.15 MPa	20		8,5	
	IRIS 3028 of TECHSEP		UF	100 kD	0.15 MPa	20		8,5	
Merserizasyon Atıksuyu	MF-45	Fluoropolimer	MF	0.45 µm	1,5 bar	60		1 – 11	Varol, et.al, (2015)
	GR95PP	Polyethersulfone on polypropylene	UF	2000 g/mol	10 bar	75		0-13	
	NP010	PolyethersulfoneHydrophilized	NF	1000 g/mol	40 bar	95		0-14	
	NP030	PolyethersulfoneHydrophilized	NF	500 g/mol	40 bar	95		0-14	
	MPT-34//MPF-34	Polyethersulfone on polypropylene	NF	300 g/mol	35 bar	70		0-14	
Alkali Proses Atıksuları	NF30	Polyethersulfone hydrophilized	NF	500 g/mol	40 bar	95		0–14	Schlesinger et.al, (2006)

Tablo 2.15**:** Tekstil endüstrisi proses ve atıksularında kullanılan membran tipleri ve işletme koşulları.

Tekstil Atıksuyu Birimi	**Membran İsmi**	**Membran Malzemesi**	**Membran Türü**	**MWCO**	**Basınç**	**Sıcaklık °C**	**CFV**	**pH aralığı**	**Referans**
	SelRO MPF-34	Composite	NF	200-300 g/mol	35 bar	70		upto 20% NaOH	
	NTR-7470	Polysulfonebased	NF	200-250 g/mol	35 bar	60		15% NaOH at 60°C	
	G-5 (GE)	Proprietary		1000 g/mol	40 bar	80		1–14	
	GR95PP	-	Tight UF	-	10 bar	75		1–14	
	GR95PP	Polyethersulfone on polypropylene support	Tight UF	2000 g/mol	10 bar	75		1-13	
Karbonizasyon	Celgard NADIR PI 50F	spiral-woundmembranes	MF (in series)	150 kDa	3,5 bar			6,1-6,7	Marcucci et.al,(2002).
	OsmonicsDesal DL4040F	spiral-woundmembranes	NF	200 Da	6,5-7 bar			6,1-6,7	
Boya bölümü	OsmonicsDesal DL4040F	spiral-woundmembranes (PVDF)	UF	70,000 Da				6,1-6,7	
Reaktif Boylar	UF-10-PAN 1	copolymersystempoly-acrylonitrile-methylacrylate-sodiumvinylsulfonate	UF		0.3-0.5MPa			>10	Petrova and Stoychev, (2003).
	UF-10-PAN 2	crylonitrile-methylacrylate-2-acrylamide-2-methyl-propanesulfonicacid	UF		0.3-0.5MPa			>10	
Reaktif Baskı		AlO3	UF Ceramic	0.1 μm	1-3 bar				Šostar-Turk et.al, (2005).

Tablo 2.15**:** Tekstil endüstrisi proses ve atıksularında kullanılan membran tipleri ve işletme koşulları.

Tekstil Atıksuyu Birimi	**Membran İsmi**	**Membran Malzemesi**	**Membran Türü**	**MWCO**	**Basınç**	**Sıcaklık °C**	**CFV**	**pH aralığı**	**Referans**
		spiralwoundtype	RO		20-30 bar				
Tekstil Atıksuyu		flatsheetpolysulfonebasedthin film	NF		100-500 kPa		3-5 L/min	7	Tang and Chen, (2002).
Alkali atık polyester atık	MPT-34/TM 203	polysulfone	NF	200 Da	24–25 (kgf/cm2)	28–65	3,37	4-7	Choe et.al,(2005).
	MPT-34/2TM 1228-AS	polysulfone	NF	200 Da	30–32.5 (kgf/cm2)	46–50	7,74	4-7	
Reaktif siyah (Cibacron Black B) ve reaktif kırmızı (CibacronRed RB) boya içeren boya karışımı		thin film composite polyamide		400 Da	276, 415 and 550 kPa		14, 21,28 cm/s		Chakraborty et.al, (2003).
Boyama prosesi	DL		NF	180 g/mol	7 bar	25			Sójka-Ledakowicz et.al, (1998).
	DK		NF	180 g/mol	7 bar	25			
	SG		RO	180 g/mol	16 bar	25			
Boya banyoları	NF70 (Filmtec)		NF		10 bar	25			Van der Bruggen et al., (2005).
	UTC-20 (TorayInd.)		NF		10 bar	25			

Tablo 2.15**:** Tekstil endüstrisi proses ve atıksularında kullanılan membran tipleri ve işletme koşulları.

Tekstil Atıksuyu Birimi	**Membran İsmi**	**Membran Malzemesi**	**Membran Türü**	**MWCO**	**Basınç**	**Sıcaklık °C**	**CFV**	**pH aralığı**	**Referans**
	NTR 7450 (Nitto-Denko)		NF		10 bar	25			
	UF-PES-10 (Osmonics)	PES	UF	10 kDa	5 bar	50			
	N30F (Nadir,hydrophobic)		NF	400-500 Da	8 bar	50			
	Desal DL 5 (Osmonies, hydrophilic)		NF	150 to 300 Da	8 bar	50			
Boya sonrası yıkama bölüöü		TiO2-NF (19-channel tubular)	NF	0.9 nm (pore size)	6-25 bar		4.5 m/s		Voigt et.al, (2001)
Boyama ve apre	Trisep 8040-UE50-TXA	spiralwoundtype		100 kDa	4 bar				Ciardelli et,al (2001)
	Toraypolyamidemembrane	spiralwoundtype in series	RO		8 bar				
Boyama prosesi	Desal 5DK membrane	Polyamide	hydrophilic membrane	150–300 g/mol					Akbari et.al,(2002).

3.MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, çalışılan tekstil firmasına ait detay bilgiler ve potansiyel geri kazanım noktalarının seçimi hakkında detay bilgilendirme yapılmıştır. Geri kazanım çalışmalarında kullanılacak olan seramik membranlar ve filtrasyon sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Çapraz akış membran filtrasyonu prosedürü detaylı olarak verilmiştir. Ham atıksu karakterizasyonu, atıksu analizleri, membran kirlenmesinin değerlendirilmesi, geliştirilen yerli seramik membranlarda uygulanan performans deneyleri detaylı olarak irdelenmiştir.

3.1. Çalışılan Tekstil Firması ve Potansiyel Geri Kazanım Noktaların Seçimi

Atıksu numunelerinin alındığı firma Bursa OSB bünyesinde faaliyet göstermekte olup büyük ölçekli işletme olarak nitelendirilebilir. Firma, pamuklu ve viskon kumaş üretimi yapmakta ve yerli ve yabancı giyim mağazalarına sipariş üzerine üretim yapmaktadır. Firmanın günlük ortalama kumaş üretimi 15 ton olup bu üretimin %50'si pamuklu üretim, %50'si viskon kumaş üretimidir.

Tesis, "Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Tebliğ [ResGaz 2, 2015]" kapsamında MET hedeflerini belirlemiş olup, bu hedeflere ulaşmak maksadıyla tesis içerisinde çeşitli geri kazanım uygulamalarını halihazırda yapmaktadır.

Tesisin günlük ortalama su tüketimi kg kumaş başına 214 L olup, aylık su tüketimi yaklaşık 60.000 m^3 civarındadır. Tesis içerisinde oluşan 50 ^{O}C üstü sıcak sular ısısından faydalanmak amacı ile ayrı hatlarda toplanmakta, fayda sağlandıktan sonra, diğer atıksular ile beraber Bursa OSB merkezi Atıksu Arıtma Tesisi (AAT)' ne iletilmektedir. Firma proses suyu ihtiyacını, bünyelerinde bulunan ters ozmoz sisteminde ürettikleri suyu doğrudan kullanarak veya ihtiyaca göre Bursa OSB AAT'den aldıkları arıtılmış su ile karıştırarak temin etmektedir.

Isı geri kazanımı maksadı ile 50 ^{O}C üzerinde olan atıksular bir haznede toplamakta sıcaklığı yaklaşık 20 ^{O}C olan temiz suyun bulunduğu hazne ile teması sağlanarak temiz suların sıcaklığı yaklaşık 40 ^{O}C civarına getirilmektedir. Firma

sonrasında enerji harcayarak yaklaşık 40 ^{O}C sıcaklığı olan temiz suyu istediği sıcaklığa (80 ^{O}C -98 ^{O}C) getirmektedir.

İncelenen tesisin tekstil üretim aşamaları ve her aşamada yer alan girdi ve çıktılar iş akış şeması olarak Şekil 3.1'de verilmektedir. Detaylı olarak incelenirse firmada gerçekleşen yıkama işlemlerinin gerçekleştiği prosesler ve örnekleme yapılan döneme ait yaklaşık su kullanımları ve atıksu miktarları Şekil 3.10' da gösterilmektedir. Geri kazanımı hedeflenen kasar ana banyo ve durulama banyoları Şekil 3.2, reaktif ve dispers emprime baskı banyoları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' de verilmektedir.

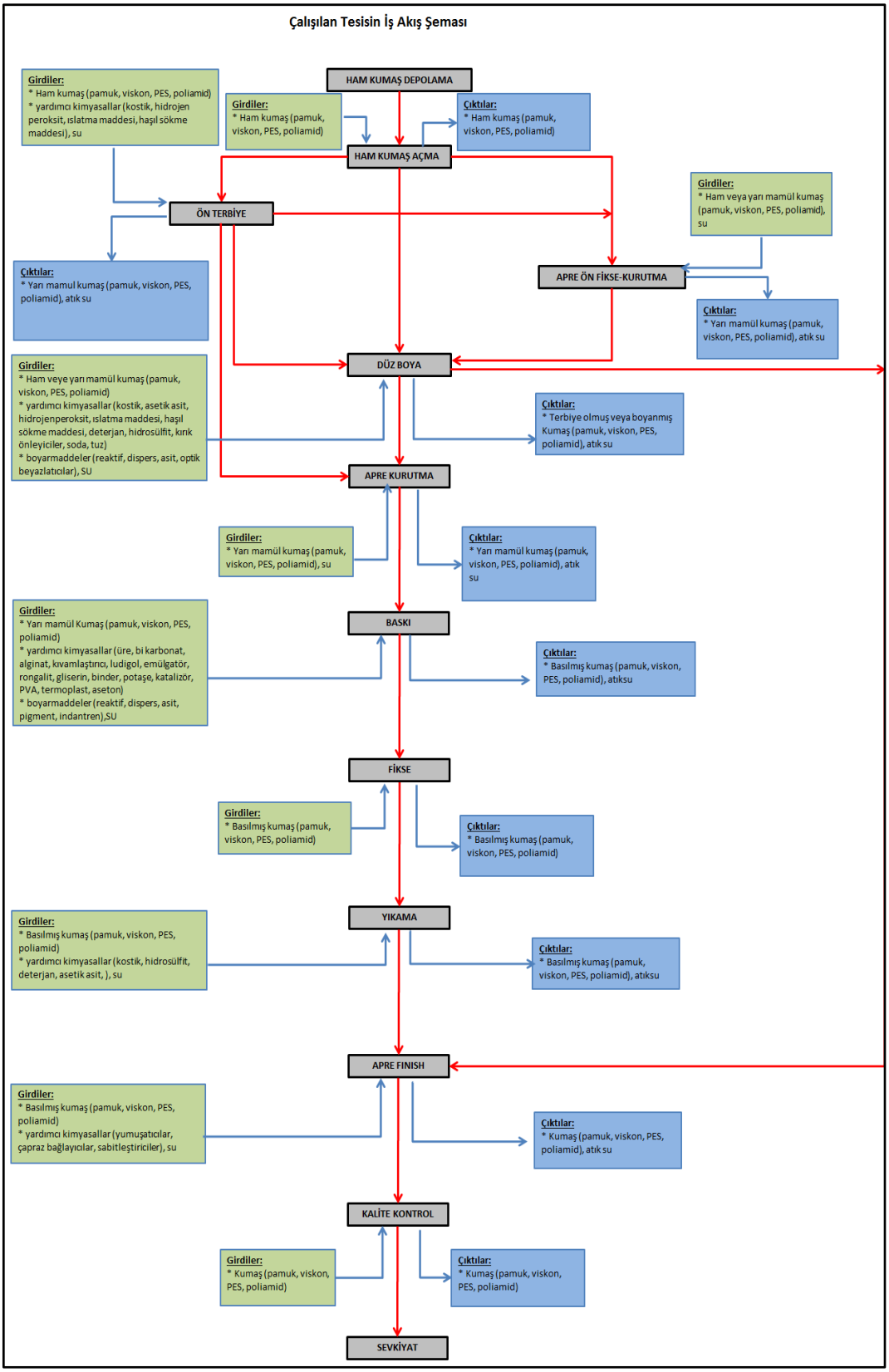
Firmada gerçekleştirilen geri kazanım uygulamaları kapsamında, kasar 1 ve 4 nolu durulama banyolarından deşarj edilen sıcak ve seyreltik kostik içerikli atıksular, reaktif ve dispers emprime baskı proseslerinin 2 ve 3 nolu banyolarındaki boyalı sıcak atıksular önce emprime karışıma sonrasında ısı geri kazanım hattına iletilmektedir.

Firmada kumaşa uygulanan kasar işlemleri işlenen kumaş türüne göre değişmektedir. Viskon kumaş için viskon kasarı uygulanırken, pamuklu kumaş için iki ayrı kasar işlemi (pamuk kasar 1 ve pamuk kasar 2) uygulanmaktadır.

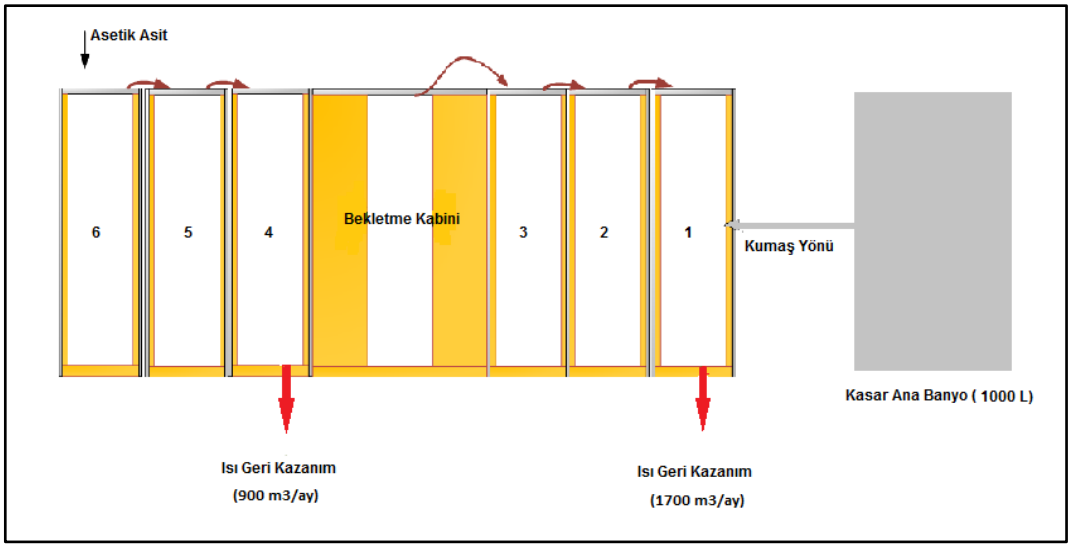
Firmada tüketilen günlük ortalama su miktarının (214 L/kg kumaş) 11 L (toplam su tüketiminin %5'i) si kasar durulama banyolarında, yaklaşık 60 L (toplam su tüketiminin %28'i) si reaktif emprime baskı banyolarında ve yaklaşık 40 L (toplam su tüketiminin %19'u) si dispers emprime baskı banyolarında tüketilmektedir. Isı geri kazanımı hattında toplanan toplam sıcak su miktarı aylık yaklaşık 15.000 m^3 civarındadır. Kasar ana banyo tankının yaklaşık 1 m^3 hacime sahip olup, kasar prosesinin olduğu günlerde 2-3 defa deşarj edilmektedir.

Sıcak su geri kazanımı hedefleri doğrultusunda sadece su geri kazanılmış olmayacak, sıcak yıkamalar için ısıtılacak suya harcanacak enerji azalmış olacaktır.

Kostik geri kazanımın gerçekleşmesi ile de alıcı ortama yüksek alkali atıksular verilmemiş olacak ve Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Tebliği'nin gerekleri yerine getirilmiş olacaktır. Ayrıca, bir miktar kayıp ile kazanılan kostik ticari kostik ile karıştırılarak kullanılan ticari çözelti miktarı önemli ölçüde azaltılarak ekonomik katkısı olmuş olacaktır. Ekonomik geri kazanımların değerlendirilmesi Bölüm 4.4' de detaylı olarak verilmektedir.



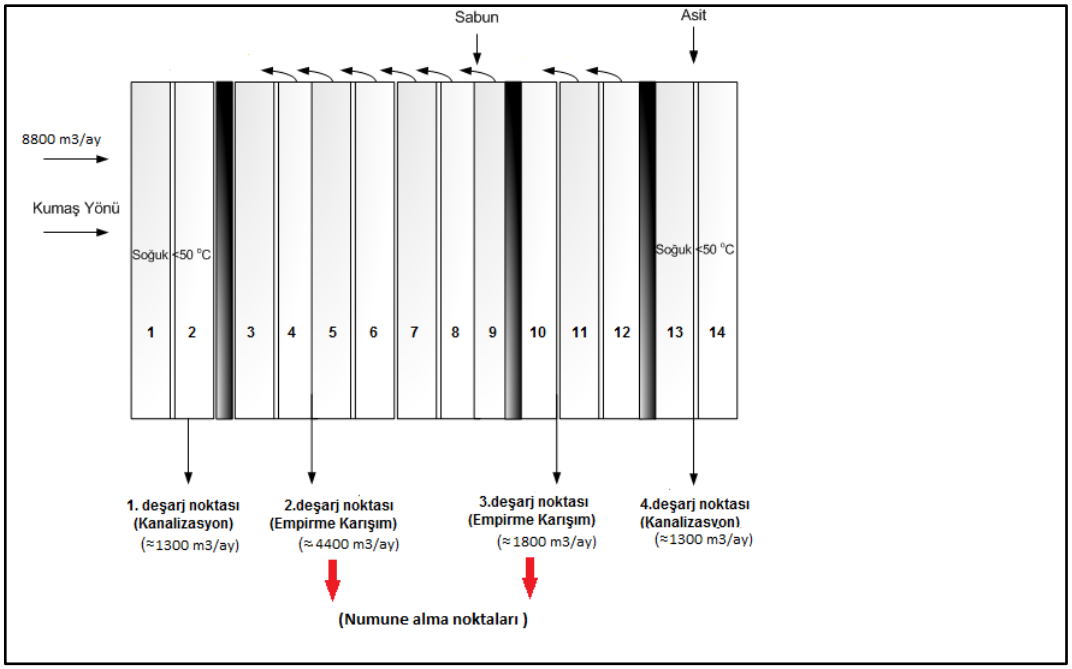
Şekil 3.1: Tekstil firmasına ait iş akım şeması.



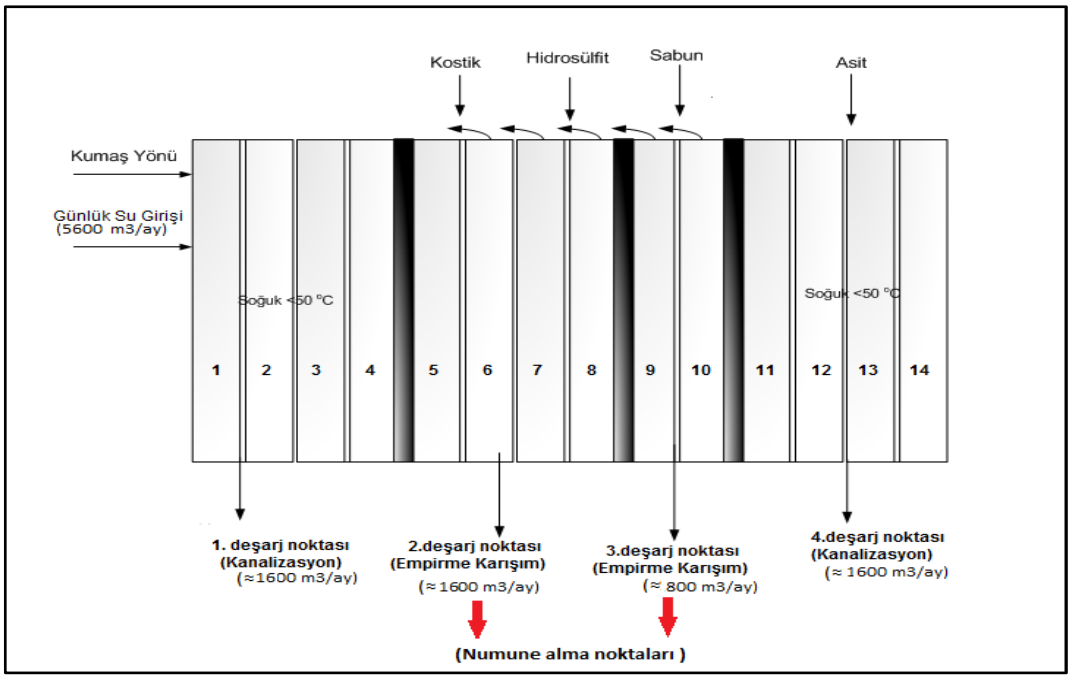
Şekil 3.2: Kasar ana banyo ve durulama banyoları şematik gösterim.



Şekil 3.3: a) Kasar ana banyo, b) Kasar durulama banyoları.



Şekil 3.4: Reaktif emprime baskı banyoları şematik gösterimi.



Şekil 3.5: Dispers emprime baskı banyoları şematik gösterimi.



Şekil 3.6: a) Emprime baskı banyoları, b) Emprime karışım noktası.

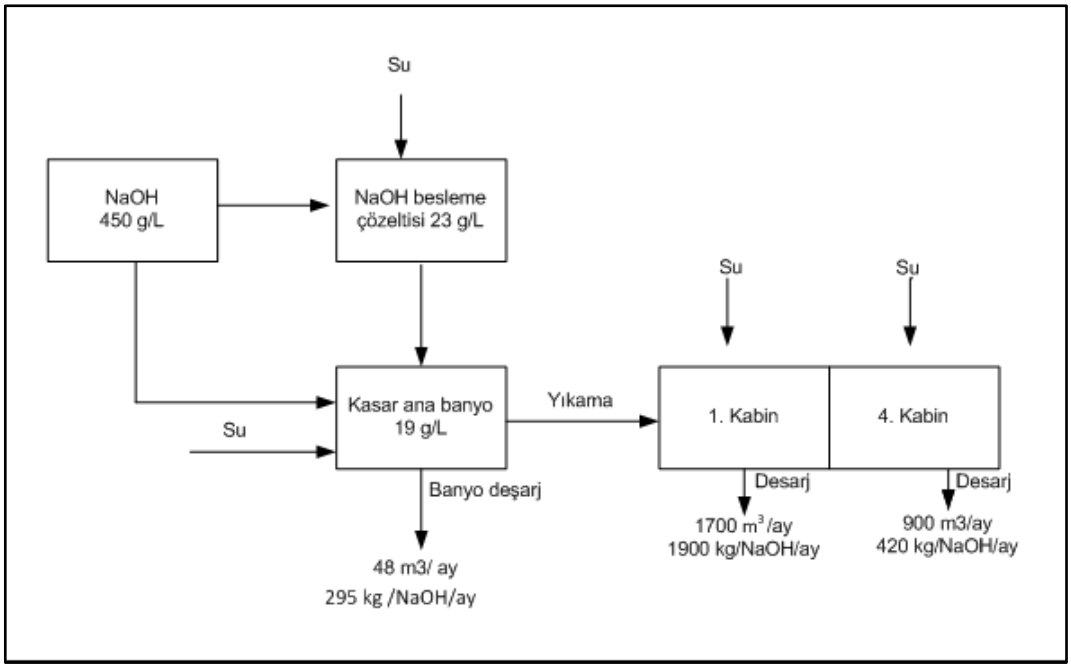
Kasar işlemlerinde kullanılan ve deşarjlarla atılan kostik miktarının bilinmesi, uygun kasarlama prosesinin seçimi ve geri kazanılabilecek kostik miktarının ön görülebilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, her bir kasar işleminde kullanılan su miktarı, kasar banyosunun kostik miktarı, ilave edilen çözelti miktarı ve deşarj edilen kostik içeren atıksuların miktar ve konsantrasyonu kullanılarak sodyum hidroksit için kütle dengesi çıkarılmıştır (Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9).

Pamuk kasar-1 prosesinde, ana banyo deşarjı ile atılan NaOH miktarı ~295 kg/ay, kasar işlemi sonrasında, kumaş üstünde kalan ve yıkama suları ile atılan NaOH miktarı ise 1. ve 4. Kabin için sırasıyla 1.900 kg/ay ve 420 kg/ay'dır. Deşarj edilen atıksu miktarları açısından karşılaştırıldığında ise, ana banyo deşarjı ile atılan atıksu miktarı 48 m^3/ay, 1. ve 4. Kabin için sırasıyla 1.700 m^3/ay ve 900 m^3/ay'dır.

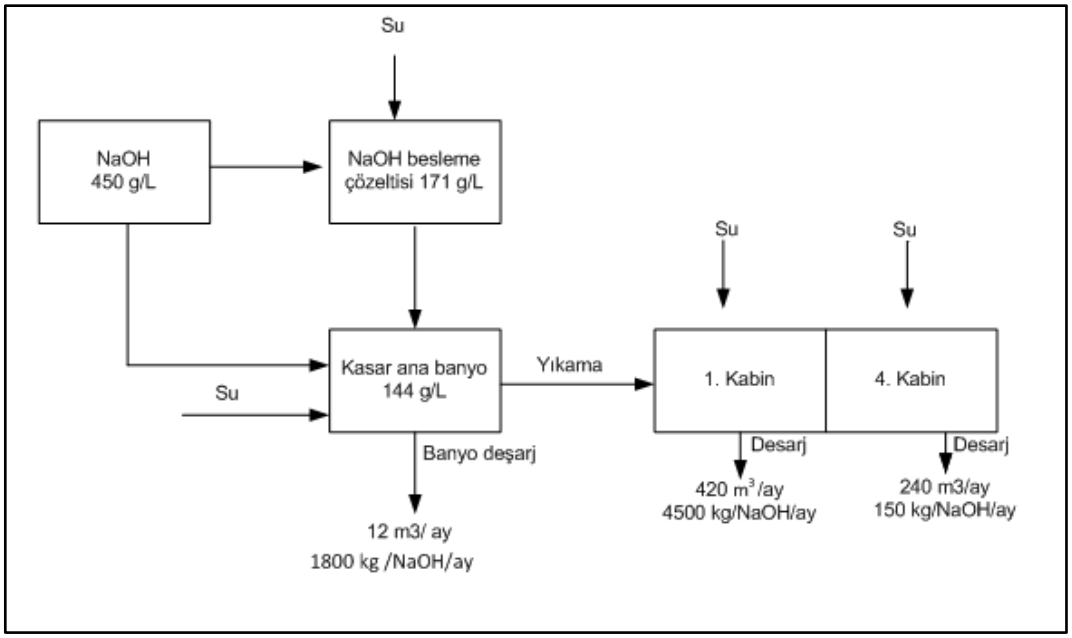
Pamuk kasar-2 prosesinde, ana banyo deşarjı ile atılan NaOH miktarı ~1.800 kg/ay, kasar işlemi sonrasında, kumaş üstünde kalan ve yıkama suları ile atılan NaOH miktarı 1. ve 4. Kabin için sırasıyla 4.500 kg/ay ve 150 kg/ay'dır. Deşarj edilen atıksu miktarları açısından karşılaştırıldığında ise, ana banyo deşarjı ile atılan atıksu miktarı 12 m^3/ay, 1. ve 4. Kabin için sırasıyla 420 m^3/ay ve 240 m^3/ay'dır.

Viskon kasar prosesinde, ana banyo deşarjı ile atılan NaOH miktarı ~1.000 kg/ay, kasar işlemi sonrasında, kumaş üstünde kalan ve yıkama suları ile atılan NaOH miktarı 1. ve 4. Kabin için sırasıyla 5.500 kg/ay ve 350 kg/ay'dır. Deşarj edilen atıksu miktarları açısından karşılaştırıldığında ise, ana banyo deşarjı ile atılan atıksu miktarı 48 m^3/ay, 1. ve 4. Kabin için sırasıyla 1700 m^3/ay ve 900 m^3/ay'dır. Tüm kasar ana banyo deşarjlarının toplanması durumunda, toplam 108 m^3/ay atıksu ve ~3.095 kg/ay NaOH'ın toplanması ve geri kazanım işlemine alınması mümkün olabilir. Bu durumda karışık atıksuyun ortalama NaOH konsantrasyonu ~31 g/L civarında olacaktır.

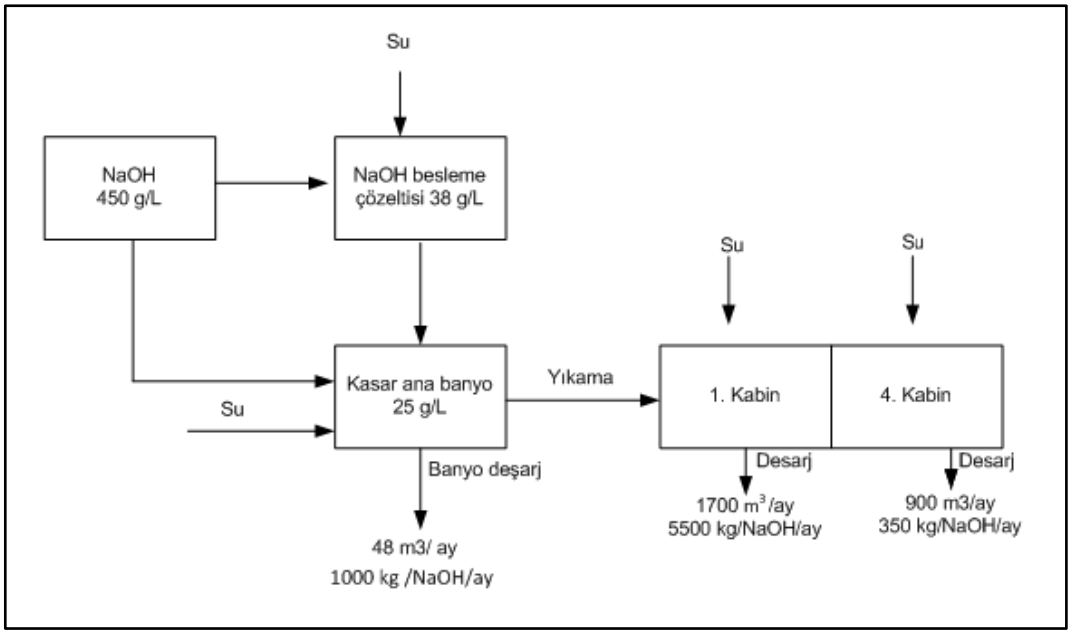
Durulama banyolarından, 1. Kabin deşarjlarınında NaOH konsantrasyonları 4. Kabin deşarjlarına kıyasla oldukça yüksektir. Sadece 1. Durulama banyolarının ayrı toplanması durumunda ise toplam 3.820 m^3/ay atıksu ve ~11.900 kg/ay NaOH'ın toplanması ve geri kazanım işlemine alınması mümkün olabilir. Bu durumda karışık durulama atıksuyunun ortalama NaOH konsantrasyonu ~3,1 g/L civarında olacaktır. Tüm kasar ana banyolarının ve 1. Durulama kabini atıksularının toplanması durumunda ise 3.928 m^3/ay atıksu ve ~14.995 kg/ay NaOH'ın toplanması ve geri kazanım işlemine alınması mümkün olabilir. Bu durumda karışık atıksuyun ortalama NaOH konsantrasyonu ~3,8 g/L civarında olacaktır.



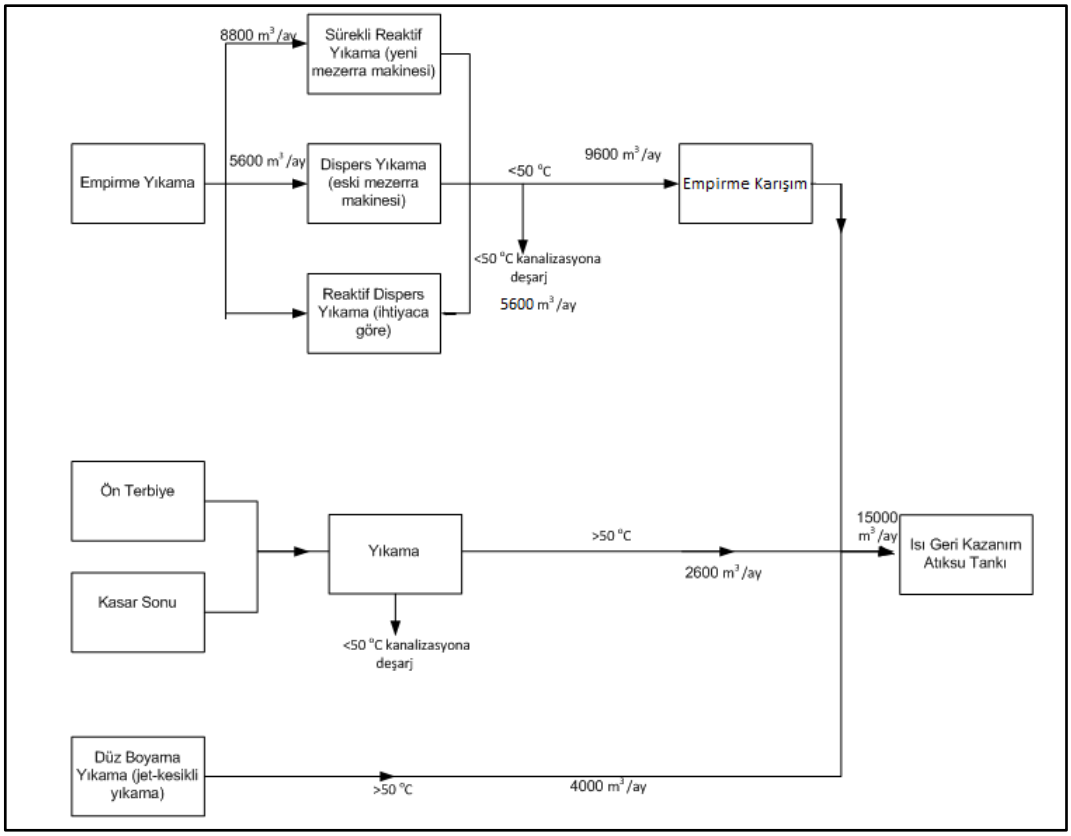
Şekil 3.7: Pamuk Kasar-1 prosesi kostik miktarı (kg/ay).



Şekil 3.8:.Pamuk Kasar-2 prosesi kostik miktarı (kg/ay).



Şekil 3.9: Viskon Kasar prosesi kostik miktarı (kg/ay).



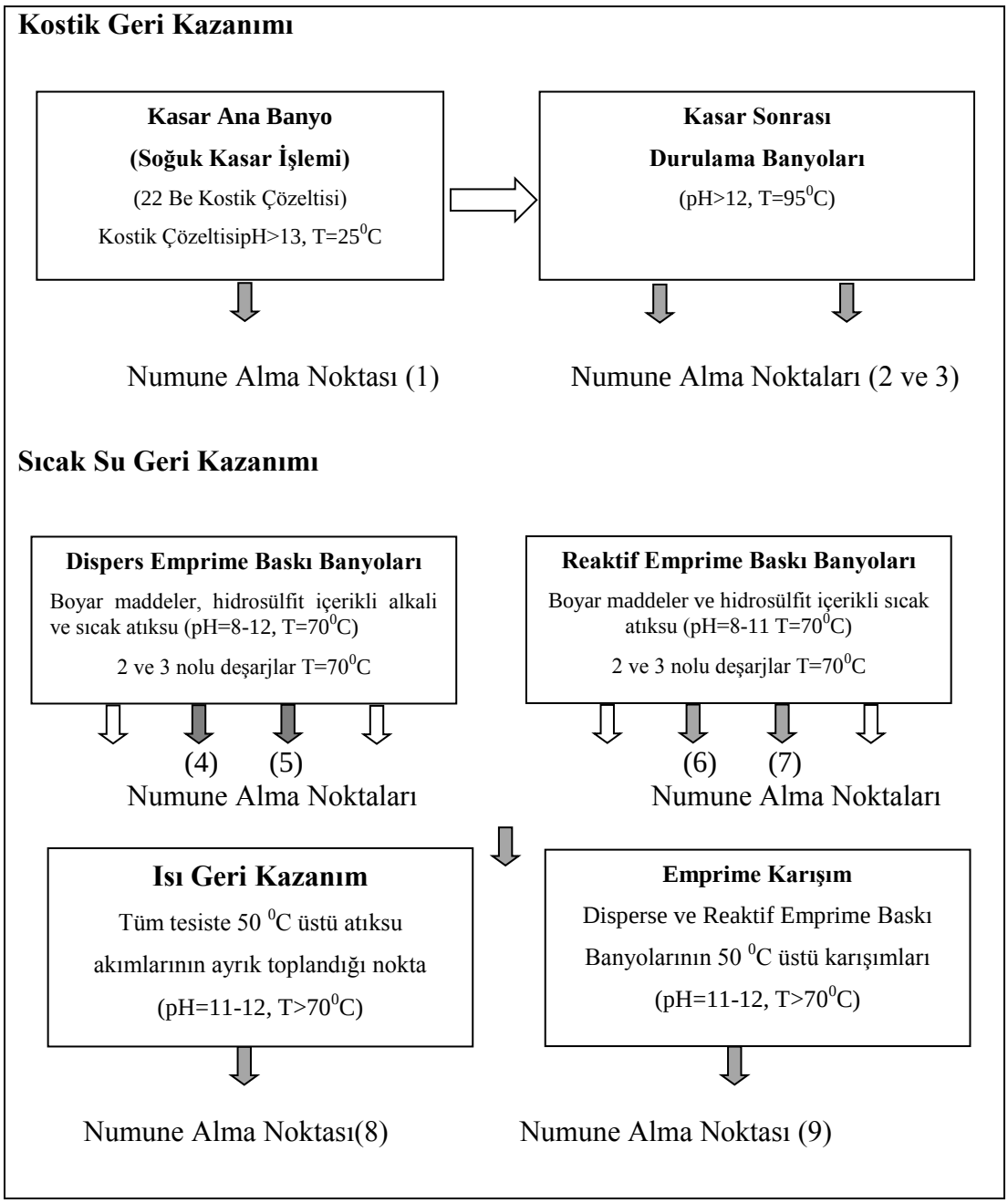
Şekil 3.10: Tekstil firmasında yıkama işlemlerinin bulunduğu prosesler.

3.2. Ham Atıksu Karakterizasyonu ve Atıksu Analiz Yöntemleri

Bölüm 3.1' de detaylı olarak verilen prosesler geri kazanım hedefleri doğrultusunda incelenmiş, Şekil 3.10' da belirtilen atıksu akımlarından seramik membranlar ile geri kazanım hedeflerine uygun olabilecek noktalar atıksu karakterizasyonu için seçilmiştir. Endüstriyel atıksuyun karakterizasyonu için tekstil firmasından Şekil 3.11' de verilen 1,2,3,4,5,6,7,8,9, nolu noktalardan Şubat- Mayıs 2016 tarihlerinde 105 adet atıksu numunesi alınmış ve Tablo 3.1'de verilen analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1: Ham atıksu ve süzüntülerde yapılan atıksu analizleri ve yöntemleri.

Parametre		**Analiz Yöntemi**
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/L)		Spectroquant TR320, Merck US EPA onaylı
Toplam Organik Karbon (TOK) (mg/L)		SM- 5310 B Yüksek sıcaklıkta yakma
Askıda Katı Madde (mg/L)		SM- 540 D Gravimetrik
Na^{+}(mg/L)		SM 3030
Renk, (Pt-Co)		SM- 2120 C Spektrofotometrik
Renk, (RES)	436 nm	EN ISO 7887 Metot B Spektrofotometrik
	525 nm	
	620 nm	
Bulanıklık, NTU		SM- 2130 B Neflometrik Metot
İletkenlik, (µS/cm)		SM-2510 B Lab. Yöntemi
Sıcaklık, ^{O}C		CTD Probu
pH		SM- 4500- H^{+} B Elektrometrik
Klorür (Cl^{-}) (mg/L)		SM-4110 B İyon Kromatografi
Toplam Sertlik		SM 2340 C EDTA Titrimetrik Metot
Boyut Dağılımı*		**
* Boyut dağılımı sadece atıksu karakterizasyonu süresince yapılmıştır ** Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer (0.1 – 1000 µm)		



Şekil 3.11: Atıksu karakterizasyonu gerçekleştirilen prosesler.

3.3. Kullanılan Seramik Membranlar ve Membran Filtrasyon Hücreleri

Laboratuvar çalışmalarında kullanmak üzere 9 farklı gözenek boyutunda (1, 3, 5, 8, 15, 50, 150 ve 300 kDa ve 0,2 μm), 47 mm ve 90 mm çaplarında disk tip ve tek kanallı tubular ticari seramik membranlar (Şekil 3.12) STERLITECH ve TAMI firmalarından temin edilmiştir. Ticari seramik membranların teknik özellikleri Tablo 3.2'de detaylı olarak verilmektedir.

Geri kazanım ve membran performans deneylerinin gerçekleştiği çapraz akış (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15) ve ölü uç filtrasyon (Şekil 3.13) hücreleri STERLITECH ve TAMI firmalarından temin edilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan filtrasyon hücrelerinin teknik özellikleri Tablo 3.3' te detaylı olarak verilmektedir.

Tablo 3.2: Ticari seramik membranların özellikleri.

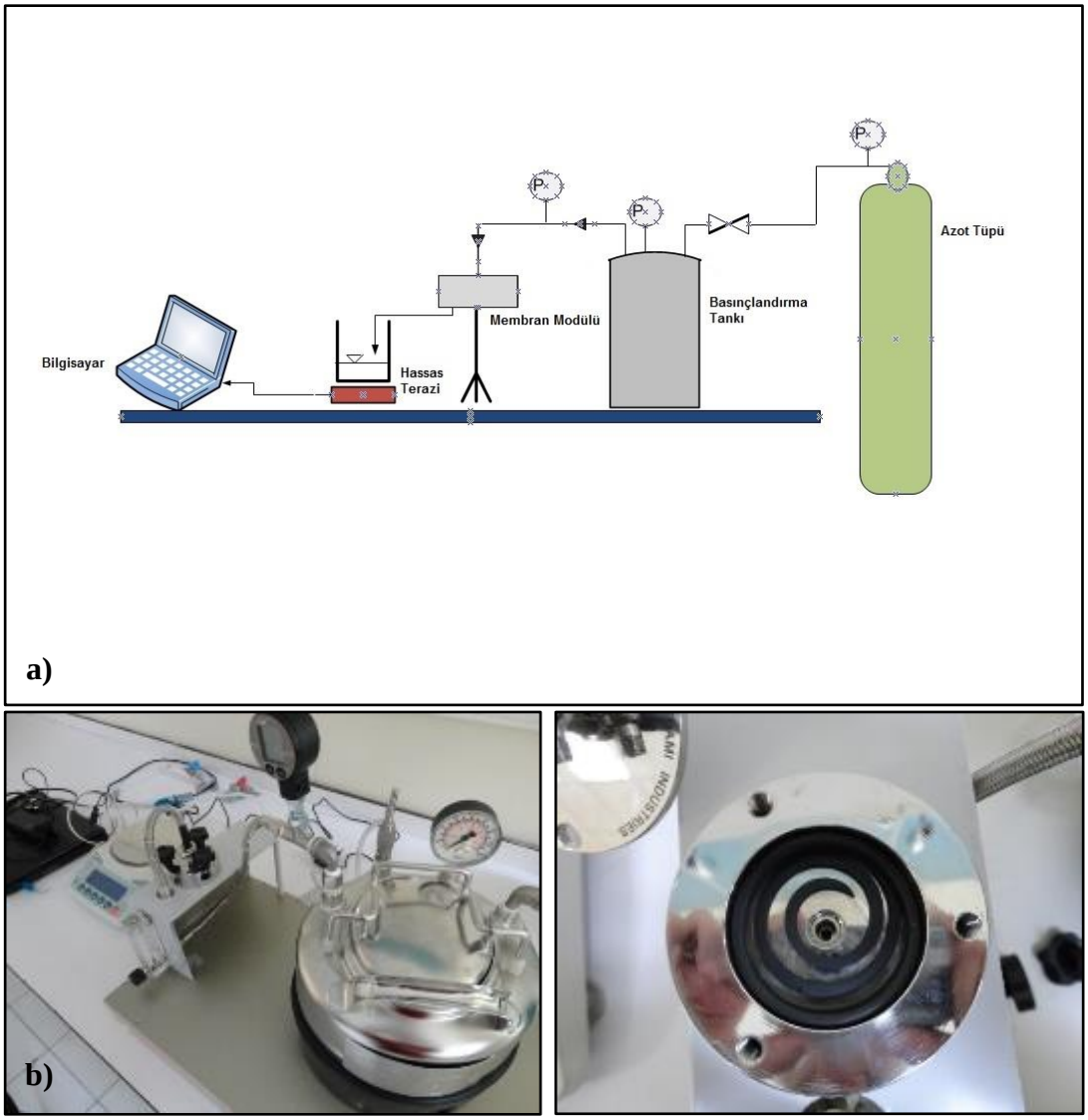
Parametre	**Özellikler (disk tip)**	**Özellikler (tubular tip)**
Destek tabakası	$Al_2O_3/TiO_2/ZrO_2$	TiO_2
Aktif tabaka	TiO_2(MF), ZrO_2 (UF/Sıkı UF)	TiO_2 + ZrO_2 (MF), ZrO_2 (UF), TiO_2 (Sıkı UF),
Kalınlık (mm)	2.5	10
Çap (mm)	47 (ölü uç)	-
Çap (mm)	90 (çapraz akış)	10 (dış)-6 (iç)
Uzunluk (mm)	-	250
Maksimum filtrasyon alanı (cm^2)	13.1 (47mm) 56.3 (90 mm)	40
pH dayanımı	0-14	0-14
Maksimum basınç (bar)	90	90
İşletme basıncı (bar)	0-4 (filtrasyon hücresi)	0-10 (filtrasyon hücresi)
Maksimum İşletme sıcaklığı (^OC)	<350	<350

Tablo 3.3: Membran filtrasyon hücrelerinin fiziksel özellikleri.

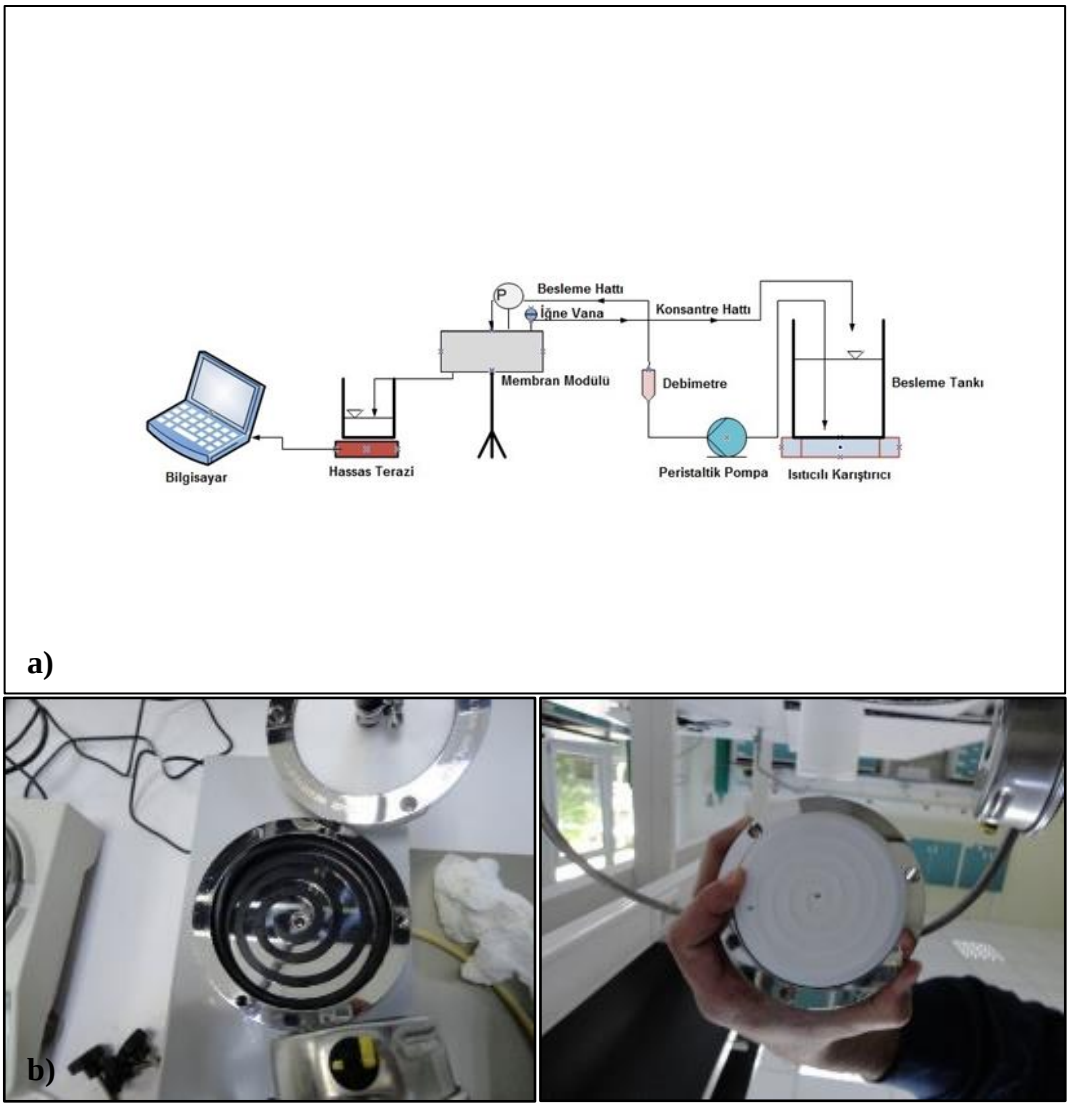
Hücre Özellikleri	**Ölü Uç (dead-end) hücresi**	**Çapraz Akış Hücresi (disk tip)**	**Çapraz Akış Hücresi (tubular tip)**
Hücre malzemesi	Paslanmaz çelik 316 L	Teflon ve paslanmaz çelik 316 L	Paslanmaz çelik 316 L
İşletme pH aralığı	0-14	0-14	0-14
İşletme sıcaklığı maksimum (^{O}C)	<130	<130	<130
İşletme basıncı (bar)	0-4	0-4	0-10



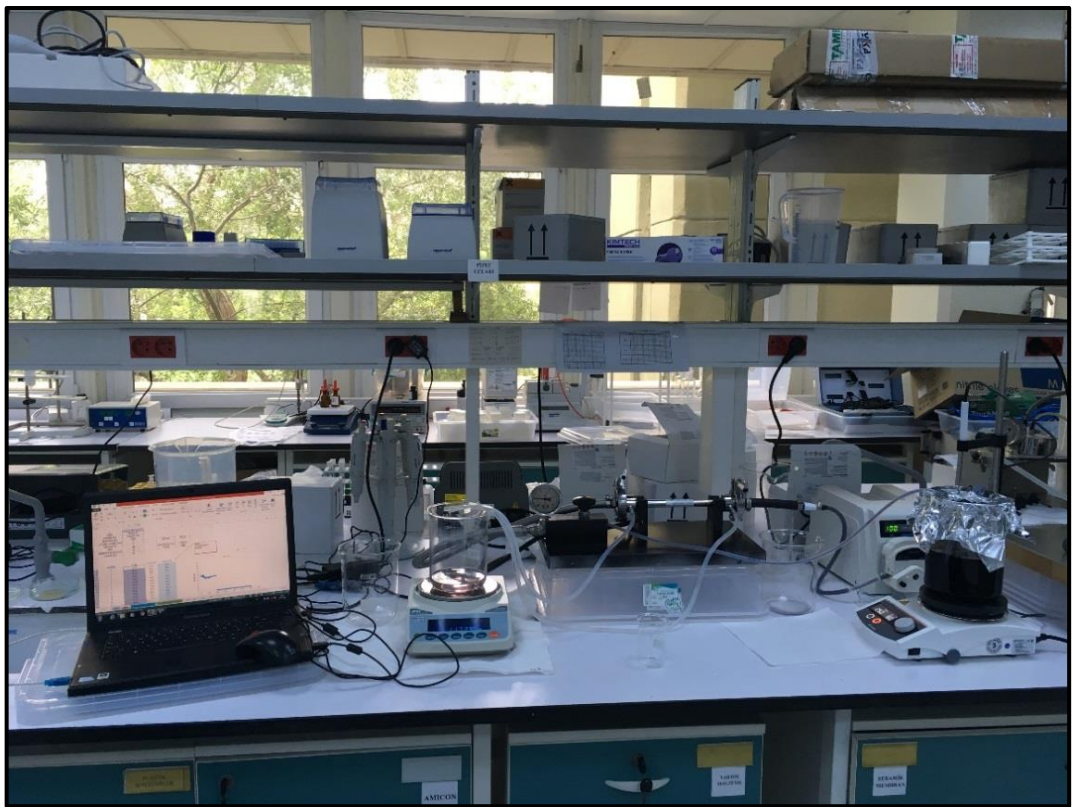
Şekil 3.12: TAMI-STERLITECH Ticari Seramik Membranlar a) tubular tek kanal, b) disk 47 mm ve disk 90 mm.



Şekil 3.13: a) Dead-end Sistemi Şematik Diyagramı, b) Ölü uç hücresi CELLULEDIS47V.



Şekil 3.14: a) Çapraz akış sistem şematik diyagramı, b) Çapraz akış hücresi, CELLULEDIS90VT.



Şekil 3.15: Tubular çapraz akış membran filtrasyon sistemi (Tami Minifilter-Valisette ceramic test cell).

3.4. Laboratuvar Ölçekli Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneyleri Prosedürü

3.4.1. Seramik Membranların Kullanıma Hazır Hale Getirilmesi ve Temizliği

Deneylerde kullanılan ticari seramik membranlar kullanılmadan önce kimyasal yıkamaları yapılmıştır. Kimyasal yıkaması yapılan seramik membranlar saf su da bir gece bekletilmiş ve sonrasında filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.
Seramik membranların kullanımı sonrasında uygulanan temizlik işlemleri, bazik ve asidik olmak üzere 2 aşamada gerçekleştirilmektedir.

İlk olarak, seramik membran 0,1N Sodyum Hidroksit (NaOH) çözeltisinde $85^{O}C$' de 30 dakika süre ile muamele edilir. Bazik temizleme sonrasında membran pH nötral olana kadar saf su ile yıkanır. Sonrasında, %75'lik Fosforik Asit (H_3PO_4) çözeltisinde 50 ^{O}C'de 15 dakika süre ile muamele edilir. Asidik temizlik sonrasında membran pH nötral olana kadar saf su ile yıkanır. Kullanılmadan önce bir gece saf suda bekletilen membran ertesi gün kullanıma hazır hale gelmiş olmaktadır.

Kullanılan membranlara atıksu filtrasyonu sonrasında fiziksel temizlik yapılmaktadır. Fiziksel temizlik iki aşamada yapılmaktadır; atıksu ile yüzeyi kirlenmiş membran yumuşak bir sünger ile yüzeyi temizlenmekte ve saf su ile yüzeyi yıkanmaktadır. Fiziksel temizlik sonrası yapılan saf su akı deneyi sonrasında geri yıkama yapılmaktadır. Geri yıkama işlemi, membran ters çevrilerek işletme basıncından daha yüksek bir basınçta (yaklaşık 2 katı) saf su ile geri yıkaması yapılmaktadır. Geri yıkama sonrası yapılan saf su akı deneyi sonrasında membran kimyasal temizlemesi yapılarak tekrardan kullanıma hazır hale getirilmektedir.

3.4.2. Ölü Uç (dead-end) Seramik Membran Filtrasyonu

Ölü uç filtrasyonu sistemi seramik membranların geçirgenlik ve gözeneklilik deneyleri maksadı ile kullanılmıştır. Sistem, 47 mm çapında disk tip seramik membranların kullanımı için özel olarak üretilmiştir. Sistem, azot tüpü, besleme tankı, membran hücresi, hassas terazi ve bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 3.13).

Yapılan deneyler sabit işletme basıncında ve 0-4 bar işletme basıncında gerçekleştirilmektedir. Sabit basınç kontrolü membran hücresi ile besleme tankı arasındaki bağlantı üzerinde bulunan dijital manometre ile takip edilmektedir. Yaklaşık 4 L olan besleme tankının içerisindeki sıvı, azot gazı (sürücü kuvvet) ile basınçlandırılıp membran hücresinde yer alan seramik membrandan filtrasyonu gerçekleştirilmektedir. Elde edilen süzüntü hassas terazi üzerinde bulunan beherde toplanmakta ve belirli zaman aralığında alınan tartımlar bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayara aktarılan tartım değerleri kullanılarak akı değerleri aşağıdaki verilen eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$J = \frac{(\frac{\Delta m}{\rho})/1000}{A * \Delta t / 60} \tag{3.1}$$

- J= Akı değeri (L/m^2/h)
- Δm = Belirli bir zaman aralığında alınan tartım (g)
- Δt = İki tartım arasındaki geçen zaman (dakika)
- ρ = sıvı yoğunluğu (g/cm^3)
- A= Membran filtrasyon alanı (m^2)

3.4.3. Çapraz Akış Seramik Membran Filtrasyonu

Potansiyel geri kazanım noktalarından alınan atıksular ile sıcak su ve kimyasal geri kazanımı çalışmaları ile 90 mm disk tip ve tubular tip seramik membranların saf su geçirgenlik ve gözeneklilik deneyleri için Şekil 3.14 ve Şekil 3.15' de verilen laboratuvar ölçekli çapraz akış membran filtrasyon sistemleri ile gerçekleştirilmişitir.

Filtrasyon sistemi, manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, perilstatik pompa (0-380 ml/min), membran hücresi, hassas terazi ve bilgisayardan oluşmaktadır. Çapraz akış filtrasyonunda 90 mm çapında disk tip seramik membranlar kullanılmaktadır. Saf su deneyleri 30 dakika boyunca ve akının kararlı hale geldiği duruma kadar devam ettirilmiştir. Sıcak atıksu ile yapılan çalışmalarda manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ile atıksu istenilen sıcaklıkta tutulmuş ve filtrasyon deneyleri proses sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Konsantre besleme haznesine geri döndürülmüş ve başlangıç hacminin %80'i filtre edilene kadar filtrasyon deneyi devam ettirilmiştir. Elde edilen süzüntü hassas terazi üzerinde bulunan beherde toplanmakta ve belirli zaman aralığında alınan tartımlar bilgisayara aktarılmaktadır.

Bilgisayara aktarılan tartım değerleri kullanılarak akı değerleri aşağıdaki verilen Bölüm 3.4.2' de verilen eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır. Saf su deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve sıcak atıksu deneylerinde saf su akıları firmanın verdiği sıcaklık düzeltmeleri kullanılarak istenilen sıcaklığa normalize edilmiştir. Çapraz akış filtrasyon deneylerinde sabit işletme basıncında (0-4 bar) ve 100 RPM pompa devrinde ve 0,2 ± 0,03 m/sn çapraz akış hızında (CFV) çalışılmıştır. Sabit işletme basıncı konsantre hat üzerinde bulunan hassas manometre (0-6 bar) ile takip edilmiştir. Çaprak akış membran filtrasyonu sırasında elde edilen giderim verimleri ise eşitlik 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$R(\%) = \left(1 - \frac{Cp}{Cf}\right) * 100 \qquad (3.2)$$

- R= Giderim (%)
- Cp= Süzüntüde ölçülen parametre konsantrasyonu (mg/L)
- Cf= Besleme sıvısında ölçülen parametre konsantrasyonu (mg/L)

Çapraz akış filtrasyonunda yapılan deneyler 5 aşamada gerçekleştirilmiştir;

i) Birinci aşamada, kimyasal temizlenmiş seramik membranın saf su akısı 30 dakika boyunca kayıt altına alınmıştır. Ayrıca akının kararlı hale geldiğinden emin olunmadığı durumlarda filtrasyon süresi daha uzun tutulmaktadır.
ii) İkinci aşamada, atıksu filtrasyonu başlangıç hacminin %80'i filtre edilene kadar filtrasyon devam ettirilmiştir. Atıksu filtrasyonu biten membran yumuşak bir sünger yardımı ile yüzeyi temizlenmiş ve saf su ile yıkanmıştır.
iii) Üçüncü aşamada, sünger ile yüzeyi temizlenen membranın saf su akısı birinci aşamada olduğu gibi kayıt altına alınmıştır. Bu işlem sonrasında ters yıkama yapılarak fiziksel temizlik tamamlanmış olmaktadır.
iv) Dördüncü aşamada, geri yıkaması yapılan membranın saf su akısı birinci aşamada olduğu gibi kayıt altına alınmıştır. Bu işlem sonrasında kimyasal yıkama yapılarak membranın temizliği tamamlanmış olmaktadır.
v) Beşinci aşamada, kimyasal yıkaması yapılan membranın saf su akısı birinci aşamada olduğu gibi kayıt altına alınmıştır. Böylece kullanılmış membranın kimyasal temizlik sonrasında başlangıç değerine ne kadar yaklaştığı da görülmektedir.

Detaylı prosedür Şekil 3.17' de verilmektedir.

3.5. Membran Kirlenmesi ve Kirlenme Mekanizmaları

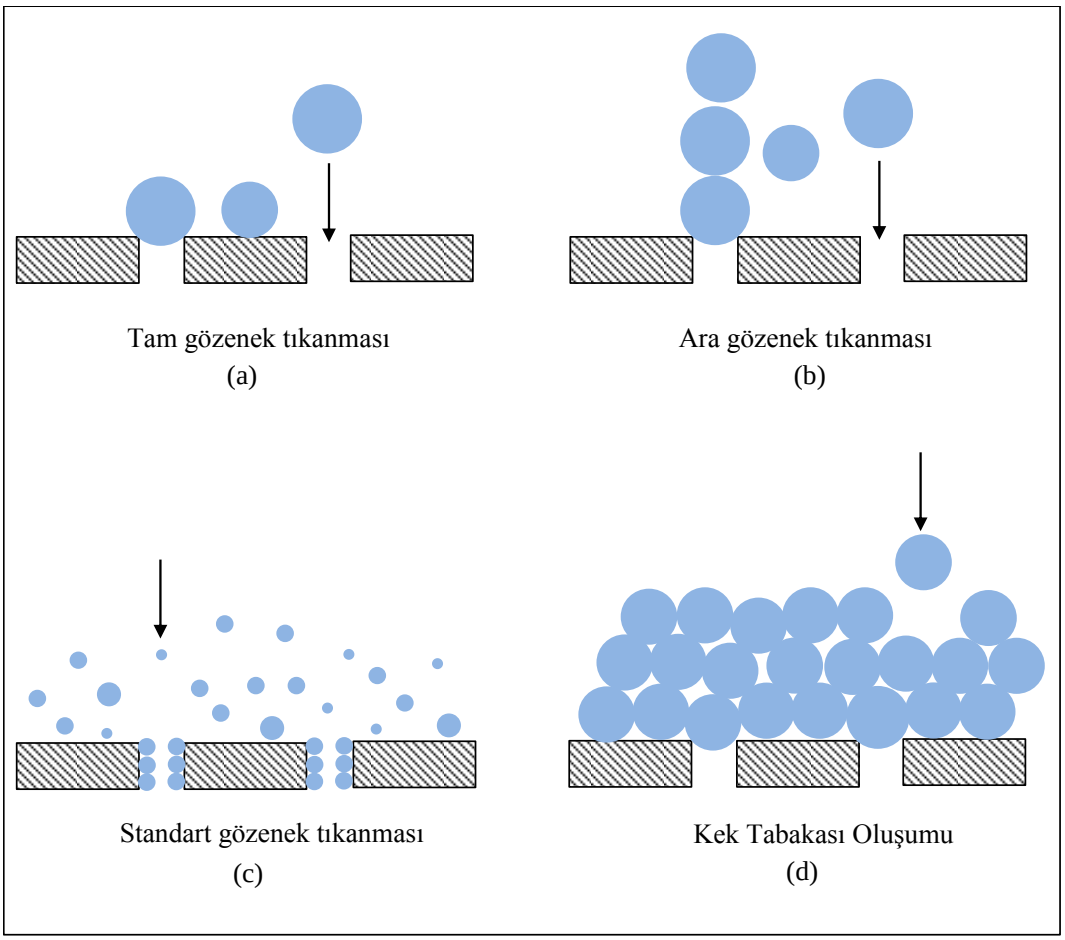
Basınç sürücülü membranlarda en önemli iki dezavantaj, akı azalması ve membran kirlenmesidir. Membran kirlenmesi, elde edilen akının azalmasına ve işletme maliyetlerinin artmasına neden olan en ciddi problemlerin başında gelmektedir.

Akı azalmasının başlıca nedenleri, konsantrasyon polarizasyonu, adsorpsiyon, kek tabakası oluşumu ve gözeneklerin tıkanması olarak söylenebilir. Bütün bu faktörler, besleme çözeltisinin taşınımı sırasında direnç olarak karşımıza çıkmaktadır. Akı azalması tamamen membran tipine ve besleme çözeltisinin yapısına bağlıdır [Mulder, 1996].

Membran kirlenmesinin başlıca nedenleri, çözeltinin moleküler ağırlığı, hidrofobik veya hidrofilikliği, membran özellikleri, gözenek boyutu, hirofobikliği veya hidrofilikliği ve yüzey yükü, işletme koşulları, basınç, sıcaklık ve akış hızı membran kirlenmesinin oluşmasına neden olan faktörlerdir. Bu sebeple membran çok fazla etkinin olması nedeni ile membran kirlenmesi zorlu bir probleme dönüşmektedir.

Sabit işletme basıncında çalışan sistemlerde akı azalırken verim düşmekte, sabit akı ile çalışan sistemlerde akı azalmasına karşın işletme basıncı arttırılarak enerji maliyetleri artmakta ve basıncın artması sonucunda daha hızlı tıkanma da gerçekleşmektedir.

Besleme çözeltisindeki partikül boyutları membran gözenek boyutundan büyük ise tam gözenek tıkanması (a), gözenek boyutundan büyük partüküller membranın bazı gözeneklerini tıkarsa ara gözenek tıkanması (b), partiküllerin membran gözeneklerinin arasına adsorplanması sonucu standart gözenek tıkanması (c) ve partiküllerin membran yüzeyini tamamen kaplaması sonucunda kek tabakası oluşumu (d) gerçekleşir (Şekil 3.16). Membran filtrasyonu aşamasında nihai aşaması kek tabakası oluşumu ile sonuçlanır. Membran kirlenmesi, elde edilen akı değerlerinin azalmasına neden olduğundan istenen bir durum değildir ancak kaçınılmazdır.



Şekil 3.16: Membran kirlenmesi tipleri.

Membran kirlenmesi gözenekli membranlarda mutlaka gerçekleşen bir mekanizmadır ancak membran yapısında iyileştirmeler yaparak veya membran tipini değiştirerek, sistem tasarımında iyileştirmeler yapılarak bu süreç yavaşlatılabilir. Tıkanan membranlar öncelikli olarak geri yıkama ile fiziksel olarak temizlenerek filtrasyona devam edilir ancak belli bir süre sonra fiziksel temizlik akı iyileştirmesinde etkin olamayınca kimyasal temizlik yapılarak başlangıç akısına yakın bir değere ulaşılabilir. Fiziksel ve kimyasal temizlik prosedürlerinde de iyileştirmeler yapılarak geri kazanılan akı oranının arttırılması mümkün olacaktır. Birçok araştırmacı membran kirlenmesinin etkisini azaltmak maksadı ile temizlik prosedürlerinin iyileştirilmesine üzerine yoğunlaşmışlardır.

Membran kirlenme mekanizmasının doğru tanımlanması ile kirlenmenin olumsuz etkileri minimuma indirilebilir. Kirlenme mekanizmasının tanımlanmasında çeşitli modeller kullanılmaktadır. Membran Kirlenme İndeksi, Birleştirilmiş

Membran Kirlenme İndeksi, Geleneksel Kirlenme Modeli, Seri Direnç Modeli ve Hermia Modeli yaygın olarak kullanılan modellerdendir.

Seramik membranlar gözenek yapılarının uniform olması ve hidrofilik olmaları nedeni ile kirlenme mekanizmaları polimerik membranlara göre farklılık göstermektedir. Ayrıca düşük adsorpsiyon eğilimi nedeni ile kirlenme eğilimi de az olmaktadır. Seramik membranlar ile daha önce yapılan çalışmalarda etkin kirlenme mekanizmasının fiziksel olarak giderilebilen direnç (Rc) olduğu, giderilemeyen direncin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür [Cromey et al., 2015], [Lee.et al., 2013], [Lee et al., 2014], [Cromey, 2014]. Seramik membranların daha fazla hidrofilik olması nedeni ile kirleticilerin seramik membran yüzeyi ile zayıf etkileşmesinin neden olduğu vurgulanmıştır [Lee et al., 2013].

Tez çalışmasında Seri Direnç Modeli modeli kullanılarak seramik membranların tekstil atıksuyu özelinde kirlenme mekanizması değerlendirilmiştir. Bu modeller sabit basınç işletme koşulları ve kek kirlenmesinin etkin olduğu kirlenme tiplerinde en kullanışlı yöntemlerdir. Daha önce yapılan çalışmalarda seramik membranlarda etkin kirlenme mekanizmasının fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olduğu görülmüştür [Lee et al., 2013], [Lee et al., 2014], [Cromey et al., 2015], [Dilaver et al., 2018].

3.5.1. Seri Direnç Modeli ile Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi

Çapraz akış membran filtrasyonunda gerçekleşen deneyler sonrasında "seri direnç modeli" kullanılarak etkin kirlenme mekanizması da ortaya konmuştur. Prosedürün detaylı olarak verildiği Şekil 3.17 incelendiğinde her deney aşamasından hangi tür direnç oluştuğu ve giderilen direnç türleri görülmektedir. Seri direnç modeli detaylı olarak incelendiğinde;

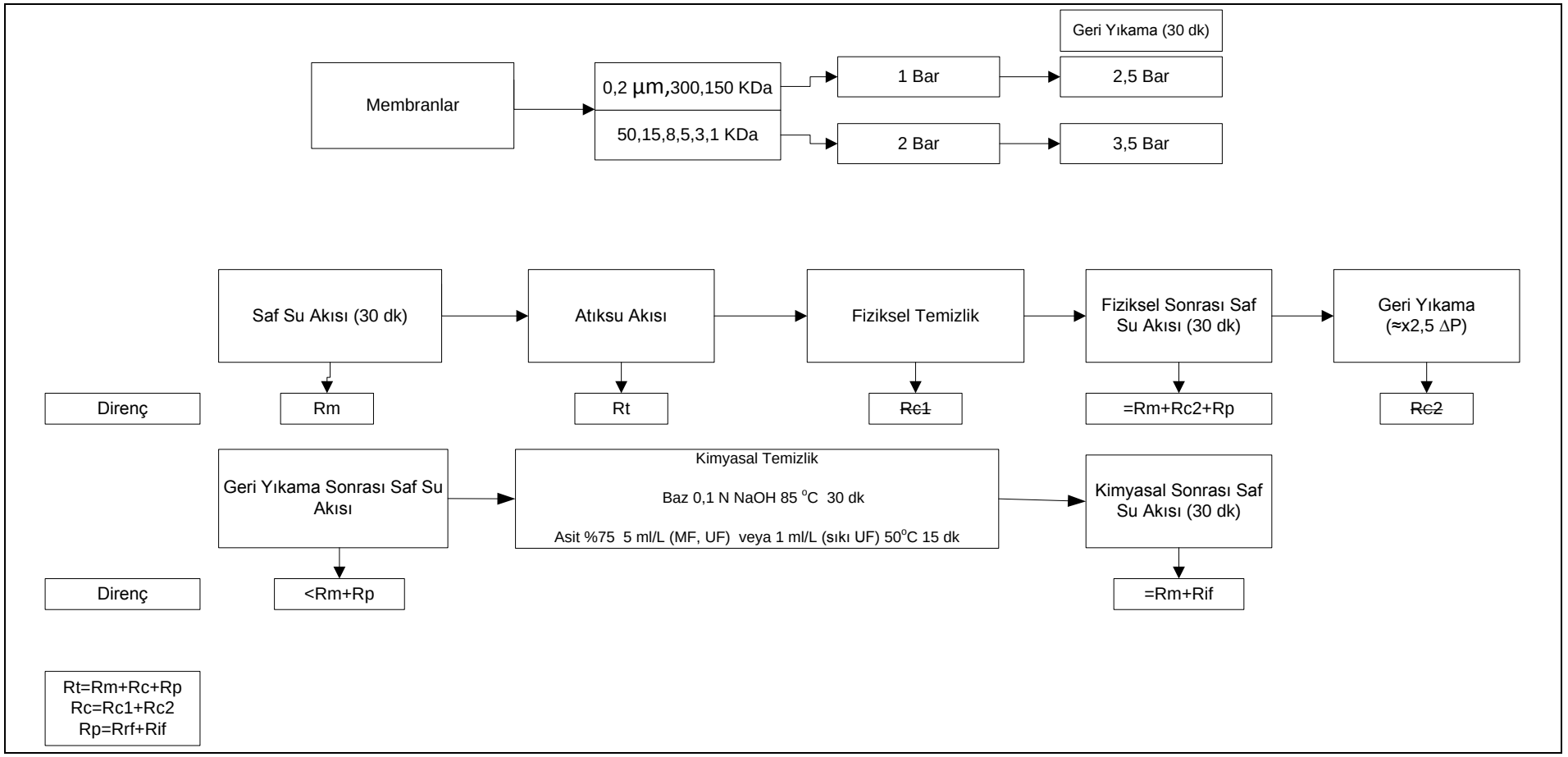
- Seri Direnç Modeli (Resistance-in-Series Model)

Kirlenme mekanizmasının belirlenmesinde bu model yaygın olarak kullanılmaktadır. Akı değeri eşitlik 3.3 ile hesaplanmaktadır.

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R} \tag{3.3}$$

- J= Akı değeri (m^3/m^2s)
- ΔP= İşletme basıncı (Pa)
- μ= besleme sıvısının viskozitesi (Pa*s)
- R= Membran direnci (m^{-1})

Atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan membran direncine toplam direnç denir ve Tablo 3.4' te verilen bileşenlerden oluşur.

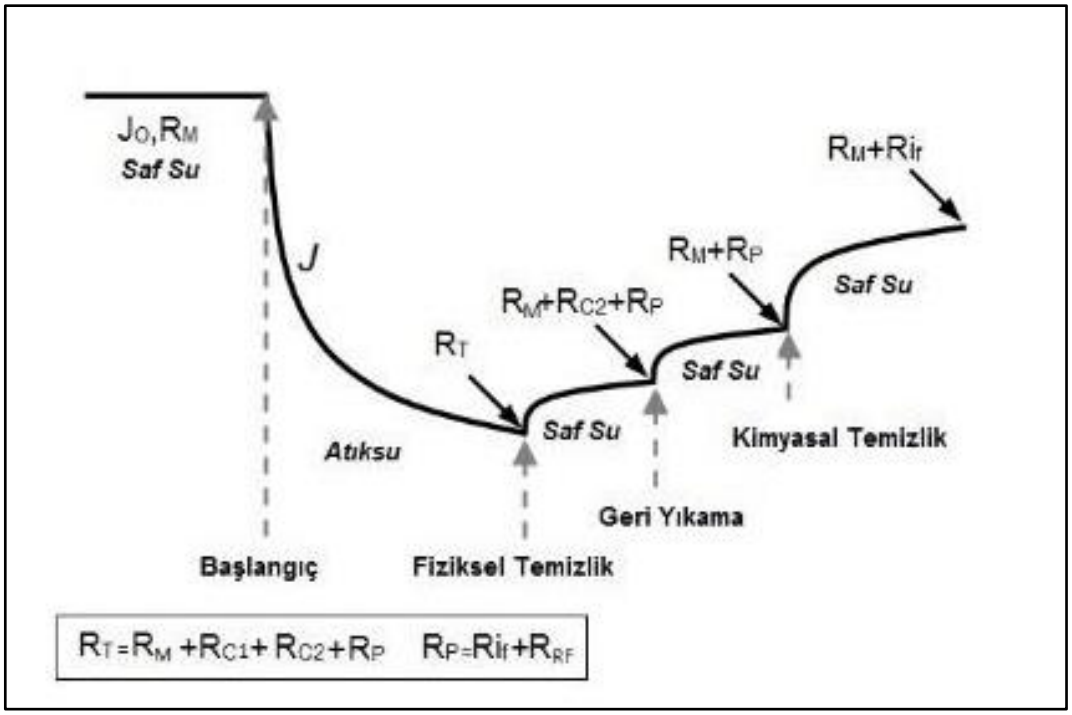


Şekil 3.17: Seramik membran çapraz akış filtrasyon deney prosedürü.

Tablo 3.4: Membran filtrasyonunda gerçekleşen dirençler ve tanımları.

Direnç	**Tanım**	**İşlem**
R_m	Kirlenmemiş membranın saf suya gösterdiği direnç.	Temiz membran ile saf su filtrasyonunda elde edilen direnç değeridir.
R_{c1}	Yüzey yıkama giderilebilen yüzeyde oluşan kek direnci.	Atıksu filtrasyonu bittikten sonra membran yüzeyi hızlı bir su akımı ile yıkanır. Bu temizleme sonrasında gerçekleşen saf su filtrasyonunda elde edilen direnç değeridir.
R_{c2}	Yüzey yıkama ile giderilemeyen ancak geri yıkama ile giderilebilen kek direnci.	Membran işletme basıncından daha yüksek bir basınçta ters yıkama yapılır, bu yıkama işleme sonrasında gerçekleşen saf su filtrasyonunda elde edilen direnç değeridir.
Rc (R_{c1}+R_{c2})	Fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç	-
R_{rf}	Geri yıkama ile giderilemeyen ancak kimyasal yıkama ile giderilebilen direnç	Kimyasal temizlik sonrasında gerçekleşen saf su filtrasyonunda elde edilen direnç değeridir.
R_{if}	Kimyasal yıkama sonrasında giderilemeyen direnç	-
Rp (R_{rf}+R_{if})	Kimyasal yıkama ile uzaklaştırılabilen direnç	-
R_t	Toplam direnç	Atıksu filtrasyonu sırasında elde edilen direnç değeridir.

Tablo 3.4'de tanımlanan dirençlerin hangi deney aşamalarında gerçekleştiği ve akı azalması ve geri kazanımı Şekil 3.18' de gösterilmeye çalışılmıştır. Atıksu filtrasyonu sırasında oluşan direnç değerleri eşitlik 3.4-3.8 kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 3.18: Filtrasyon deneyi aşamalarında seri direnç modelinin bileşenleri.

Kirlenmemiş membranda saf su akısı;

$$J = \frac{\Delta P}{\mu * R_m} \tag{3.4}$$

Atıksu akısı;

$$J = \frac{\Delta p}{\mu\left(R_m + R_{c1} + R_{c2} + R_{rf} + R_{if}\right)} \tag{3.5}$$

Durulama sonrası saf su akısı;

$$J = \frac{\Delta P}{\mu * \left(R_m + R_{c2} + R_p\right)} \tag{3.6}$$

Geri yıkama sonrası saf su akısı;

$$J = \frac{\Delta P}{\mu * \left(R_m + R_p\right)} \tag{3.7}$$

Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı;

$$J = \frac{\Delta P}{\mu * \left(R_m + R_{if}\right)} \tag{3.8}$$

Tubular tip seramik membranlar ile yapılan deneylerde geri yıkama işlemi yapılmamıştır. Bu sebeple fiziksel olarak giderilebilen direnç Rc değeri Rc_1 değerine eşittir. Disk tip membranlarda fiziksel temizlik sonrasında gerçekleştirilen gerçekleştirilen geri yıkamanın yakı geri kazanımına etkisi olmadığı görülmüştür. Bu sebeple tubular membranlarda geri yıkamanın olumsuz yönde etki etmeyeceği söylenebilir.

3.6. Yerli Üretim Seramik Membranlarda Saf Su Geçirgenlik ve Gözeneklilik Deneyleri

3.6.1. Saf Su Geçirgenlik Deneyleri

TÜBİTAK MAM ME tarafından üretilen seramik membran altlıklarının geçirgenlik deneyleri ölü uç ve tubular çapraz akış filtrasyon sistemlerinde gerçekleştirilmiştir.

Deneyler saf su ile 3 farklı basınçta 30 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen süzüntü hassas terazi üzerinde bulunan beherde toplanmakta ve belirli zaman aralığında alınan tartımlar bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayara aktarılan tartım değerleri kullanılarak akı değerleri eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır. 3 farklı basınç için yapılan geçirgenlik deneylerinin sonuçları ile 3 noktalı doğru denklemi (y= ax+b) ve R^2' si elde edilir. Elde edilen bu denklemden, doğrunun eğimine karşılık gelen değer membranın 1 bar değerindeki saf su geçirgenlik değerini $L/m^2/h$ olarak vermektedir. Seramik membran altlıklarının geçirgenlik değerleri, 1 bar basınçta 1 m^2 membran alanı ve 25 °C sıcaklıkta hesaplanmıştır.

3.6.2. Moleküler Engelleme Sınırı (MWCO) Analizleri

Safsu geçirgenlik testleri tamamlanan membranlarda, gözeneklilik değerinin belirlenmesi maksadı ile MWCO deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deney için model çözelti olarak Polietilenoksit (PEO) kullanılmıştır.

Mevcut durumda değerlendirilen yerli üretim membranların gözeneklilik boyutunun mikrofiltrasyon seviyesinde olduğu saf su akısı değerlerinden tahmin edilmiştir. Bu sebeple, 35.000, 100.000, 300.000, 400.000, 600.000 ve 900.000 g/mol değerine sahip PEO standartlarından hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır. Her bir standarttan uygun konsantrasyonda stok çözeltiler hazırlanmıştır.

Deney şu sıra ile ilerlemiştir, en düşük moleküler ağırlığa sahip çözelti (35.000 g/mol) membrandan geçirilmiş elde edilen süzüntünün son 100 ml TOK analizi için alınmıştır. Membran hücreden çıkartılmadan bir sonraki çözelti (100.000 g/mol) membrandan geçirilmiş, hatlarda bir önceki çözeltinin kalma ihtimaline karşı ilk 200 ml sistemden uzaklaştırılmış ve yine son 100 ml süzüntü TOK analizi için alınmıştır. Bu ilerleyiş ile en büyük moleküler ağırlığa sahip standart çözelti (900.000 g/mol) ile deney sonlandırılmıştır.

Giriş ve süzüntü numunelerinin TOK analizi gerçekleştirilmiş ve her bir standart çözelti için membranın ret etme oranı TOK giderimi üzerinden hesaplanmıştır. Her bir standart için partikül boyutu (ds) eşitlik 3.9 ve eşitlik 3.10 ile hesaplanmış ve bu değere karşılık TOK giderimin (giderim verimi, f) grafiği çizdirilerek doğrunun denklemi bulunmuştur. Bu denklem üzerinden membranın nihai gözenekliliği Da olarak hesaplanmış olur. Bu değer Howe ve Clark (2002) tarafından geliştirilen formül ile nanometre değerine çevirilmiştir. Bölüm 4.3.2' de örnek olması maksadı ile hesaplama yöntemi verilmiştir.

$$\alpha = 16{,}73 * 10^{-10} * M^{0{,}557} \tag{3.9}$$

$$ds = 2 * \alpha \tag{3.10}$$

- α= PEG veya PEO stoke yarıçapı, nm
- M= PEG veya PEO moleküler ağırlığı, g/mol

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmaları kapsamında gerçekleşen deneysel çalışmalar Materyal ve Metot Bölümünde verilen yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulgular ve Tartışma başlığı altında atıksu karakterizasyonu, laboratuvar ölçekli çapraz akış membran filtrasyonu ile gerçekleşen sıcak su ve kostik geri kazanımı çalışmaları, geliştirilen yerli seramik membranlarda gerçekleşen performans deneylerine ait sonuçlar alt başlıklar altında detaylı olarak verilmiştir. Atıksu karakterizasyonu ve çapraz akış filtrasyon deneyleri genel değerlendirme (Bölüm 4.1.6 ve Bölüm 4.2.3) başlıkları altında literatürde yapılan çalışmalar ile beraber irdelenmiştir. Laboratuvar ölçekli çalışmaların sonuçlarına göre sıcak su ve kostik geri kazanımı için noktalar için ekonomik değerlendirme yapılmıştır.

4.1. Endüstriyel Atıksuyun Karakterizasyonu

Bölüm 3.1' de detaylı olarak incelenen tekstil firmasından Şekil 3.11' de verilen noktalardan Şubat-Mayıs 2016 tarihleri içerisinde farklı zamanlarda 105 adet atıksu numunesi alınmış ve Tablo 3.1' de verilen analizler gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel atıksuyun karakterizasyonu kapsamında yapılan analizlerin sonuçları detaylı olarak EK-C' de verilmektedir.

Firmada, kostikleme işlemi pamuk ve viskon kumaşına göre değişmektedir. Pamuklu kumaş için firma Pamuk Kasar-1 (20g/L kostik uygulama) ve Pamuk Kasar-2 (200 g/L kostik uygulama) proseslerini uygularken, viskon kumaş için Viskon Kasar prosesini (22 g/L kostik uygulama) uygulamaktadır. Firmanın viskon ve pamuk kumaş işleme oranları yarı yarıya olmakla birlikte atıksu numunelerinin alındığı tarihlerde viskon ağırlıklı çalışılmıştır.

Kostik geri kazanımı hedefi için, 7 adet kasar durulama banyosundan ve kasar ana banyodan toplam 8 noktadan numuneler alınmıştır. Ancak, saha çalışması sırasında durulama banyolarının hepsinden deşarjın olmadığı, sadece 1 ve 4 nolu durulama banyolarından deşarj olduğu görülmüştür. Bu sebeple, kasar ana banyo, kasar durulama banyolarının 1. ve 4. kabin deşarjından numune alımına devam edilmiştir (Şekil 3.2).

Atıksu karakterizasyonu sonuçlarına göre; Viskon Kasar, Pamuk Kasar-1 ve Pamuk Kasar-2 proseslerinde sırası ile ana banyolarda ki ortalama kostik miktarı 21 g/L, 18 g/L ve 170 g/L dir. İlk durulama banyolarında ortalama kostik miktarı Viskon Kasar, Pamuk Kasar-1 ve Pamuk Kasar-2 proseslerinde sırası ile 3 g/L, 2 g/L ve 11 g/L' ye düşmektedir. Bütün kasar proseslerinde sonraki durulama banyolarında ortalama kostik miktarı yaklaşık 1 g/L' nin altındadır. Bu sonuçlara göre kostik geri kazanım hedefleri doğrultusunda kasar ana banyolar ile 1. durulama banyolarından kostik geri kazanımının uygun olabileceği düşünülmektedir.

Sıcak su geri kazanımı hedefi için, reaktif ve dispers emprime baskı banyoları, bu banyoların karışımı olan emprime karışım noktası ve 50 ^{O}C üzeri yıkama sularının toplandığı ısı geri kazanım noktalarından numuneler alınmıştır. Bu doğrultuda reaktif ve dispers baskı banyolarına ait dörder deşarj noktasından, emprime karışım noktasından ve ısı geri kazanım noktasından olmak üzere toplam 10 noktadan numuneler alınmıştır (Şekil 3.11). Reaktif ve dispers baskı banyolarının 1 ve 4 nolu kabinlerde su sıcaklığının geri kazanım hedefine uygun olmaması nedeni ile 3. numune alımından sonra bu noktalardan numune alımına devam edilmemiştir. Reaktif baskı banyolarından alınan numunelerde yapılan askıda katı madde deneylerinde süzme işlemi gerçekleştirilememiş olup, bu duruma baskıda kullanılan baskı patı maddesinin neden olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple membran filtrasyonu çalışmaları sırasında sorun olabileceği değerlendirilerek, reaktif baskı banyoları hedef nokta olmaktan çıkarılmıştır.

Kostik ve sıcak su geri kazanımı için hedeflenen noktalardan alınan numunelere ait analiz sonuçları detaylı olarak alt başlıklar altında ilerleyen bölümde değerlendirilmiştir.

4.1.1. Kasar Ana Banyo ve Durulama Banyolarının Atıksu Karakterizasyonu

Tesiste gerçekleşen tüm kasar proseslerinden alınan numunelere ait analiz sonuçlarının, minimum, maksimum, ortalama ve standart sapmaları ile beraber istatistiksel değerlendirilmeleri Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3' te verilmektedir.

Viskon Kasar prosesi ana banyo ve durulama banyolarında analiz edilen parametre sonuçları incelendiğinde (Tablo 4.1);

pH değerlerinin, ana banyoda 13 iken, ilk 3 durulama banyosunda yaklaşık 12 civarında olduğu görülmektedir. Durulama hattı üstünde yer alan dengeleme kabinindeki pH değerinin ise keskin bir düşüş ile ortalama 7,5 civarında olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, 6 nolu durulama kabininde yapılan asit ilavesi ve bu kabinden tersine akışla dengeleme kabinine su akışı olmasıdır.

Sodyum iyonu değeri ana banyoda 12 g/L civarında iken ilk 2 durulama banyosunda 1,9 g/L'ye düşmekte ve son 3 durulama banyosunda yaklaşık 0,2 g/L değerine düşmektedir.

Elektriksel İletkenlik parametresi, ana banyoda 83.000 µs/cm iken, ilk 3 durulama banyosunda ortalama 10.000 µs/cm civarındaolduğu, dengeleme tankı sonrasındaki son 3 durulama banyosunda ise 900 µs/cm değerine düşmektedir. Bu sonuçlar, sodyum iyonu değerleri ve pH sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

KOİ konsantrasyonu, ana banyoda 25 g/L iken, 3. durulama banyosunda 4 g/L'ye ve dengeleme havuzunda 1g/L'ye düşmekte olup, sonraki durulama banyolarında 0,5 g/L 'ye kadar düşmektedir.

AKM konsantrasyonu, ana banyoda 900 mg/L iken, ilk 3 durulama banyosunda yaklaşık 200 mg/L, sonraki 3 durulama banyolarında 60 mg/L değerine düşmüştür.

Renk parametresi ana banyoda 3 dalga boyunda (436 nm;525 nm;620 nm)sırası ile 41, 27 ve 15 iken, dengeleme havuzunda bu değerler 20,12 ve 8'e düşmekte olup son 3 durulama banyosunda yaklaşık 4, 2 ve 1 değerindedir.

Pamuk Kasar-1 prosesinde ana banyo ve 1. ve 4. durulama banyolarında analiz edilen parametrelere ait istatistiksel değerler verilmektedir (Tablo 4.2). Bu prosese ait atıksu numuneleri deşarjın olduğu noktalardan alınmıştır.

pH parametresi, ana banyoda 13 iken, ilk ve 4. durulama banyolarında yaklaşık 10 civarındadır.

Elektriksel İletkenlik parametresi, ana banyoda 58.000 µs/cm iken, ilk durulama banyosunda ortalama 4.000 µs/cm, 4. durulama banyosunda 2.000 µs/cm değerine düşmüştür.

Sodyum iyonu değeri ana banyoda 11 g/L civarında iken, ilk durulama banyosunda 0,7 g/L'ye, 4. durulama banyosunda yaklaşık 0,5 g/L değerine düşmektedir.

KOİ konsantrasyonu, ana banyoda 55 g/L iken, ilk durulama banyosunda 6 g/L'ye, 4. durulama banyolarında 3 g/L' ye kadar düşmüştür.

AKM konsantrasyonu, ana banyoda 269 mg/L iken, ilk durulama banyosunda yaklaşık 170 mg/L, 4. durulama banyosunda 132 mg/L değerine düşmüştür.

Renk parametresi ana banyoda 3 dalga boyunda (436 nm;525 nm;620 nm)sırası ile 29, 17 ve 11 iken, ilk durulama banyosunda 3, 2 ve 1değerlerine düşmekte olup 4. durulama banyosunda yaklaşık 5, 3 ve 2 değerindedir.

Pamuk Kasar-2 prosesinin atıksu karakterizasyonu için numune alınan tarihlerde yoğun olarak çalışılmaması sebebi ile ana banyodan bir defa, ilk durulama banyosundan 2 defa ve 4. durulama banyosundan bir defa numune alınabilmiştir. Atıksu analiz sonuçları Tablo 4.3' te verilmektedir.

pH parametresi, ana banyoda ve ilk durulama banyosunda 13 iken, 4. durulama banyosunda yaklaşık 7 civarındadır.

Elektriksel İletkenlik parametresi, ana banyoda 404.000 µs/cm iken, ilk durulama banyosunda ortalama 15.000 µs/cm, 4. durulama banyosunda 1.310 µs/cm değerine düşmüştür.

Sodyum iyonu ana banyoda 98 g/L civarında iken ilk durulama banyosunda 1,5 g/L'ye, 4. durulama banyosunda yaklaşık 0,3 g/L değerine düşmektedir.

Genel olarak ölçümü yapılan tüm parametreler için kasar proseslerinin genelinde ana banyoda en yüksek değerler görülürken, durulama banyolarında ardışık olarak azalma görülmüştür.

Tablo 4.1: Viskon Kasar Prosesi Atıksu Karakterizasyonu.

Parametre	Ana Banyo				Durulama 1				Durulama 2				Durulama 3			
	Min.	**Maks.**	**Ort.**	**Std. Sapma**	**Min.**	**Maks.**	**Ort.**	**Std. Sapma**	**Min.**	**Maks.**	**Ort.**	**Std. Sapma**	**Min.**	**Maks.**	**Ort.**	**Std. Sapma**
pH	12,8	13,2	13,0	0,16	11,5	13,0	12,1	0,51	11,7	12,8	12,3	0,53	10,9	12,5	11,7	0,78
EC (µs/cm)	63.000	96.700	83.040	9.570	2.010	34.000	12.096	10.174	9.380	15.820	12.600	3.220	4.410	6.320	5.365	955
KOİ (mg/L)	15.897	45.085	27.899	9.564	591	15.830	6.029	5.768	4.623	10.074	7.349	2.726	2.538	5.533	4.036	1.498
TOK (mg/L)	4.324	9.866	7.428	2.101	182	5.888	2.053	2.146	1.338	2.866	2.102	764	687	1.812	1.250	563
Renk (PtCo)	-	5.780	1.434	1.568	45	575	182	184	-	-	400	-	-	-	400	-
436 nm	1,9	133	41,1	35,5	1,4	28,6	9,37	9,3	13,4	21,4	17,4	4	10,8	12,2	11,5	0,7
525 nm	0,9	80,6	26,7	22,1	0,8	16,2	5,4	5,5	7,6	12,8	10,2	2,6	6,1	7,0	6,6	0,4
620 nm	0,5	51,7	15,0	14,0	0,5	9,7	3,3	3,4	4,7	8,1	6,4	1,7	3,6	4,3	4,0	0,3
Na^+ (mg/L)	10.040	13.310	12.191	1.041	317	4.391	1.882	1.589	1.712	2.112	1.912	200	729	1.052	890	162
NaOH (mg/L)	17.461	23.148	21.202	1.811	551	7.637	3.272	2.764	2.977	3.673	3.325	348	1.267	1.830	1.549	281
AKM (mg/L)	46	1.810	948	438	< 5	480	173	197	223	235	229	6	165	166	166	0,5
Bulanıklık (NTU)	13,4	2.818	1.106	735	20,9	941	310	365	429	1.088	759	330	307	677	492	185
Toplam Sertlik	131	441	257	99	5	43	21	50	23	31	27	4,1	18	23	21	2,1
Cl^- (mg/L)	120	670	393	170	85	204	128	37	96	109	103	7	104	122	113	9

Tablo 4.1 devamı: Viskon Kasar Prosesi Atıksu Karakterizasyonu.

Parametre	Dengeleme				Durulama 4				Durulama 5				Durulama 6			
	Min.	**Maks.**	**Ort.**	**Std. Sapma**	**Min.**	**Maks.**	**Ort.**	**Std. Sapma**	**Min.**	**Maks.**	**Ort.**	**Std. Sapma**	**Min.**	**Maks.**	**Ort.**	**Std. Sapma**
pH	6,9	8,3	7,6	0,7	6,2	9,9	7,4	1,3	5,7	7,8	6,7	1,1	4,5	5,8	5,2	0,6
EC (µs/cm)	1.537	16.520	9.029	7.492	776	1.213	995	143	867	890	879	11,5	950	979	965	15
KOİ (mg/L)	4.183	4.620	4.402	219	329	2.428	1.170	710	334	850	592	258	660	2.163	1.412	752
TOK (mg/L)	1.263	1.308	1.286	22,5	60	481	277	156	54	265	160	105,5	208	651	429	221,8
Renk (PtCo)	-	-	85	-	30	85	53	23,6	-	-	35	-	-	-	35	-
436 nm	2,7	37,2	20,0	17,3	1,0	27,3	5,3	9,0	1,2	4,3	2,8	1,6	1,1	6,9	4,0	2,9
525 nm	1,4	22,6	12,0	71	0,5	17,2	3,2	5,7	0,7	2,5	1,6	0,9	0,7	4,0	2,3	1,7
620 nm	0,8	14,5	7,7	6,8	0,3	11,4	2,1	3,8	0,4	1,5	1,0	0,6	0,4	2,5	1,4	1,0
Na^+ (mg/L)	326	358	342	15,7	156	272	206	35,8	171	184	178	6,3	196	196	196	0,4
NaOH (mg/L)	566	622	595	27,3	272	472	359	62,3	298	320	309	10,9	340	342	341	0,7
AKM (mg/L)	59	77	68	9	19	189	61	56,7	31	84	58	27	35	114	75	39,5
Bulanıklık (NTU)	154	329	242	87,5	15	281	68	88,4	31	112	72	40,4	38	158	98	60,2
Toplam Sertlik	9	20	15	5,3	8	46	16	13,7	6,4	6,4	6,4	0	4,7	5	4,9	0,14
Cl^- (mg/L)	156	228	192	36	92	186	138	29,8	102	114	108	6	89	113	101	12

Tablo 4.2: Pamuk Kasar-1 Prosesi atıksu karakterizasyonu.

Parametre	Ana Banyo				Durulama 1				Durulama 4			
	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma
pH	12,5	12,9	12,7	0,1	8,4	12,5	10,3	1,6	8,0	10,8	9,9	0,9
EC (µs/cm)	48.800	69.100	58.475	8.613	737	12.670	4.176	4.926	972	6.790	2.383	1.995
KOİ (mg/L)	48.425	61.671	55.588	5.548	639	18.578	5.907	7.382	1.147	9.785	3.226	2.804
TOK (mg/L)	14.595	19.385	16.110	1.949	10	7.047	2.061	2.896	285	3.105	980	929
Renk (PtCo)	85	2.550	1.136	897	15	225	105	80	85	350	169,3	92,9
436 nm	17,4	42,5	28,8	9,3	0,3	7,6	3,4	2,8	2,5	11,6	5,4	3,1
525 nm	10,9	26,5	17,1	5,9	0,1	3,6	1,6	1,3	1,2	6,2	3,0	1,7
620 nm	5,5	18,3	11,1	4,8	0,05	2,0	0,9	0,8	0,8	3,8	1,9	1,0
Na^+ (mg/L)	9.271	11.720	10.575	877	144	2.107	719	805	184	1.616	539	491
NaOH (mg/L)	16.123	20.383	18.392	1.526	251	3.664	1.250	1.400	320	2.810	937	854
AKM (mg/L)	220	320	269	42,2	<5	416	166,7	176,3	46,0	316,0	132,4	86,3
Bulanıklık (NTU)	203	546	395,3	140,2	2,2	707,0	196,0	295,5	39	702	219	219
Toplam Sertlik	344,4	799,5	574,5	184,0	8,2	168,1	54,6	65,8	29,5	143,5	54,4	37,4
Cl^- (mg/L)	1.197	2.096	1.733	331	82	242	136	63	71	129	109	17

Tablo 4.3: Pamuk Kasar-2 Prosesi Atıksu Karakterizasyonu.

Ünite	Örnekleme tarihi	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Renk				Na^+ (mg/L)	NaOH (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Toplam Sertlik	Cl^- (mg/L)
						PtCo	436 nm	525 nm	620 nm						
Ana Banyo	12.4.2016	13,0	404.000	10.277	2.831	510	15,5	9,6	6,4	97.638	169.805	57	2.727	14	411
Durulama 1	24.3.2016	13,1	22.500	485	339	25	1,0	0,4	0,2	2.191	3.810	< 5	9	23	144
	12.4.2016	12,5	8.630	228	61	10	0,3	0,1	0,1	1.029	1.790	6	6	6	93
Durulama 4	24.3.2016	6,6	1.310	1.213	6.900	50	2,4	1,2	0,7	250	435	24	13	137	145

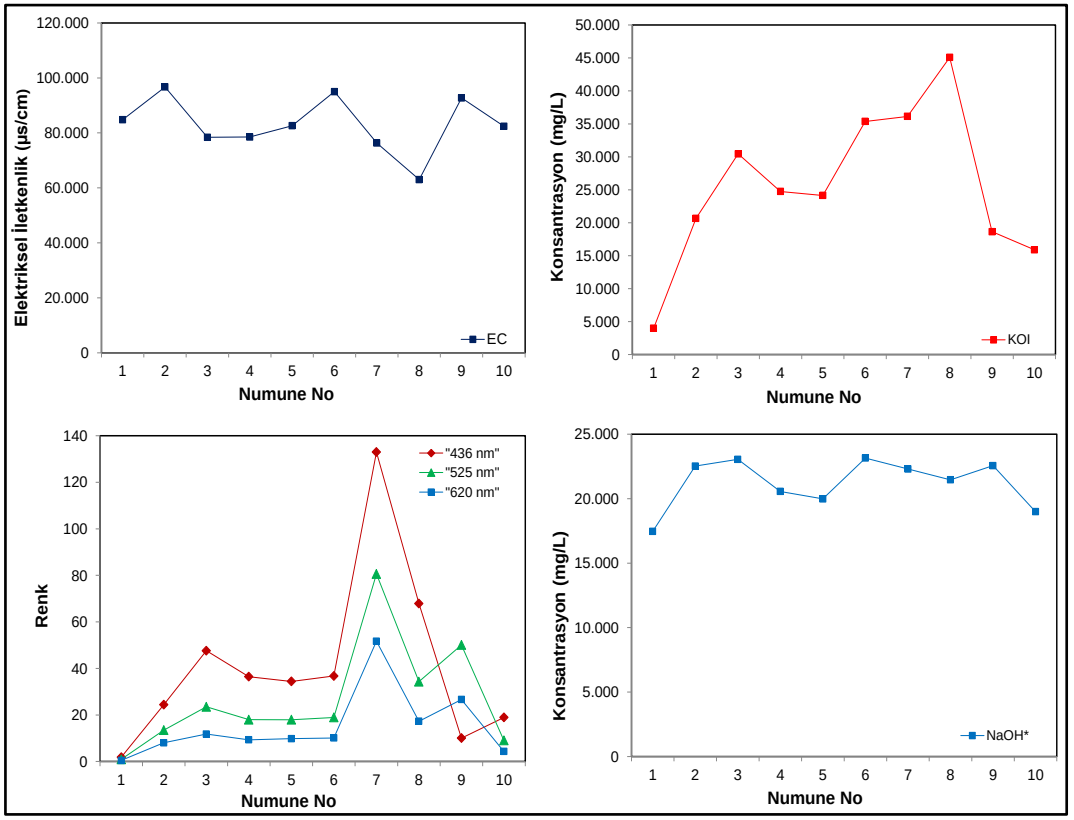
Viskon Kasar prosesinde ana banyodan alınan farklı zamanlardaki atıksu numunelerinin geri kazanım hedefleri için önemli olan KOİ, elektriksel iletkenlik, renk ve sodyum hidroksit analiz sonuçları Şekil 4.1' de verilmektedir. 10 farklı tarihte alınan numunelerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, elektriksel iletkenlik değeri ortalama 83.000 µs/cm, NaOH içeriği ortalama 21 g/L'dir.

Kasar ana banyoda proses gereği kostik miktarı istenilen konsantrasyonda sabit tutulmaktadır. Bu sebeple kostik miktarı ve elektriksel iletkenlik değerlerinde Şekil 4.1' de görüldüğü üzere değişkenlik görünmemektedir.

KOİ değeri 5-45 g/L arasında değişkenlik göstermekte olup, ortalaması 25 g/L civarındadır.

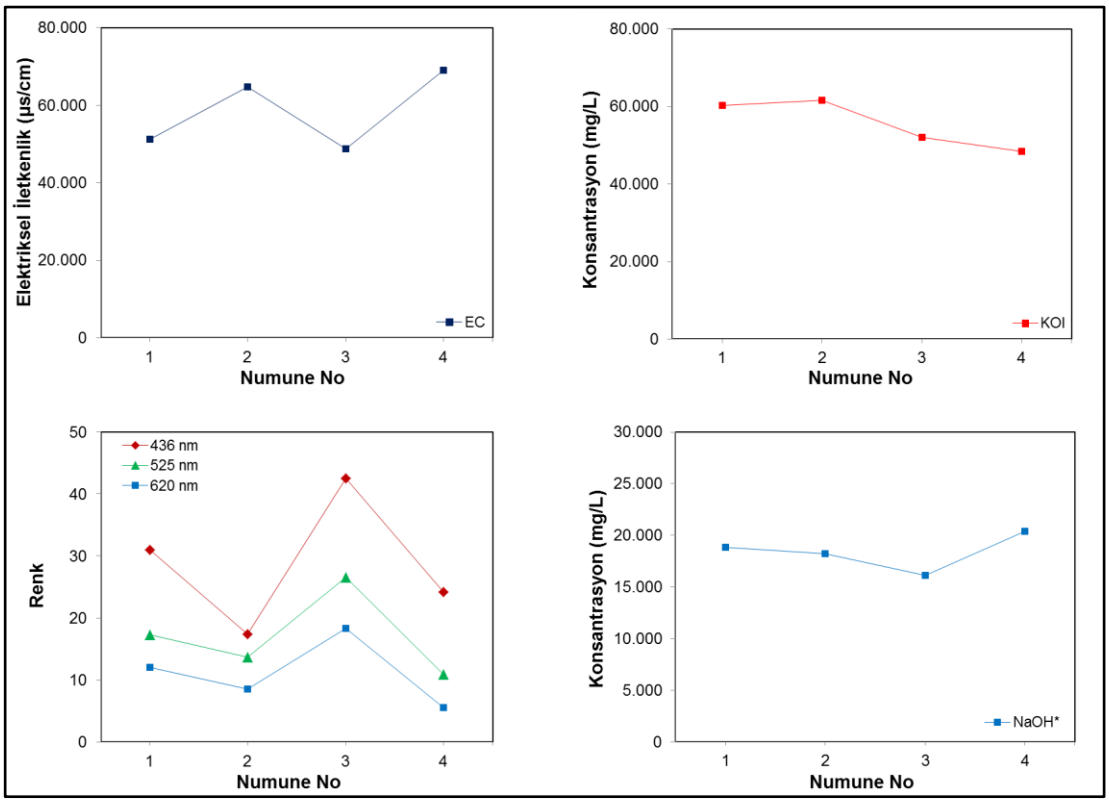
Renk değerleri, ölçüm gerçekleştirilen her üç dalga boyunda da önemli salınımlar göstermemiş, sadece 7. Numunede her üç dalga boyunda gerçekleştirilen renk değerlerinde ani artış görülmüştür.

Kasar prosesinde ana makinada yapılan işlemde, kasar banyosu yaklaşık 12.000 m kumaş muamele edildikten sonra boşaltılmaktadır. Ancak siparişin özelliğine göre daha erken deşarj yapılması da söz konusu olabilmektedir. Genel olarak kasar banyosundan yapılan örneklemeler, banyonun boşaltılmasına yakın bir zamanda gerçekleştirilmiştir. Bu dönem alınan viskon kasar ana banyo örneklerinde karşılaşılan KOI ve renk parametrelerindeki salınımın, işlenen kumaşın özelliklerine, bir önceki aşamada uygulanan prosesin verimine ve banyoda muamele edilen kumaş miktarına bağlı olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.1: Viskon Kasar ana banyo için Elektriksel İletkenlik, KOI, Renk ve NaOH analizi sonuçları.

Pamuk Kasar-1 prosesinde ana banyodan alınan farklı zamanlardaki atıksu numunelerinin geri kazanım hedefleri için temel olan KOİ, elektriksel iletkenlik, renk ve sodyum hidroksit analiz sonuçları Şekil 4.2' de verilmektedir. 4 farklı tarihte alınan numunelerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, elektriksel iletkenlik değeri ortalama 58.000 µs/cm, NaOH içeriği ortalama 18 g/L'dir. KOİ değeri 48-60 g/L arasında fazla değişkenlik göstermekte olup ortalama 55 g/L civarındadır. Renk parametresi ise 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında sırası ile 17-42;11-26; 5-18 aralığındadır.



Şekil 4.2: Pamuk Kasar-1 ana banyo için Elektriksel İletkenlik, KOI, Renk ve NaOH analizi sonuçları.

Kasar proseslerinden numune alımlarının gerçekleştirildiği tarihlerde Pamuk Kasar-2 prosesinin seyrek çalışması nedeni ile ana banyodan bir defa numune alınabilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 4.4' de verilmektedir. Pamuk Kasar-2 prosesinin kostik içeriği, Viskon Kasar prosesinin yaklaşık 8 katı, Pamuk Kasar-1 prosesine göre 9 katı yoğunluktadır. pH değerleri her üç proseste de 13 civarındadır. Elektriksel iletkenlik değeri Pamuk Kasar-1 prosesinin yaklaşık 7 katı, Viskon Kasar prosesinin yaklaşık 5 katıdır. Analiz sonuçlarının detayı, EK-C' de yer almaktadır.

Tablo 4.4: Pamuk Kasar-2 Ana Banyo analiz sonuçları.

Ünite	**Numune No**	**Tarih**	**EC (µs/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**Renk**				**Na+ (mg/L)**	**NaOH* (mg/L)**
					PtCo	**436 nm**	**525 nm**	**620 nm**		
Pamuk Kasar 2 Ana Banyo	1	12.4.2016	404.000	10.277	510,0	15,5	9,6	6,4	97.638	169.805

4.1.1.1. Kostik Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kostik geri kazanımı amacı doğrultusunda tesiste bulunan 3 farklı kasar prosesinin (Pamuk Kasar-1, Pamuk Kasar-2 ve Viskon Kasar) ana banyolarından alınan atıksu numunelerinde yapılan Na^+ iyonu analiz sonuçları Tablo 4.5 'de verilmektedir. Kullanılan çözeltinin sadece NaOH içerdiği kabulü ile hesap yapılarak NaOH konsantrasyonları hesaplanmıştır. Pamuk Kasar-1, Pamuk Kasar-2 ve Viskon Kasar proseslerinin ortalama NaOH değerleri sırası ile 18 g/L, 21 g/L ve 170 g/L olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5: Kasar Ana Banyolar Na^+ ve NaOH* konsantrasyonları.

Kasar Ana Banyolar			
Ünite	**Örnekleme tarihi**	**Na^+ (mg/L)**	**NaOH (mg/L)**
Pamuk Kasar-1	24.3.2016	10.820	18.817
	4.4.2016	10.490	18.243
	5.4.2016	9.271	16.123
	15.4.2016	11.720	20.383
	Ortalama	**10.575 ± 877**	**18.392 ± 1.526**
Viskon Kasar	10.2.2016	10.040	17.461
	24.2.2016	12.950	22.522
	23.3.2016	13.250	23.043
	24.3.2016	11.820	20.557
	4.4.2016	11.490	19.983
	5.4.2016	13.310	23.148
	26.4.2016	12.820	22.296
	27.4.2016	12.340	21.461
	14.5.2016	12.970	22.557
	17.5.2016	10.920	18.991
	Ortalama	**12.191 ± 1.041**	**21.202 ± 1.744**
Pamuk Kasar-2	12.4.2016	**97.638**	**169.805**

Kasar prosesinde kasar işlemine tabi olan kumaş, üzerindeki kalıntıların giderilmesi maksadı ile ardışık durulama banyolarında yaklaşık 95 ^{O}C sıcak su ile yıkanmaktadır. Tablo 4.6' de 3 farklı kasar prosesine ait ana banyo ve sonrasındaki durulama banyolarından alınan atıksu numunelerinin Na^+ iyonu analiz sonuçları ve hesap ile bulunan NaOH konsantrasyonları verilmektedir. Tabloda ayrıca örnekleme yapılan döneme ait yaklaşık atıksu miktarları da gösterilmiştir.

Durulama banyolarındaki analiz sonuçlarına göre kostik miktarı ilk banyoda, ana banyodaki oranın yaklaşık olarak %10 mertebesine düşmektedir. Tüm kasar proseslerinde, ilk banyodan sonraki durulama banyolarındaki kostik miktarının azalarak yaklaşık 400 mg/L değerine kadar düştüğü görülmüştür (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Kasar proseslerinde ana banyo ve durulama banyoları için Na^+ ve NaOH ortalama konsantrasyonları.

Ünite No	**Ünite**	**Atıksu miktarı (m^3/ay)**	**Proses Sıklığı (sayı/hafta)**	**Na^+ort. Konsantrasyon (mg/L)**	**NaOH ort. Konsantrasyon (mg/L)**
	Pamuk Kasar-1				
1	Ana Banyo	48	4	10.575 ± 877	18.392 ± 1.526
2	Durulama 1	1.600	4	1.616	2.810
3	Durulama 2	Deşarj yok	4	719 ± 805	1.250 ± 1.400
4	Durulama 3	Deşarj yok	4	879	1.528
5	Dengeleme	Deşarj yok	4	306	532
6	Durulama 4	960	4	243 ± 43	423 ± 74
7	Durulama 5	Deşarj yok	4	222	387
8	Durulama 6	Deşarj yok	4	241	418
	Viskon Kasar				
1	Ana Banyo	48	4	12.191 ± 1.041	21.202 ± 1.744
2	Durulama 1	1.600	4	1.882 ± 1.589	3.272 ± 2.764
3	Durulama 2	Deşarj yok	4	1.912 ± 200	3.325 ± 348
4	Durulama 3	Deşarj yok	4	890 ± 162	1.549 ± 281
5	Dengeleme	Deşarj yok	4	342 ± 16	595 ± 27
6	Durulama 4	960	4	206 ± 36	358 ± 62
7	Durulama 5	Deşarj yok	4	178 ± 6	309 ± 11
8	Durulama 6	Deşarj yok	4	196 ± 0,4	341 ± 0,7
	Pamuk Kasar-2				
1	Ana Banyo	12	1	97.638	169.805
2	Durulama 1	400	1	1.610 ± 581	2.800 ± 1.010
6	Durulama 4	240	1	250	435

- Bome Tayini

Atıksu karakterizasyonu kapsamında kostik çözeltisi için Bome tayini ön görülmüştür. Bomemetre ile sadece kasar proseslerinin ana banyolarında sağlıklı ölçüm yapılabilmiştir. Kostik içeriğinin, 15 g/L'nin altında olduğu durumlarda, bomemetrenin ölçüm değerinin altında olduğundan bome değeri ölçülmemiştir. Düşük kostik konsantrasyonlarda, Na^+ iyonu analizleri dikkate alınmış ve Na+ iyonu konsantrasyonu kullanılarak NaOH miktarı hesaplanmıştır. Kasar ana banyolarda yapılan bome tayinleri Tablo 4.7' de verilen aralıklardadır.

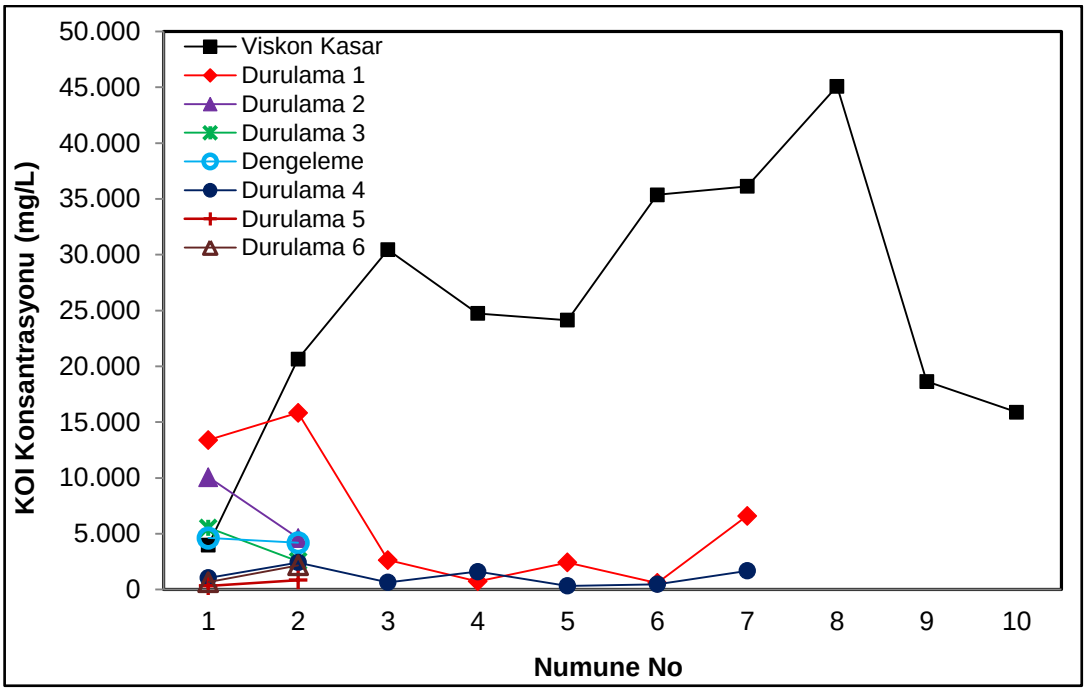
Tablo 4.7: Kasar proseslerinde Bome tayini.

Kasar Prosesi Ana Banyo	**Kostik içeriği (g/L)**	**Bome (Be)**
Pamuk Kasar-1	18,8-20,4	2,5-3,5
Viskon Kasar	17,5-23	2-2,2
Pamuk Kasar-2	169,8	20-22

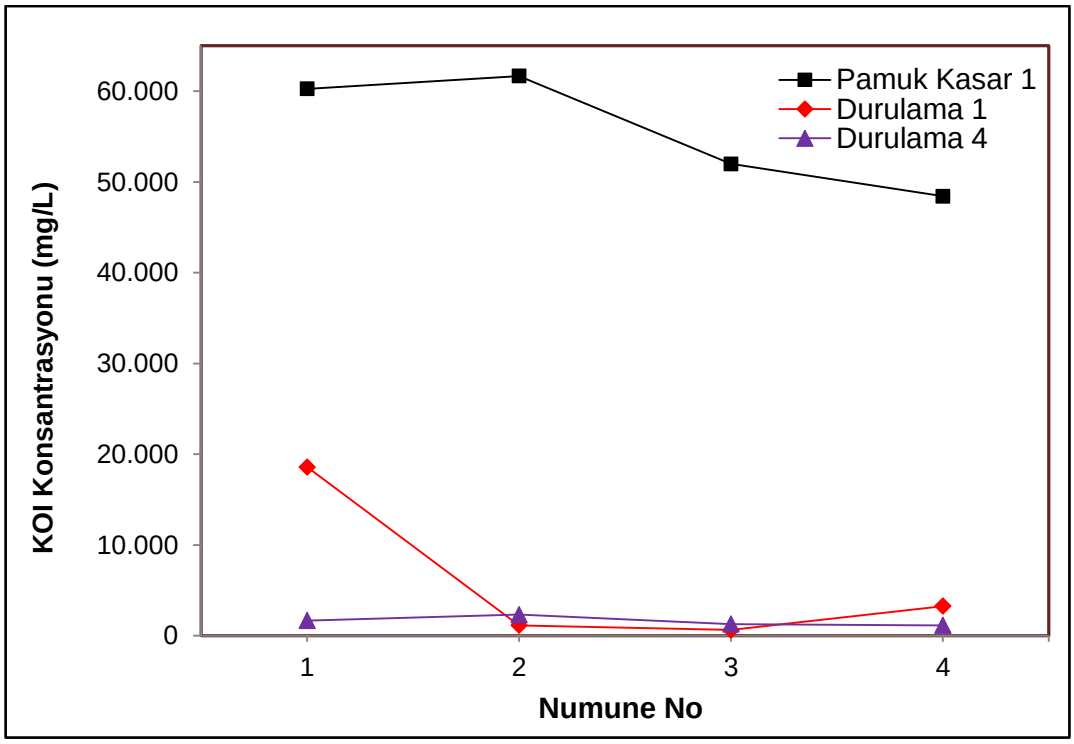
4.1.1.2.KOİ Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Viskon kasar prosesi için ana banyo ve durulama banyolarında yapılan KOİ analizleri değerlendirildiğinde; en yüksek KOİ değerleri beklendiği üzere ana banyoda görülmekte olup bu değerler durulama banyolarında ardışık olarak azalış göstermektedir (Şekil 4.3). Deşarjın olduğu banyolar (Ana banyo, Durulama 1 ve Durulama 4) değerlendirildiğinde ana banyo en yüksek değerlere sahipken 1. durulama banyosunda ana banyoya göre KOI parametresinde yaklaşık %75 oranında azalma, 4. durulama banyosunda ise yaklaşık %96 oranında azalma görülmüştür.

Pamuk Kasar-1 prosesi için ana banyo, 1. ve 4. durulama banyolarında yapılan KOİ analizleri değerlendirildiğinde ise; en yüksek değerler (50-60 g/L) beklendiği üzere ana banyoda görülmekteyken, 1. durulama banyosunda ana banyoya göre yaklaşık %90 oranında azalma, 4. durulama banyosunda ise yaklaşık % 97 oranında azalma görülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.3: Viskon Kasar prosesi için KOI konsantrasyonu (mg/L) grafiği.



Şekil 4.4: Pamuk Kasar-1 prosesi için KOI konsantrasyonu (mg/L) grafiği.

4.1.1.3.Renk Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

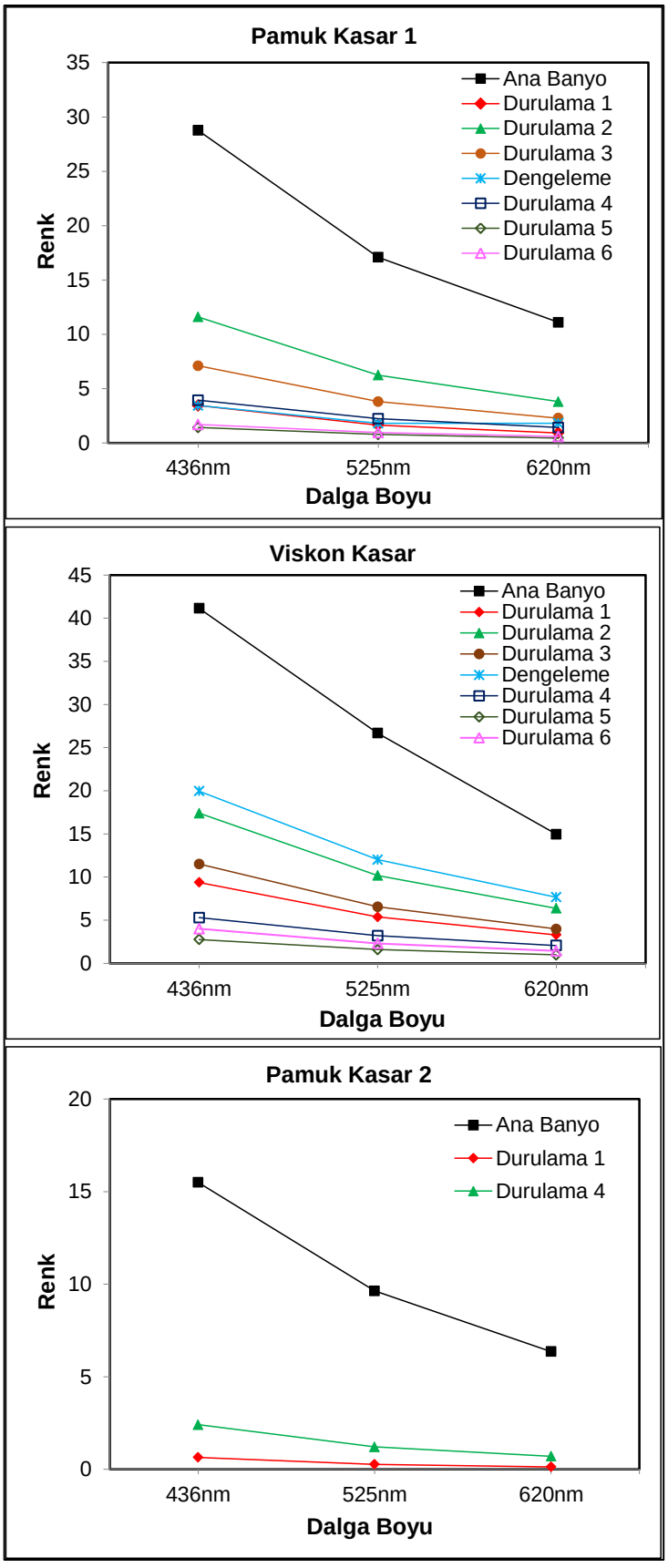
Pamuk Kasar-1, Pamuk Kasar-2 ve Viskon Kasar proseslerinin ana banyoları ve durulama banyolarında yapılan renk analizlerinin ortalama değerleri Şekil 4.5' de görülmektedir.

Her üç dalga boyunda ölçülen ortalama renk değerleri ana banyolar arasında en yüksek viskon kasar prosesinde görülürken, en düşük değerler pamuk kasar-2 prosesinde görülmüştür.

Genel olarak durulama banyolarında en yüksek değerler 2. ve 3. durulama banyolarında, en düşük değerler ise 5. ve 6. durulama banyolarında görülmüştür.

Diğer parametreler ile karşılaştırıldığında ana banyodan sonra en yüksek değerin 1. durulama banyosunda görülmesi beklenmektedir ancak renk parametresi için her üç prosestede bu durum gözlenmemiştir.

Renk analizi sonuçlarına göre Pamuk Kasar-1 prosesinde ana banyoda ve son durulama banyosunda ölçülen değerler 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında sırası ile 29-2;17-1;11-1, Pamuk Kasar-2 prosesinde 16-2;10-1;6-1 ve Viskon Kasar prosesinde 41-3;27-2;15-1 aralıklarındadır.



Şekil 4.5: Kasar prosesleri için renk analizi sonuçları.

4.1.1.4.Partikül Boyut Dağılımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tesiste bulunan 3 farklı kasar prosesinin ana banyo ve durulama banyolarından alınan atıksu numunelerinde yapılan partikül boyut dağılımı sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 4.8' de verilmektedir.

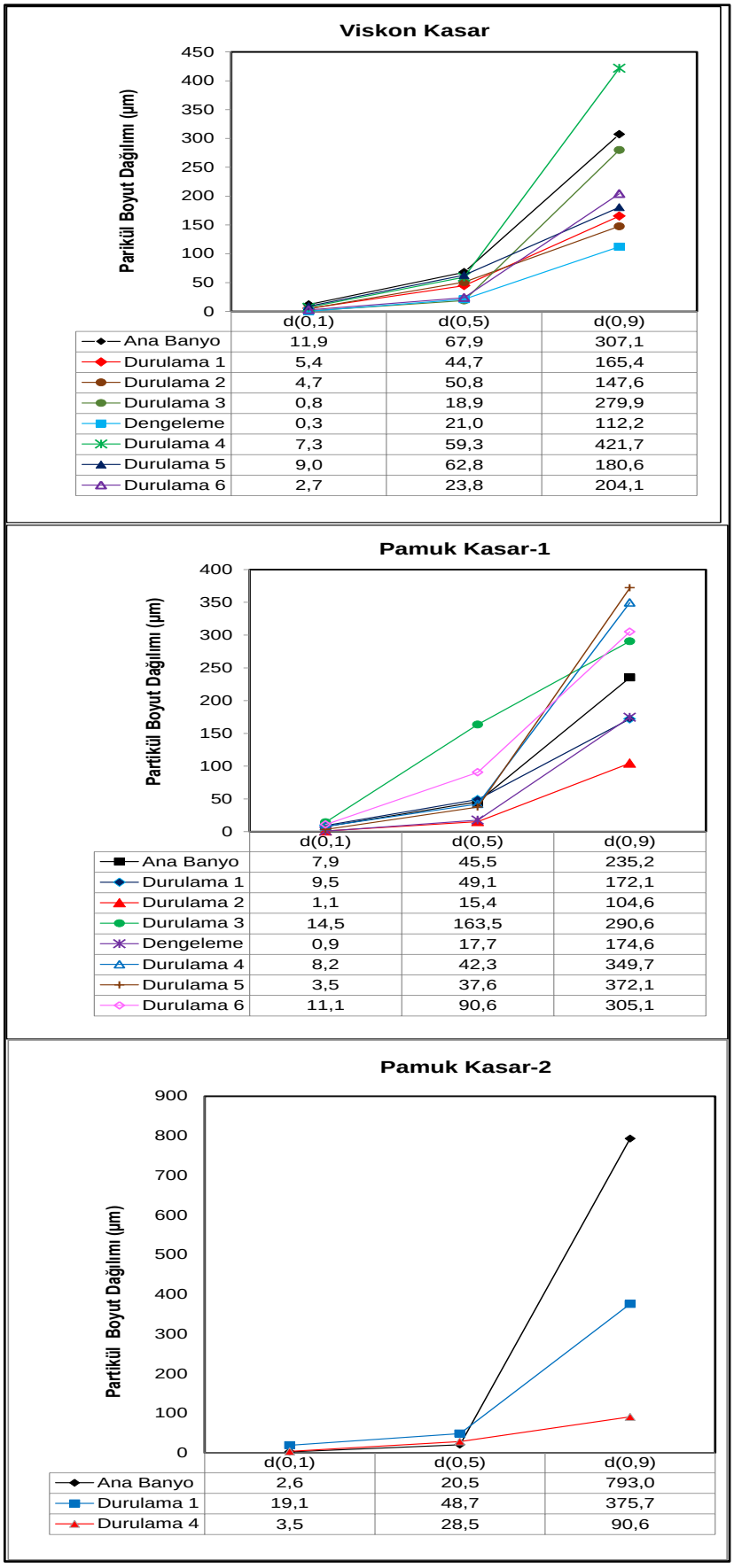
Viskon Kasar ve Pamuk Kasar-1, Pamuk Kasar-2 proseslerinin ana banyolarındaki partiküllerin %50 persentil değerinin sırası ile 67,9 µm, 45,5 µm ve 20,5 µm değerlerinin altında olduğu görülmektedir.

Aynı numunelerde, %10 persentil ve %90 persentil değerleri sırasıyla 11,9 µm - 307,1 µm, 7,9 µm - 235,2 µm, 2,6 µm - 793,1 µm olduğu görülmektedir. Genel olarak, banyoda uygulanan kostik miktarı arttıkça küçük partiküllerin büyüklüklerinin azalmış olduğu, büyük partiküllerde bu şekilde net bir eğilimin olmadığı söylenebilir.

Tablo 4.8: Kasar prosesleri için ortalama partikül boyutu dağılımı sonuçları.

Ünite	Partikül Boyut Dağılımı		
	d(0.1) (µm)	d(0.5) (µm)	d(0.9) (µm)
Viskon Kasar			
Ana Banyo	11,9	67,9	307,1
Durulama 1	5,4	44,7	164,4
Durulama 2	4,7	50,8	147,6
Durulama 3	0,8	18,9	279,9
Dengeleme	0,3	21,0	112,2
Durulama 4	7,3	59,3	421,7
Durulama 5	9,0	62,8	180,6
Durulama 6	2,7	23,8	204,1
Pamuk Kasar 1			
Ana Banyo	7,9	45,5	235,2
Durulama 1	9,5	49,1	172,2
Durulama 2	1,1	15,4	104,6
Durulama 3	14,5	163,5	290,6
Dengeleme	0,9	17,7	174,6
Durulama 4	8,2	42,3	349,7
Durulama 5	3,5	37,6	372,1
Durulama 6	11,1	90,6	305,1
Pamuk Kasar 2			
Ana Banyo	2,6	20,5	793,0
Durulama 1	19,1	48,7	375,7
Durulama 4	3,5	28,5	90,6

Pamuk Kasar-1, Viskon Kasar ve Pamuk Kasar-2 proseslerinin ana banyo ve durulama banyolarında yapılan partikül boyut dağılımı analizi sonuçlarına göre oluşturulan grafikler ise Şekil 4.6’ da verilmektedir.



Şekil 4.6: Kasar prosesleri için ortalama partikül boyut dağılımı.

4.1.2. Reaktif Emprime Baskı ve Dispers Emprime Baskı Banyoları, Emprime Karışım ve Isı Geri Kazanım Noktalarının Atıksu Karakterizasyonu

Sıcak su geri kazanımı hedefi için, reaktif ve dispers emprime baskı banyolarından sıcak su geri kazanımı ön görülmüştür. Sıcak su geri kazanımı hedeflenen noktalara ait debi, sıcaklık, proses sıklığı bilgileri Tablo 4.9' da verilmiştir.

Saha çalışması sonucunda atıksu miktarlarının yüksek olması nedeni ile emprime karışım ve ısı geri kazanım noktaları geri kazanım hedefleri doğrultusunda değerlendirilmeye alınmıştır. Bunula birlikte numune alımlarının gerçekleşmesi esnasında reaktif ve dispers baskı banyolarının 1 ve 4 nolu deşarj noktalarında su sıcaklığının düşük olması ve sıcak su geri kazanım hedefine uygun olmaması nedeniyle, bu noktalardan numune alımına devam edilmemiştir.

Tablo 4.9: Sıcak su geri kazanımı hedef noktalarının sıcaklık, debi ve proses sıklığı.

Ünite	Su Sıcaklığı (^{O}C)	Atıksu miktarı (m^3/ay)	Proses Sıklığı (sayı/hafta)
Reaktif Yıkama			
Yıkama 1	<50	130	4
Yıkama 2	60-90	450	4
Yıkama 3	60-90	190	4
Yıkama 4	<50	130	4
Dispers Yıkama			
Yıkama 1	<50	170	4
Yıkama 2	60-90	170	4
Yıkama 3	60-90	90	4
Yıkama 4	<50	170	4
Emprime Karışım	60-90	9.600	4
Isı Geri Kazanım	60-90	15.000	6

Sıcak su geri kazanımı hedefi için farklı zamanlarda alınan numunelerde yapılan tüm analizlerin sonuçları EK-C' de verilmektedir. Tablo 4.10 ve Tablo 4.11' de sıcak su geri kazanımı için seçilen noktalarda analiz edilen parametrelere ait istatistiksel değerler verilmektedir.

4.1.2.1.Dispers Emprime Baskı Banyolarının Değerlendirilmesi

Dispers 2 nolu banyoda pH değeri ortalama 12,6 iken Dispers 3 nolu banyoda bu değer 6'ya düşmektedir. Dispers 2 nolu banyoda pH'ın yüksek olmasının sebebi proseste bu banyoya kostik ilavesinin yapılmasıdır. Benzer şekilde sodyum değeri 2 nolu banyoda 3.9 g/L iken, 3 nolu banyoda 0,9 g/L olarak ölçülmüştür. Renk parametresi ise Dispers 2 nolu banyoda 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında sırası ile 9,2;4,4;1,1 iken, Dispers 3 nolu banyoda 1,0;0,5;0,2 olarak ölçülmüştür. KOİ, AKM ve bulanıklık parametreleri ise 2 ve 3 nolu banyolarda yaklaşık olarak aynı değerlerdedir (Tablo 4.10).

4.1.2.2.Reaktif Emprime Baskı Banyolarının Değerlendirilmesi

Reaktif 2 ve 3 nolu banyolarda pH değeri 9 civarındadır. KOİ konsantrasyonu reaktif 2 nolu banyoda 665 mg/L iken, 3 nolu banyoda bu değer 178 mg/L'dir. AKM değeri 2 nolu banyoda 256 mg/L iken, 3 nolu banyoda 11 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu farklılık proseste kullanılan baskı patı maddesi nedeni ile, özellikle 2 nolu banyodan alınan numunelerde yapılan AKM deneylerinde süzme işleminin gerçekleştirilememesinden kaynaklanmaktadır.

Renk parametresi için Reaktif 2 nolu banyoda 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında sırası ile 75;85;74 iken, Reaktif 3 nolu banyoda 10;11;10 değerleri görülmüştür. Bulanıklık, bikorbanat, toplam sertlik ve klor, parametreleri 2 ve 3 nolu banyolarda yaklaşık aynı değerlerdedir (Tablo 4.10).

4.1.2.3.Emprime Karışım ve Isı Geri Kazanım Noktalarının Değerlendirilmesi

Reaktif ve dispers baskı banyolarında sıcak sular emprime karışım noktasında birleşmektedir. pH değeri emprime karışım noktasında 12 iken, tesisteki tüm proseslerden gelen sıcak suların birleştiği nokta olan ısı geri kazanım noktasında pH değeri 11 civarındadır. KOİ konsantrasyonu emprime karışım noktasında ortalama 600 mg/L iken, ısı geri kazanım noktasında bu değer 1800 mg/L' dir. Renk parametresi açısından emprime karışım noktasında 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında sırası ile 30;37;37 değerleri elde edilirken, ısı geri kazanım noktasında31;31;28 olarak emprime karışım noktasına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yağ ve gres parametresi emprime karışım noktasında 6,2 mg/L iken, ısı geri kazanım noktasında bu değer 33 mg/L'dir (Tablo 4.11).

Genel olarak sıcak su geri kazanımı hedeflenen noktalarda yapılan analizler değerlendirildiğinde; reaktif banyolarda renk ve AKM değerlerinin dispers banyolara göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Reaktif boyama banyolarında renk parametresinin yüksek olmasının sebebi baskıda reaktif boyaların kullanılması, AKM değerinin yüksek olmasının sebebi ise proseste kullanılan baskı patı maddesidir. KOİ konsantrasyonu açısından ise dispers banyolarda ölçülen değerler reaktif banyolardan yüksektir. Bunun sebebi ise dispers baskı banyolarına eklenen kostik ve sülfit içerikli organik kimyasallardır. Tesisteki tüm proseslerden gelen sıcak atıksuların birleştiği ısı geri kazanım noktasında pH değeri 11 civarında olup bu değer diğer noktalara yakındır. KOİ konsantrasyonu açısından en yüksek değer ısı geri kazanım noktasında gözlenmiştir. Isı geri kazanım noktasında renk değerleri, emprime karışım noktasındaki değerlere yakın olmakla birlikte, reaktif baskı banyolarındaki değerlerden oldukça düşüktür.

Hedeflenen noktalarda pH ve sıcaklık değerleri incelendiğinde; pH değeri 11-13, sıcaklık değerleri ise 60-90 ^{O}C aralığındadır. Bu parametreler membran filtrasyonunda membran seçimi açısından önemli olup, seramik membranların kullanımı açısından uygundur.

Membran filtrasyonu ile sıcak su geri kazanım hedefi için hedef nokta seçiminde önemli olan KOİ, renk ve partikül boyut dağılımı analiz sonuçları detaylı olarak ilerleyen bölümlerde değerlendirilmiştir.

Tablo 4.10: Reaktif ve Dispers Empirme Baskı banyolarının atıksu karakterizasyonu.

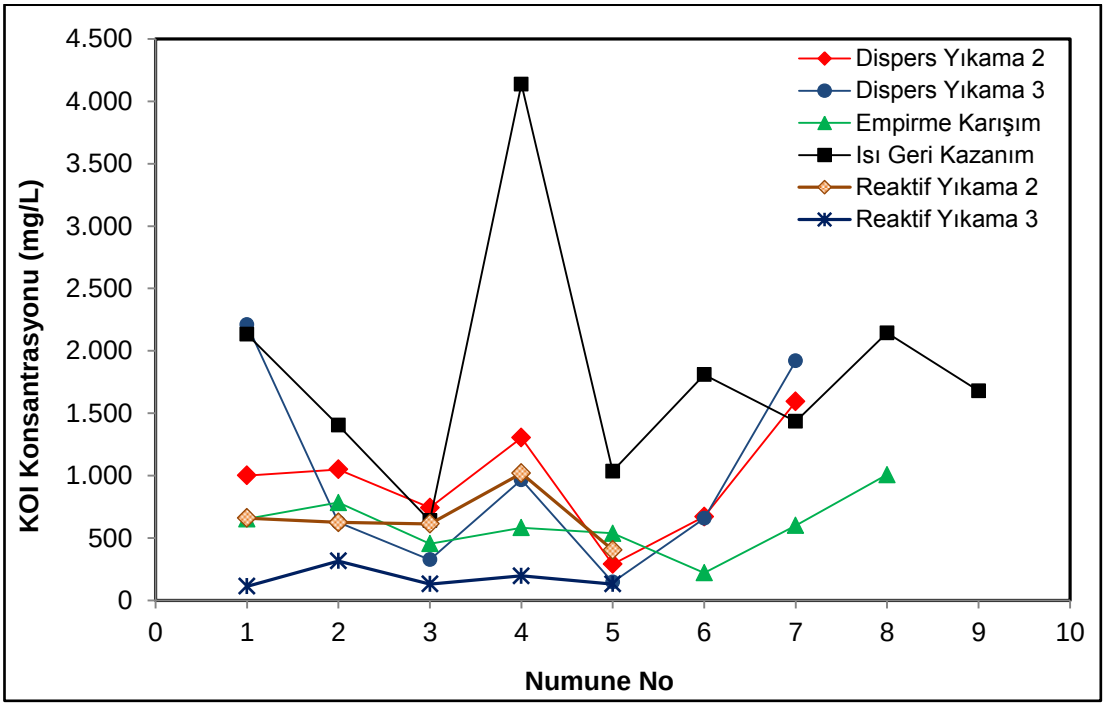
Parametre	Dispers Yıkama-2. Deşarj				Dispers Yıkama 3. Deşarj				Reaktif Yıkama 2. Deşarj				Reaktif Yıkama 3. Deşarj			
	Min	**Mak**	**Ort**	**Std. Sapma**	**Min**	**Mak**	**Ort**	**Std.Sapma**	**Min**	**Mak**	**Ort**	**Std. Sapma**	**Min**	**Mak**	**Ort**	**Std. Sapma**
pH	12,3	12,9	12,6	0,2	4,5	7,6	6,1	1,1	7,6	9,3	8,8	0,6	8,5	9,5	9,0	0,3
EC (µs/cm)	8.820	43.800	26.669	12.994	1.623	13.210	4.401	3.768	769	1.069	906	132	649	1.002	803	125
KOİ (mg/L)	290	1.593	950	398	147	2.209	979	732	405	1.019	665	199	113	316	178	75
TOK (mg/L)	28	229	121	75	16	620	204	198	22	330	167	102	20	88	51	28
AKM (mg/L)	<5	27,0	22,8	5,5	< 5	44	23,8	13,7	10	850	256	302	<5	20	11	4
Bulanıklık (NTU)	5,8	74,1	29,8	22,9	2,4	157	44,8	57,8	11,8	26	19,0	4,8	4,4	14,8	8,0	3,7
Renk (PtCo)	100	860	331,5	261,6	10	65	28,3	20,5	1.500	3.190	2.345	845	150	702	284	302
436 nm	3,5	24,3	9,2	6,8	0,3	2,2	1,0	0,6	14,1	196	75,0	64,7	1,3	19	10,3	6,7
525 nm	1,3	11,5	4,4	3,2	0,1	1,1	0,5	0,3	18,3	222,0	85,6	73,1	1,3	19,9	11,1	6,7
620 nm	0,4	3,3	1,4	1,2	0,04	0,6	0,2	0,2	25,4	191	73,9	61,9	1,8	17,8	9,9	6,8
Na^+ (mg/L)	1.327	6.174	3.879	1.806	302	2.874	957	831	156,6	261	205,2	42	124	219	162,6	33,6
Toplam Sertlik	4,1	102,5	27,5	32	2,3	50	14,3	18	3,1	212,2	81,6	70,1	3,5	604,8	137,3	234,0
Cl^- (mg/L)	82	117	97,9	12,4	76	1.253	364	447	79,4	130	102,3	16,3	79,7	130	101,5	16,8

Tablo 4.11: Emprime Karışım ve Isı Geri Kazanım noktalarının atıksu karakterizasyonu.

Parametre	**Emprime Karışım**				**Isı Geri Kazanım**			
	Min	**Mak**	**Ort**	**Std. Sapma**	**Min**	**Mak**	**Ort**	**Std. Sapma**
pH	9,3	12,5	11,9	1,0	7,8	12,4	11,1	1,4
EC (µs/cm)	989	19.140	7.006	5.657	1.021	10.980	4.948	3.312
KOİ (mg/L)	221	1.007	605	215	639	4.137	1.824	938
TOK (mg/L)	42	249	139	58	102	1.245	522	300
AKM (mg/L)	13	200	60	56	26	140	63	37
Bulanıklık (NTU)	7,6	24,9	14,7	5,4	15,9	185	83,4	51,5
Renk (PtCo)	225	1.000	613	319	85	2.360	1.124	796
436 nm	10,1	63	30,1	17,4	6,9	58	31,1	17,3
525 nm	4,4	73,5	36,7	25,7	5,8	71,5	30,7	20,4
620 nm	6,0	65	37	22,4	4,9	83	28,2	23,1
Na^+ (mg/L)	200,8	2.633	1.213	709,2	208,1	1.841	860,3	524
Toplam Sertlik	10,7	94,3	46,3	24,5	13,1	51,3	26,4	12,6
Cl^- (mg/L)	75	553	159	150	147	1.250	423	331

4.1.3. KOİ Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Zamana bağlı KOİ sonuçları incelendiğinde, konsantrasyon değişiminin en fazla olduğu numune, ısı geri kazanım karışım tankından alınan numuneler olmuştur (Şekil 4.7). Bunun sebebi tesisin tümünde yer alan farklı proseslerdeki 50 ^{O}C ve üzeri sıcak atıksularınısı geri kazanım karışım tankında toplanıyor olmasıdır. Bu yüzden bu noktada toplanan sıcak atıksuların karakterizasyonunda gün içerisinde üretime bağlı olarak salınımların görülmesi beklenen bir durumdur. Ayrıca, en yüksek KOİ değerlerinin genel olarak ısı geri kazanım noktasında olduğu görülmektedir. En düşük KOİ değerleri ise reaktif 3 nolu yıkama banyosunda görülmektedir. Emprime karışım noktasındaki KOİ değerleri, reaktif 2 nolu yıkama banyosunun değerlerine yakın olup dispers 2 ve 3 nolu yıkama banyolarındaki değerlerden düşüktür. Dispers yıkama banyolarında eklenen kimyasallar (kostik, hidrojen sülfit) nedeni ile organik yükün reaktif yıkama banyolarına göre yüksek çıkması beklenen bir durumdur.



Şekil 4.7: Dispers - Emprime - Reaktif - Isı Geri Kazanım atıksularının KOI sonuçları (mg/L).

4.1.4. Renk Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı zamanlarda alınan numunelerin her üç dalga boyu için renk değerleri Şekil 4.8' de verilmektedir. Renk parametresi değerlendirildiğinde, her üç dalga boyunda en yüksek değerler reaktif 2 nolu banyoda görülürken, bu noktayı emprime karışımve ısı geri kazanım noktaları izlemektedir. En düşük değerler ise dispers 2 ve 3 nolu banyolarda görülmüştür.

Zamana bağlı renk sonuçları incelendiğinde, KOİ sonuçlarına benzer şekilde değişimin en fazla olduğu sonuçlar, ısı geri kazanım karışım tankından alınan numunelerde gözlenmiştir. Diğer bir salınım görünen nokta emprime karışım noktasıdır. Emprime karışım noktasında görülen salınıma, bu noktaya yıkama banyolarından gelen suların neden olduğu düşünülmektedir.

2013 yılında tamamlanan bir yüksek lisans tezi kapsamında 6 farklı tekstil endüstrisinden 28 hafta boyunca AAT giriş ve çıkışlarından alınan numunelerde, farklı renk ölçüm metotları uygulanarak renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Partal, 2013). Yapılan bu çalışma kapsamında AAT girişlerinde ölçülen RES değerlerinin ortalamaları Tablo 4.12' de verilmektedir.

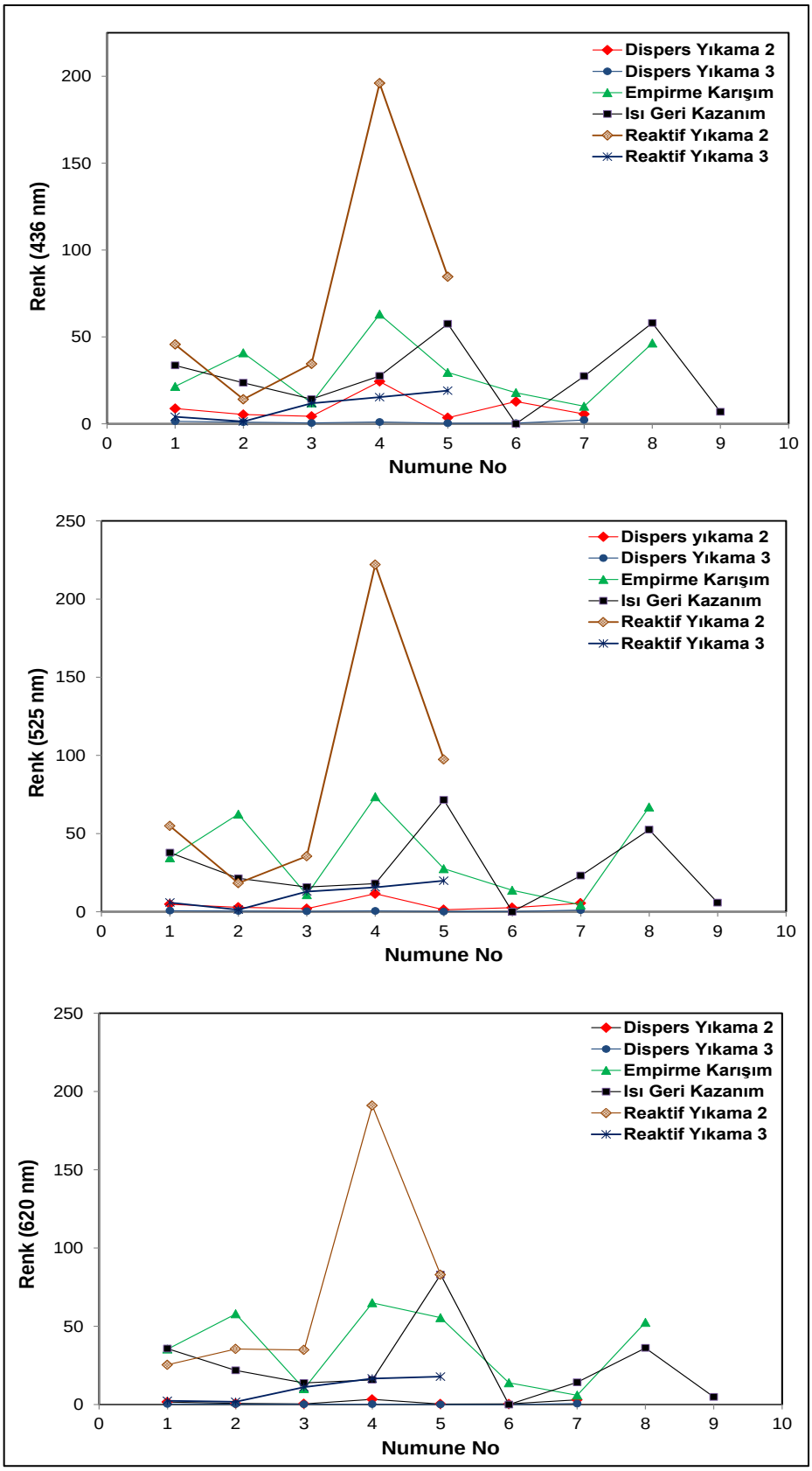
Tablo 4.12: Tekstil endüstrilerinden alının karışık tekstil atıksuyu RES değerleri.

Tesis Kodu	**RES-436 nm**	**RES-525 nm**	**RES-620 nm**
10-01 Tesisi	24,7	25,7	16,1
10-02 Tesisi	70,1	65,5	38,1
10-03 Tesisi	24,1	24,1	19,1
10-03B Tesisi	17,4	12,3	9,6
10-07 Tesisi	26,3	33,5	26,0
19 Tesisi	23,1	20,4	12,5

Karışık tekstil endüstrilerinde beklenen değer aralıkları 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında sırası ile 17-70;12-66;10-38 değer aralıklarındadır. Reaktif 3 nolu banyo, emprime karışım ve ısı geri kazanım noktalarında ölçülen değerler tabloda verilen aralıklar ile uyumludur.

Seramik membranların minimum gözenek boyutunun 1 kDa (0,7 nm-2 nm) civarında olduğu göz önünde bulundurulursa, reaktif 2 nolu yıkama banyosu,

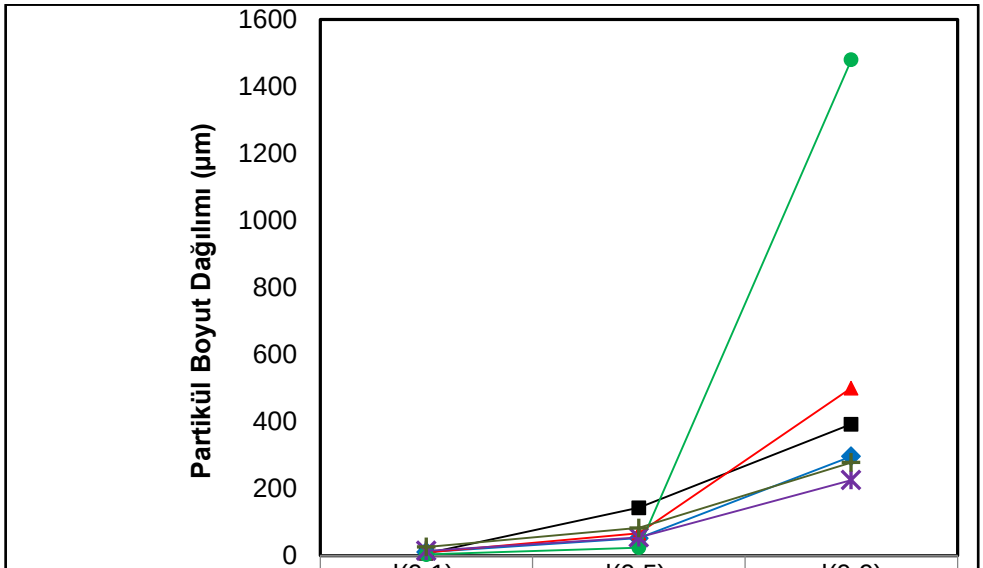
emprime karışım ve ısı geri kazanım noktalarında seramik membran filtrasyonu ile renk gideriminde zorluk yaşanması muhtemeldir. Bununla birlikte emprime karışım ve ısı geri kazanım noktalarındaki su miktarlarının yüksek olması ve renk değerlerinin reaktif 2 nolu yıkama banyosu deşarjındaki renk değerlerine göre nispeten daha düşük olması nedeni ile emprime karışım ve ısı geri kazanım noktaları geri kazanım hedefleri kapsamında değerlendirilecektir.



Şekil 4.8: Dispers - Emprime - Reaktif - Isı Geri Kazanım atıksularının renk analizi ortalama sonuçları.

4.1.5. Partikül Boyut Dağılımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı zamanlarda alınan numunelerin Master Sizer 2000 ile yapılan partikül boyut dağılımı analiz sonuçlarının ortalama değerleri Şekil 4.9' da verilmektedir. Dispers 2 ve 3 nolu yıkama banyolarından alınan numunelere ait partiküllerin %50'sinin sırasıyla 143,2 µm ve 52,4 µm, Reaktif 2 ve 3 nolu yıkama banyolarından alınan numunelerin ise sırasıyla 54,7 µmve 82,9 µm değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Emprime karışım ve sıcak su geri kazanım noktalarında sırası ile 67,4 µm ve 24,1µm değerlerinin altındadır. Ölçüm aralığının 0,1 – 1000 µm olması nedeni ile 0,1 µm den düşük partiküller ölçülememiştir.



	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
Dispers Yıkama 2	6,8	143,2	392,1
Dispers Yıkama 3	10,9	52,4	296,4
Empirme Karışım	9,8	67,4	500,4
Isı Geri Kazanım	3,9	24,1	1479,5
Reaktif Yıkama 2	14,6	54,7	225,8
Reaktif Yıkama 3	26,3	82,9	278,2

Şekil 4.9: Dispers-Emprime-Karışım-Isı Geri Kazanım için ortalama partikül boyut dağılımı.

Sıcak su geri kazanımı hedefi doğrultusunda reaktif emprime baskı banyoları hem en yüksek renk parametresi değerlerine sahip olması, hem de proseste kullanılan baskı patı maddesi nedeni ile hedef olmaktan çıkarılmıştır.

4.1.6. Endüstriyel Atıksuyun Karakterizasyonu Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi

Bölüm 4.1.1 - 4.1.2.3' de detaylı olarak paylaşılan atıksu karakterizasyonu sonuçları bu bölümde geri kazanım açısından değerlendirilmesi özet olarak verilmiştir.

Sıcak su geri kazanımı hedefi için reaktif ve dispers emprime baskı yıkama banyolarının 2 ve 3 nolu deşarjları, bu banyoların karışım noktası olan emprime karışım noktası ile tesiste oluşan tüm 50 ^{O}C üzeri sıcak atıksuların toplandığı ısı geri kazanım noktasının avantaj ve dezavantajları Tablo 4.13' te verilmiştir.

Atıksu karakterizasyonu sonuçlarına göre Reaktif Emprime Baskı Banyoları deşarjlarından alınan numunelerde AKM deneyinin güçlükle yapılması, KOİ değerinin yüksek olması nedeni ile sıcak su geri kazanımı hedefinden çıkarılmıştır.

Seramik membran filtrasyonu ile sıcak su geri kazanımı hedefi doğrultusunda Dispers Emprime Baskı Banyolarının sıcak deşarjları, Emprime Karışım Noktası ve Isı Geri Kazanım Noktasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Tablo 4.13: Emprime Baskı Banyoları atıksu karakterizasyonunun sıcak su geri kazanımı açısından değerlendirilmesi.

Ünite	Avantaj	Dezavantaj
Reaktif Emprime Baskı Yıkama 2 nolu deşarj	-	Renk yüksek, PAT baskı maddesi nedeni ile zor süzülme
Reaktif Emprime Baskı Yıkama 3 nolu deşarj	-	KOİ değeri yüksek, PAT baskı maddesi nedeni ile zor süzülme
Dispers Emprime Baskı Yıkama 2 nolu deşarj	Renk değeri oldukça düşük, KOİ değeri düşük	Atıksu debisi diğer noktalara göre yarı yarıya
Dispers Emprime Baskı Yıkama 3 nolu deşarj	Renk değeri oldukça düşük, KOİ değeri düşük	Atıksu debisi diğer noktalara göre yarı yarıya
Emprime Baskı Banyolarının Sıcak Karışım Noktası	Atıksu debisi yaklaşık 9.600 m^3/ay, geri kazanım potansiyeli yüksek	Renk ve KOİ değerleri Dispers 2 ve 3 noktalarına göre yüksek
Isı Geri Kazanım Noktası	Atıksu debisi yaklaşık 15.000 m^3/ay, geri kazanım potansiyeli yüksek	Renk ve KOİ değerleri yüksek ve atıksu karakterizasyonu değişken

Kostik geri kazanımı hedefi doğrultusunda Pamuk Kasar-1, Pamuk Kasar-2, Viskon Kasar, Kasar 1. Durulama Banyosu ile Kasar 4. Durulama banyolarında alınan numunelerin kostik parametresi açısından özet değerlendirmesi ve proses sıklıklıkları Tablo 4.14' de verilmektedir.

Durulama banyolarındaki analiz sonuçlarına göre kostik miktarı ilk banyoda, ana banyodaki oranın yaklaşık olarak %10 mertebesine düşmektedir. Tüm kasar proseslerinde, ilk banyodan sonraki durulama banyolarındaki Na^+ iyonu miktarının azalarak yaklaşık 200 mg/L değerine kadar düştüğü görülmüştür Bu sebeple, durulama banyolarının kostik geri kazanımı hedefi açısından uygun olmadığına karar verilmiştir. Ancak sıcak su geri kazanımı hedefi doğrultusunda değerlendirilmeye alınmıştır.

Kostik geri kazanımının ana banyolardan yapılması kostik geri kazanımı açısından uygundur. Burada öne çıkan faktör proses sıklığı ve kostik içeriğidir. Kostik içeriği açısından en yüksek değer Pamuk Kasar-2 prosesinde olmak ile beraber uygulama sıklığı açısından yetersizdir ve kostik içeriğinin oldukça yüksek olması membranlara zarar vermesi muhtemeldir. Viskon Kasar prosesinin hem sık uygulanması hem de kostik içeriğinin Pamuk Kasar-1 prosesine göre yüksek olması nedeni ile seramik membran filtrasyonu ile kostik geri kazanımı hedefi için Viskon Kasar prosesinin ana banyosu seçilmiştir.

Tablo 4.14: Kasar proseslerinde ana banyo ve 1. ve 4. durulama banyoları için Na^+ ve NaOH ortalama konsantrasyonları.

Ünite No	**Ünite**	**Atıksu miktarı (m^3/ay)**	**Proses Sıklığı (sayı/hafta)**	**Na^+ort. Konsantrasyon (mg/L)**	**NaOH ort. Konsantrasyon (mg/L)**
	Pamuk Kasar-1				
1	Ana Banyo	48	4	10.575 ± 877	18.392 ± 1.526
2	Durulama 1	1.600	4	1.616	2.810
6	Durulama 4	960	4	243 ± 43	423 ± 74
	Viskon Kasar				
1	Ana Banyo	48	4	12.191 ± 1.041	21.202 ± 1.744
2	Durulama 1	1.600	4	1.882 ± 1.589	3.272 ± 2.764
6	Durulama 4	960	4	206 ± 36	358 ± 62
	Pamuk Kasar-2				
1	Ana Banyo	12	1	97.638	169.805
2	Durulama 1	400	1	1.610 ± 581	2.800 ± 1.010
6	Durulama 4	240	1	250	435

Literatürde merserizasyon, kostikleme-kasar, boyama, baskı, yıkama ve durulama, karışık tekstil atıksularına ait değerlendirmeler tez kapsamında çalışılan noktalar ile karşılaştırılmıştır. Sıcak akımlar ve Viskon kasar ana banyoda elde edilen atıksu karakerizasyonu sonuçları literatürde benzer atıksular için ulaşılan değerler ile karışılaştırması Tablo 4.15 ve Tablo 4.16' da verilmektedir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleşen atıksu karakterizasyonu sonuçlarına göre; Sıcak su geri kazanımı hedefi doğrultusunda numune alınan emprime karışım ve ısı geri kazanım noktasında elde edilen sonuçların baskı atıksuları ve karışık tekstil atıksu değerlerine yakın olduğu görülmektedir (Tablo 4.15). Bisschopss ve Spanjers, (2003) çalışmasında baskı atıksuyu pH değeri 4,6-11,7 aralığında, iletkenlik değeri 9,1-11,7 mS/cm, KOİ değeri 1.515 mg/L olarak rapor edilmiştir [Biscchopss and Spanjers, 2003]. Baskı banyolarının karışım noktası olan Emprime Karışım Noktası, Dispers Baskı 3. Banyo deşarjı ve Isı Geri Kazanım noktalarının pH aralığı literatür ile uyumludur. Karışık tekstil atıksuyu için rapor edilen pH değeri 5,6-11,2, iletkenlik 2,7-8,6 mS/cm, KOİ değeri 329-1.560 mg/L dir [Tomei et al., 2016], [Blanco et al., 2014], [Fersi and Dhahbi, 2008], [Aslam et al., 2004], [Marcucci et al., 2002]. Literatürde bulunan bu değerler Emprime Karışım ve Isı Geri Kazanım noktalarında elde edilen atıksu karakterizasyon sonuçları ile benzerdir.

Viskon Kasar Ana Banyo'da ölçülen KOİ değer i ortalama yaklaşık 28 g/L iken bu değer durulama banyolarında 1. Banyoda 6 g/L değerine son banyoda ise 341 mg/L değerine düşmektedir. Ana banyoda ölçülen değer literatür değerlerinin oldukça üstünde iken 1. Durulama banyosundaki değer benzerdir [Varol et al., 2015]. NaOH içeriği yine Varol ve arkadaşlarının, (2015) çalışmasında rapor edilen değerlerin arasında kalmaktadır. pH, iletkenlik, renk ve toplam sertlik değerleri literatür ile uyumludur [Tunç et al., 2014], [Varol et al., 2015], [Avdicevic et al., 2017] (Tablo 4.16). KOİ ve NaOH değerlerinde görülen farklılıklar, kumaş tipi, prosesin farklılığı gibi sebeplerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tekstil endüstrisinde kostiğin en yoğun kullanıldığı proses merserizasyon ve soğuk kasar prosesleridir. Bu işlem elyafın mukavemetini arttıran ve boyanın elyafa geçişini kolaylaştıran bir prosestir. Merserizasyon işleminden oluşan atıksuların organik kirlilik yükü oldukça fazladır ve bu atıksular NaOH, surfektan ve askıda katı madde içeriği bakımından zengindir [Avdicevic et al., 2017].

Tablo 4.15: Sıcak akımlarda yapılan atıksu karakterizasyon sonuçları ve literatür ile karşılaştırılması.

	*Tez Çalışması				Literatür			
Parametre	**Dispers Baskı Banyo 2. deşarj**	**Dispers Baskı Banyo 3. deşarj**	**Emprime Karışım**	**Isı Geri Kazanım**	**Boyama atıksuyu**	**Baskı atıksuyu**	**Durulama-yıkama atıksuyu**	**Karışık tekstil atıksuyu**
pH	12,6 (12,4-12,9)	5,8 (3,9-7,6)	11,5 (8,5-12,5)	10,8 (7,8-12,4)	8,9-12,7 [a,b]	4,6-11,7 [c]	7,2-13 [c]	5,6-11,2 [e,f,g,h,i]
Sıcaklık, °C	80 (70-90)	80 (70-90)	80 (70-90)	80 (70-90)	-	-	-	-
İletkenlik, mS/cm	26.7 (8,8-43,8)	4,3 (1,6-13,2)	6,2 (0,99-19,1)	5,2 (1,0-10,9)	2,2-35 [a,b]	9,2-11,7 [c]	0,6 [d]	2,7-8,6 [g, i]
KOİ, mg/L	950 (290-1.593)	953 (147-2.209)	588 (221-1007)	1.819 (639-4137)	281-7.920 [a,b,c]	1.515 [c]	185,6 [d]	329-1.560 [e,f,g,h,i]
TOK, mg/L	140 (28-290)	194 (16-620)	182 (42-249)	495 (102-1245)	-	-	49,1 [d]	158-390 [e,f]
Renk (Pt-Co)	396 (100-1.200)	28,3 (10-65)	1.148 (225-3.900)	1.169 (85-2.360)	137-10.000 [a,b]		2.150 [d]	975 [g]
Toplam Sertlik, $mgCaCO_3/L$	34,4 (4,1-102,5)	25,8 (2,3-83)	51,2 (10,7-94,3)	35,4 (13,1-110)	240-8.500 [a]			500 [f]

[a] Yukseler et al., 2017; [b] Ozturk et al., 2016b; [c] Bisschops and Spanjers, 2003; [d] Guyer et al., 2016;

[e] Tomei et al., 2016; [f] Blanco et al., 2014; [g] Fersi and Dhahbi, 2008; [h] Aslam et al., 2004; [i] Marcucci et al., 2002

Tablo 4.16: Kostik akımlarında yapılan atıksu karakterizasyon sonuçları ve literatür ile karşılaştırılması.

	Tez Çalışması	**Literatür**			
Parametre	**Kostik atıksuyu**	**Merserizasyon[a]**	**Kostik atıksuyu[b]**	**Merserizasyon[c]**	**Merserizasyon[d]**
pH	13,0 (12,8 - 13,2)	13,3	12,9±0,3	8,9–12,3	6,0–12,8
İletkenlik, (mS/cm)	83,04 (63,0-96,7)	75,1	58,1±3,7	1,0–150	0,3 – 2,6
AKM, (mg/L)	1.048 (715 - 1.810)	100	29.0±1,8	40–1.632	58-467
KOİ, (mg/L)	27.899 (15.897 - 45.085)	-	748	500–8.500	706-6.755
TOK, (mg/L)	4.324 - 9.866	499,2	-	-	-
Renk (Pt-Co)	1.785 (894 - 5.780)	205	-	844-11.113	-
NaOH, (mg/L)	17.461 - 23.148	-	13.500±100	1.400–67.500	1.400-67.500
Toplam Sertlik, (mg $CaCO_3$/L)	257 (131 - 441)	20.000	-	-	310-6.140

[a] Avdičević et. al., 2017, [b] Tunç et al., 2014, [c] Varol et al., 2015, [d] Varol, 2008

4.2. Geri Kazanım Noktaları Çapraz Akış Membran Filtrasyon Deneylerinin Değerlendirilmesi

Atıksu karakterizasyonu tamamlanan ve sonuçlarına göre sıcak su ve kostik geri kazanımı çalışmaları için seçilen beş ayrı potansiyel geri kazanım noktasından farklı tarihlerde numuneler alınmıştır. Şekil 3.11'de gösterilen noktalardan alınan gerçek atıksular ile gerçekleştirilen çapraz akış membran filtrasyon deneyleri Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'de verilen sistemler ile tubular ve disk tip seramik membranlar kullanılarak üç ayrı deney seti olarak gerçekleştirilmiştir. Toplam 5 farklı noktaya ait atıksuların çapraz akış filtrasyonu deneylerinde 300 kDa (UF), 50 kDa (UF), 15 kDa (UF), 3 kDa (sıkı UF) ve 1 kDa (sıkı UF) gözenek boyutlarında seramik membranlar kullanılmıştır.

Geri kazanım çalışmalarında kullanılmak üzere alınan ham numunelerin ve filtrasyon deneylerinde elde edilen süzüntü sularının atıksu analizleri Tablo 3.1' de verilen yöntemlere göre TÜBİTAK MAM ÇTÜE Su ve Atıksu laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kostik ve sıcak su geri kazanımı için numunelerin alındığı noktalar Tablo 4.17' de verilmektedir.

Tablo 4.17: Geri Kazanım hedefleri için numune alma noktaları.

Numune Alınan Nokta	Geri Kazanım Hedefi	Açıklama
Viskon Kasar prosesinin ana banyosu	Kostik geri kazanımı	Kasar banyosu boşaltılmadan önce numuneler alınmıştır
Viskon Kasar prosesinin 4. durulama banyosu	Sıcak su geri kazanımı	
Dispers Emprime Baskı banyosunun sıcak deşarjları	Sıcak su geri kazanımı	2, 3 ve 4 nolu deşarjlar eşit hacimde karıştırılarak homojen tek numune elde edilmiştir
Emprime Karışım noktası	Sıcak su geri kazanımı	
Isı Geri Kazanım noktası	Sıcak su geri kazanımı	

Sıcak su geri kazanımı ve kostik geri kazanımı hedefine ulaşabilen optimum membran MWCO seçebilmek için geniş aralıklı membranlar kullanılmıştır. Ticari olarak satılan laboratuvar ölçekli seramik membranlarda en küçük MWCO 1 kDa (1.000 g/mol) olup bu değer boya moleküllerinden büyüktür. Özellikle sıcak su geri kazanımında nihai hedefin deşarj kriteri olmaması ve bazı yıkama adımlarında bir

miktar renkli ve organik madde içerikli arıtılmış sıcak suların kullanılabilmesidir. Bu sebepler ile farklı MWCO membranlardan geri kazanım hedefine uygun optimum membran MWCO seçilmesi hedeflenmiştir.

Birinci. set çapraz akış filtrasyon deneylerinde 17 adet, ikinci set çapraz akış filtrasyon deneylerinde 27 adet, üçüncü set çapraz akış filtrasyon deneylerinde ise 11 adet olmak üzere toplamda 55 adet laboratuvar ölçekli geri kazanım çalışmaları tamamlanmıştır (Tablo 4.18).

Tablo 4.18: Laboratuvar ölçekli çapraz akış filtrasyon deneyleri.

Numune Noktası	**1. Set Seramik Membran Çapraz Akış Filtrasyonlar (disk seramik membranlar)**	**2. Set Seramik Membran Çapraz Akış Filtrasyonlar (disk seramik membranlar)**	**3. Set Seramik Membran Çapraz Akış Filtrasyonlar (tubular seramik membranlar)**
Dispers Emprime Baskı	3	4	2
Isı Geri Kazanım	3	4	2
Emprime Karışım	8	15	2
Viskon Kasar Ana Banyo	3	2	5*
Viskon Kasar 4. Durulama	-	2	-
Toplam	**17**	**27**	**11**
* Kasar ana banyodan alınan numuneler 0.2µm filtrasyon deneyleri yeterli süzüntü toplayabilmek için 10 tekrar yapılmıştır.			

Viskon kasar ana banyodan alınan atıksuların askıda katı madde içeriklerinden dolayı kaba filtrasyon (0,63 µm) ve mikrofiltrasyon (0,2 µm) ön işlemleri yapılmıştır.

Boyalı sıcak atıksularda, birinci set numuneleri ile yapılan filtrasyon deneylerinde ham atıksulara mikrofiltrasyon ile ön arıtma yapılmış ancak 300 kDa seramik membranlar ile gerçekleşen kirletici giderimine yakın olması nedeni ile ikinci ve üçüncü set filtrasyon deneylerinde boyalı sıcak atıksu ham numunelerinde mikrofiltrasyon yapılmamıştır.

Disk tip seramik membranlar ile yapılan çapraz akış filtrasyon deneylerinde geniş aralıklı ve en az iki tekrarlı gözenek çapları kullanıldığından, sıcak su geri kazanımı için yapılan tubular seramik membranlar ile gerçekleşen üçüncü set

deneylerde 300 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) gözenek çapına sahip membranlar ile filtrasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Kostik geri kazanımı açısından optimum gözenek boyutunu saptamak maksadı ile disk ve tubular seramik membranlar ile gerçekleşen çapraz akış membran filtrasyonu deneylerinde ise 0,2µm (MF), 300 kDa (UF), 15 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) membranlar kullanılmıştır.

Çapraz akış membran filtrasyonu deneyleri sabit işletme basıncında (0-4 bar) gerçekleştirilmiştir. 0,2 µm, 300 kDa ve 150 kDa membranlar için işletme basıncı 1 bar olup daha küçük MWCO membranlarda 2 barda deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney prosedürü Bölüm 3.4 ve Şekil 3.17' de verilmiştir.

Sıcak atıksular çalışılırken tekstil firmasında gerçekleşen proses sıcaklıklarında çalışılmıştır. Dispers baskı ve ısı geri kazanım noktalarına ait atıksular 70-75 ^{O}C, emprime karışım ve viskon kasar durulama banyosu numuneleri 80-85 ^{O}C sıcaklıklarda çapraz akış membran filtrasyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Akı hesaplamaları yapılırken ticari seramik membran üreticisinin verdiği sıcaklık düzeltmeleri (EK-B**,** Tablo B.1- Tablo B.3) kullanılarak saf su akıları normalize edilmiştir.

Geri kazanımı hedeflenen atıksular ile yapılan çapraz akış membran filtrasyonu deneylerine ait detaylı değerlendirmeler çalışılan atıksu özelinde ilerleyen bölümlerde alt başlıklar olarak verilmektedir.

4.2.1. Sıcak Su Geri Kazanım Çalışmalarının Değerlendirilmesi

4.2.1.1. Dispers Emprime Baskı Banyolarından Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi

Sıcak su geri kazanım çalışmalarını gerçekleştirmek üzere üç farklı tarihte dispers emprime baskı banyolarının sıcak deşarjlarından numuneler alınmıştır. Alınan numuneler eşit hacimlerde karıştırılarak homojen ortak bir numune elde edilmiştir. Homojen ortak numuneler ile birinci ve ikinci set deneylerde disk tip, üçüncü set deneylerde tubular tip seramik membranlar kullanılarak çapraz akış membran filtrasyonları gerçekleştirilmiştir.

Dispers emprime baskı banyolarında gerçekleşen çapraz akış membran filtrasyonu deneylerinde, kirletici giderimi, atıksuyun yeniden kullanılabilirliği, akı davranışları ve kirlenme mekanizması incelenmiş ve ilerleyen bölümde detaylı olarak irdelenmiştir.

4.2.1.1.1. Dispers Emprime Baskı Banyoları ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Ham ve Süzüntü Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Birinci set filtrasyon deneylerinde, dispers baskı banyolarından alınan 2 ve 3 nolu deşarjlara ait atıksular eşit hacimde karıştırılarak homojen tek numune elde edilmiştir. Elde edilen numune önce 0,24 µm membrandan süzülmüştür. MF seviyesinde ön arıtımı yapılmış numuneler, 3 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa) gözenek çapına sahip seramik membranlar ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

İkinci set filtrasyon deneylerinde, dispers baskı banyolarından alınan 2, 3 ve 4 nolu deşarjlara ait atıksular eşit hacimde karıştırılarak homojen tek numune elde edilmiştir. Birinci set filtrasyon deneylerinde MF seviyesinde ayırma ile 300 kDa süzüntüsünde elde edilen kirletici giderimlerinin benzer olması nedeni ile ham numune ön arıtma yapılmadan 4 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa) gözenek çapına sahip seramik membranlar ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tubular seramik membranlar ile gerçekleşen üçüncü set filtrasyon deneylerinde de, dispers baskı banyolarından alınan 2, 3 ve 4 nolu deşarjlara ait atıksular eşit hacimde karıştırılarak homojen tek numune elde edilmiştir. Elde edilen homojen numune 300 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) tubular seramik membranlar ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Birinci set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.19' da, ikinci set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.20'de, üçüncü set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.21' de verilmektedir. Atıksuların geri kullanımı açısından izlenen parametrelerden KOİ, TOK ve Renk için MWCO esaslı kirletici giderim grafikleri Şekil 4.10 - Şekil 4.19'da verilmektedir.

Birinci set için ham atıksu KOİ değeri 1.058 mg/L iken 15 kDa süzüntüsünde elde edilen değer 735 mg/L'dir. KOİ giderim verimi yaklaşık %30 olarak gerçekleşmiştir ancak nihai durumda kalan organik miktarı oldukça yüksektir. İkinci set için ham atıksu KOİ değeri 1.044 mg/L iken 300 kDa sonucu 800 mg/L, 50 kDa sonucu 792mg/L, 15 kDa ve 3 kDa sonuçları 785 mg/L'dir. KOİ için elde edilen sonuçlar birinci sette de görülmüştür. Üçüncü set ham atıksu için KOİ değeri 939 mg/L iken 300 kDa sonucu 870mg/L, 3kDa sonucu 794 mg/L'dir. KOİ için benzer

sonuçlar ilk iki sette yapılan dispers emprime baskı deneylerinde de görülmüştür. Elde edilen en yüksek KOİ giderim verimi 3 kDa membrandan %15 olarak elde edilmiştir. Bu değer ilk iki sete göre bir miktar düşük olup konsantrasyon değerleri birbirine yakındır (Şekil 4.10 - Şekil 4.12).

Birinci set ham atıksu TOK değeri 83 mg/L iken 15 kDa seramik membran süzüntüsünde elde edilen değer 23 mg/L ölçülmüştür. En düşük MWCO seramik membranda elde edilen TOK giderim verimi yaklaşık %72 olmuştur. İkinci sette ham atıksu TOK değeri 290 mg/L dir. Bu farkın dispers baskı banyosunun dördüncü deşarjının etkisi olduğu düşünülmektedir. Atıksu karakterizasyonu kapsamında alınan 4. Nolu deşarjdan alınan 3 farklı numunede de yüksek TOK değerleri görülmüştür. İkinci sette TOK giderim verimi 15 kDa için %15 olarak gerçekleşmiştir. Üçüncü set ham atıksu TOK değeri 221 mg/L ile ikinci sete benzer şekilde 200 mg/L üzerindedir. 3 kDa elde edilen minimum TOK değeri ise 169 mg/L olup %24 giderim verimi gerçekleşmiştir. 3 kDa süzüntüsünde elde edilen değerler, ikinci sette elde edilen değerlere yakındır (Şekil 4.14- Şekil 4.15).

Birinci set Renk giderimi ise 15 kDa seramik membran için her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile %72, %82 ve %91 olarak gerçekleşmiştir. İkinci set Renk giderimi 300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa için benzerdir. Renk değerleri yine birinci sette çalışılan numunelere göre daha renkli olmakla beraber giderim verimi daha yüksektir.15 kDa için renk giderim verimi %98'in üzerindedir. Üçüncü set Renk giderimi açısından 300 kDa ve 3 kDa değerleri birbirine yakındır. 3 kDa için elde edilen giderim verimleri 436 nm, 525 nm ve 630 nm için sırası ile %80, %91 ve %93 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.16 - Şekil 4.19).

Birinci ve üçüncü set deneylerde, süzüntülede elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri (<36 mg$CaCO_3$/L) sağlamaktadır. İkinci set deneylerde en düşük MWCO (3 kDa) elde edilen toplam sertlik değeri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerin üzerinde kalmıştır (42 mg $CaCO_3$/L>36 mg $CaCO_3$/L) (Tablo 4.19-Tablo 4.21).

Tablo 4.19: Dispers Emprime Baskı 1. Set analiz sonuçları.

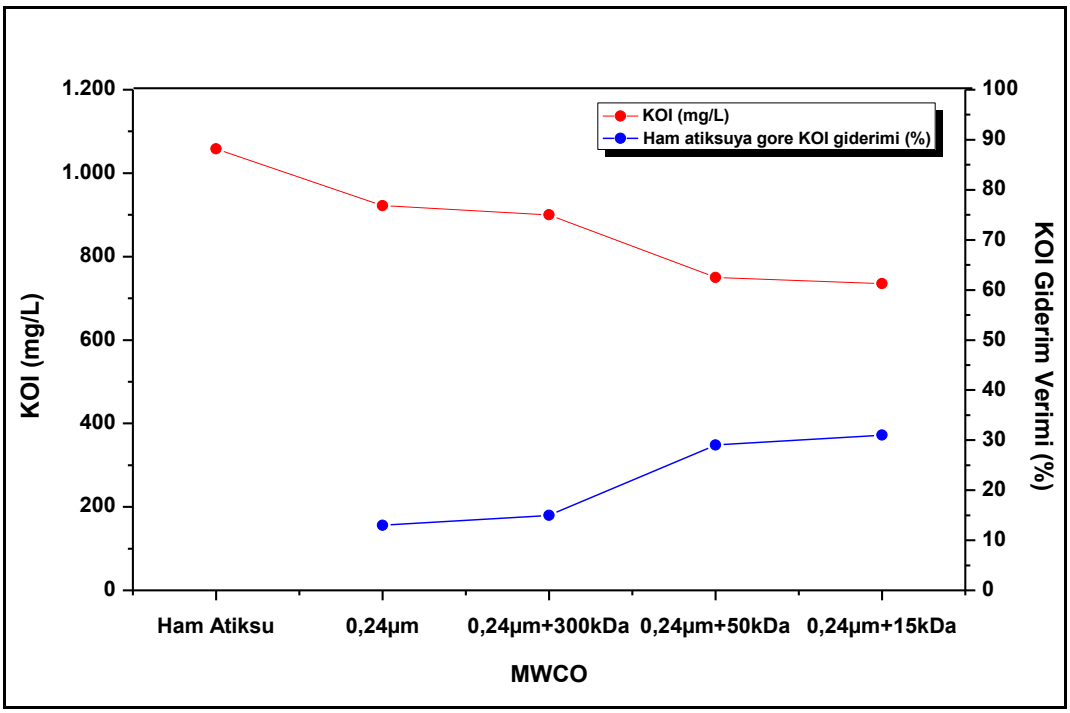
Dispers Emprime Baskı 1. set (disk)	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
						PtCo	436 nm	525 nm	620 nm		
Ham	12,3	15.130	1.058	83	10	209	7,1	3,3	3,2	51	151
0,24µm	12,3	14.610	922	60	5	136	4,8	2,8	1,9	72	146
0,24µm + 300 kDa	12,3	18.990	900	60	4	97	3,7	1,1	1,0	17	212
0,24µm + 50 kDa	12,2	15.500	750	32	1	50	2,4	0,8	0,4	12	174
0,24µm + 15 kDa	12,2	14.890	735	23	1	43	2,0	0,6	0,3	6	164

Tablo 4.20: Dispers Emprime Baskı 2. Set analiz sonuçları.

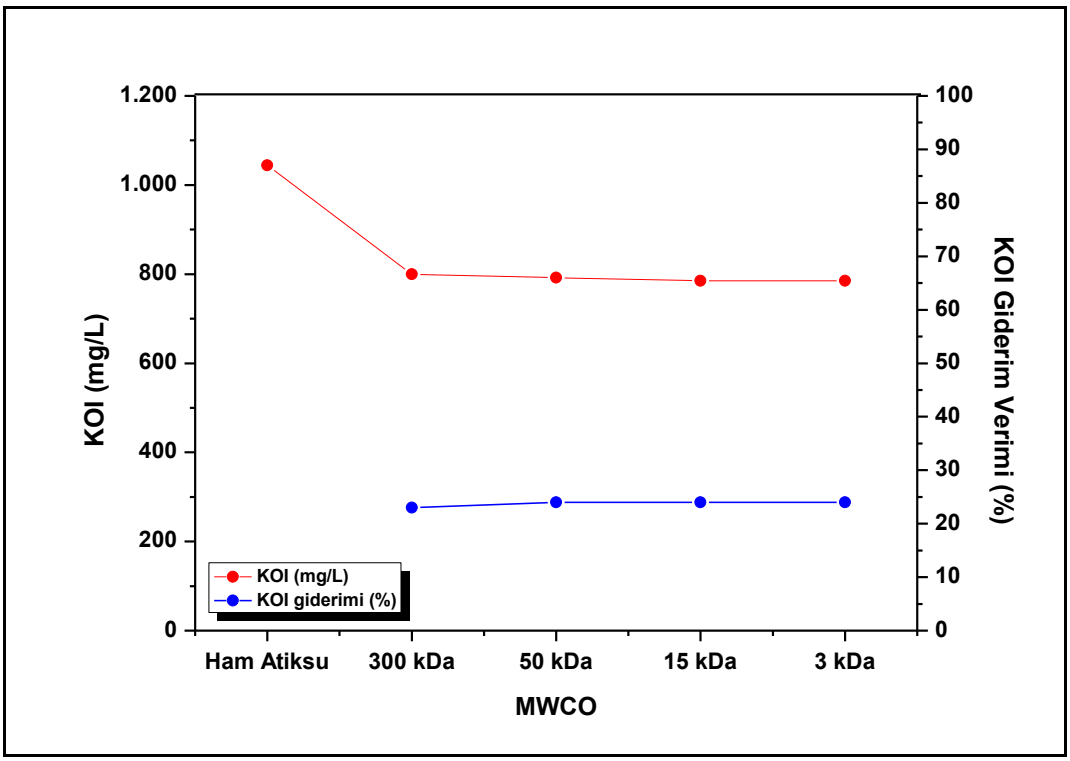
Dispers Emprime Baskı 2. Set (disk)	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
						PtCo	436 nm	525 nm	620 nm		
Ham	3,4	3.290	1.044	290	72,3	1.128	33,2	25,8	20,0	83	141
300 kDa	4,3	3.300	800	252	0,1	15	0,5	0,2	0,0	71	137
50 kDa	4,0	3.300	792	249	0,1	12	0,4	0,1	0,0	68	144
15 kDa	3,9	3.220	785	248	0,08	10	0,4	0,1	0,0	51	136
3 kDa	4,0	3.240	785	244	0,07	8	0.4	0.1	0,0	42	136

Tablo 4.21: Dispers Emprime Baskı 3. Set analiz sonuçları.

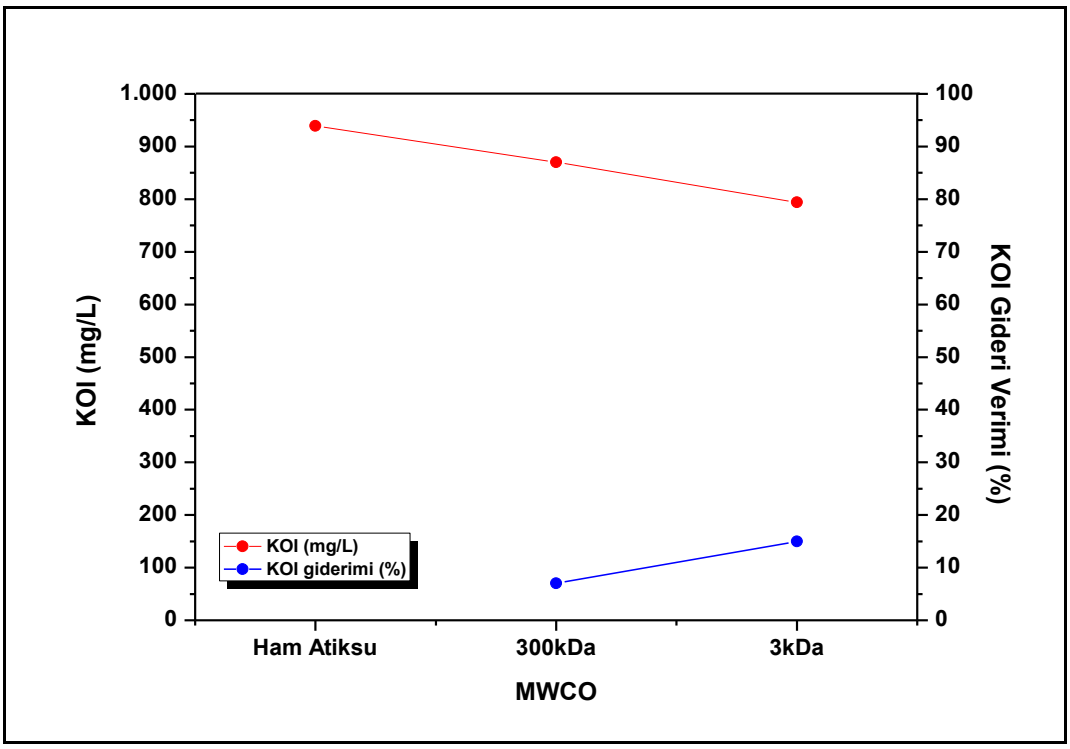
Dispers Emprime Baskı 3. Set (tubular)	**pH**	**EC (µs/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**	**Renk**				**Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)**	**Cl^- (mg/L)**
						PtCo	**436 nm**	**525 nm**	**620 nm**		
Ham	12,3	15.810	939	221	24	255	8,6	5,6	4,3	9	108
300 kDa	12,0	14.880	870	183	1	55	2,8	0,8	0,4	8,6	119
3 kDa	11,9	14.950	794	169	0	36	1,8	0,5	0,3	8,2	111



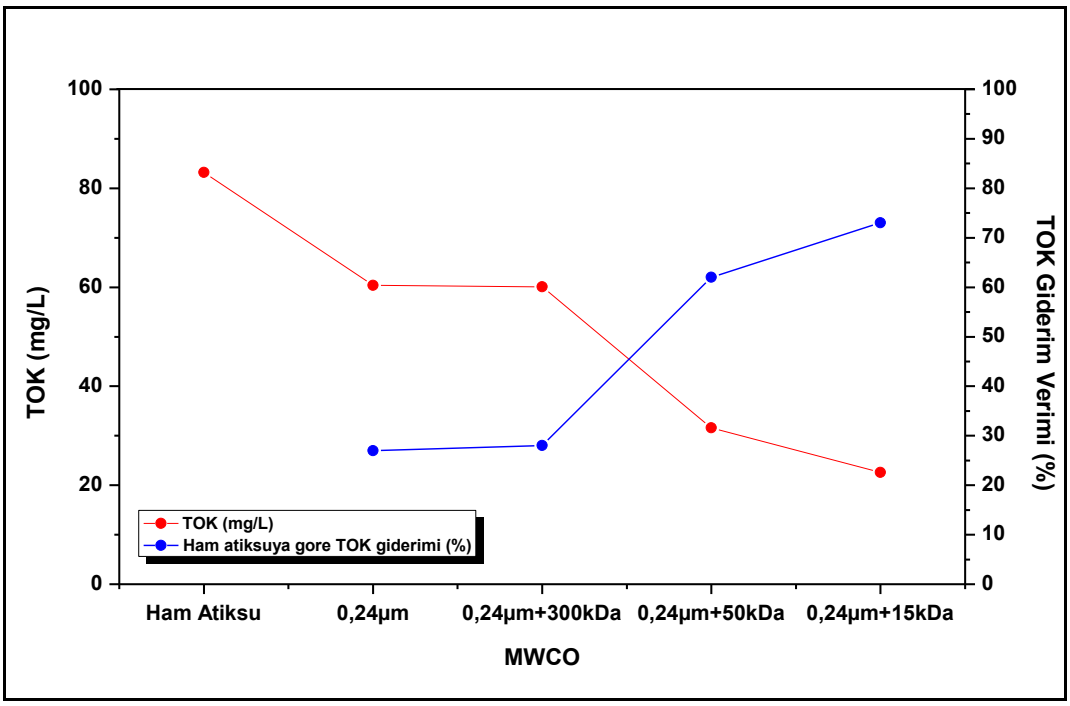
Şekil 4.10: Dispers Emprime Baskı 1.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



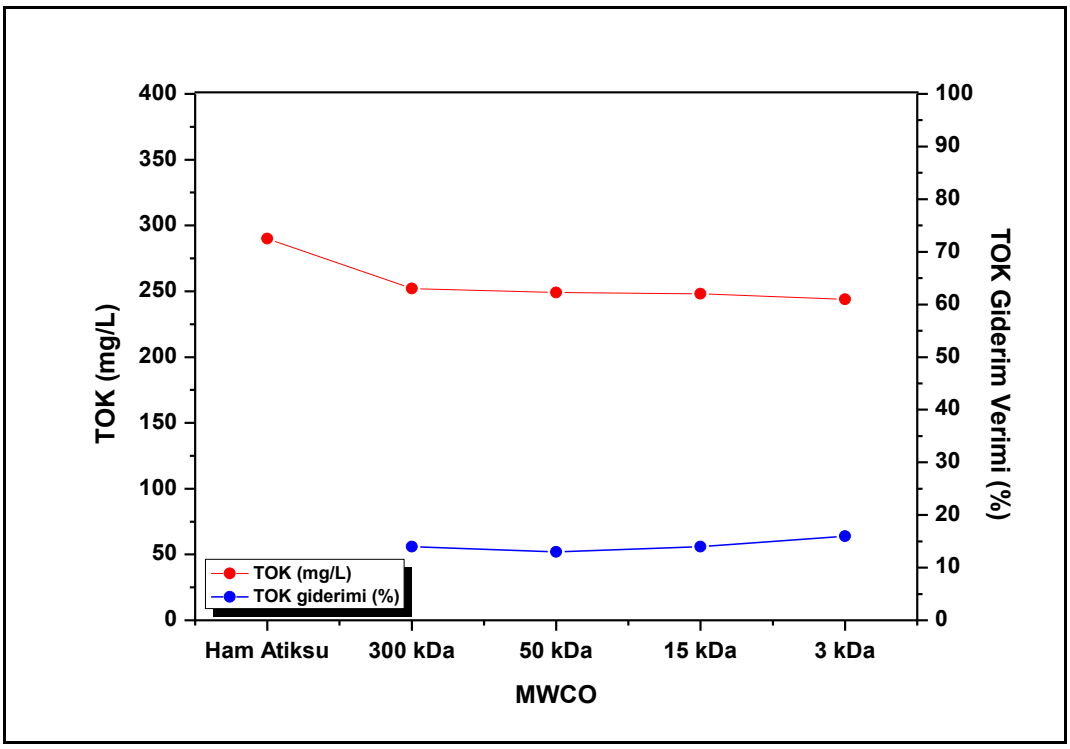
Şekil 4.11: Dispers Emprime Baskı 2.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



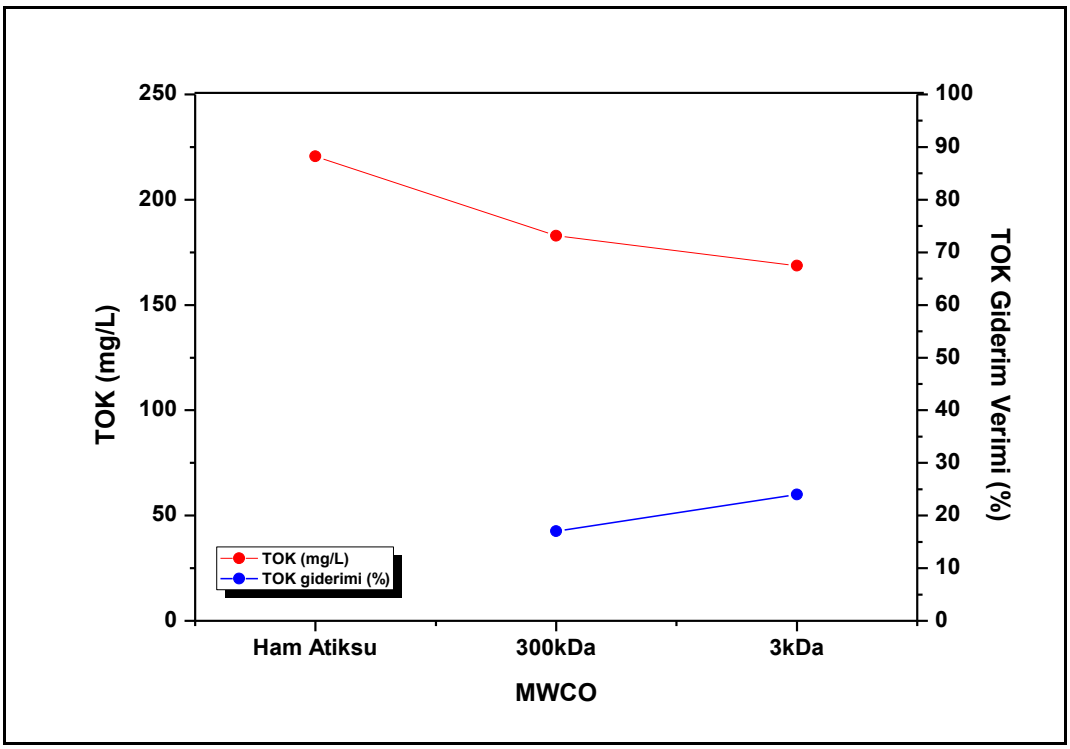
Şekil 4.12: Dispers Emprime Baskı 3.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



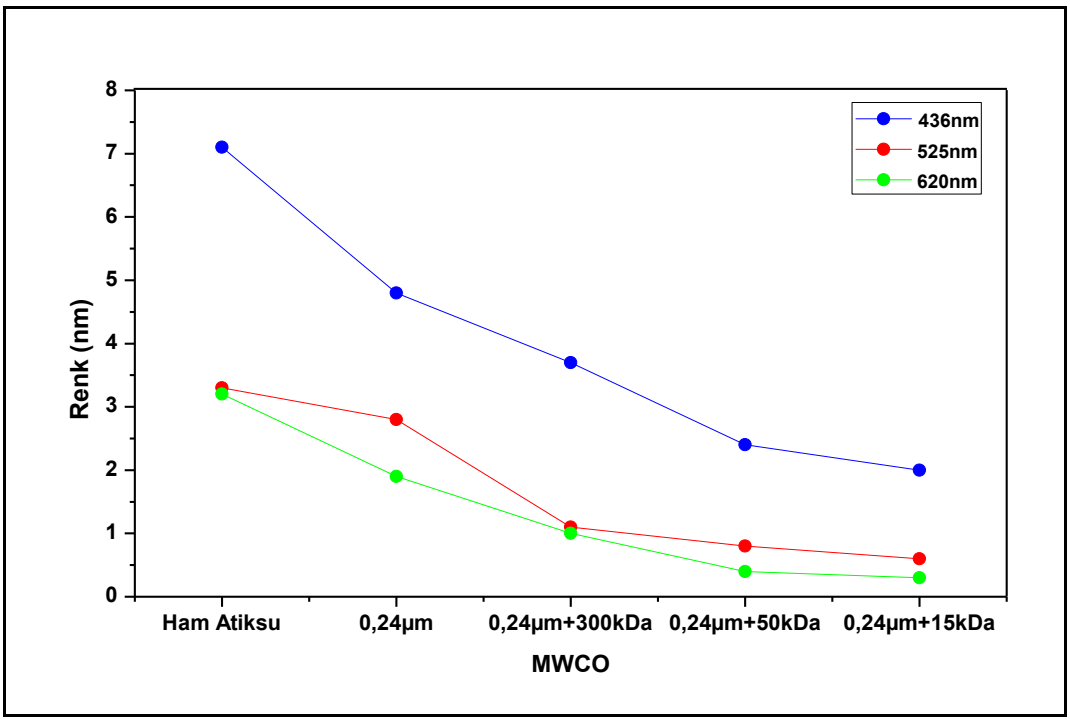
Şekil 4.13: Dispers Emprime Baskı 1.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



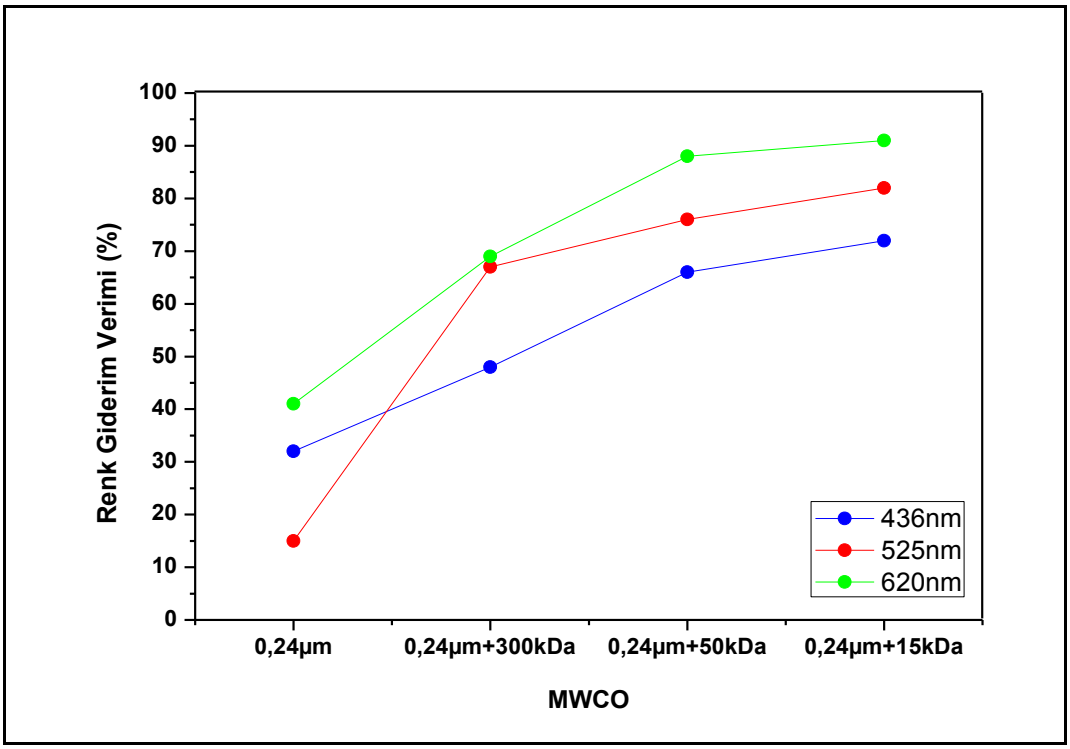
Şekil 4.14: Dispers Emprime Baskı 2.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



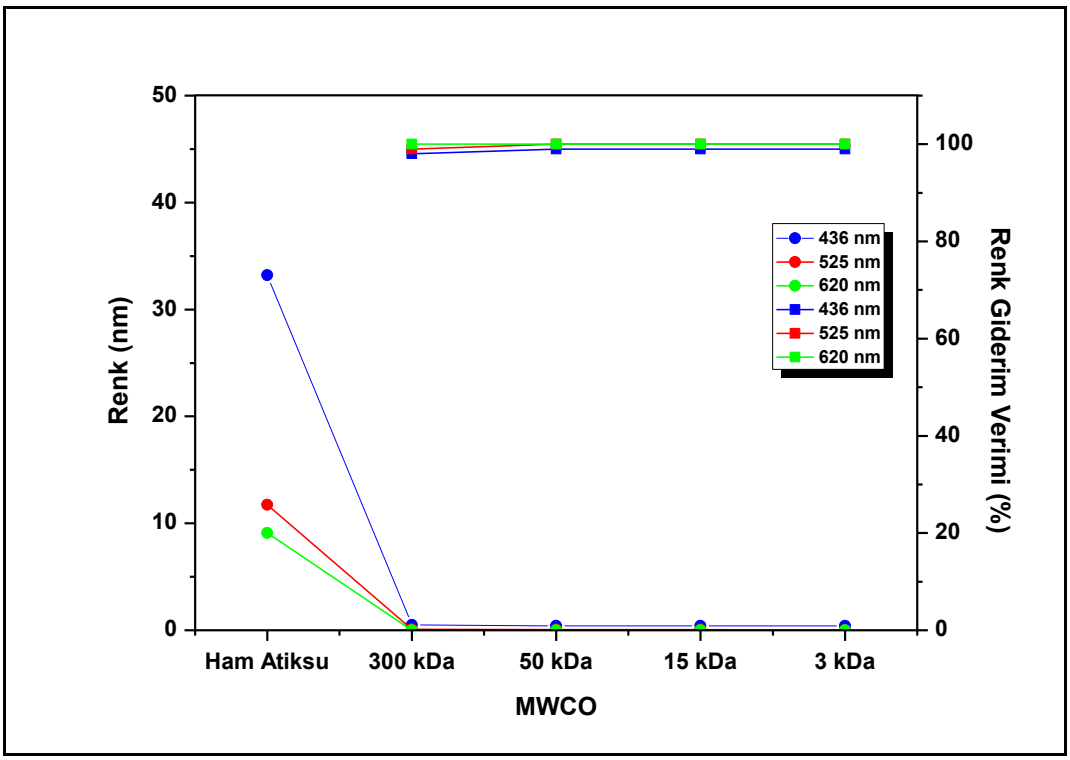
Şekil 4.15: Dispers Emprime Baskı 3.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



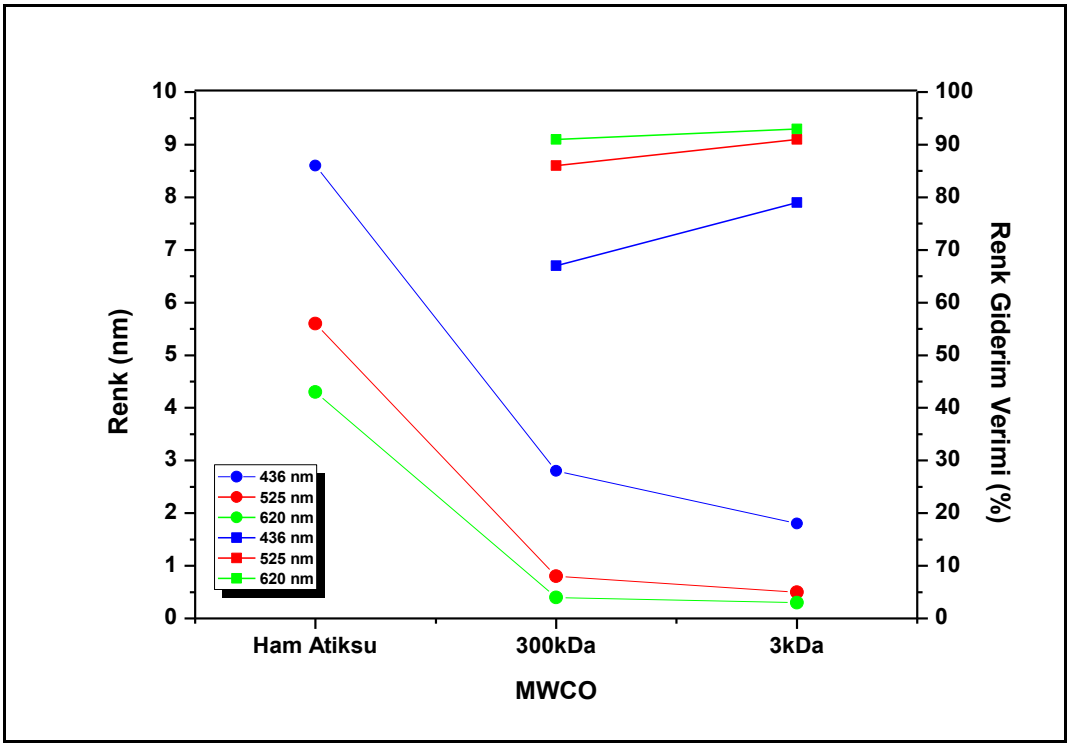
Şekil 4.16: Dispers Emprime Baskı 1.set renk RES değerleri (nm).



Şekil 4.17: Dispers Emprime Baskı 1.set renk giderimleri (%).

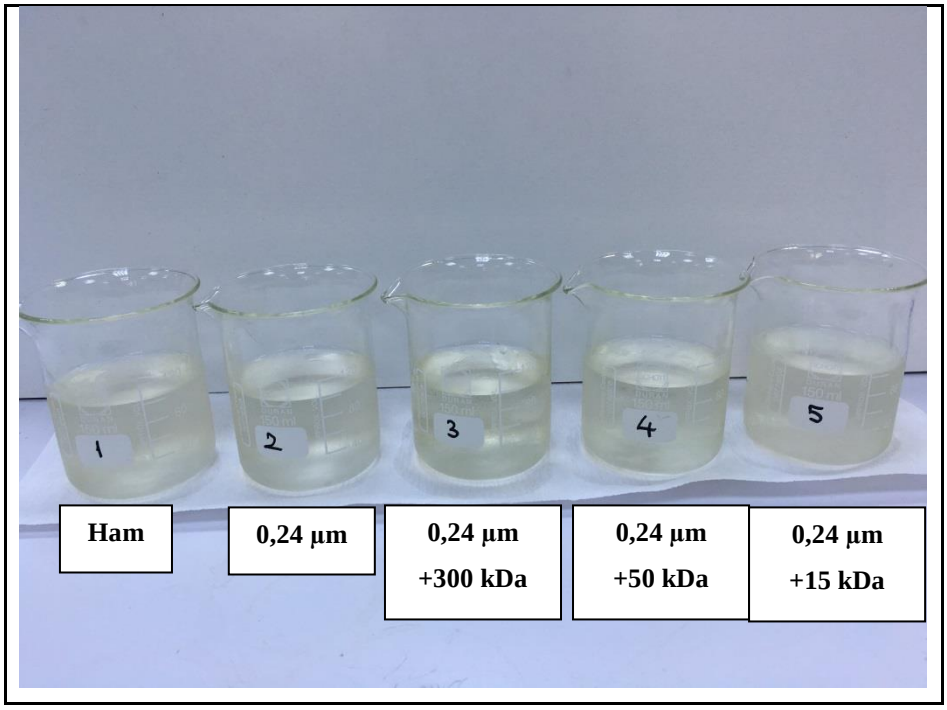


Şekil 4.18: Dispers Emprime Baskı 2.set renk RES (nm) değerleri ve giderimleri (%).

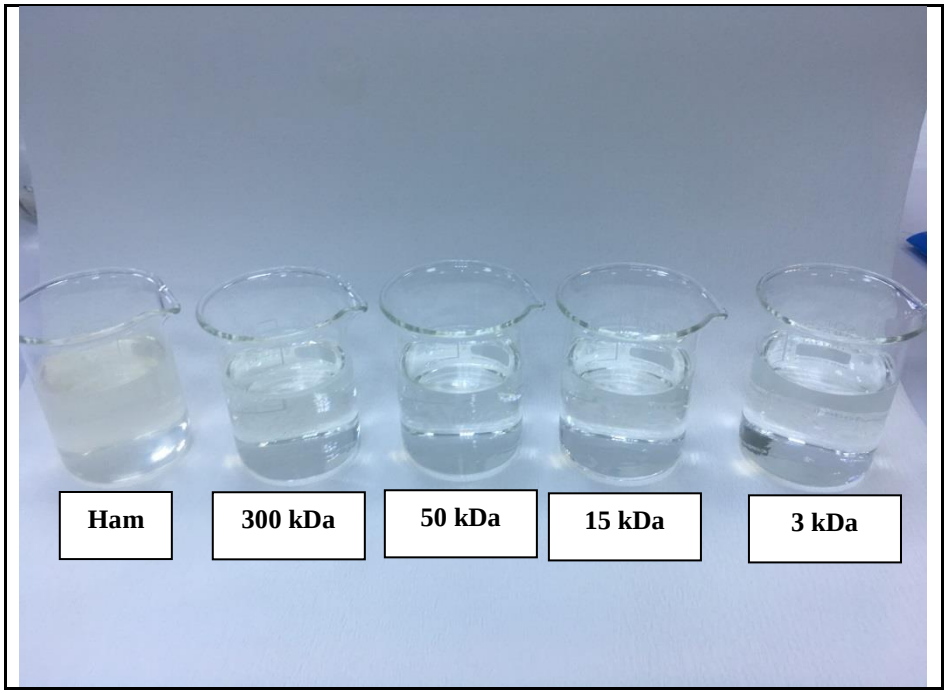


Şekil 4.19: Dispers Emprime Baskı 3.set renk RES değerleri (nm) ve giderimleri (%).

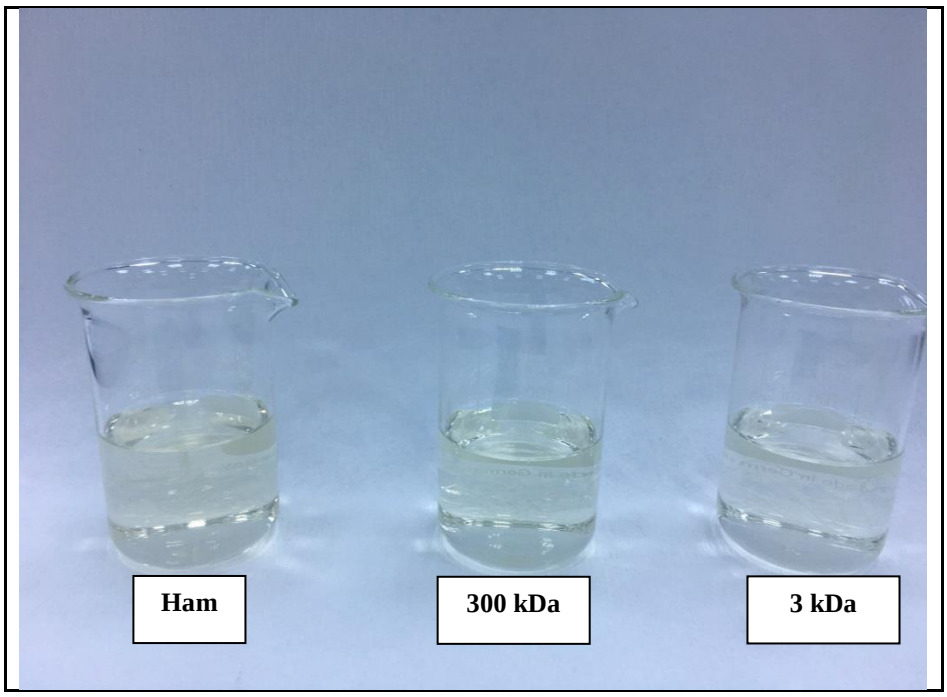
Boyalı sıcak atıksular içerisinde genel olarak renksiz diyebileceğimiz dispers emprime baskı noktasına ait ham atıksu ve farklı MWCO membranlarda elde edilen süzüntülerine ait fotoğraflar Şekil 4.20-Şekil 4.22' de verilmektedir.



Şekil 4.20: Dispers Emprime Baskı 1.set ham ve süzüntüler.



Şekil 4.21: Dispers Emprime Baskı 2.set ham ve süzüntüler.



Şekil 4.22: Dispers Emprime Baskı 3.set ham ve süzüntüler.

4.2.1.1.2. Dispers Emprime Baskı Banyoları ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Akı Davranışlarının Değerlendirilmesi

Dispers emprime baskı birinci, ikinci ve üçüncü.set seramik membran filtrasyonu akı değerlendirilmesine ait sonuçlar Tablo 4.22 – Tablo 4.24' de verilmiştir.

MWCO esaslı akı grafikleri ve akı azalma oranları sırası ile Şekil 4.23 - Şekil 4.28' de verilmiştir. Akı geri kazanım grafikleri ise Şekil 4.29 - Şekil 4.31' de verilmiştir.

Ön arıtımı yapılımış dispers emprime baskı birinci sete ait numuler 3 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa) gözenek boyutunda filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Atıksu akıları 50 kDa ve 15 kDa seramik membranlarda yakın değerlerde (11 ve 12 $L/m^2/sa$) kararlı duruma gelmiştir (Şekil 4.23). En hızlı akı azalması %80-%90 oranı ile beklendiği üzere 300 kDa seramik membranda görülmüştür (Şekil 4.26).

Birinci sette her üç MWCO için fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su akısına etkisinin yakın olduğu görülmüştür. Atıksu filtrasyonu sonrasında gözenek tıkanmasının en çok olduğu saf su akısında geri kazanımın en az olduğu 15 kDa' da

görülmüştür. 15 kDa geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanım oranı %47'dir (Şekil 4.29).

İkinci sete ait numuler 4 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa) gözenek boyutunda filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Atıksu akıları 50 kDa ve 15 kDa seramik membranlarda yakın değerlerde (29 ve 27 $L/m^2/sa$) kararlı duruma gelmiştir. 3 kDa ile yapılan atıksu filtrasyonunun kararlı hale gelmesi daha uzun zaman almış olmakla beraber kararlı halde akı değeri 50 kDa ve 15 kDa değerlerinden biraz daha düşüktür (20 $L/m^2/sa$) (Şekil 4.24). Akı azalmasının en hızlı olduğu membranlar 300 kDa ve 50 kDa membranlardır. 300 kDa membranda bu oran %70-%80, 50kDa membranda %80-%90'dır (Şekil 4.27).

İkinci sette her dört MWCO için fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su akısına etkisinin yakın olduğu görülmüştür. Atıksu filtrasyonu sonrasında gözenek tıkanmasının en çok olduğu saf su akısında geri kazanımın en az olduğu 3 kDa' da görülmüştür. 3 kDa geri yıkama sonrası saf su geri kazanımı %26' dır (Tablo 4.23).

Kimyasal yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanımı her 4 boy için %95'in üzerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.30).

Üçüncü sete ait numuler 300 kDa ve 3 kDa gözenek boyutunda filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Atıksu akıları 300 kDa ve 3 kDa seramik membranlarda 34 ve 46 $L/m^2/sa$ değerlerinde kararlı duruma gelmiştir. Atıksu akısının kararlı hale gelmesi 300 kDa membranda daha uzun sürmüştür (Şekil 4.25). En hızlı akı azalması %70-%80 oranı ile beklendiği üzere 300 kDa membranda görülmüştür (Şekil 4.28). 3 kDa membranda, fiziksel sonrası ve kimyasal sonrası geri kazanım oranları sırası ile %73 ve %97 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.31).

Tablo 4.22: Dispers Emprime Baskı 1. Set akı sonuçları.

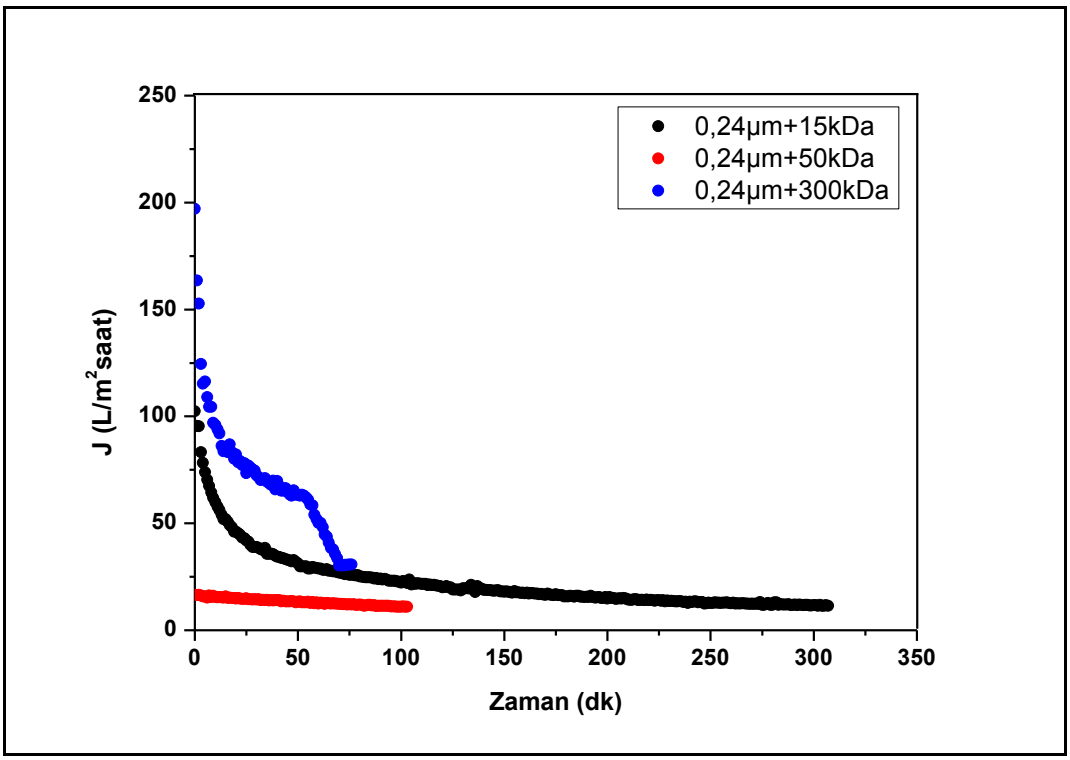
Dispers Emprime Baskı 1. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Geri Yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Geri yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
(0,24µm + 300kDa) 300kDa	2.742	31	1.432	1.527	2.063	52	56	75
(0,24µm + 50kDa) 50kDa	676	11	421	424	578	62	63	86
(0,24µm + 15kDa) 15kDa	379	12	125	177	305	33	47	80
*Membran firmasının verdiği sıcaklık düzeltme katsayıları kullanılarak saf su akıları atıksu sıcaklığına göre normalize edilmiştir.								

Tablo 4.23: Dispers Emprime Baskı 2. Set akı sonuçları.

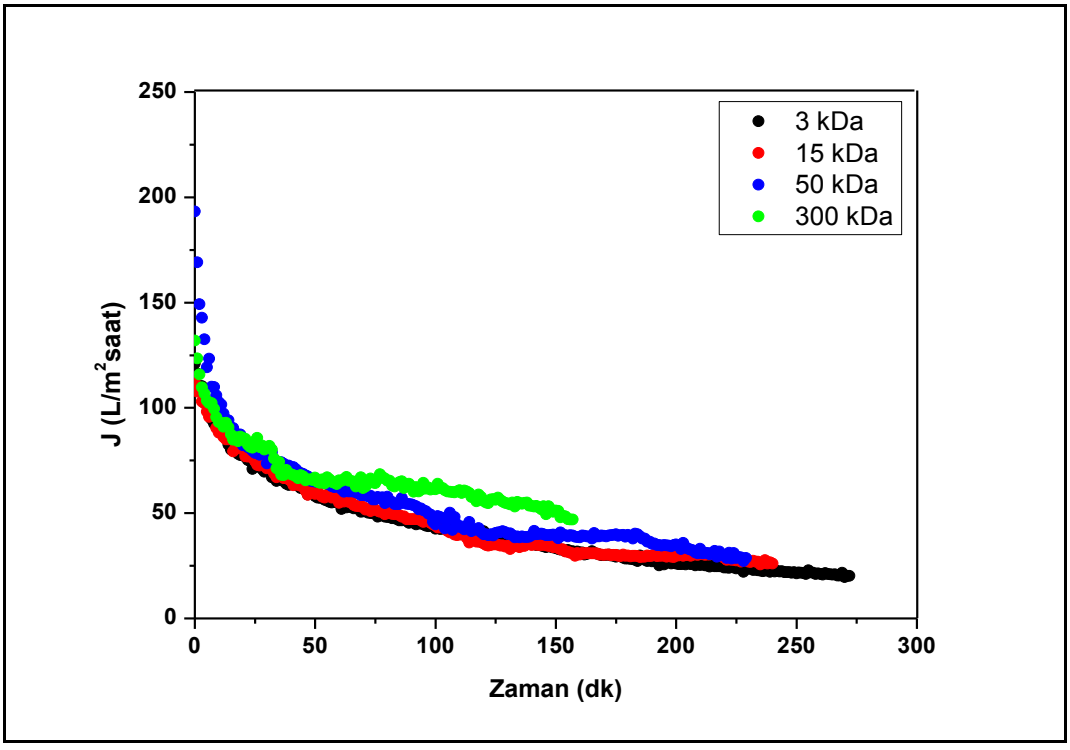
Dispers Emprime Baskı 2. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Geri Yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Geri yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
300kDa	2.040	50	1.035	1.039	1.978	51	51	97
50kDa	618	29	328	335	587	53	54	95
15kDa	228	27	130	133	222	57	58	97
3kDa	270	20	68	70	275	25	26	100
*Membran firmasının verdiği sıcaklık düzeltme katsayıları kullanılarak saf su akıları atıksu sıcaklığına göre normalize edilmiştir.								

Tablo 4.24: Dispers Emprime Baskı 3. Set akı sonuçları.

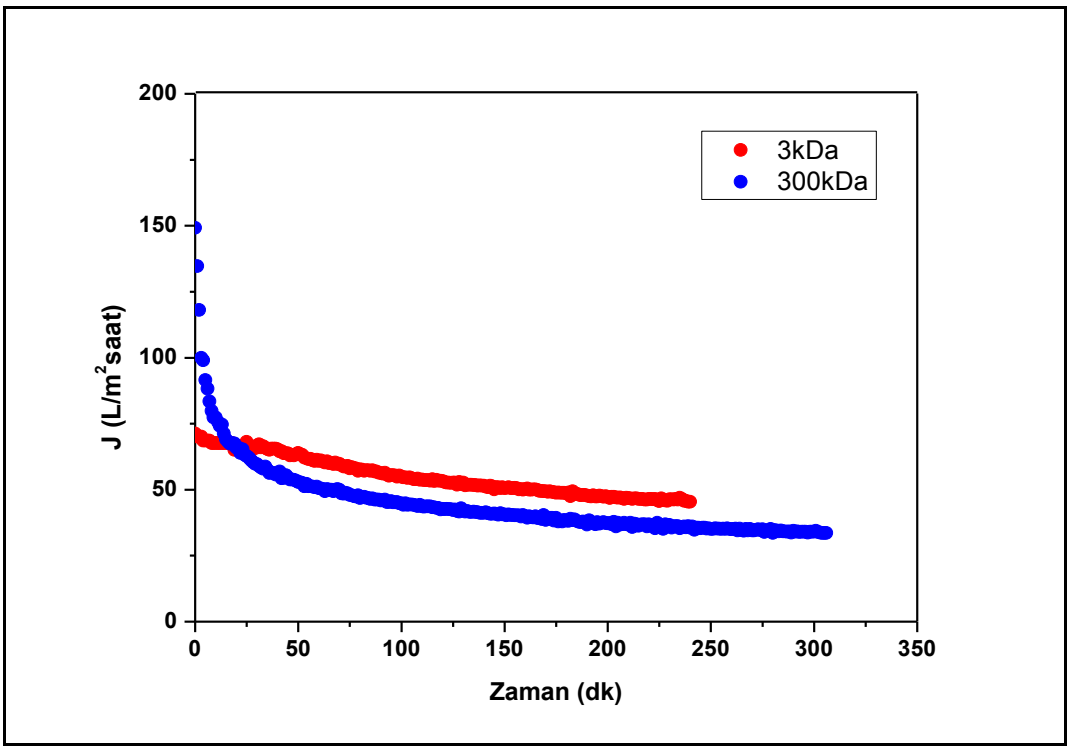
Dispers Emprime Baskı 3. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
300kDa	975	34	302	508	31	52
3kDa	152	46	111	147	73	97
*Membran firmasının verdiği sıcaklık düzeltme katsayıları kullanılarak saf su akıları atıksu sıcaklığına göre normalize edilmiştir.						



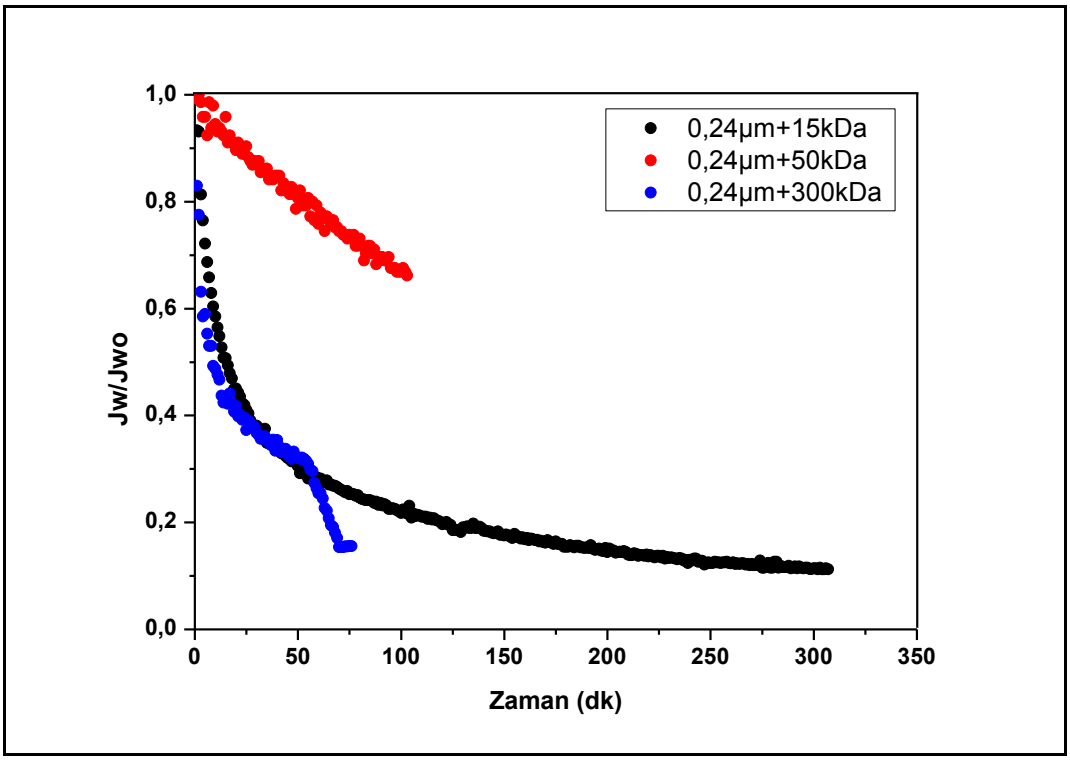
Şekil 4.23: Dispers Emprime Baskı 1.set atıksu akısı zaman grafiği.



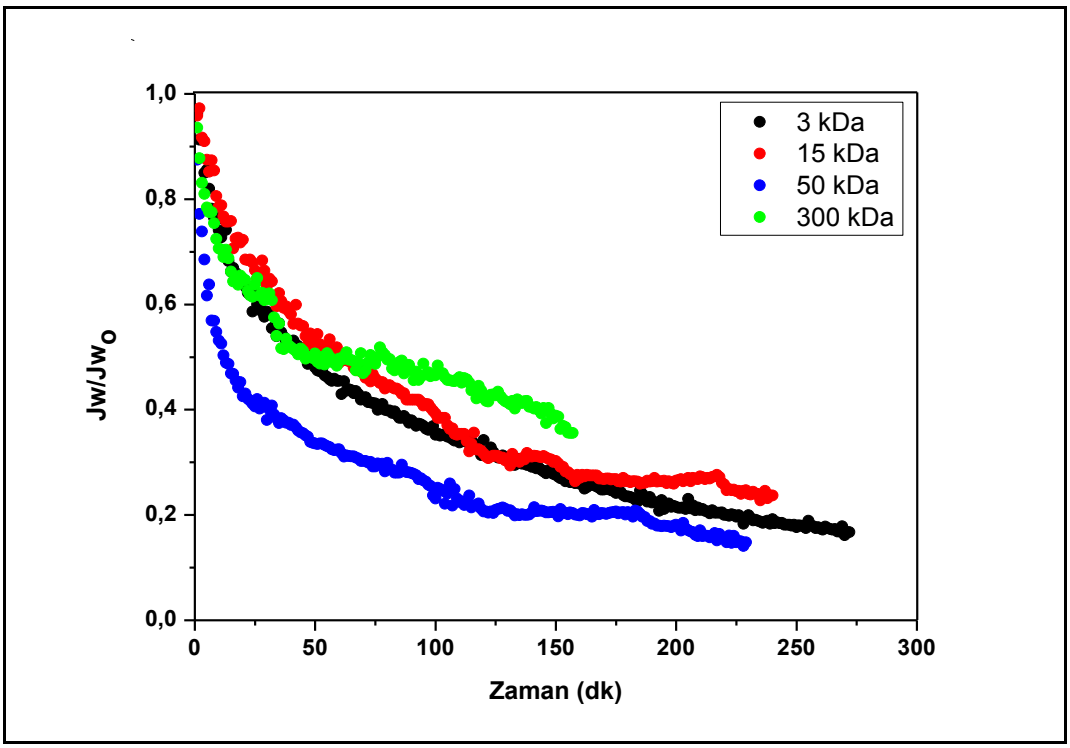
Şekil 4.24: Dispers Emprime Baskı 2.set atıksu akısı zaman grafiği.



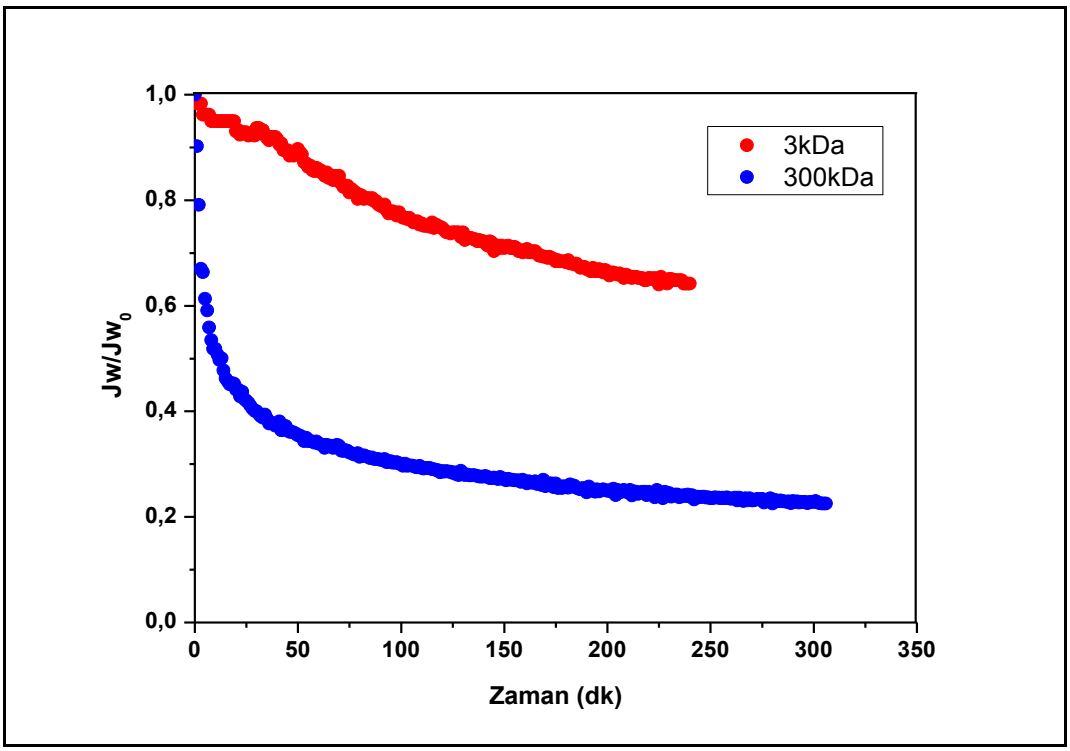
Şekil 4.25: Dispers Emprime Baskı 3.set atıksu akısı zaman grafiği.



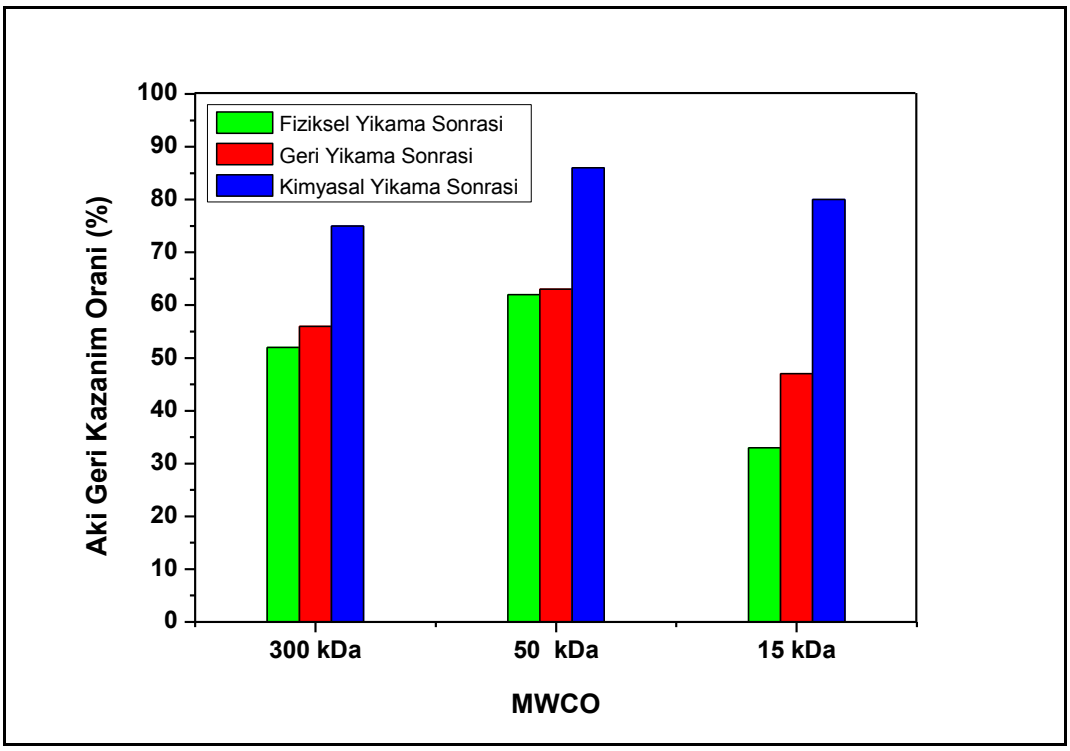
Şekil 4.26: Dispers Emprime Baskı 1.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



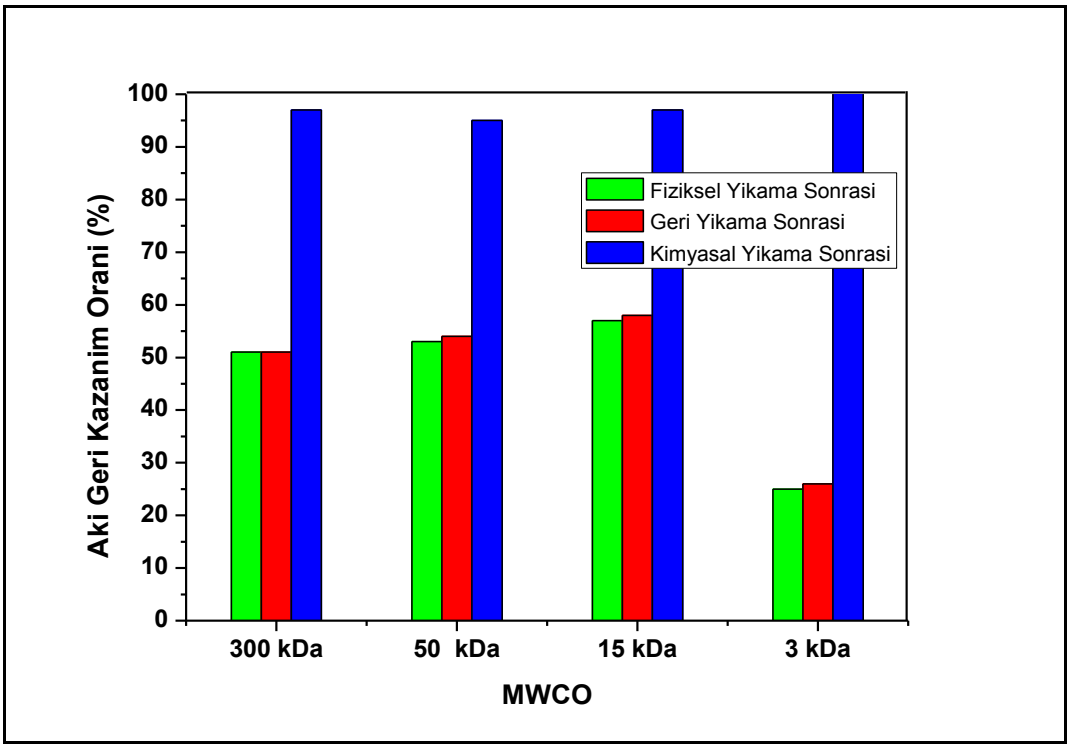
Şekil 4.27: Dispers Emprime Baskı 2.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



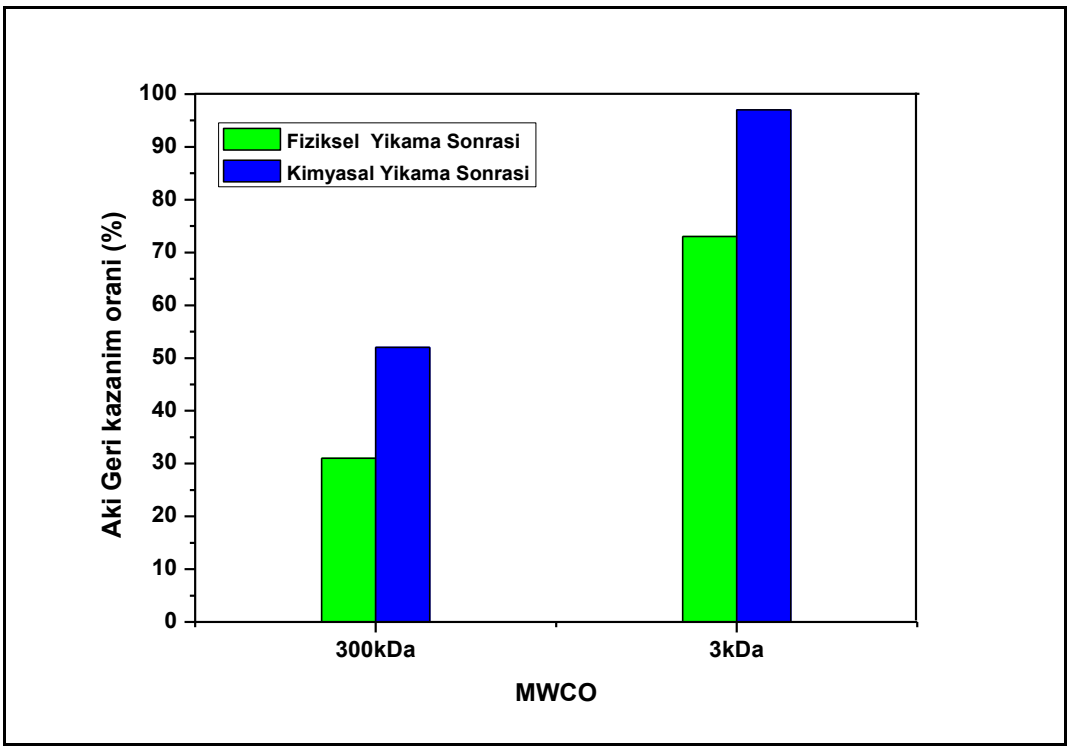
Şekil 4.28: Dispers Emprime Baskı 3.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



Şekil 4.29: Dispers Emprime Baskı 1.set akı geri kazanım oranları (%).



Şekil 4.30: Dispers Emprime Baskı 2.set akı geri kazanım oranları (%).



Şekil 4.31: Dispers Emprime Baskı 3.set akı geri kazanım oranları (%).

4.2.1.1.3. Dispers Emprime Baskı Banyoları ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi

Dispers baskı banyoları ile yapılan filtrasyon deneylerinde oluşan etkin kirlenme mekanizması "seri direnç modeli" ile incelendiğinde beklendiği üzere etkin mekanizma fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmuştur (Şekil 4.33 - Şekil 4.36).

Birinci set deneylerde kirlenmemiş membranın saf su direnci, 300 kDa için $3,7*10^{11}(m^{-1})$ iken toplam direnç bu değerin 90 katıdır. Benzer şekilde 50 kDa toplam direnç değeri saf su direncinin 61 katı, 3 kDa toplam direnç değeri safsu direncinin 33 katıdır. Gözenek çapı küçüldükçe safsu direnci artmakta toplam direnç ile farkı azalmaktadır. Toplam direnç, 300 kDa için $3,32*10^{13}$ (m^{-1}) iken bu rakam 50 kDa membranda 4,5 kat artarak $1,61*10^{14}$ (m^{-1}), 15 kDa membranda 7.4 kat artarak $2,45*10^{14}$ (m^{-1}) olarak görülmüştür (Tablo 4.25).

Tüm gözenek çaplarında toplam direncin en büyük bileşeni %93 ve üzerindeki oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir. Kimyasal olarak

giderilemeyen kirlenme ise (Rif) 300 kDa ve 50 kDa için %1 ve altında olmuştur (Şekil 4.33).

İkinci set deneylerde kirlenmemiş membranın saf su direnci, 300kDa, 50kDa, 15 kDa ve 3 kDa için sırası ile $4{,}65*10^{11}(m^{-1})$, $2{,}88*10^{12}(m^{-1})$, $7{,}82*10^{12}(m^{-1})$ ve $6{,}61*10^{12}(m^{-1})$ olarak ölçülmüştür. Gözenek çapı küçüldükçe safsu direnci artmakta toplam direnç ile farkı azalmaktadır. Toplam direnç 300 kDa için $1{,}90*10^{13}$ (m^{-1}) değeri ile saf su direncinin 41 katı iken bu oran 50 kDa için 22 kat, 15 kDa için 9 kat ve 3 kDa için 13 kattır. En büyük toplam direnç $8{,}7*10^{13}$ (m^{-1}) değeri ile beklendiği üzere en küçük MWCO olan 3 kDa membranda görülmüştür (Tablo 4.26).

Tüm gözenek çaplarında toplam direncin en büyük bileşeni fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) 300 kDa için %2,4 iken 3 kDa için %21,7 dir (Şekil 4.35).

Tubular seramik membranlar ile gerçekleşen üçüncü set deneylerde oluşan etkin kirlenme mekanizması "seri direnç modeli" ile incelendiğinde disk tip membranlarda da görüldüğü üzere etkin mekanizma fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmuştur (Şekil 4.36).

Kirlenmemiş membranın saf su direnci, 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile $9{,}14*10^{11}(m^{-1})$ ve $1{,}17*10^{13}(m^{-1})$ iken atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan toplam direnç 300 kDa için 28 kat artarak $2{,}6*10^{13}$ (m^{-1}), 3 kDa için 3 kat artarak $3{,}89*10^{13}(m^{-1})$ olarak bulunmuştur (Tablo 4.27).

Tüm gözenek çaplarında toplam direncin en büyük bileşeni fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir (Şekil 4.36). Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile %7,8 ve %11,2 olarak bulunmuştur (Tablo 4.27).

İlk set ile ikinci set arasında kirlenme mekanizması açısından eğilim benzer olmakla beraber rakamsal olarak farklılıklar oluşmuştur. Bunun sebebinin, giderim verimininde olduğu gibi ikinci sette eklenen 4. banyonun etkisi olduğu düşünülmektedir. Toplam direnç (Rt) ve fiziksel olarak giderilebilen direnç (Rc) ikinci sette daha düşük olmakla beraber, ikinci sette kimyasal sonrası geri kazanım oranları daha yüksek olmuştur (Şekil 4.29 ve Şekil 4.30). Tubular membranlar ile gerçekleşen dispers baskı banyoları sıcak su geri kazanımı deneylerinde gerçekleşen

kirlenme mekanizması eğilim olarak disk membranlara benzer olmakla beraber rakamsal farklar oluşmuştur. Ayrıca tüm deneylerde etkin kirlenme mekanizması fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmuş olup genel olarak kimyasal sonrası geri kazanım oranları yüksektir.

Tablo 4.25: Dispers Emprime Baskı 1. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

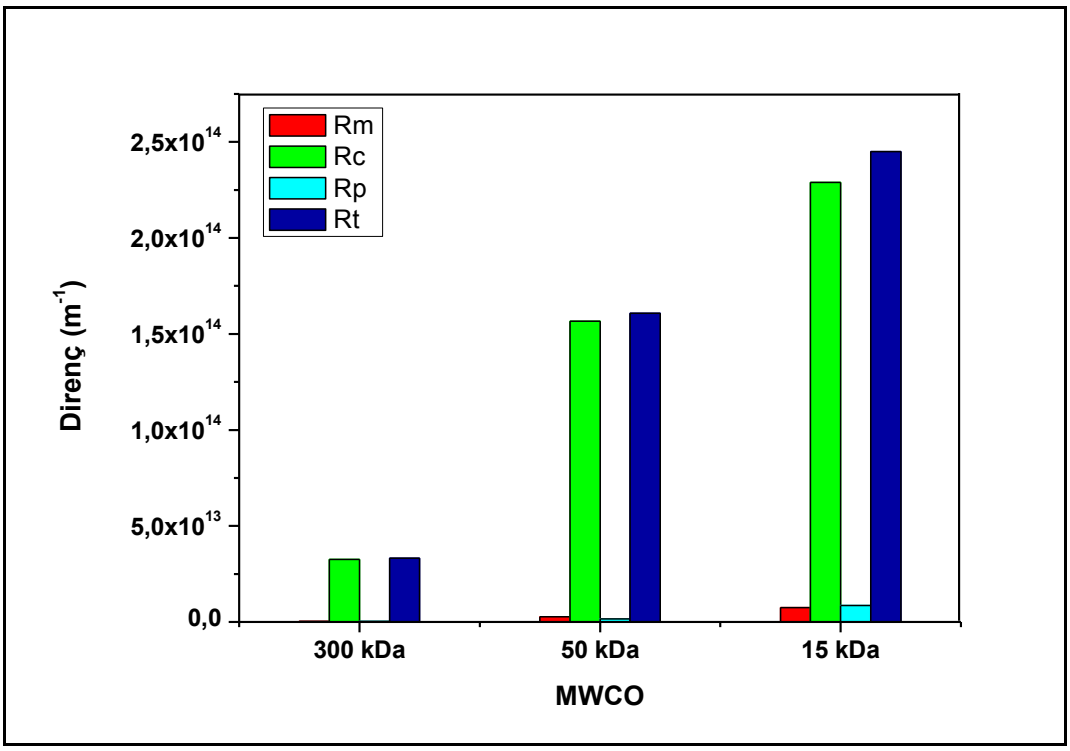
Dispers Emprime Baskı 1. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc1(m^{-1})**	**Rc2 (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
0,24 µm + 300 kDa	3,70E+11	3,25E+13	4,39E+10	3,26E+13	2,95E+11	3,32E+13	1,11	98,0	0,9
0,24 µm + 50 kDa	2,64E+12	1,57E+14	2,50E+10	1,57E+14	1,57E+12	1,61E+14	1,64	97,4	1,0
0,24 µm + 15 kDa	7,49E+12	2,22E+14	6,69E+12	2,29E+14	8,51E+12	2,45E+14	3,06	93,5	3,5

Tablo 4.26: Dispers Emprime Baskı 2. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

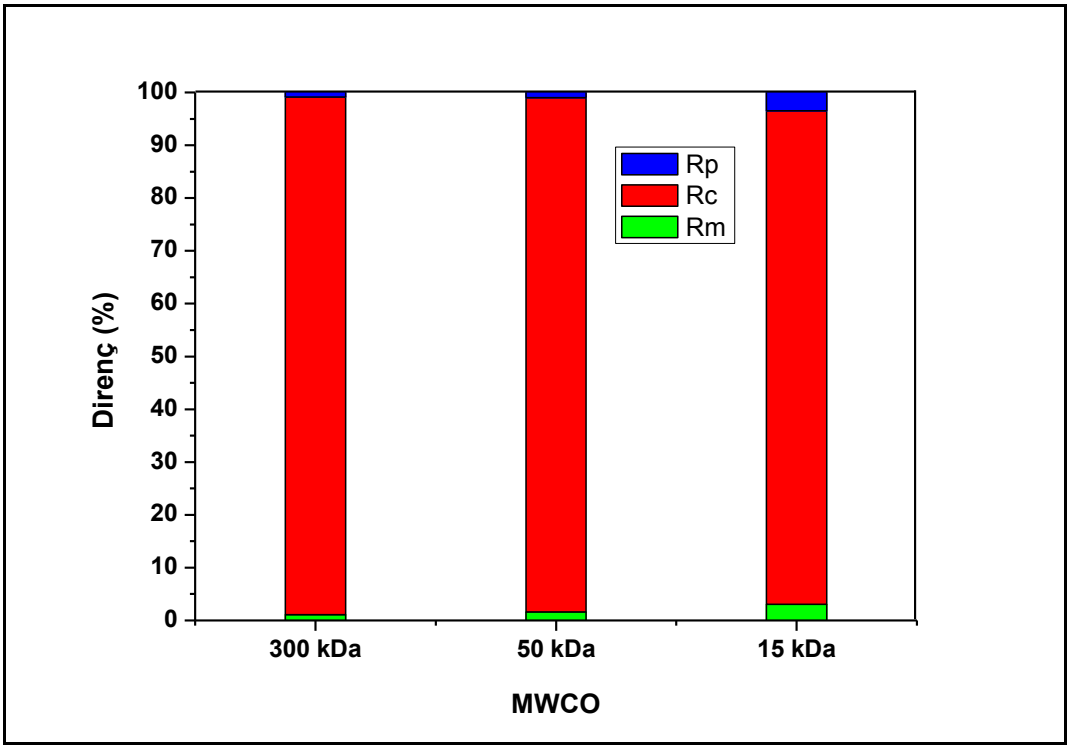
Dispers Emprime Baskı 2. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc1(m^{-1})**	**Rc2 (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
300 kDa	4,65E+11	1,81E+13	3,37E+09	1,81E+13	4,48E+11	1,90E+13	2,4	95,2	2,35
50 kDa	2,88E+12	5,70E+13	1,16E+11	5,71E+13	2,43E+12	6,24E+13	4,6	91,5	3,89
15 kDa	7,82E+12	5,34E+13	3,01E+11	5,37E+13	5,55E+12	6,70E+13	11,7	80,1	8,27
3 kDa	6,61E+12	6,10E+13	6,33E+11	6,16E+13	1,88E+13	8,70E+13	7,6	70,8	21,65

Tablo 4.27: Dispers Emprime Baskı 3. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

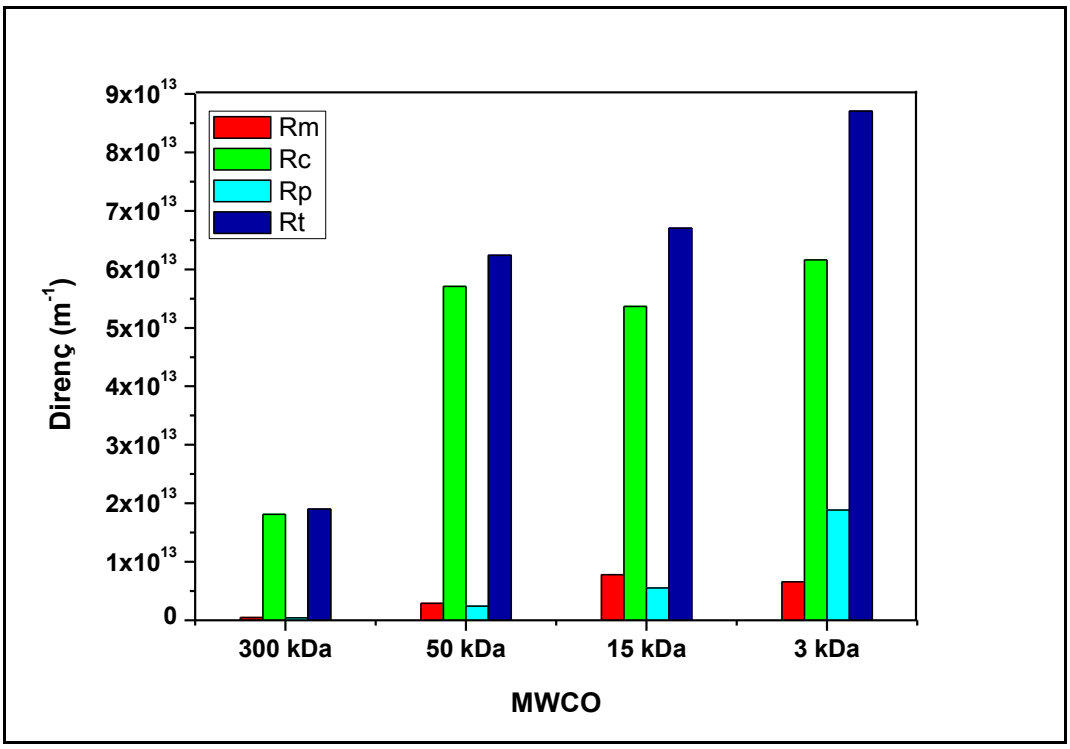
Dispers Emprime Baskı 3. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
300 kDa	9,14E+11	2,32E+13	2,04E+12	2,61E+13	3,5	88,7	7,8
3 kDa	1,17E+13	2,28E+13	4,36E+12	3,89E+13	30,2	58,6	11,2



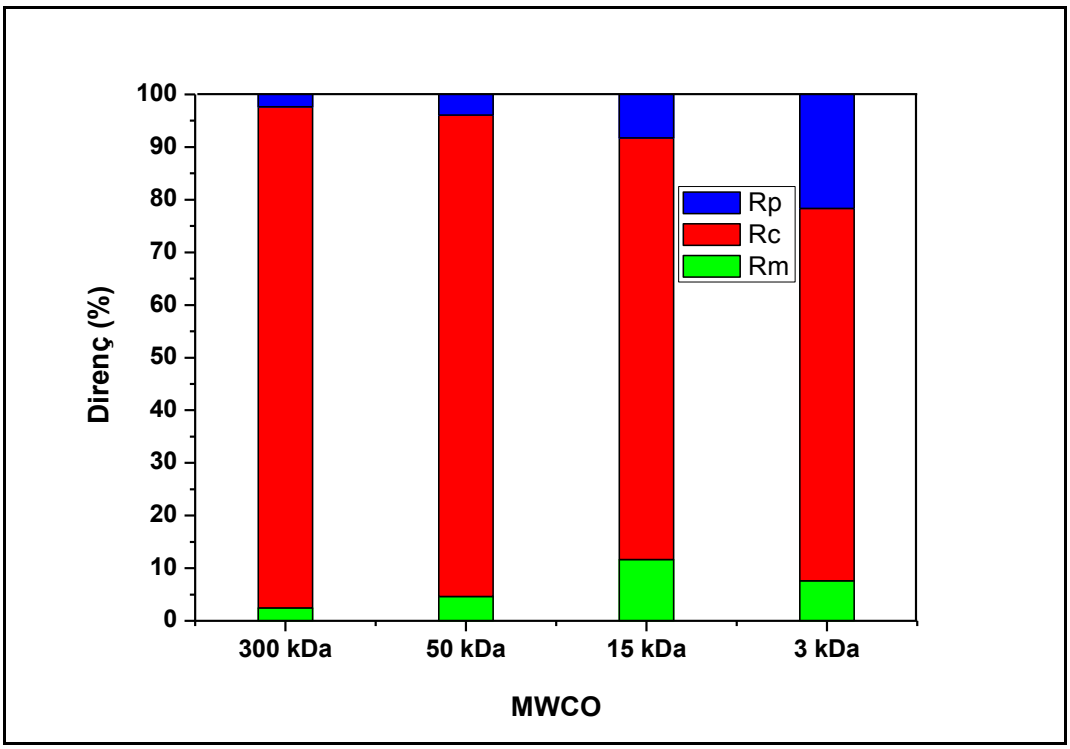
Şekil 4.32: Dispers Emprime Baskı 1.set direnç değerleri (m^{-1}).



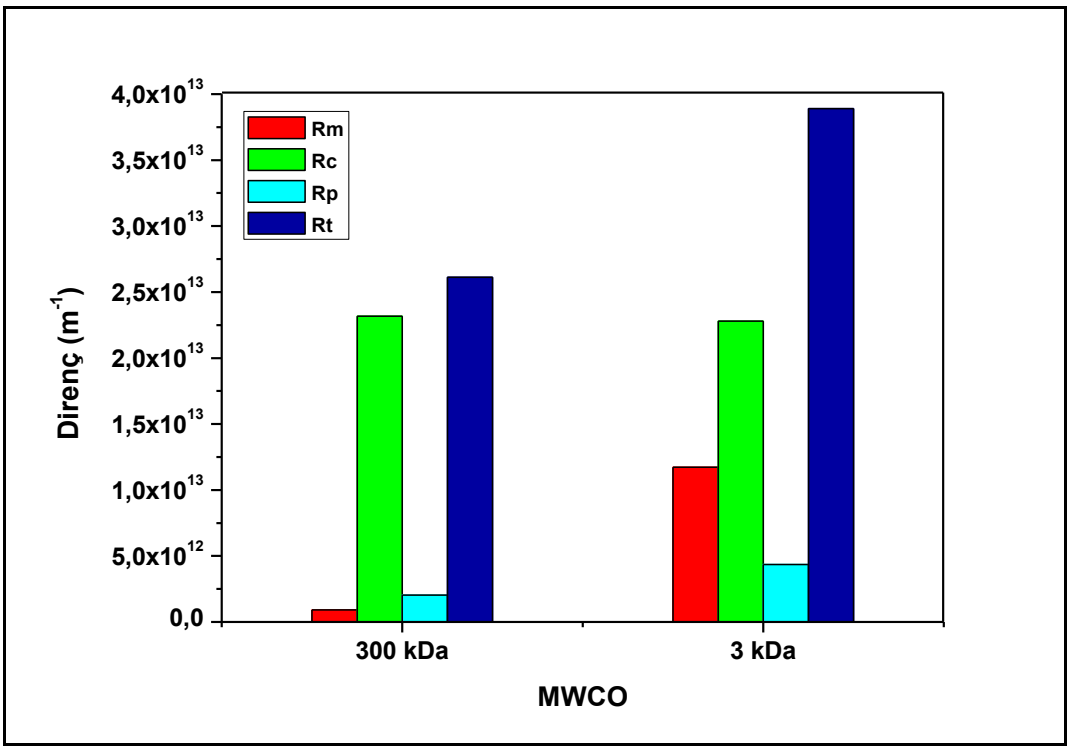
Şekil 4.33: Dispers Emprime Baskı 1.set direnç oranları (%).



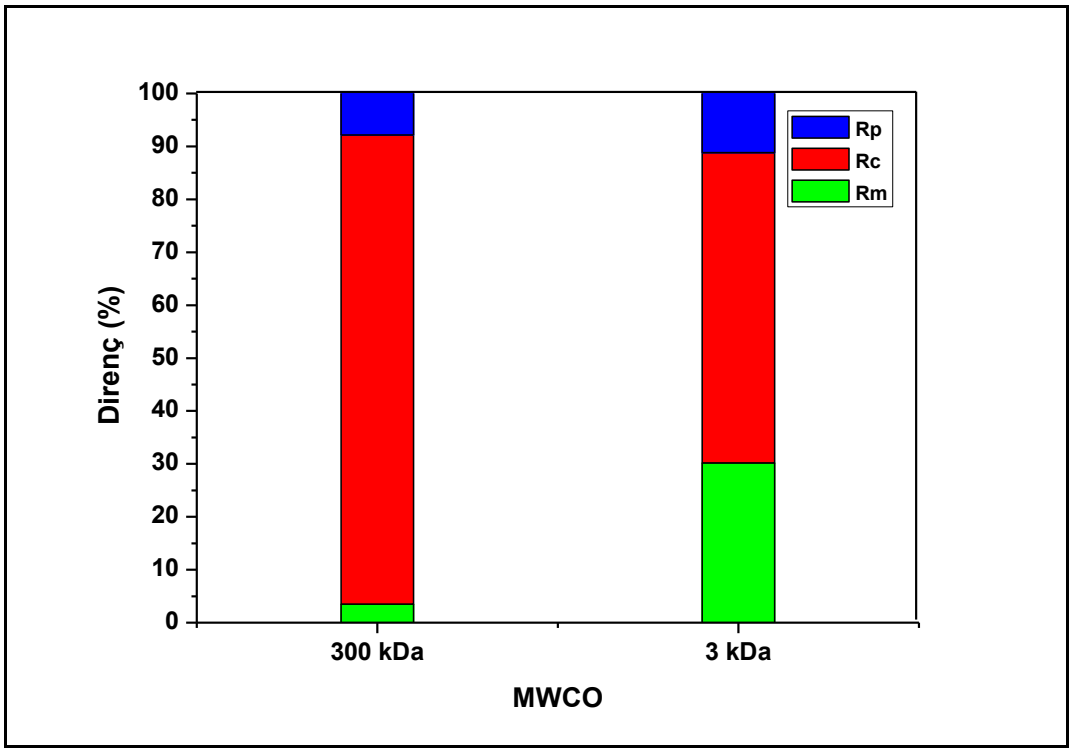
Şekil 4.34: Dispers Emprime Baskı 2.set direnç değerleri (m^{-1}).



Şekil 4.35: Dispers Emprime Baskı 2.set direnç oranları (%).



Şekil 4.36: Dispers Emprime Baskı 3.set direnç değerleri (m^{-1}).



Şekil 4.37: Dispers Emprime Baskı 3.set direnç oranları (%).

4.2.1.2.Isı Geri Kazanım Noktasında Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi

Sıcak su geri kazanım çalışmalarını gerçekleştirmek üzere üç farklı tarihte tesis içerisinde 50 ^{O}C üzeri sıcak atıksuların toplandığı nokta olan ısı geri kazanım tankından numuneler alınmıştır. Alınan numuneler ile birinci. ve ikinci set deneylerde disk tip, üçüncü set deneylerde tubular tip seramik membranlar kullanılarak çapraz akış membran filtrasyonları gerçekleştirilmiştir.

Isı geri kazanım noktasından alınan numuneler ile gerçekleşen çapraz akış membran filtrasyonu deneylerinde, kirletici giderimi, atıksuyun yeniden kullanılabilirliği, akı davranışları ve kirlenme mekanizması incelenmiş ve ilerleyen bölümde detaylı olarak irdelenmiştir.

4.2.1.2.1. Isı Geri Kazanım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Ham ve Süzüntü Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Birinci set filtrasyon deneylerinde, ısı geri kazanım noktasından alınan atıksular önce 0,24 μm membrandan süzülmüştür. MF seviyesinde ön arıtımı yapılmış numuneler 3 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa) gözenek çapına sahip seramik membranlar ile çapraz akış membran filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

İkinci set filtrasyon deneylerinde, birinci set filtrasyon deneylerinde MF seviyesinde ayırmanın kirletici giderimi üzerine etkisinin çok az aldığı görülünce ısı geri kazanım noktasından alınan atıksular ön arıtma yapmadan 4 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa) gözenek çapına sahip seramik membranlar ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü set filtrasyon deneylerinde, ısı geri kazanım noktasından alınan numune ön arıtma yapmadan 300 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) tubular seramik membran ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Birinci set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.28’ de, ikinci. set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.29’ da, üçüncü set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.30’ da verilmektedir. Atıksuların geri kullanımı açısından izlenen parametrelerden

KOİ, TOK ve Renk için MWCO esaslı kirletici giderim grafikleri Şekil 4.38 - Şekil 4.48' de verilmektedir.

Birinci set ham atıksu KOİ değeri 1.784 mg/L iken 15 kDa süzüntüsünde elde edilen değer 805 mg/L'dir. KOİ giderim verimi yaklaşık %55 olarak gerçekleşmiştir ancak nihai durumda kalan organik miktarı oldukça yüksektir. İkinci set ham atıksu KOİ değeri 1.778 mg/L iken 15 kDa süzüntüsünde elde edilen değer 754 mg/L, 3 kDa süzüntüsünde elde edilen değer 610 mg/L'dir. KOİ giderim verimi 3 kDa için yaklaşık %66 olarak gerçekleşmiştir. Ancak nihai durumda kalan organik miktarı oldukça yüksektir. Ham atıksu KOİ (1.784-1.778 mg/L) ve 15 kDa süzüntüsü KOİ sonuçları (805-754 mg/L) birinci set değerleri ile benzerlik göstermektedir. Üçüncü set ham atıksu KOİ değeri ilk iki sette yaklaşık 1.700-1.800 mg/L iken üçüncü sette ham atıksuyun KOİ değeri 4.000 mg/L' dir. 300 kDa için KOİ giderimi %41 iken 3 kDa için bu değer %69 olarak gerçekleşmiştir. KOİ değerleri farklı olsada ikinci set ve üçüncü sette elde edilen KOİ giderim verimleri benzerdir. Her üç sette en küçük MWCO membran ile elde edilen minimum KOİ değerleri suların geri kazanılmasını mümkün kılmamaktadır (Şekil 4.38 - Şekil 4.40).

Birinci set ham atıksu TOK değeri 476 mg/L iken 15 kDa süzüntüsünde ölçülen değer 222 mg/L'dir. TOK giderim verimi %53 olarak gerçekleşmiştir. İkinci set ham atıksu TOK değeri 473 mg/L iken 15 kDa süzüntüsünde elde edilen TOK değeri 210 mg/L, 3 kDa süzüntüsünde elde edilen TOK değeri 183 mg/L' dir. TOK için giderim verimi 3 kDa için yaklaşık %61 olarak gerçekleşmiştir. Ham atıksu TOK (476-473 mg/L) ve 15 kDa süzüntüsü TOK sonuçları (222-210 mg/L) birinci set değerleri ile benzerlik göstermektedir. Üçüncü set ham atıksu 929 mg/L TOK değerine sahip olup KOİ de olduğu gibi ilk iki sette elde edilen değerlerin (476-473 mg/L) yaklaşık iki katıdır. TOK giderimi 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile %37 ve %67'dir. KOİ gideriminde olduğu gibi TOK giderimi açısından ikinci ve üçüncü setler benzerdir. Her üç sette en küçük MWCO membran ile elde edilen minimum TOK değerleri geri kullanım açısından uygun değildir (Şekil 4.41 - Şekil 4.43).

Birinci sette renk giderimi 15 kDa için her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile %80, %83 ve %82 olmuştur. İkinci sette 3 kDa membranda elde edilen renk giderim verimi giderimi her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile %91, %90 ve %96 olarak gerçekleşmiştir. Üçüncü sette ham atıksuyun renk değeri ilk iki sete göre biraz daha yüksektir. 3 kDa membran süzüntüsü elde edilen

renk giderimi verimi her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile %92, %94 ve %96 olarak gerçekleşmiştir. KOİ ve TOK giderim verimlerinde olduğu gibi renk giderim verimleri açısından ikinci ve üçüncü set benzerlik göstermektedir (Şekil 4.46 - Şekil 4.48).

Birinci sette, 50 kDa ve 15 kDa süzüntülerinde elde edilen toplam sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L). İkinci sette, 300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa süzüntülerinde elde edilen toplam sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L). Üçüncü sette, 300 kDa ve 3 kDa süzüntülerinde elde edilen toplam sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L).

Tablo 4.28: Isı Geri Kazanım Noktası 1. Set analiz sonuçları.

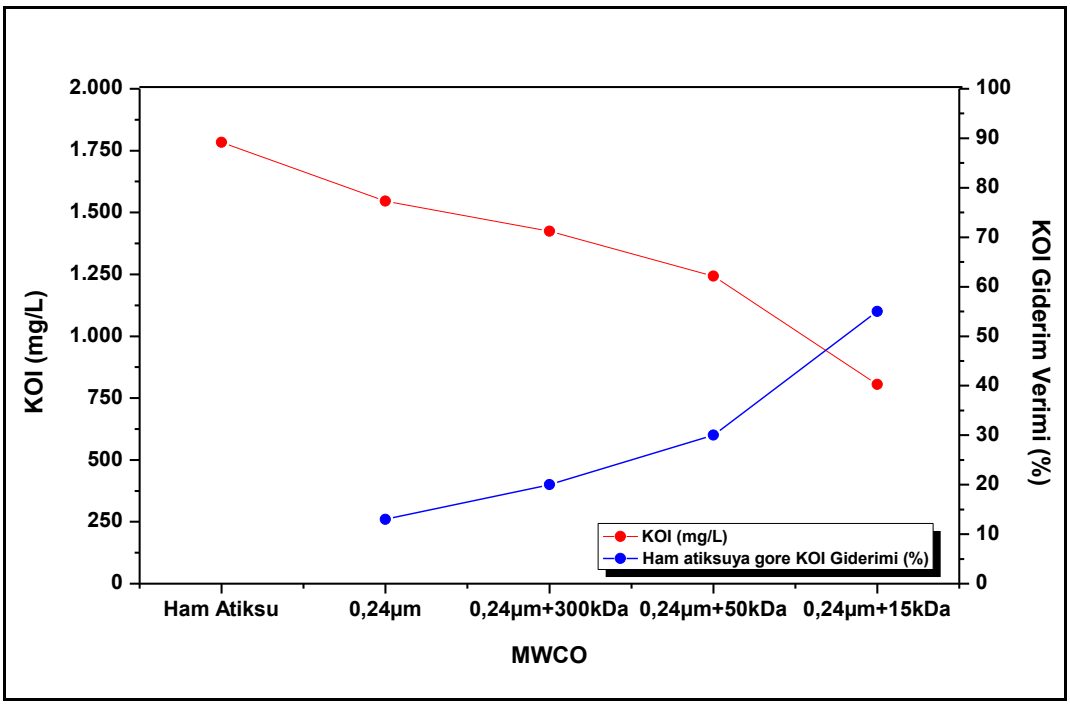
Isı Geri Kazanım 1. Set	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
						Pt-Co	436 nm	525 nm	620 nm		
Ham	10,1	9.220	1.784	476	32	1.258	36,1	27,1	27,2	42	2.280
0,24µm	10,0	8.800	1.546	428	10	620	19,4	13,7	11,6	37	2.031
0,24µm + 300kDa	9,8	9.600	1.424	423	6	252	8,2	5,6	6,2	40	2.501
0,24µm + 50kDa	10,1	10.400	1.243	394	7	267	8,9	5,9	6,5	11	3.109
0,24µm + 15kDa	10,1	10.670	805	222	2	217	7,2	4,7	4,8	9	3.166

Tablo 4.29: Isı Geri Kazanım Noktası 2. Set analiz sonuçları.

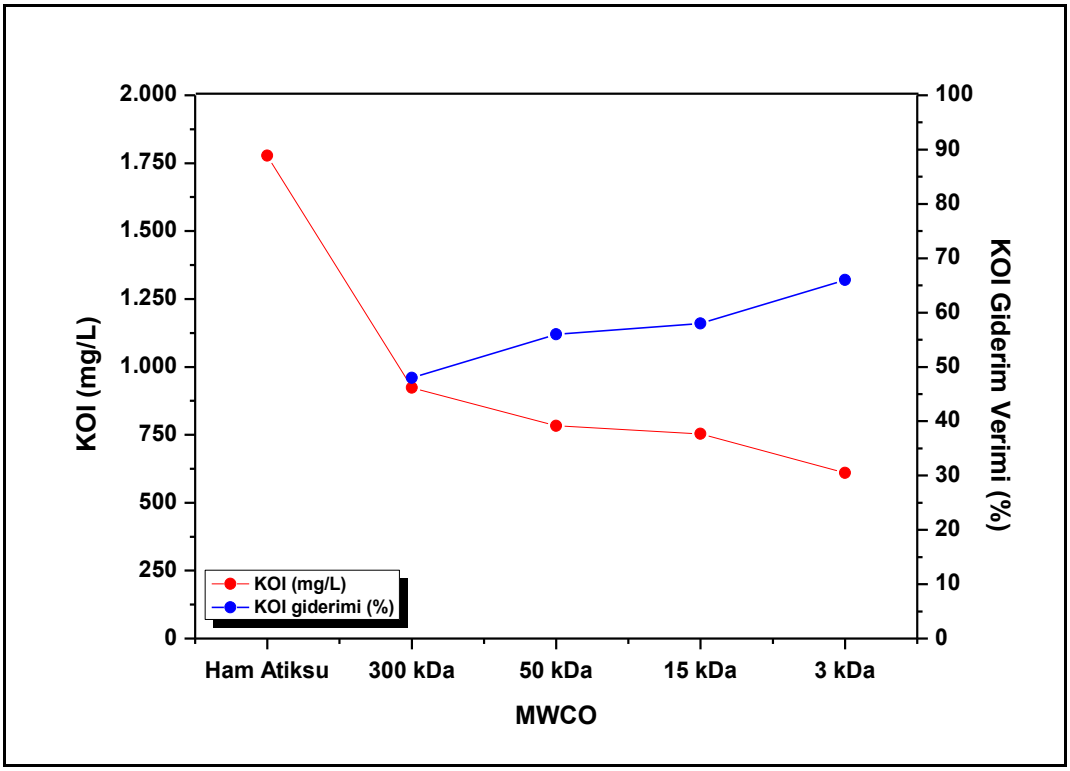
Isı Geri Kazanım 2. Set	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
						Pt-Co	436 nm	525 nm	620 nm		
Ham	8,0	7.130	1.778	473	20,5	1.438	42,0	36,0	20,6	108	1.488
300kDa	9,4	7.510	923	296	1,3	419	12,4	10,1	2,3	28	1.610
50kDa	9,5	7.250	783	230	0,6	357	10,3	9,3	2,0	17	1.564
15kDa	9,6	7.180	754	210	0,5	261	7,5	6,7	1,4	13	1.566
3kDa	9,9	7.170	610	183	0,4	141	3,9	3,5	0,9	16	1.568

Tablo 4.30: Isı Geri Kazanım Noktası 3. Set analiz sonuçları.

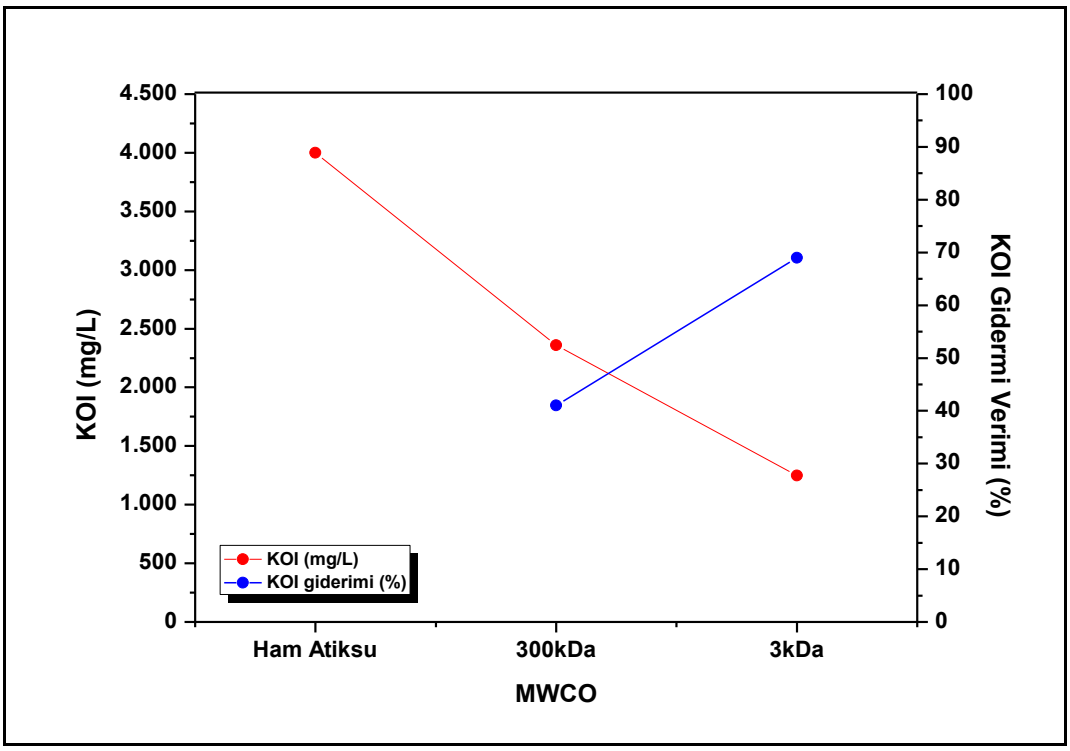
Isı Geri Kazanım 3. Set	**pH**	**EC (µs/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**	**Renk**				**Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)**	**Cl^- (mg/L)**
						Pt-Co	**436 nm**	**525nm**	**620nm**		
Ham	11,5	4.040	4.000	929	39	1.502	44,4	42,2	33,2	21	257
300kDa	10,9	3.580	2.360	583	5	745	21,4	22,2	17,1	13,8	284
3kDa	10,8	3.290	1.248	307	1	119	3,6	2,6	1,3	4,6	289



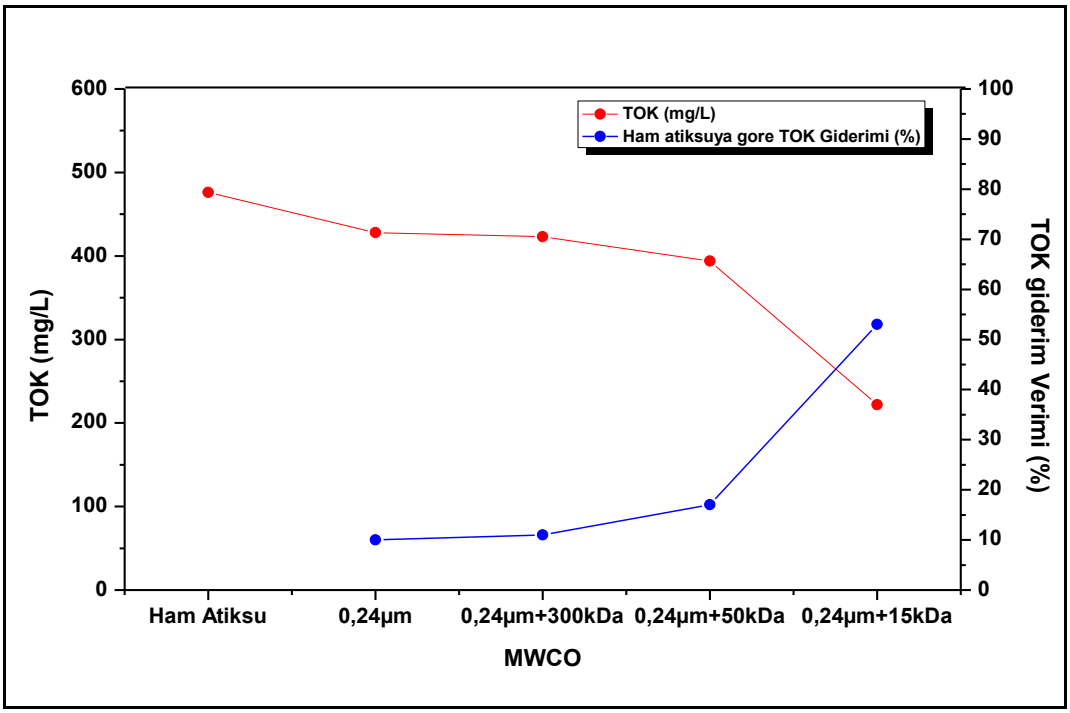
Şekil 4.38: Isı Geri Kazanım 1.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



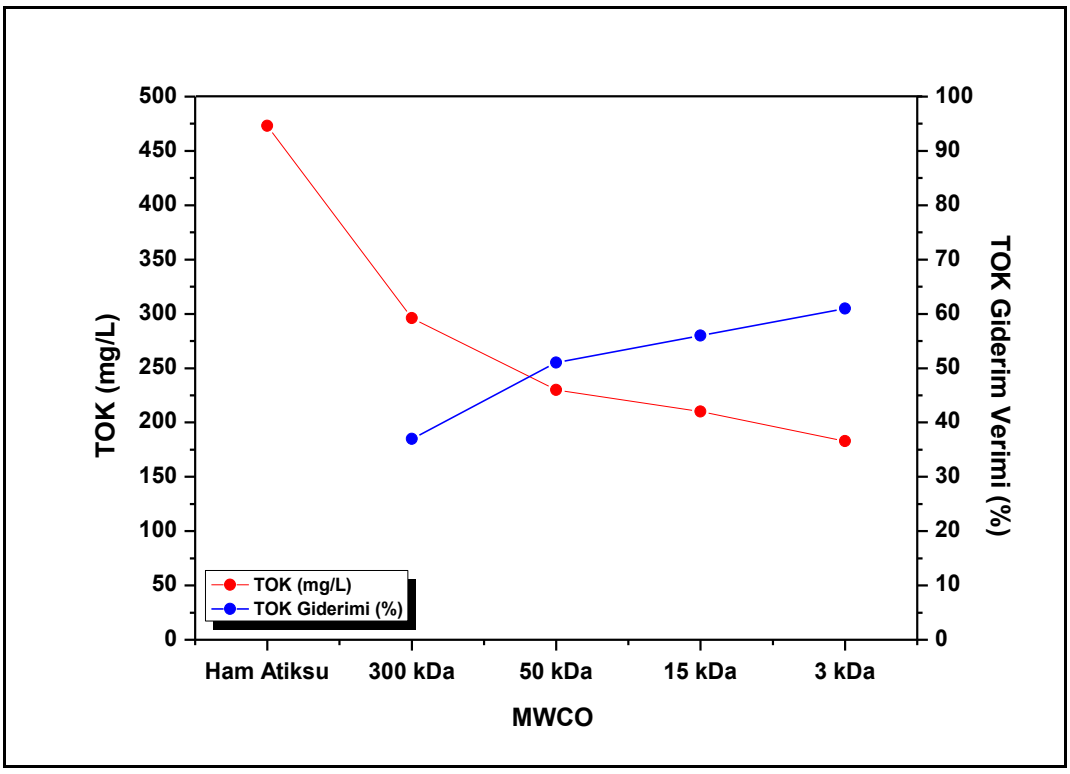
Şekil 4.39: Isı Geri Kazanım 2.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



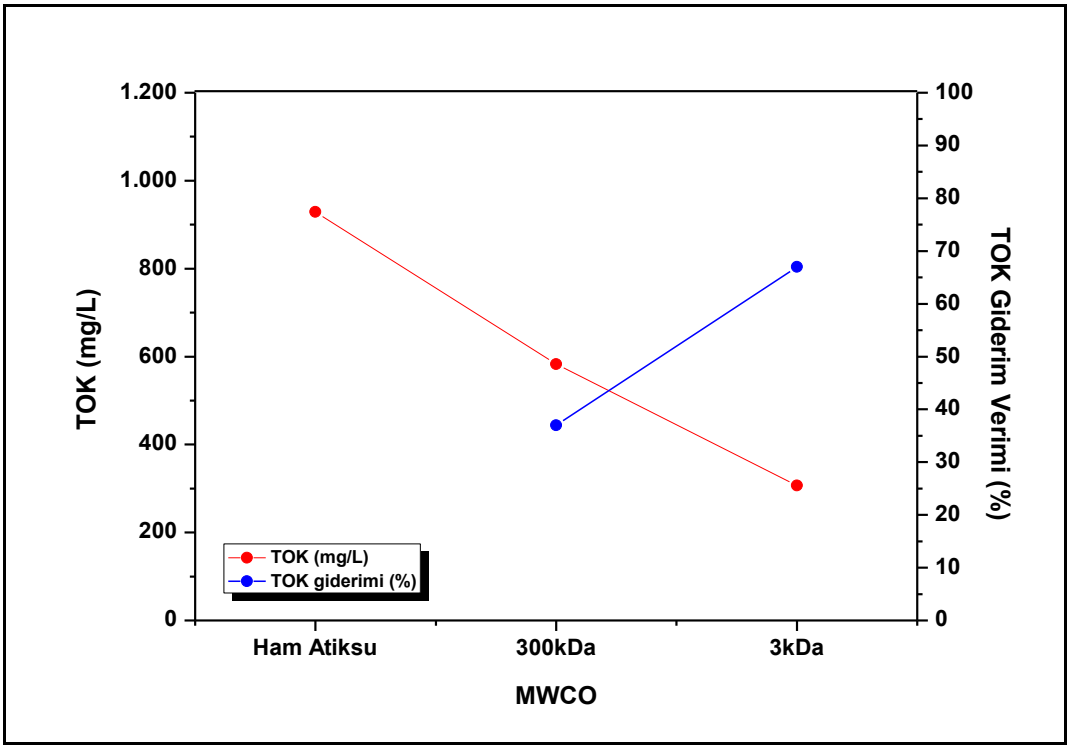
Şekil 4.40: Isı Geri Kazanım 3.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



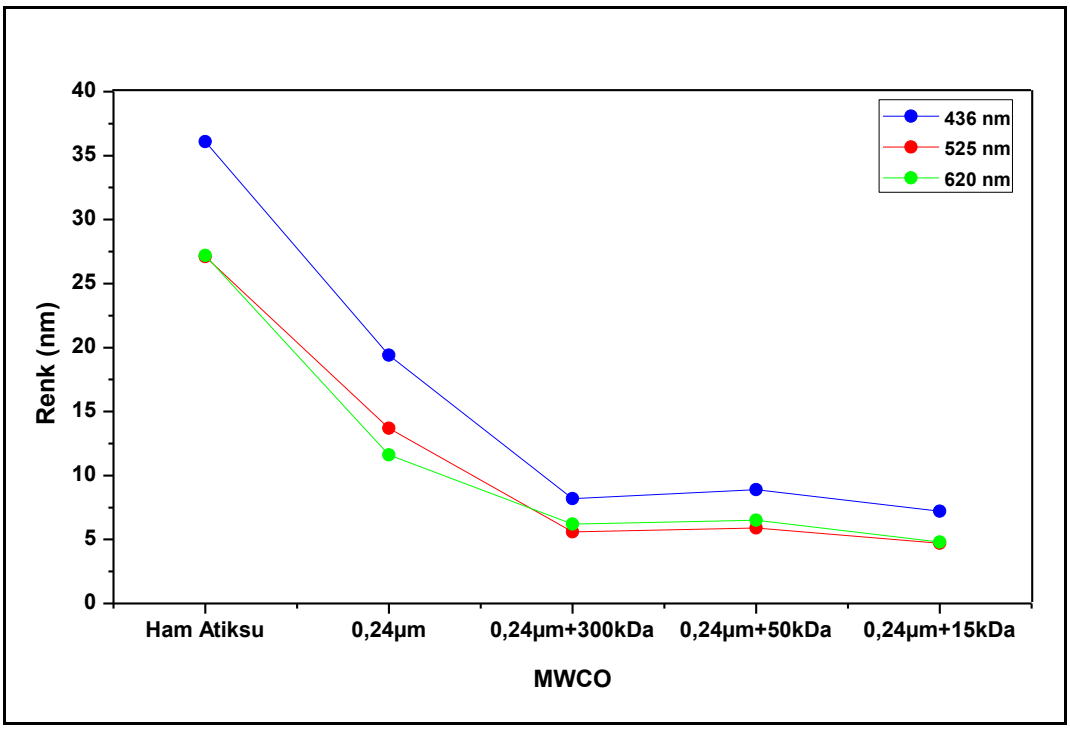
Şekil 4.41: Isı Geri Kazanım 1.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



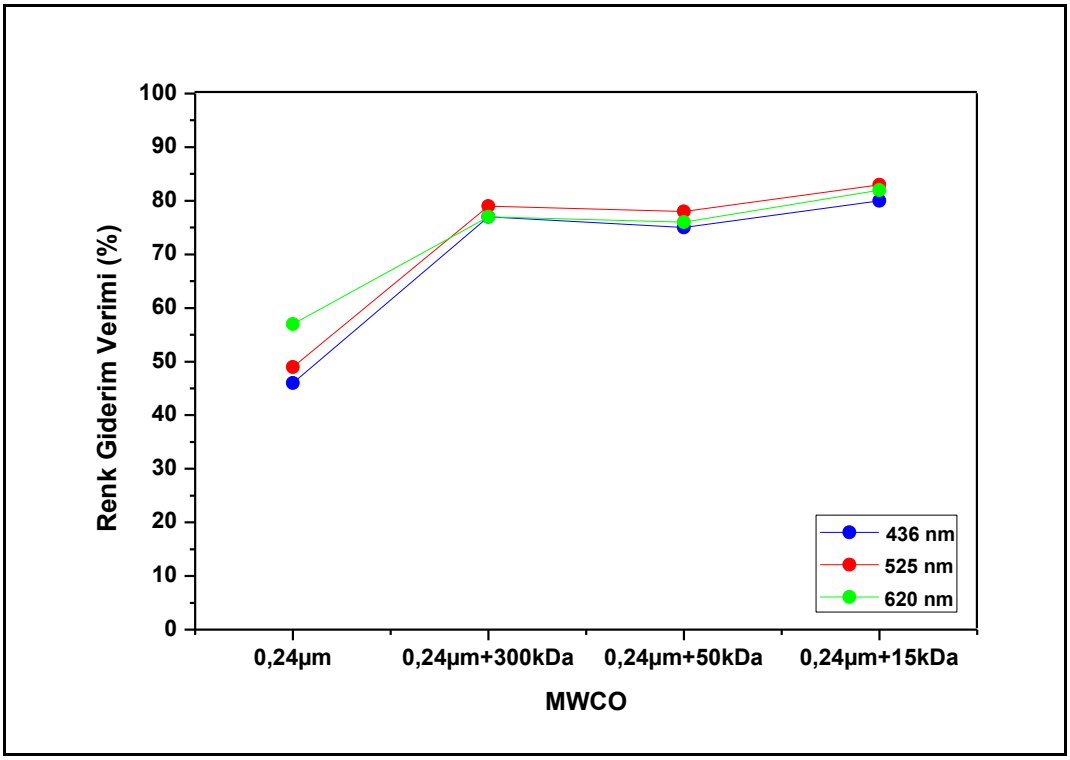
Şekil 4.42: Isı Geri Kazanım 2.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



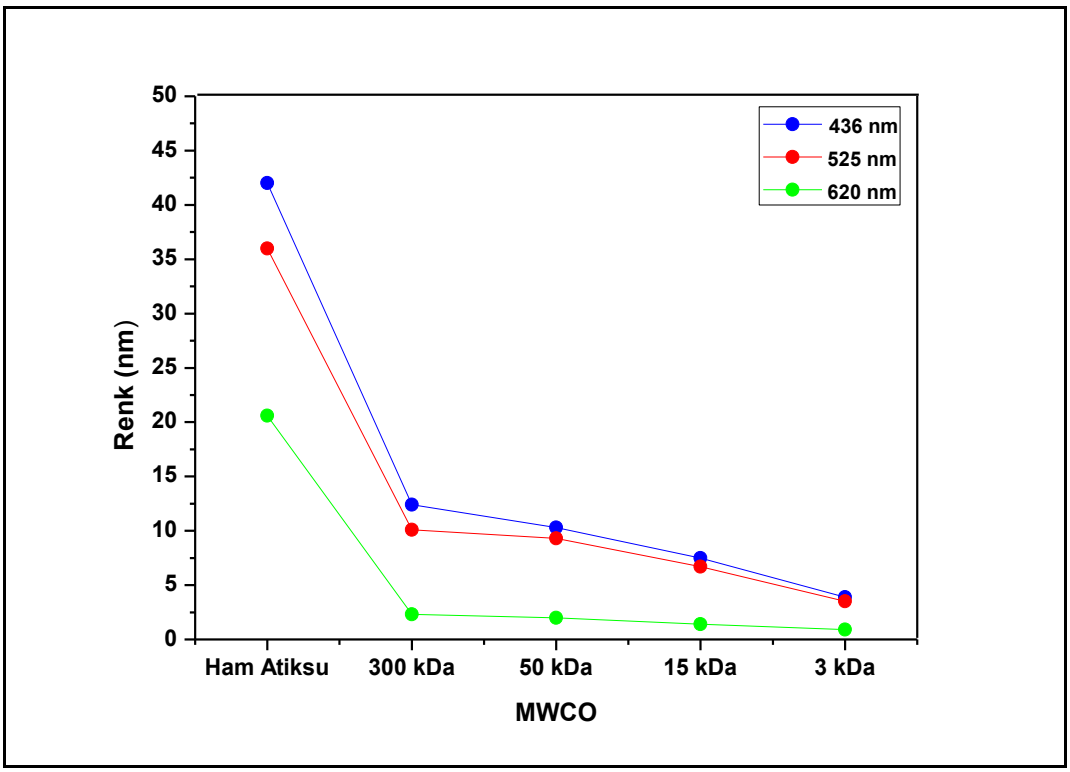
Şekil 4.43: Isı Geri Kazanım 3.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



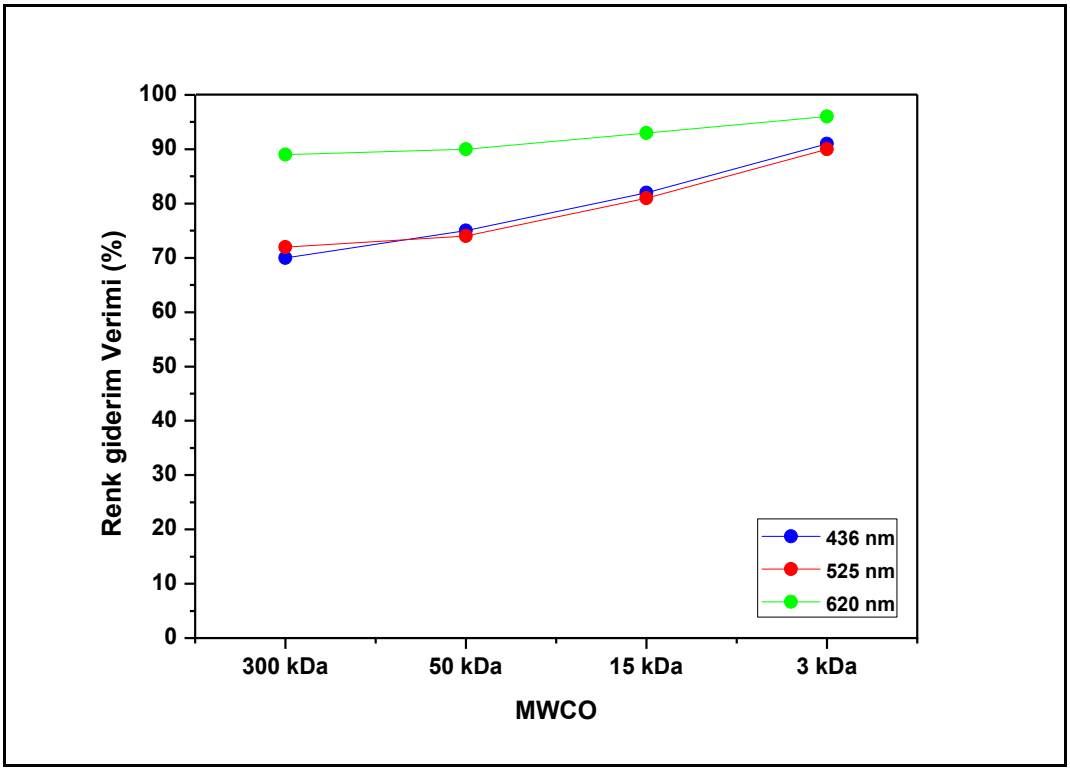
Şekil 4.44: Isı Geri Kazanım 1.set renk RES değerleri (nm).



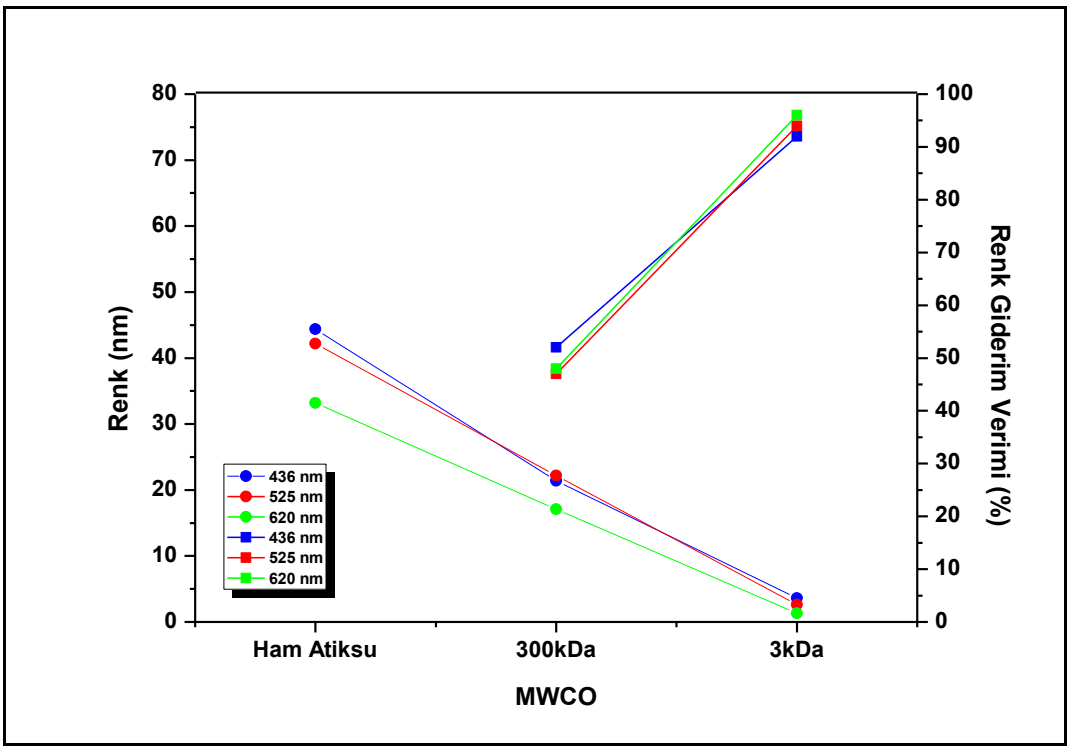
Şekil 4.45: Isı Geri Kazanım 1.set renk giderimleri (%).



Şekil 4.46: Isı Geri Kazanım 2.set renk RES değerleri (nm).

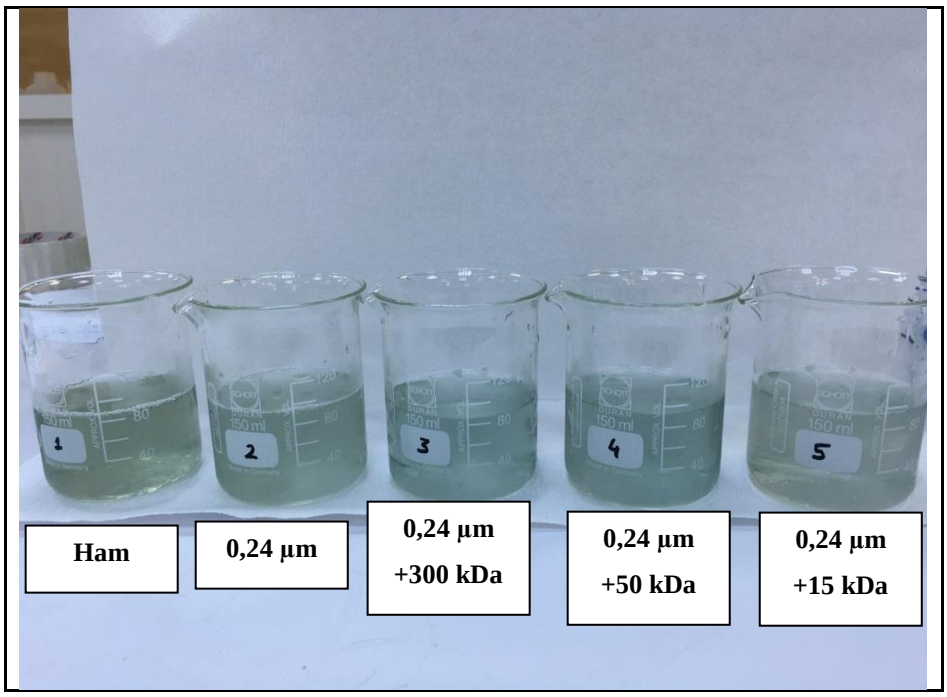


Şekil 4.47: Isı Geri Kazanım 2.set renk giderimleri (%).

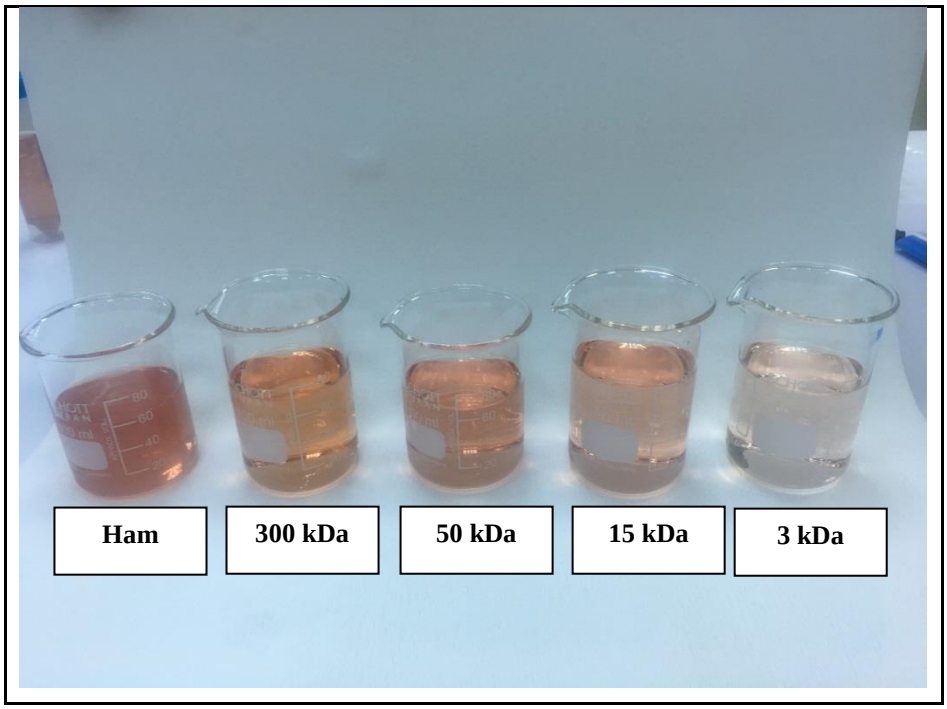


Şekil 4.48: Isı Geri Kazanım 3.set renk RES değerleri (nm) ve giderim verimleri (%).

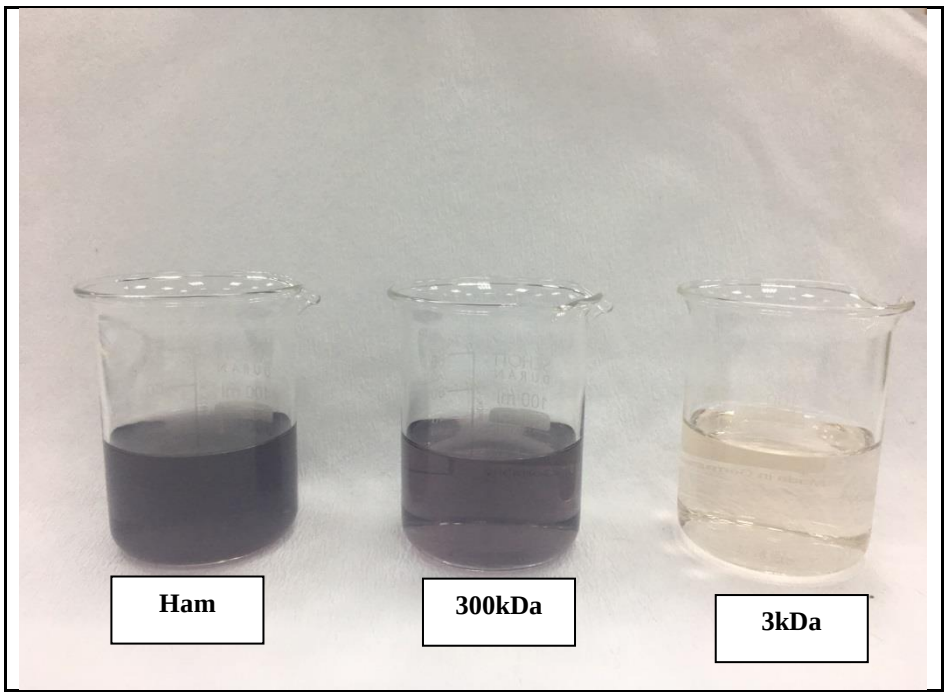
Boyalı sıcak atıksular içerisinde genel olarak renk değişimini en çok görebileceğimiz ısı geri kazanım noktasına ait ham atıksu ve farklı MWCO membranlarda elde edilen süzüntülere ait fotoğraflar Şekil 4.49 - Şekil 4.51' de verilmektedir.



Şekil 4.49: Isı geri kazanım 1.set ham ve süzüntüler.



Şekil 4.50: Isı geri kazanım 2.set ham ve süzüntüler.



Şekil 4.51: Isı geri kazanım 3.set ham ve süzüntüler.

4.2.1.2.2. Isı Geri Kazanım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Akı Davranışlarının Değerlendirilmesi

Isı geri kazanım birinci, ikinci ve üçüncü.set seramik membran filtrasyonu akı değerlendirilmesine ait sonuçlar Tablo 4.31 – Tablo 4.33' te verilmiştir.

MWCO esaslı akı grafikleri ve akı azalma oranları sırası ile Şekil 4.52 - Şekil 4.57' de verilmiştir. Akı geri kazanım grafikleri ise Şekil 4.58 - Şekil 4.60' da verilmiştir.

Ön arıtımı yapılımış ısı geri kazanımı birinci.sete ait numuler 3 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa) gözenek boyutunda filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Atıksu akıları 300 kDa ve 50 kDa seramik membranlarda yakın değerlerde (78 ve 76 $L/m^2/sa$) kararlı duruma gelmiştir (Şekil 4.52). 15 kDa ise 20 $L/m^2/sa$ akı değerinde kararlı duruma gelmiştir. En hızlı akı azalması %80-%90 oranı ile 300 kDa membranda görülmüştür (Şekil 4.55). Her üç MWCO için fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su akısına etkisinin yakın olduğu görülmüştür. Fiziksel ve geri yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanım oranları 300kDa ve 50kDa membranlarda benzerdir (%60 ve %63) (Tablo 4.31). Atıksu filtrasyonu sonrasında gözenek tıkanmasının en çok olduğu saf su akısında geri kazanımın en az olduğu 15 kDa' da

görülmüştür. 15 kDa geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanımı %43 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.58).

İkinci sete ait numuler dört farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa) gözenek boyutunda filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Atıksu akıları 50 kDa ve 15 kDa seramik membranlarda yakın değerlerde (20 $L/m^2/sa$) kararlı duruma gelmiş olup 300 kDa sonucundan (26 $L/m^2/sa$) bir miktar daha düşüktür. En düşük elde edilen atıksu akı değeri 15 $L/m^2/sa$ olarak 3 kDa seramik membran filtrasyonunda gerçekleşmiştir (Şekil 4.53). Akı azalmasının en hızlı olduğu membranlar %70-%80 oranıı ile 300kDa ve 50kDa membranlardır (Şekil 4.56). Her dört MWCO için fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su akısına etkisinin yakın olduğu görülmüştür. 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa membranlarda geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanım oranları benzerdir (%62-%66) (Tablo 4.32). Atıksu filtrasyonu sonrasında gözenek tıkanmasının en çok olduğu saf su akısında geri kazanımın en az olduğu 3 kDa' da görülmüştür. 3 kDa membranda geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanımı %46'dır (Şekil 4.59).

Üçüncü sete ait numune ile 300 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) membranlar ile çapraz akış filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. 300 kDa ve 3 kDa seramik membranlarda atıksu akıları yakın değerlerde (27-29 $L/m^2/sa$) kararlı duruma gelmiştir (Şekil 4.54). En hızlı akı azalması %40-%50 oranı ile beklendiği üzere 300 kDa membranda görülmüştür (Şekil 4.57). Fiziksel temizlik sonrasında akı geri kazanım oranları 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile %63 ve %56, kimyasal temizlik sonrasında geri kazanım oranları ise %81 ve %93 olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.33).

Her üç sette elde edilen kararlı atıksu akısı 20 $L/m^2/sa$ civarındadır. Isı geri kazanım noktasında alınan numuneler ile gerçekleşen her üç sette fiziksel temizlik sonrası saf su akısının geri kazanım oranları %50-%60, kimyasal temizlik sonrası ise %80-%100 mertebelerindedir.

Tablo 4.31: Isı Geri Kazanım 1. Set akı sonuçları.

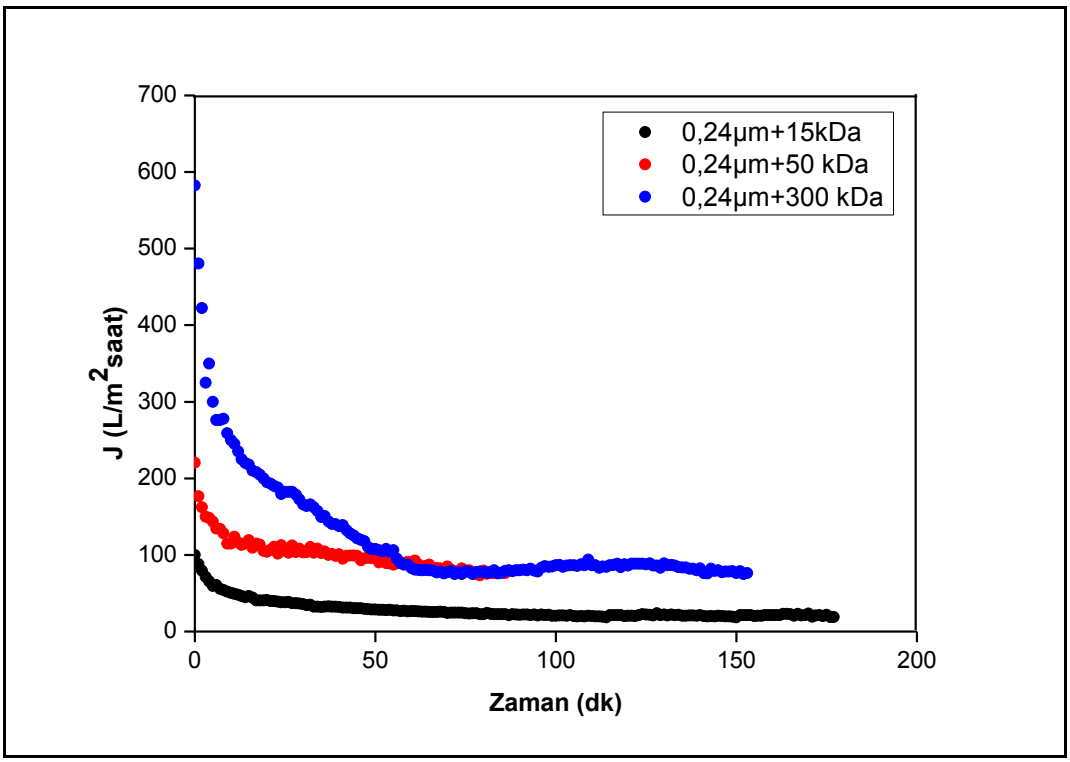
Isı Geri Kazanım 1. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Geri Yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Geri yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
0,24 µm + 300 kDa	2.796	78	1.685	1.872	2.517	60	67	90
0,24 µm + 50 kDa	749	76	469	480	750	63	64	100
0,24 µm + 15 kDa	465	20	139	199	293	30	43	63
*Membran firmasının verdiği sıcaklık düzeltme katsayıları kullanılarak saf su akıları atıksu sıcaklığına göre normalize edilmiştir.								

Tablo 4.32: Isı Geri Kazanım 2. Set akı sonuçları.

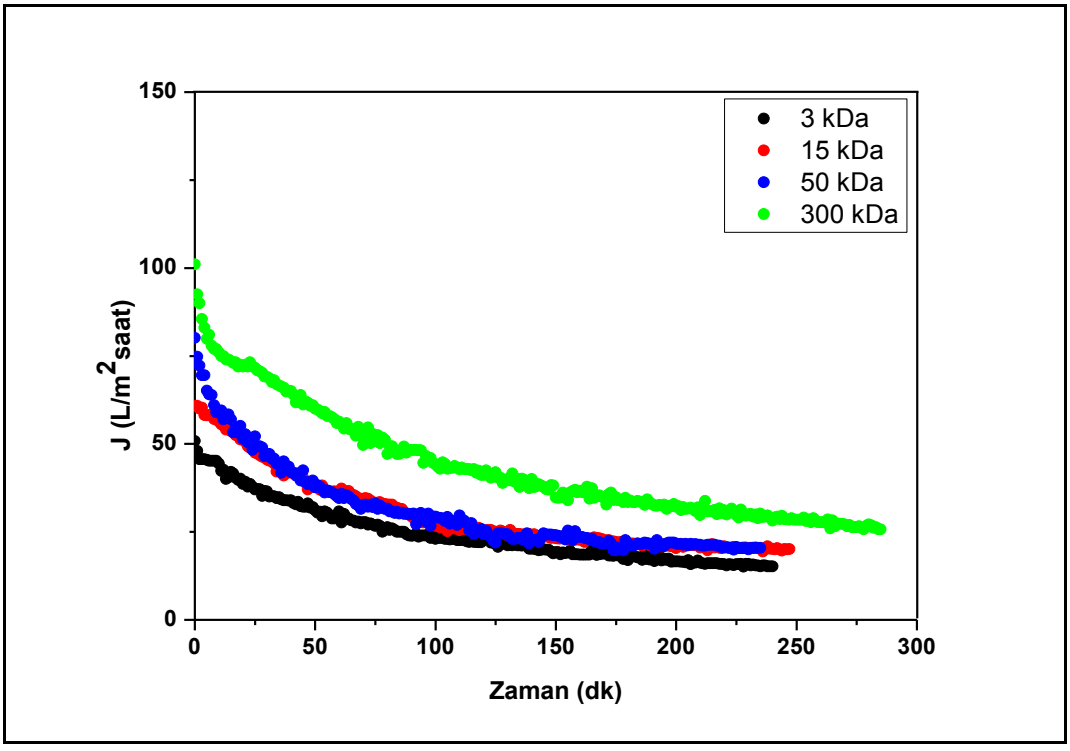
Isı Geri Kazanım 2. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Geri Yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Geri yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
300 kDa	1.818	26	1.147	1.162	1.557	63	64	86
50 kDa	581	20	358	363	510	62	62	88
15 kDa	220	20	142	146	214	64	66	97
3 kDa	200	15	87	92	187	44	46	94

Tablo 4.33: Isı Geri Kazanım 3. Set akı sonuçları.

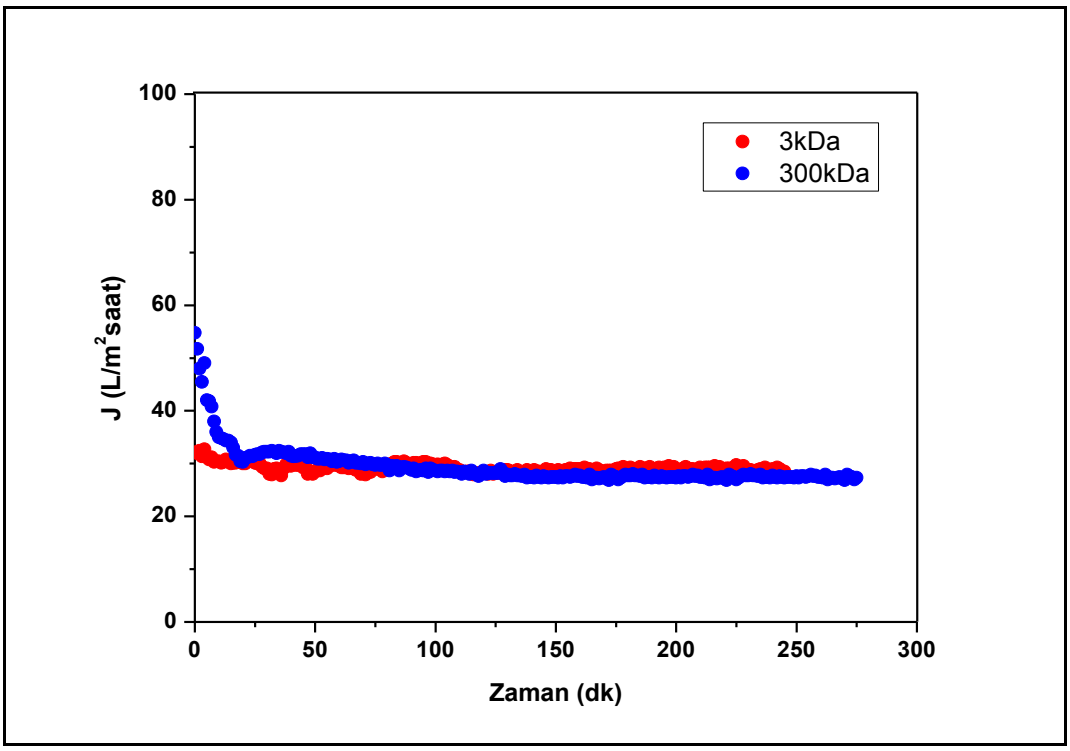
Isı Geri Kazanım 3. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
300 kDa	1.293	27	808	1.043	63	81
3 kDa	177	29	99	164	56	93
*Membran firmasının verdiği sıcaklık düzeltme katsayıları kullanılarak saf su akıları atıksu sıcaklığına göre normalize edilmiştir.						



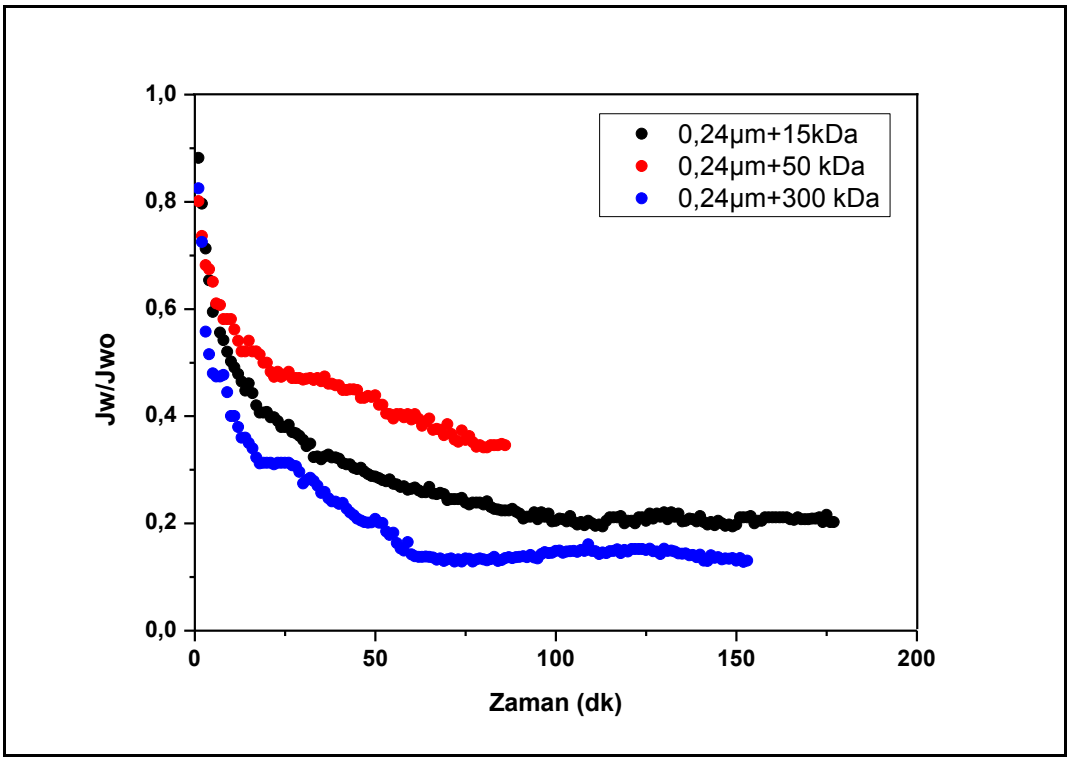
Şekil 4.52: Isı geri kazanım 1.set atıksu akısı zaman grafiği.



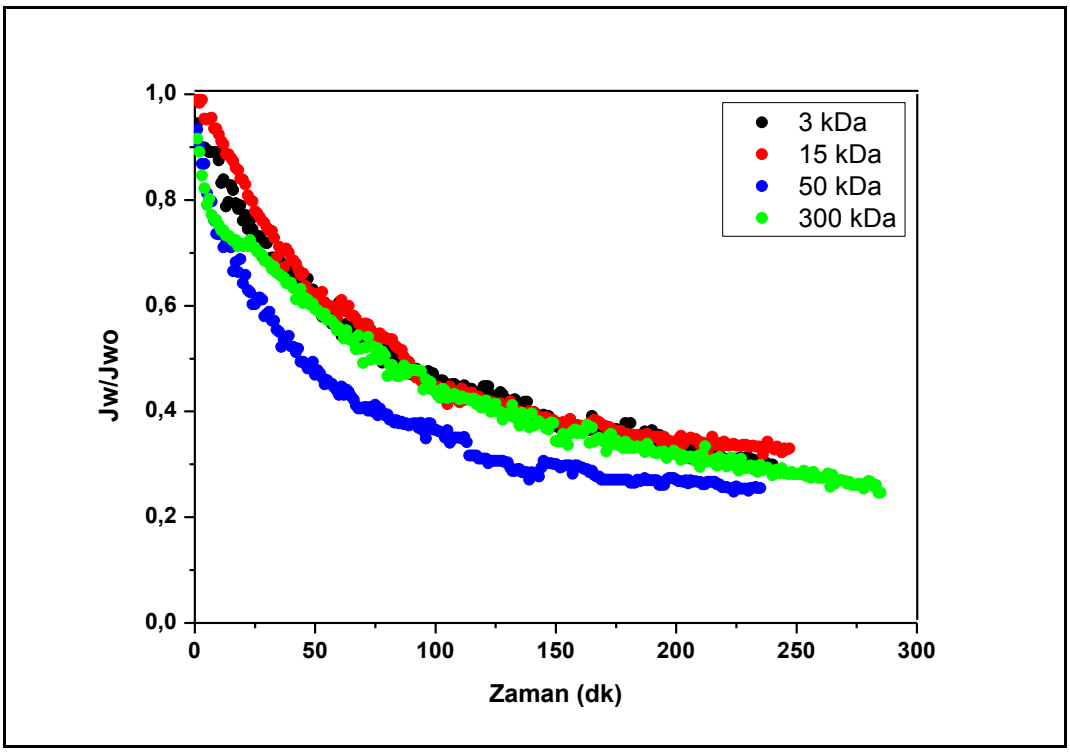
Şekil 4.53: Isı geri kazanım 2.set atıksu akısı zaman grafiği.



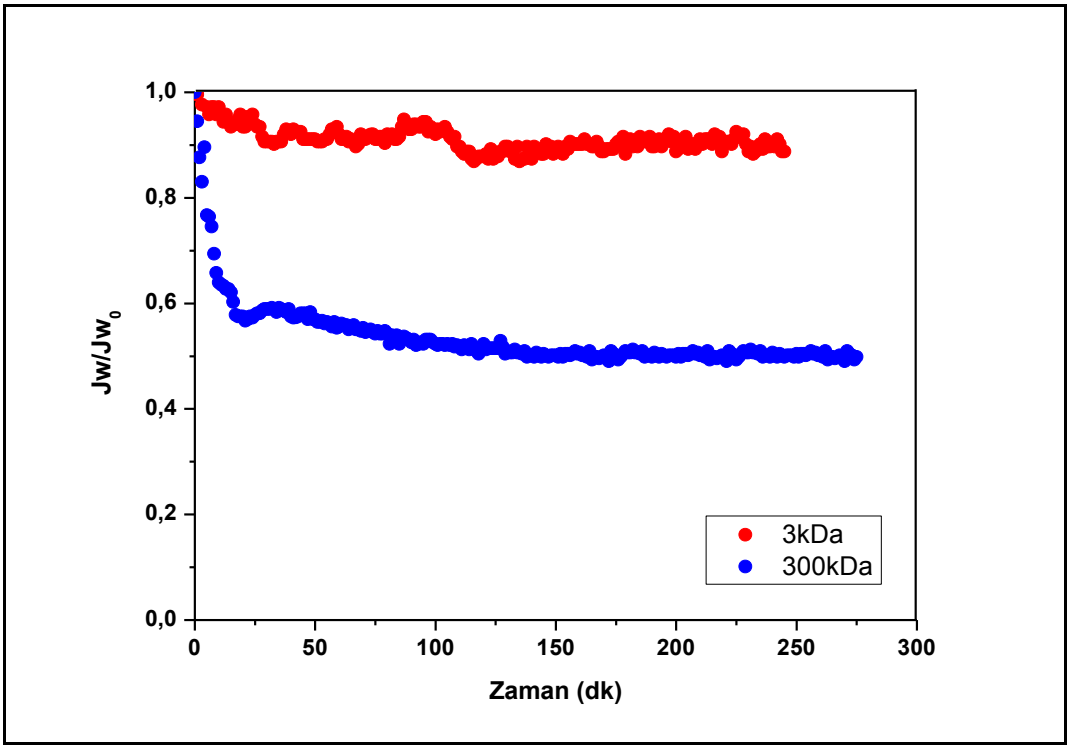
Şekil 4.54: Isı geri kazanım 3.set atıksu akısı zaman grafiği.



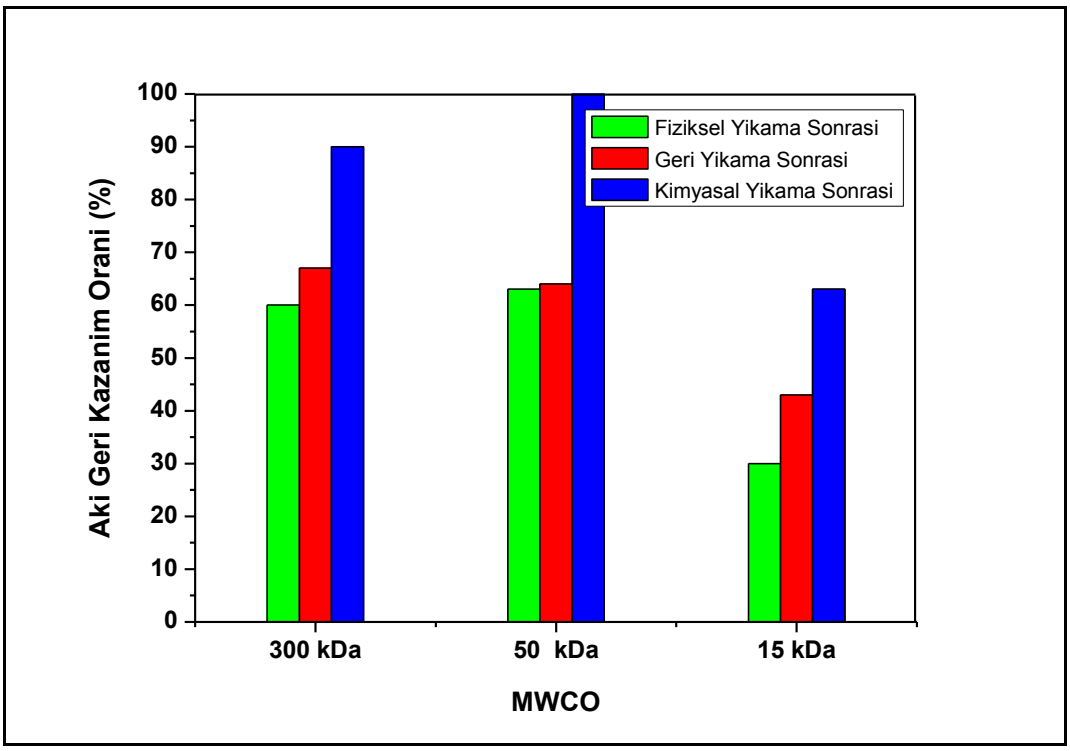
Şekil 4.55: Isı geri kazanım 1.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



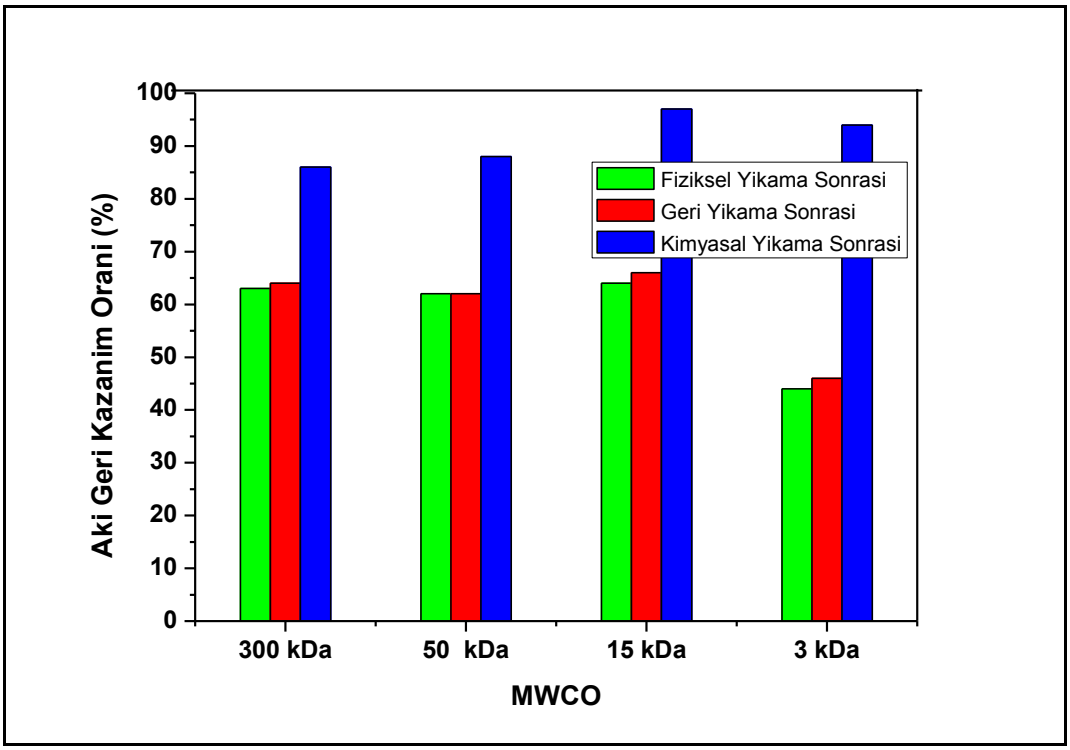
Şekil 4.56: Isı geri kazanım 2.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



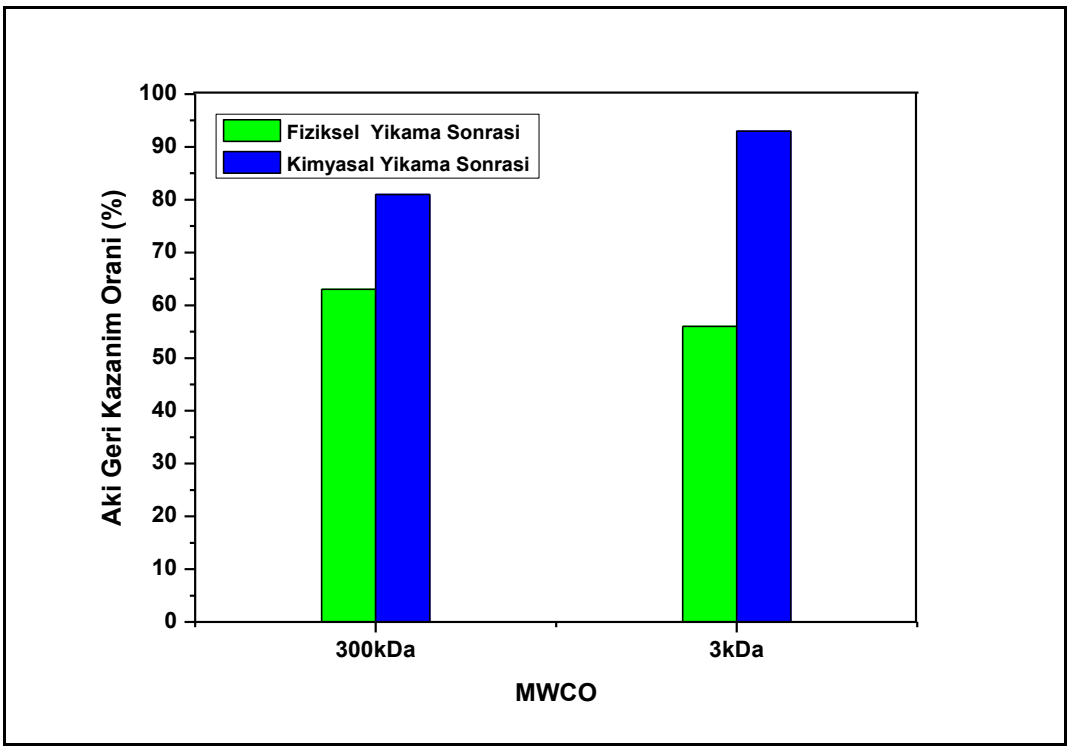
Şekil 4.57: Isı geri kazanım 3.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



Şekil 4.58: Isı Geri Kazanım 1.set akı geri kazanım oranları (%).



Şekil 4.59: Isı Geri Kazanım 2.set akı geri kazanım oranları (%).



Şekil 4.60: Isı Geri Kazanım 3.set akı geri kazanım oranları (%).

4.2.1.2.3. Isı Geri Kazanım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi

Isı geri kazanım noktasından alınan numune ile yapılan tüm deneylerde oluşan etkin kirlenme mekanizması "seri direnç modeli" ile incelendiğinde beklendiği üzere etkin mekanizma fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmuştur (Şekil 4.62 - Şekil 4.66).

Birinci set deneylerde, kirlenmemiş membranın saf su direnci, 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa için sırası ile $4{,}1*10^{11}(m^{-1})$, $2{,}7*10^{12}(m^{-1})$ ve $6{,}9*10^{12}(m^{-1})$ olarak gerçekleşmiştir. Atıksu filtrasyonu sırasında oluşan toplam dirençler ise saf su direncinin 300 kDa için 36 kat, 50 kDa için 10 kat ve 15 kDa için 2 katı olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.34). Tüm gözenek çaplarında toplam direncin en büyük bileşeni %85 ve üzerindeki oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa için sırası ile %1,4, %5,7 ve %5,5 olmuştur (Şekil 4.62).

İkinci set deneylerde, kirlenmemiş membranın saf su direnci, 300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa için sırası ile $4,9*10^{11}(m^{-1})$, $3,1*10^{12}(m^{-1})$, $8,1*10^{12}(m^{-1})$ ve $8,9*10^{12}(m^{-1})$ olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.35). Atıksu filtrasyonu sırasında oluşan en büyük toplam dirençler 3 kDa membranda $1,16*10^{14}(m^{-1})$ değerindedir. Toplam direnç değerinin saf su direncinden 70 kat fazla olduğu membran ise 300 kDa membrandır. 50 kDa ve 15 kDa membranlarda oluşan toplam direnç değerleri birbirine yakındır (Tablo 4.35). Tüm gözenek çaplarında toplam direncin en büyük bileşeni %83 ve üzerindeki oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) 300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa için sırası ile %0,8, %2,1, %4,7 ve %8,9 olmuştur (Şekil 4.64).

Üçüncü set deneylerde, kirlenmemiş membranın saf su direnci, 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile $6,9*10^{11}(m^{-1})$ ve $1,01*10^{13}(m^{-1})$ iken atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan toplam direnç 300 kDa için 54 kat artarak $3,7*10^{13}$ (m^{-1}), 3 kDa için 7 kat artarak $7,05*10^{13}(m^{-1})$ olarak bulunmuştur (Tablo 4.36).

Tüm gözenek çaplarında toplam direncin en büyük bileşeni fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile %1,1 ve %12,8 olarak bulunmuştur (Şekil 4.66).

Tubular membranlar ile gerçekleşen ısı geri kazanım noktasından sıcak su geri kazanımı deneylerinde gerçekleşen kirlenme mekanizması eğilim olarak disk membranlara benzer olmakla beraber rakamsal farklar oluşmuştur. Ayrıca tüm deneylerde etkin kirlenme mekanizması fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmuş olup genel olarak kimyasal sonrası geri kazanım oranları yüksektir.

Tablo 4.34: Isı Geri Kazanım 1. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

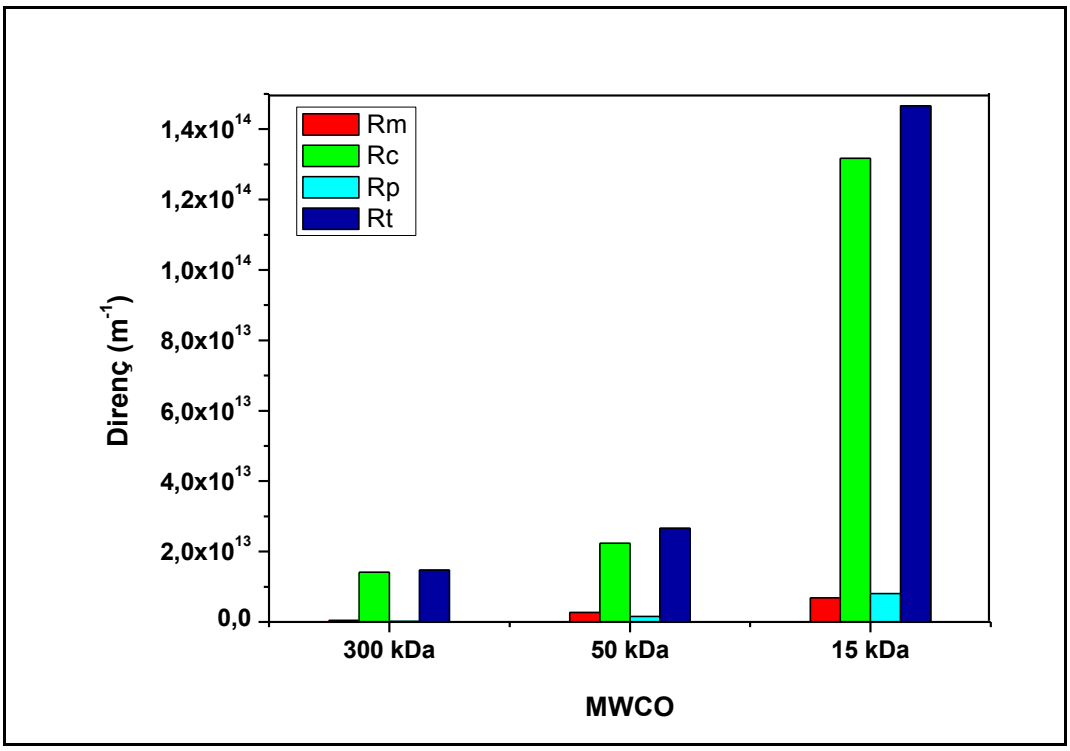
Isı Geri Kazanım 1. Set	Rm (m^{-1})	Rc1(m^{-1})	Rc2 (m^{-1})	Rc (m^{-1})	Rp (m^{-1})	Rt (m^{-1})	Rm (%)	Rc (%)	Rp (%)
0,24 µm + 300 kDa	4,09E+11	1,40E+13	6,75E+10	1,41E+13	2,02E+11	1,47E+13	2,78	95,8	1,4
0,24 µm + 50 kDa	2,71E+12	2,23E+13	9,97E+10	2,24E+13	1,52E+12	2,66E+13	10,18	84,1	5,7
0,24 µm + 15 kDa	6,89E+12	1,25E+14	6,36E+12	1,32E+14	8,06E+12	1,47E+14	4,70	89,8	5,5

Tablo 4.35: Isı Geri Kazanım 2. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

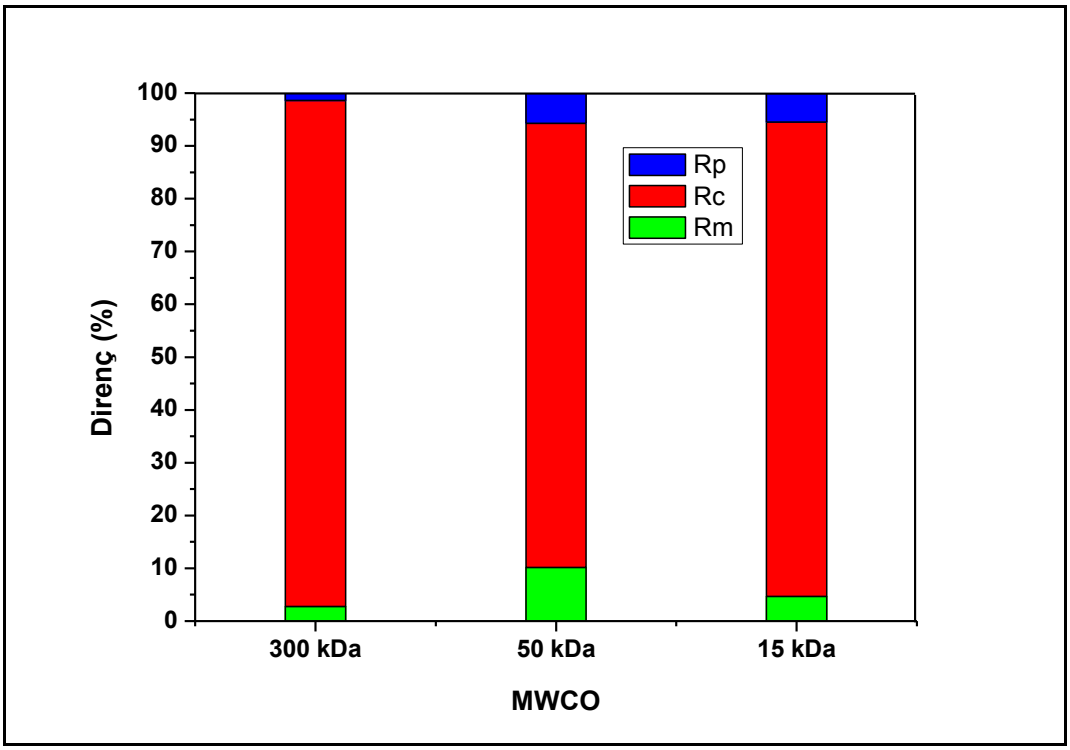
Isı Geri Kazanım 2. Set	Rm (m^{-1})	Rc1(m^{-1})	Rc2 (m^{-1})	Rc (m^{-1})	Rp (m^{-1})	Rt (m^{-1})	Rm (%)	Rc (%)	Rp (%)
300 kDa	4,90E+11	3,37E+13	9,58E+09	3,37E+13	2,77E+11	3,44E+13	1,4	97,8	0,80
50 kDa	3,07E+12	8,24E+13	6,14E+10	8,24E+13	1,84E+12	8,73E+13	3,5	94,4	2,11
15 kDa	8,09E+12	7,56E+13	3,41E+11	7,59E+13	4,12E+12	8,82E+13	9,2	86,2	4,67
3 kDa	8,92E+12	9,53E+13	1,15E+12	9,65E+13	1,03E+13	1,16E+14	7,7	83,4	8,93

Tablo 4.36: Isı Geri Kazanım 3. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

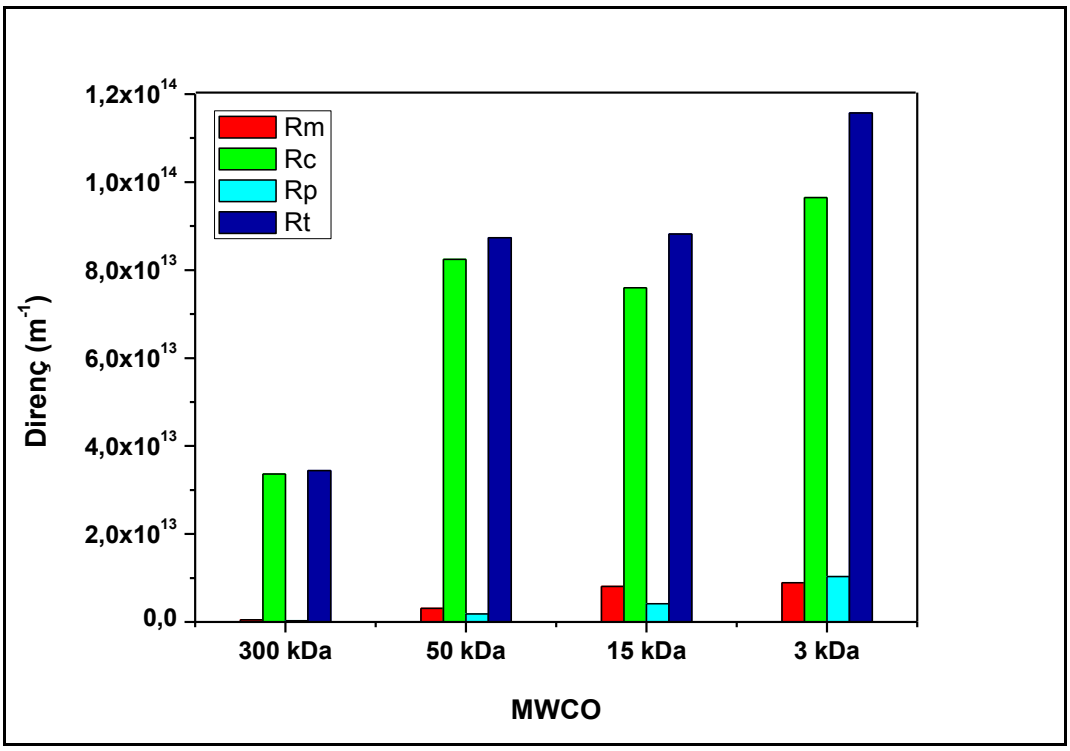
Isı Geri Kazanım 3. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
300 kDa	6,89E+11	3,60E+13	4,13E+11	3,71E+13	1,9	97,0	1,1
3 kDa	1,01E+13	5,14E+13	9,01E+12	7,05E+13	14,3	73,0	12,8



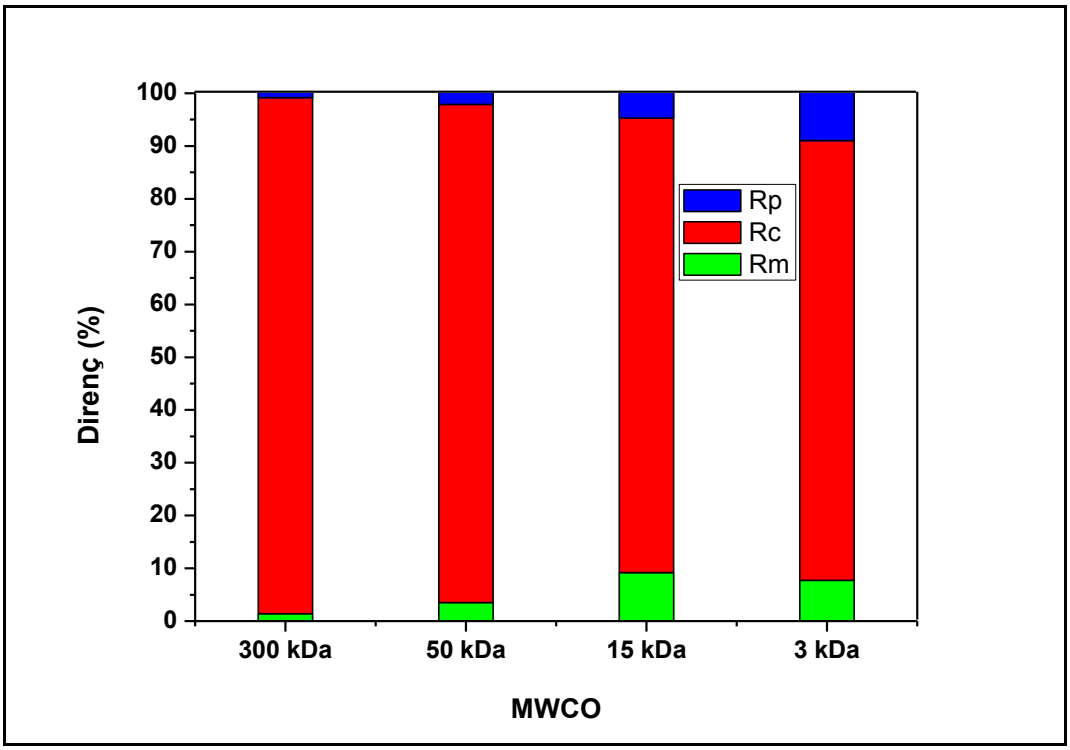
Şekil 4.61: Isı Geri Kazanım 1.set direnç değerleri (m^{-1}).



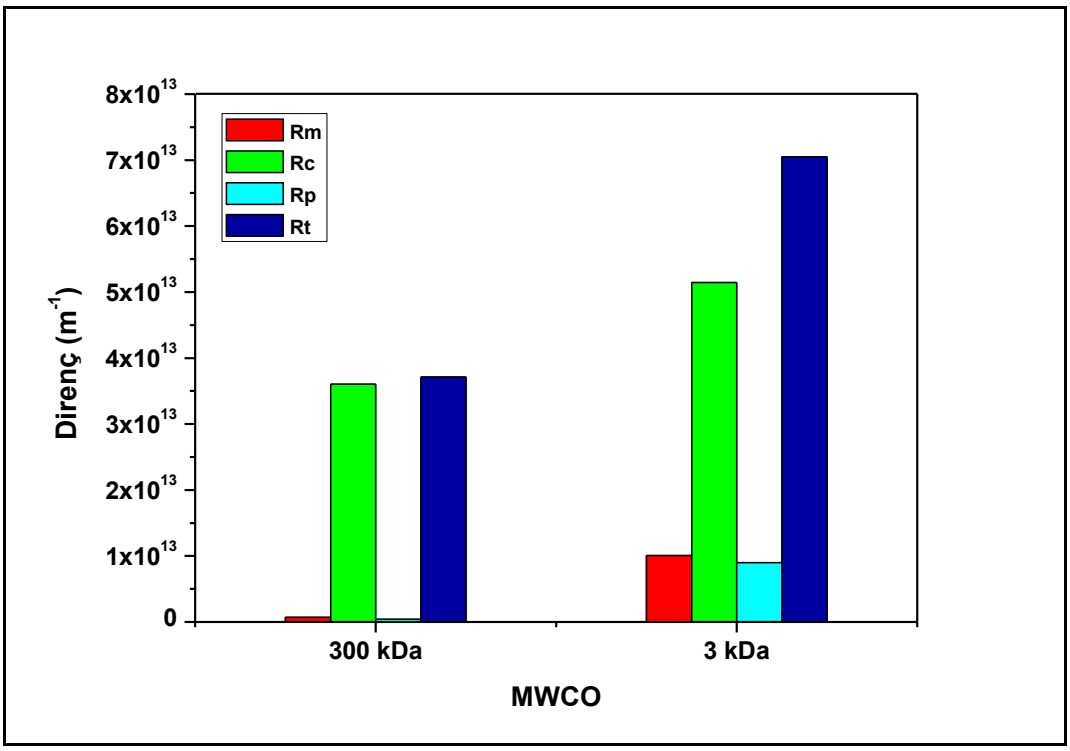
Şekil 4.62: Isı Geri Kazanım 1.set direnç oranları (%).



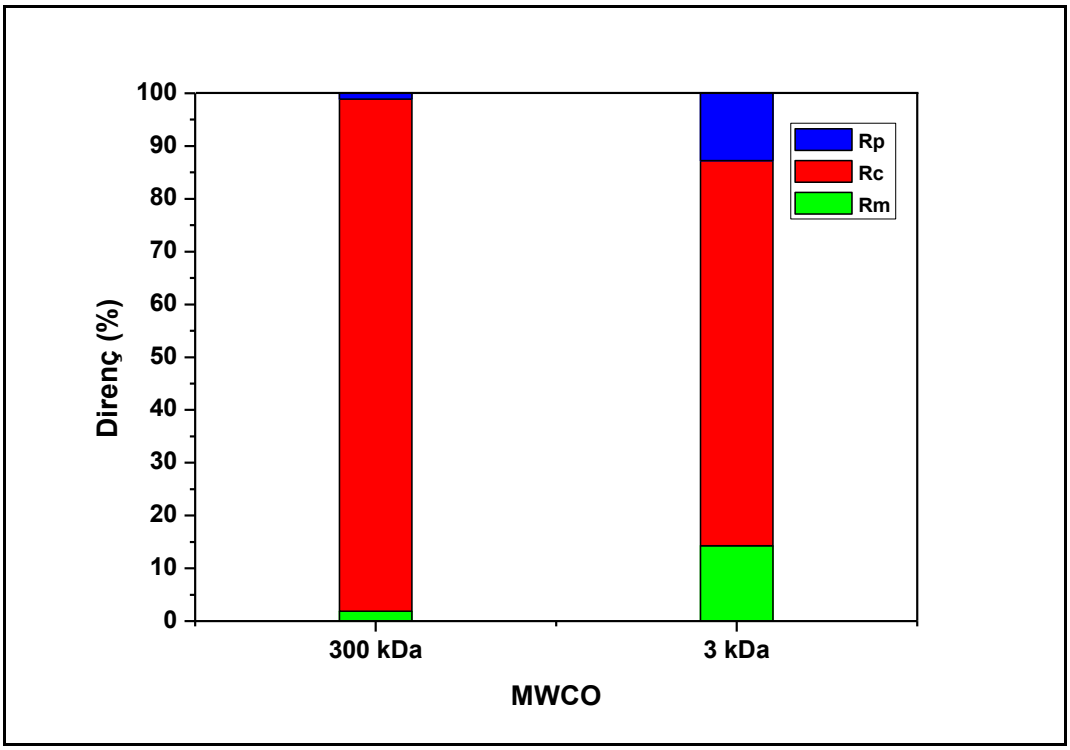
Şekil 4.63: Isı Geri Kazanım 2.set direnç değerleri (m^{-1}).



Şekil 4.64: Isı Geri Kazanım 2.set direnç oranları (%).



Şekil 4.65: Isı Geri Kazanım 3.set direnç değerleri (m^{-1}).



Şekil 4.66: Isı Geri Kazanım 3.set direnç oranları (%).

4.2.1.3. Emprime Karışım Noktasında Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi

Sıcak su geri kazanım çalışmalarını gerçekleştirmek üzere üç farklı tarihte dispers ve reaktif emprime baskı banyolarının karışım noktası olan emprime karışım noktasından numuneler alınmıştır. Alınan numuneler ile birinci ve ikinci set deneylerde disk tip, üçüncü set deneylerde tubular tip seramik membranlar kullanılarak çapraz akış membran filtrasyonları gerçekleştirilmiştir.

Emprime karışım noktasından alınan numuneler ile gerçekleşen çapraz akış membran filtrasyonu deneylerinde, kirletici giderimi, atıksuyun yeniden kullanılabilirliği, akı davranışları ve kirlenme mekanizması incelenmiş ve ilerleyen bölümde detaylı olarak irdelenmiştir.

4.2.1.3.1. Emprime Karışım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Ham ve Süzüntü Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Birinci set filtrasyon deneylerinde, ham numune önce 0,24 μm membrandan süzülmüştür. MF seviyesinde ön arıtımı yapılmış numuneler 5 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa, 3 kDa (2defa) ve 1 kDa) gözenek çapına sahip seramik membranlar ile çapraz akış membran filtrasyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk set filtrasyon çalışmasından sonra, MF seviyesinde ayırmanın kirletici giderimi üzerine etkisinin çok az olduğu görülmüş ve ham numune doğrudan 3 kDa (sıkı UF) seramik membrandan süzülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra, sıkı UF membranı öncesinde UF membranının kullanılmasının, hem kirletici giderim verimi, hem de sıkı UF membranında oluşan tıkanma üstündeki etkisinin değerlendirilmesi maksadı ile 50 kDa süzüntüsü 1 kDa seramik membrandan süzülmüştür. Böylece, birinci set filtrasyonu kapsamında toplam 8 defa seramik membran filtrasyonu gerçekleştirilmiştir.

İkinci set filtrasyon deneylerinde, birinci set filtrasyon deneylerinde MF seviyesinde ayırmanın kirletici giderimi üzerine etkisinin çok az olduğu görülünce ham numune 4 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa) gözenek çapına sahip seramik membranlar ile filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. UF+sıkı UF etkisinin görülmesi maksadı ile 300 kDa, 50 kDa, 15 kDa süzüntüleri 3 adet farklı 3

kDa seramik membrandan süzülmüştür. Böylece, ikinci. set filtrasyonu kapsamında toplam 7 defa seramik membran filtrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü set filtrasyon deneylerinde, emprime karışım noktasından alınan numune ön arıtma yapmadan 300 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) tubular ticari seramik membran ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Birinci set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.37'de, ikinci. set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.38' de, üçüncü set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.39'da verilmektedir.

Atıksuların geri kullanımı açısından izlenen parametrelerden KOİ, TOK ve Renk için MWCO esaslı kirletici giderim grafikleri Şekil 4.67 - Şekil 4.82'de verilmektedir.

Gerçekleşen tüm deneylerde beklendiği üzere, düşük MWCO değerlerinde kirletici giderim veriminin arttığı gözlenmiştir

Birinci set ham atıksu KOİ değeri 821 mg/l iken en düşük KOİ değeri 3 kDa süzüntüsü (315 mg/L) ve 50 kDa+1 kDa süzüntüsünde (325 mg/L) ölçülmüştür. Elde edilen en büyük KOİ giderim verimi yaklaşık %62' dir. İkinci set ham atıksu KOİ değeri 454 mg/l iken en düşük KOİ değeri 15 kDa+3 kDa süzüntüsünde 54 mg/L olarak ölçülmüştür. Elde edilen en büyük KOİ giderim verimi ise yaklaşık %88' dir. 15 kDa, 3 kDa ve 50 kDa+3 kDa süzüntülerinde ölçülen KOİ değeri yaklaşık 68 mg/L olup KOİ giderimleri yaklaşık %86' dır. Üçüncü set ham atıksu KOİ değeri 917 mg/L birinci sette ölçülen değere yakındır. KOİ giderim verimleri değerlendirildiğinde 300 kDa ve 3 kDa süzüntülerinde elde edilen KOİ giderimi sırası ile %68 ve %87'dir ve bu değerler ikinci sette elde edilen giderim verimlerine yakındır (Şekil 4.67 - Şekil 4.69).

Birinci set ham atıksu TOK değeri 181 mg/L iken en iyi giderim verimleri 3kDa süzüntüsü (40 mg/L) ve 50 kDa+1 kDa süzüntüsünde (51 mg/L) olarak ölçülmüştür. Elde edilen en büyük TOK giderim verimi yaklaşık %78' dir. İkinci set ham atıksu TOK değeri 129 mg/L iken en düşük TOK değeri 15 kDa+3 kDa süzüntüsünde 19 mg/L olarak ölçülmüştür. Elde edilen en büyük TOK giderim verimi ise yaklaşık %85' dir. 15 kDa, 3 kDa ve 50 kDa+3 kDa süzüntülerinde ölçülen TOK değerleri 21-25 mg/L aralığında olup TOK giderimleri yaklaşık %83' tür. Üçüncü set ham atıksu 269 mg/L TOK değeri ilk iki sete göre biraz yüksektir. KOİ gideriminde olduğu gibi TOK giderimi açısından ikinci set ile benzer giderimler

elde edilmiştir. TOK giderim verimi 300 kDa ve 3 kDa membran için sırası ile %71 ve %90 olarak gerçekleşmiştir. İkinci sette gözlendiği gibi KOİ ve TOK giderimleri üçüncü sette de benzerdir (Şekil 4.71 - Şekil 4.73).

Birinci set ham atıksu renk değeri 436 nm; 525 nm; 620 nm için sırası ile 55,6;34,4;15,8 iken elde edilen en düşük renk değeri 3 kDa süzüntüsünde görülmüştür. Renk giderim verimi 436 nm; 525 nm; 620 nm için sırası ile %74, %79 ve %87' dir. İkinci set ham atıksu renk değerleri 436 nm; 525 nm ; 620 nm için sırası ile 91,2;178,4;106,4 iken elde edilen en düşük renk değerleri 3 kDa ve 15 kDa+3 kDa süzüntülerinde 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile 14,3;28,3;15,1 olarak ölçülmüştür. Renk giderim verimi ise 3 dalga boyunda sırası ile % 84, %84 ve %86 olarak gerçekleşmiştir. Üçüncü set ham atıksu renk değerleri 436 nm; 525 nm ;620 nm için sırası ile 107,2;94,8;112,4 iken elde edilen en düşük renk değerleri 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile 5,9;6,7;5,6 olarak 3 kDa süzüntüsünde ölçülmüştür. Renk giderim verimi ise 3 dalga boyunda sırası ile % 94, %93 ve %95 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.76 - Şekil 4.79).

Birinci sette, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa süzüntülerinde elde edilen toplam sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L). İkinci sette, 300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa süzüntülerinde elde edilen toplam sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L). Üçüncü set süzüntülerinde elde edilen toplam sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L) (Tablo 4.37 - Tablo 4.39).

300 kDa+3 kDa, 50 kDa+3 kDa ve 15 kDa+3 kDa süzüntülerinde KOİ ve TOK için benzer giderimler gerçekleşmiştir (Şekil 4.67, Şekil 4.70, Şekil 4.71, Şekil 4.74, Şekil 4.75). Ancak renk gideriminde 15 kDa+3 kDa sonuçları diğerlerine göre daha yüksektir (Şekil 4.80 - Şekil 4.82)

.

Tablo 4.37: Emprime Karışım 1. Set analiz sonuçları.

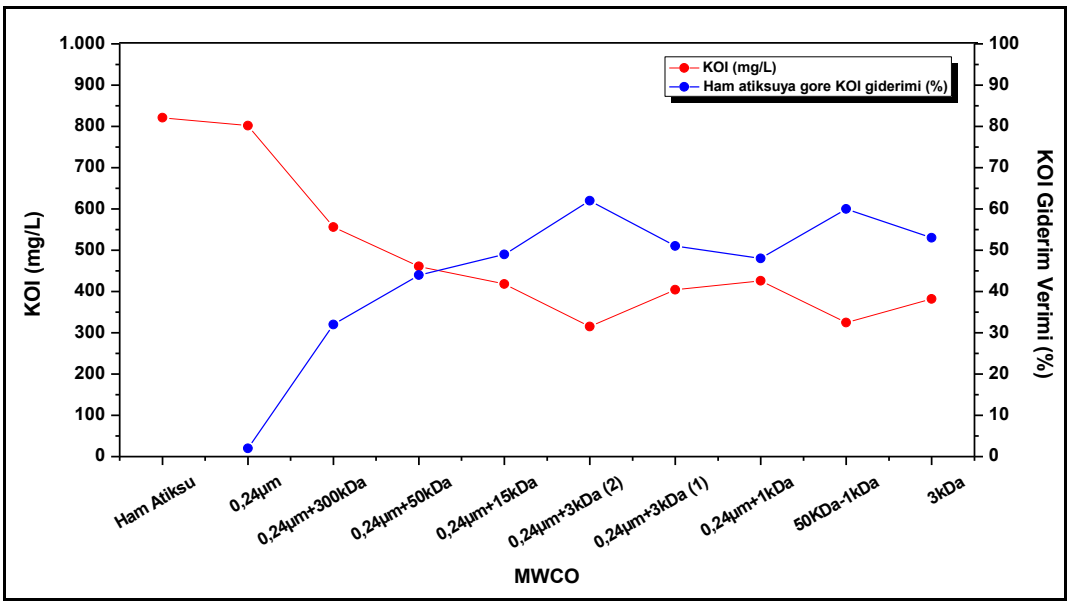
Emprime Karışım 1. Set	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
						Pt-Co	436 nm	525 nm	620 nm		
Ham	12,5	18.010	821	181	13	1.844	55,6	34,4	15,8	57	251
0,24µm	12,5	17.500	802	156	10	1.578	47,8	29,0	12,8	57	245
0,24µm + 300 kDa	12,5	19.420	556	94	2	1.386	41,6	24,2	9,0	36	276
0,24µm + 50 kDa	12,6	17.550	461	77	2	1.094	33,2	19,2	7,2	23	260
0,24µm + 15 kDa	12,6	17.400	418	60	1	898	27,4	15,4	5,4	10	252
0,24µm + 3 kDa	12,5	17.420	404	51	1,1	851	26,0	13,9	3,8	10	251
0,24µm + 3 kDa (2)	12,5	16.100	315	40	0,7	466	14,6	7,2	2	17	247
0,24µm + 1 kDa	12,5	16.330	426	83	2	890	27,2	15,0	5,3	59	243
50KDa + 1 kDa	12,5	17.420	325	51	0,7	602	18,8	9,7	3,0	10	235
Hamdan 3 kDa	12,6	17.540	382	59	1,1	670	20,7	10,7	3,1	30	268

Tablo 4.38: Emprime Karışım 2. Set analiz sonuçları.

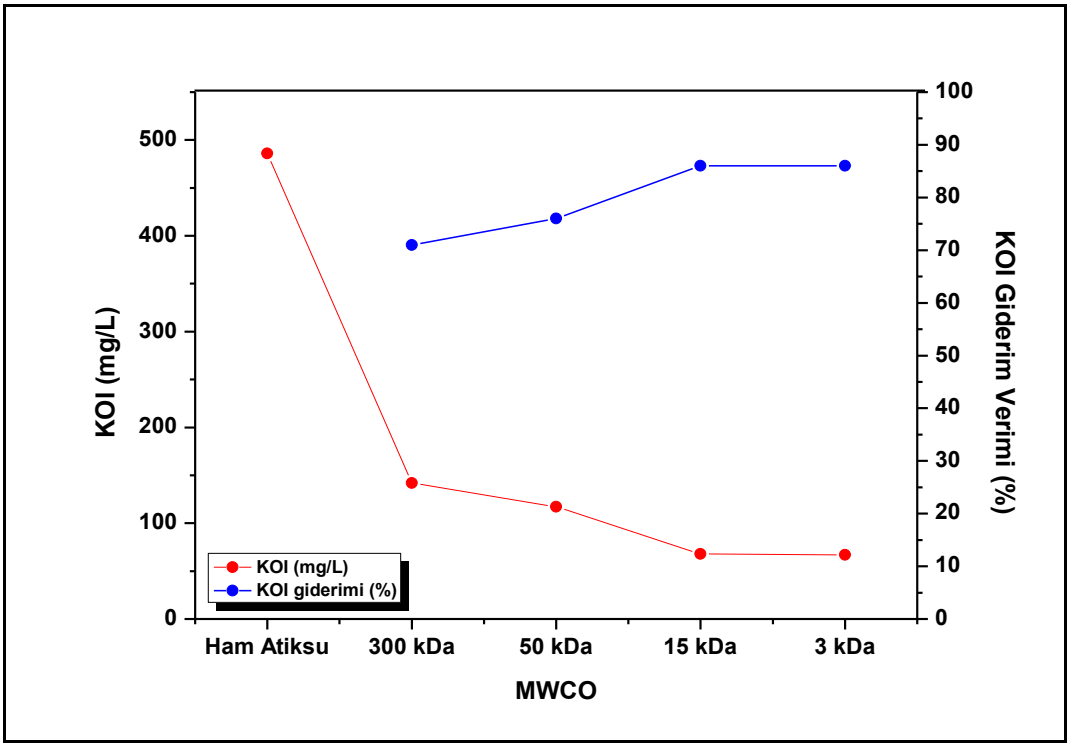
Emprime Karışım 2. Set	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Toplam Sertlik (mg CaCO3/L)	Cl^- (mg/L)
						Pt-Co	436 nm	525 nm	620 nm		
Ham	9,7	1.430	454	129	103,0	3.820	91,2	178,4	106,4	90	150
300 kDa	8,7	1.390	142	44	3,5	2.127	47,4	102,9	54,3	34	250
50 kDa	9,0	1.383	117	40	0,9	1.944	43,6	94,8	51,2	29	254
15 kDa	9,0	1.240	68	24	0,5	1.128	27,2	54,0	30,0	16	239
3 kDa	8,9	1.324	67	21	0,5	599	14,3	28,3	15,1	23	245
300 kDa+3 kDa	9,1	1.410	78	23	0,5	835	19,9	40,3	20,8	15	263
50 kDa+3 kDa	9,1	1.393	68	25	0,5	856	20,2	41,1	21,6	10	269
15 kDa+3 kDa	9,0	1.273	54	19	0,3	606	14,4	28,6	15,4	9	250

Tablo 4.39: Emprime Karışım 3. Set analiz sonuçları.

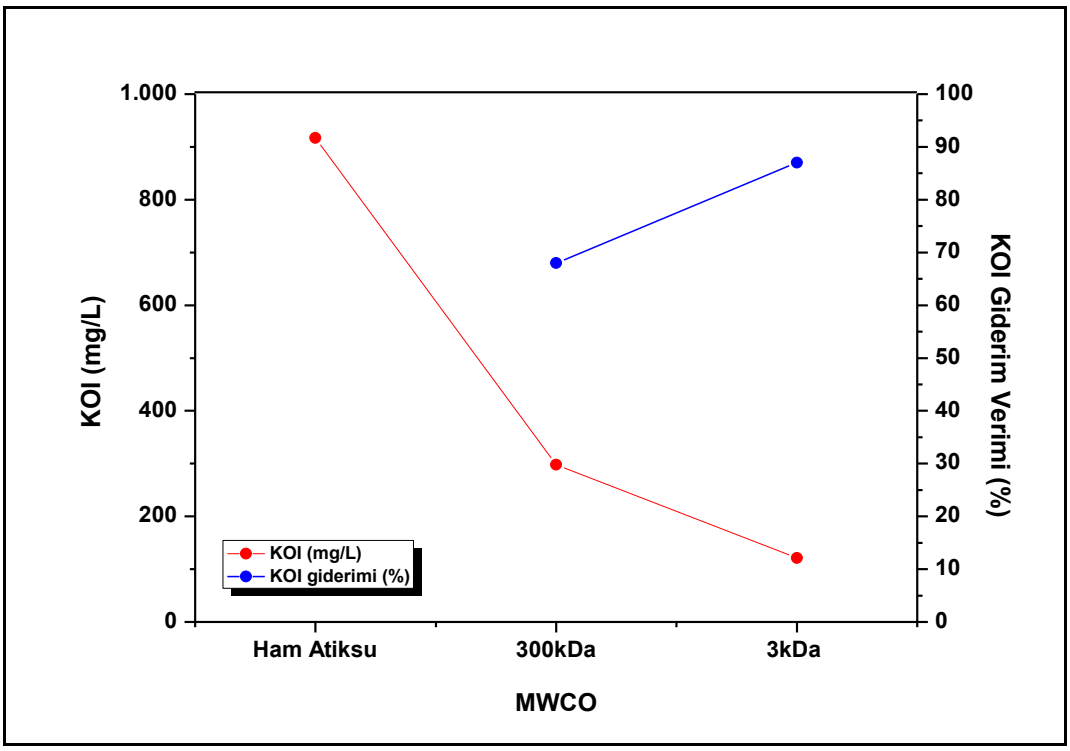
Emprime Karışım 3. Set	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Toplam Sertlik (mg CaCO3/L)	Cl^- (mg/L)
						Pt-Co	436 nm	525 nm	620 nm		
Ham	11,0	1.938	917	269	26	3.884	107,2	94,8	112,4	62	175
300 kDa	10,2	1.766	298	78	1	2.312	63,6	71,6	66,8	34	194
3 kDa	10,3	1.650	121	27	1	217	5,9	6,7	5,6	24,6	196



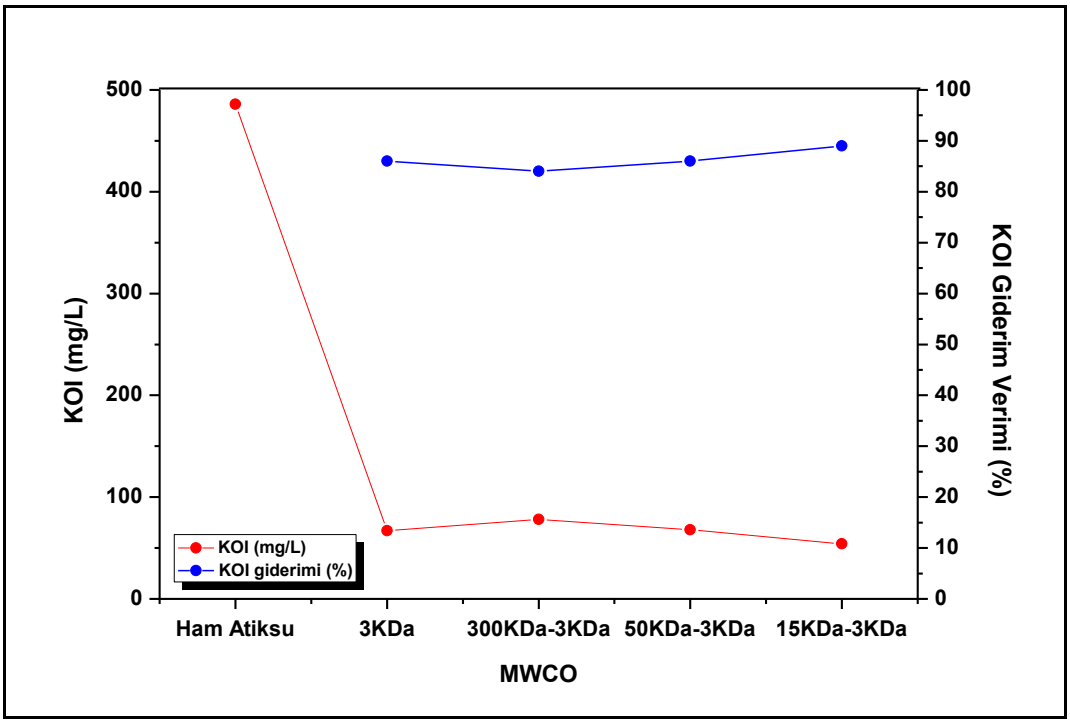
Şekil 4.67: Emprime Karışım 1.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



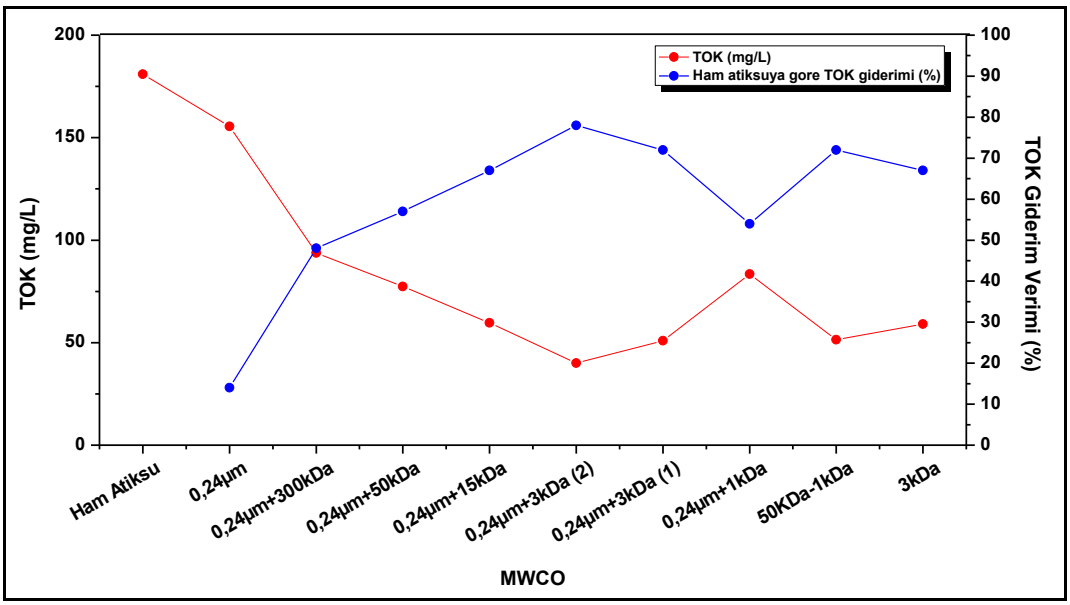
Şekil 4.68: Emprime Karışım 2.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



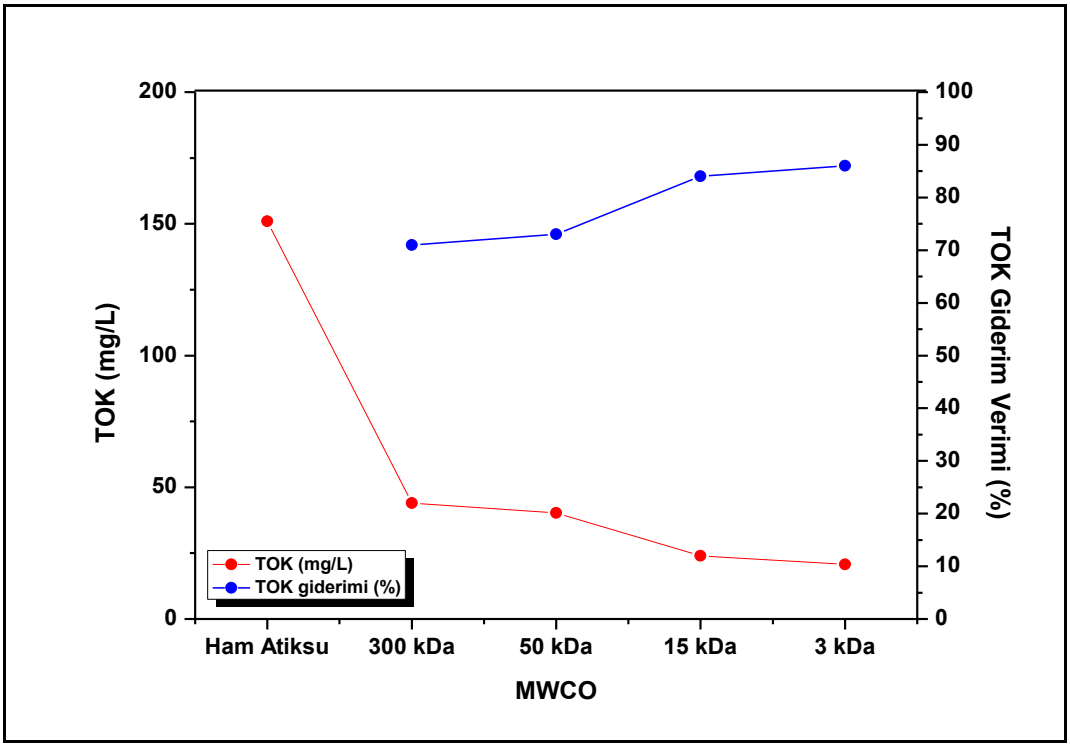
Şekil 4.69: Emprime Karışım 3.set için KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi.



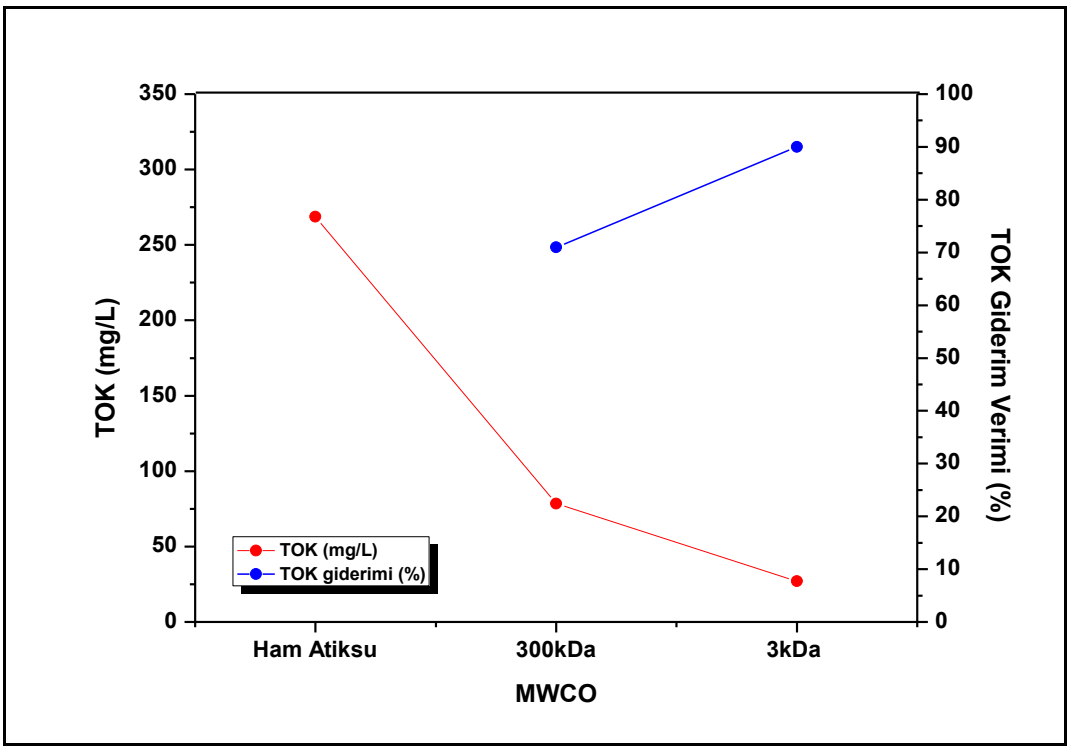
Şekil 4.70: Emprime Karışım 2.set 3 kDa için KOI değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



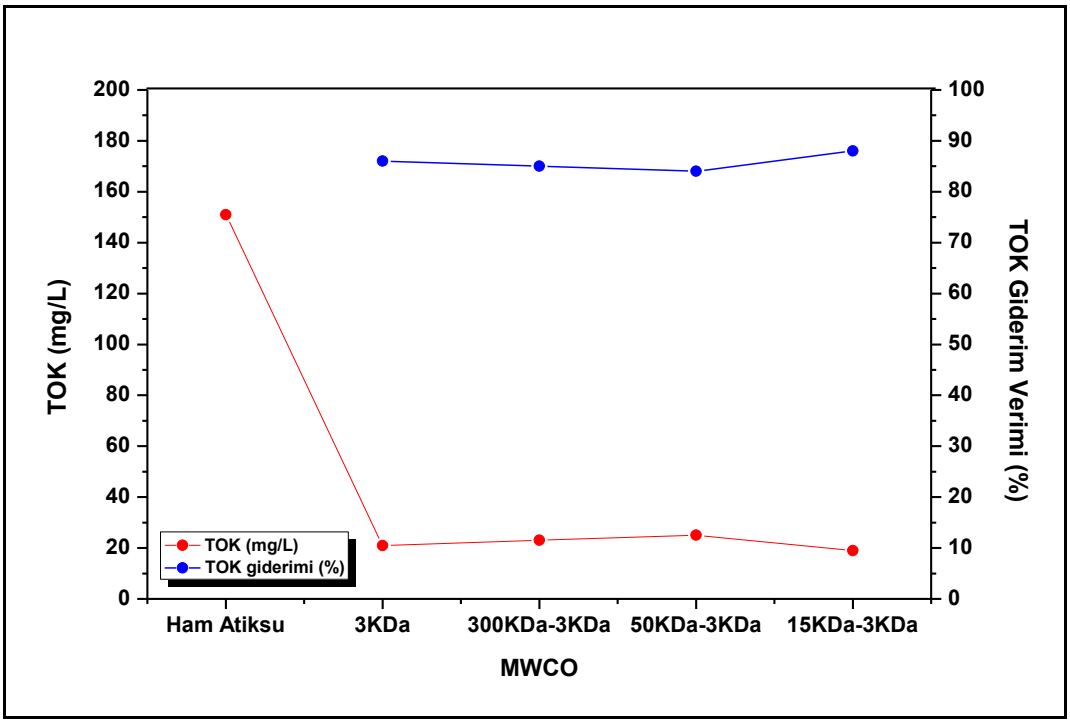
Şekil 4.71: Emprime Karışım 1.set için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



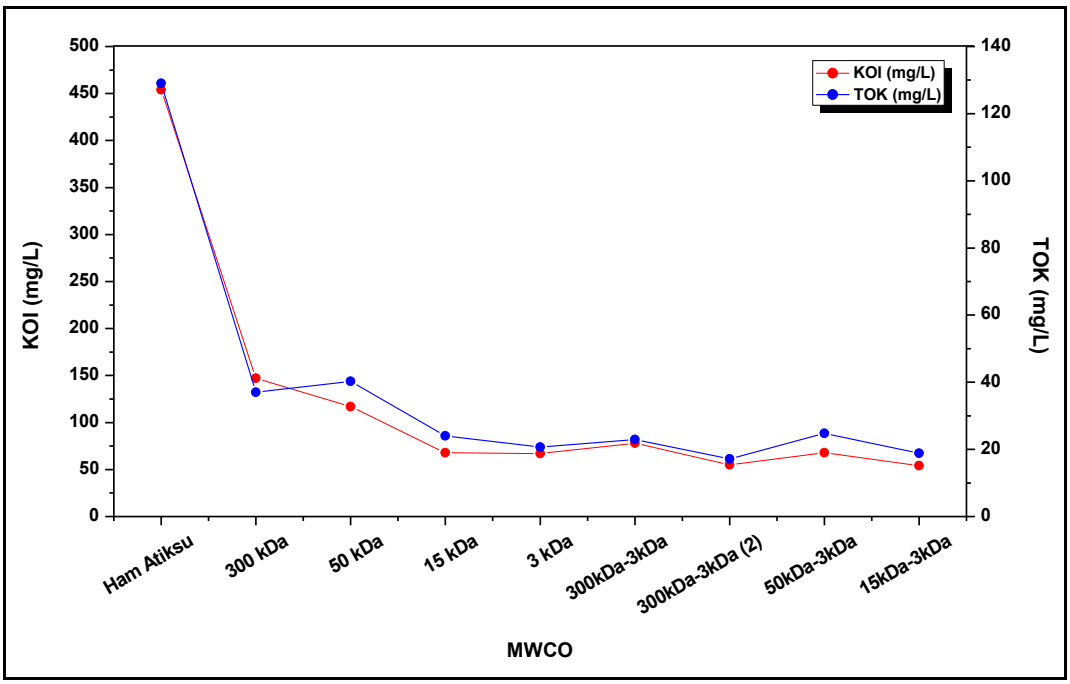
Şekil 4.72: Emprime Karışım 2.set için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



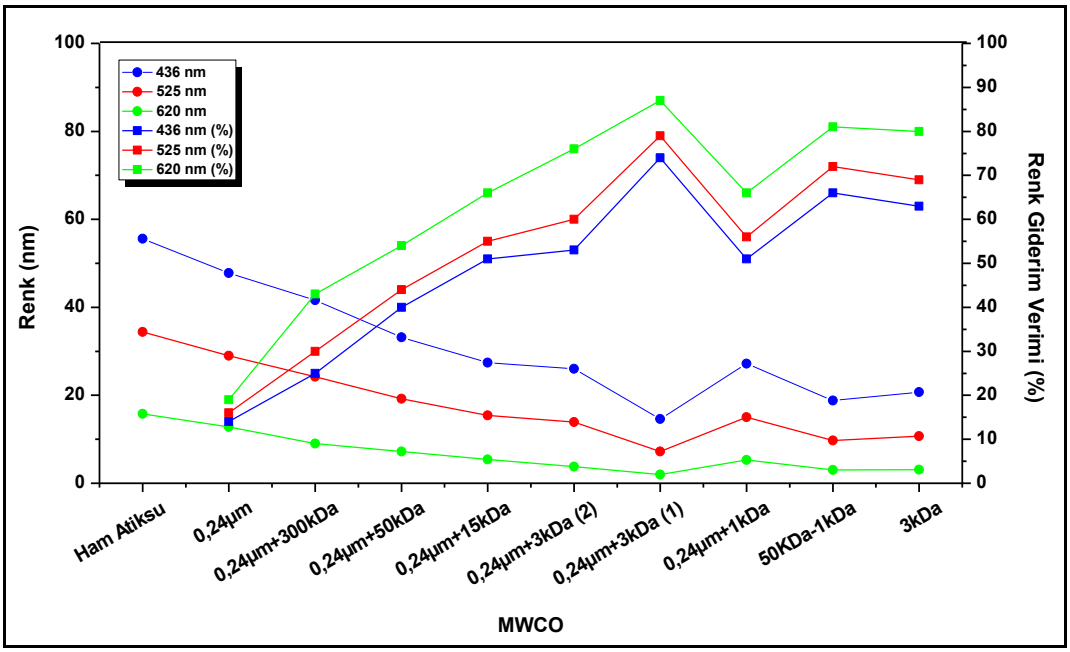
Şekil 4.73: Emprime Karışım 3.set için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi(%).



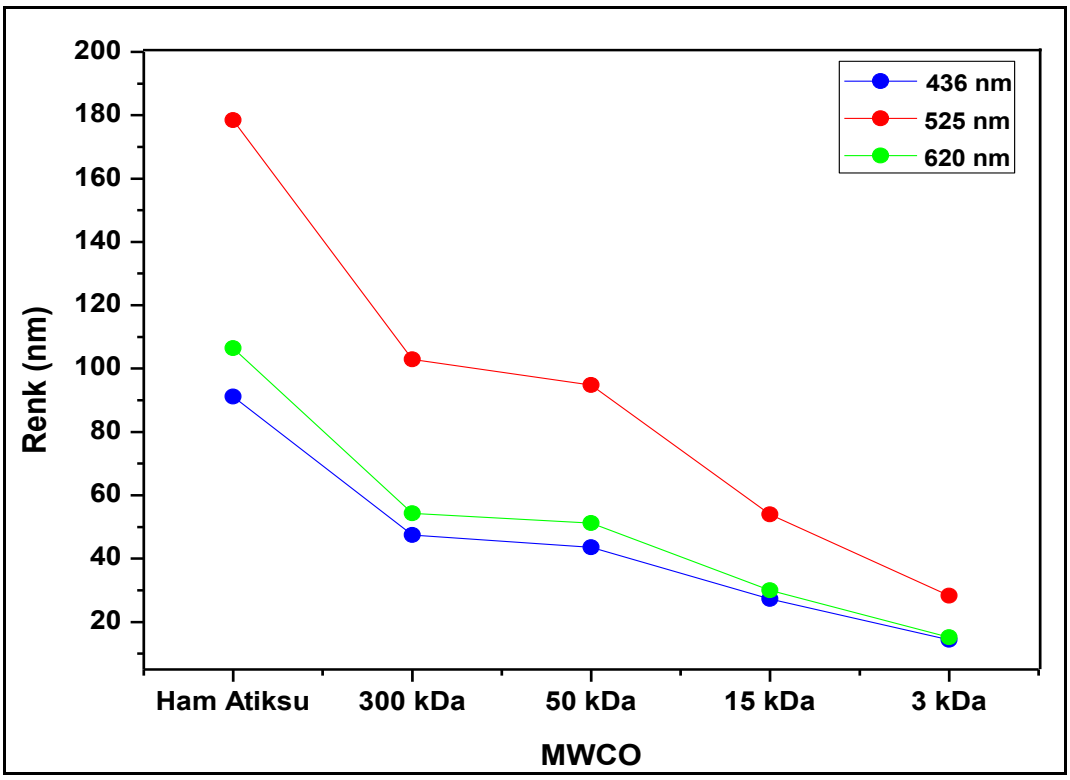
Şekil 4.74: Emprime Karışım 2.set 3kDa için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



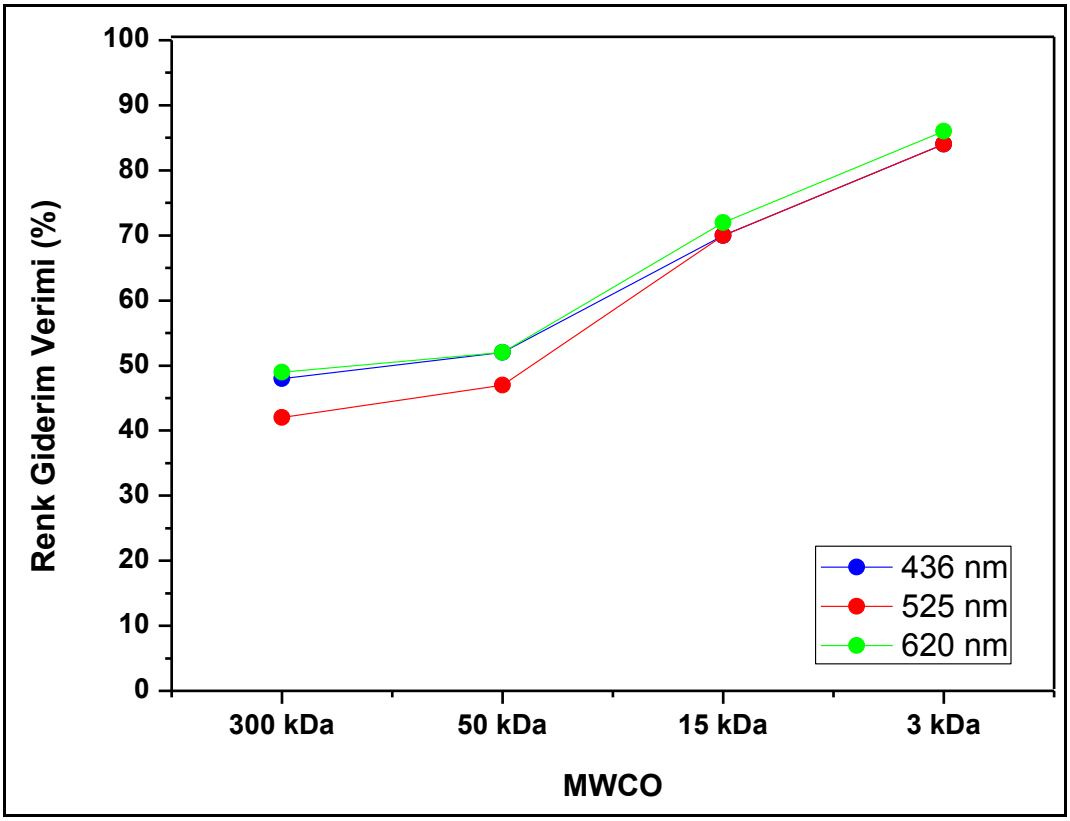
Şekil 4.75: Emprime Karışım 2.set KOI ve TOK değerleri (mg/L).



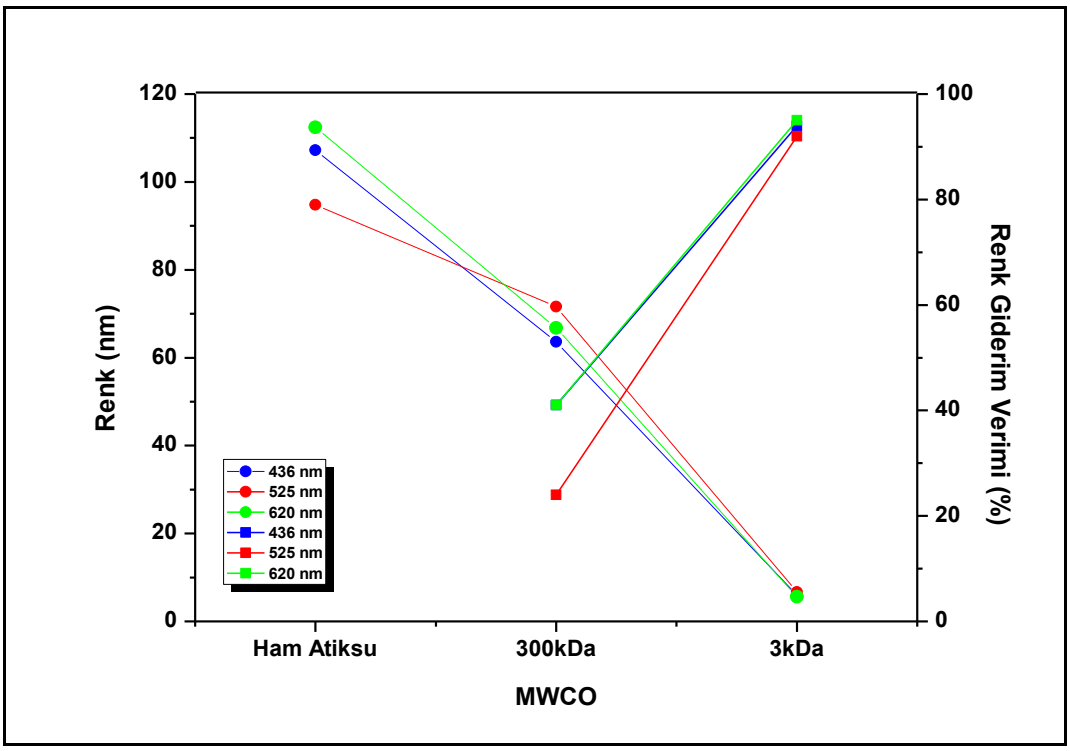
Şekil 4.76: Emprime Karışım 1.set için renk RES değerleri (nm) ve giderimi (%).



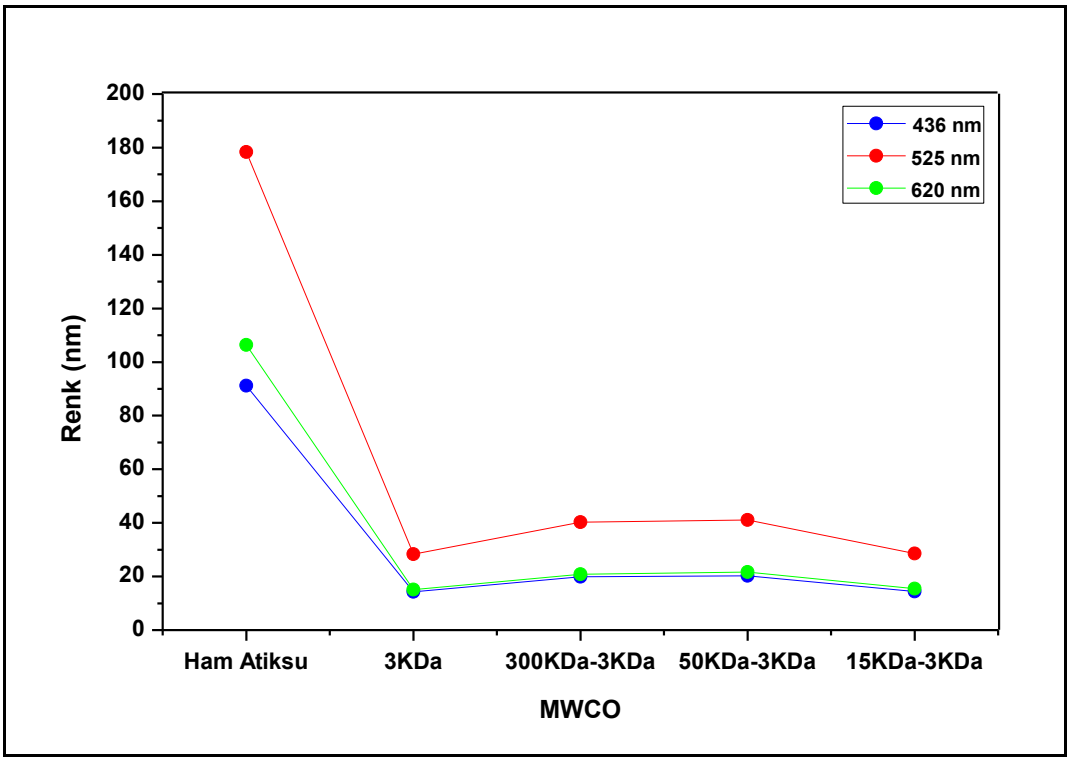
Şekil 4.77: Emprime Karışım 2.set için Renk RES değerleri (nm).



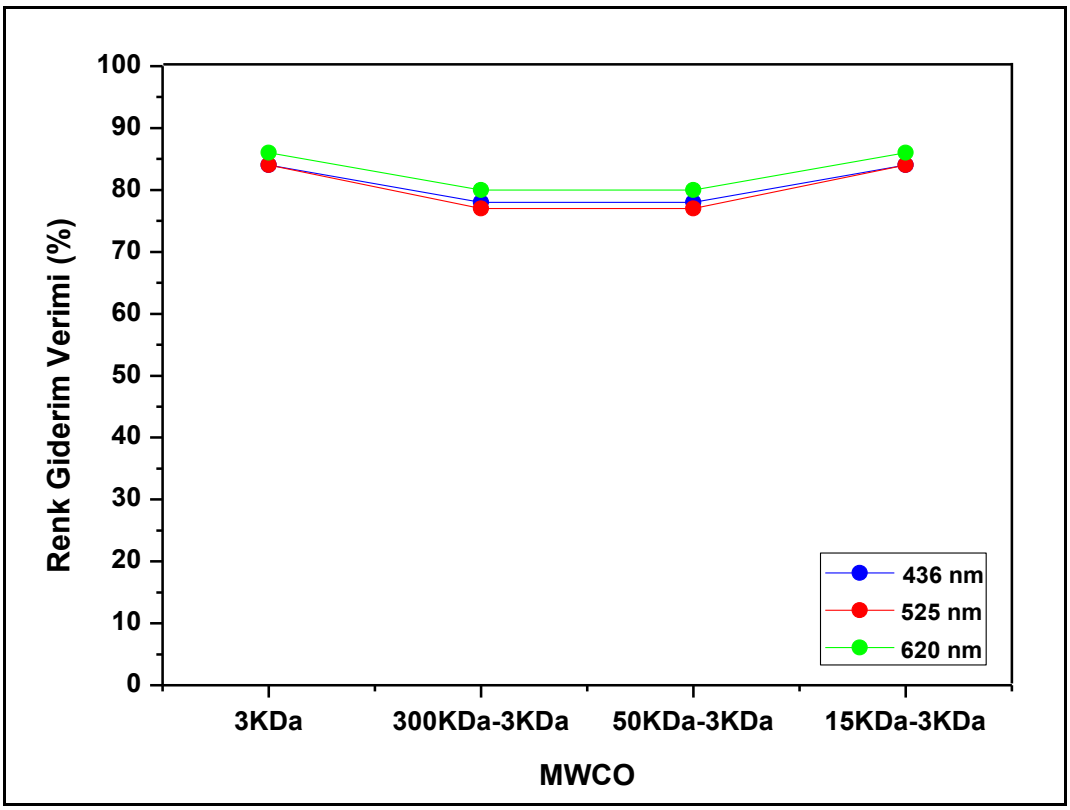
Şekil 4.78: Emprime Karışım 2.set için renk giderimi (%).



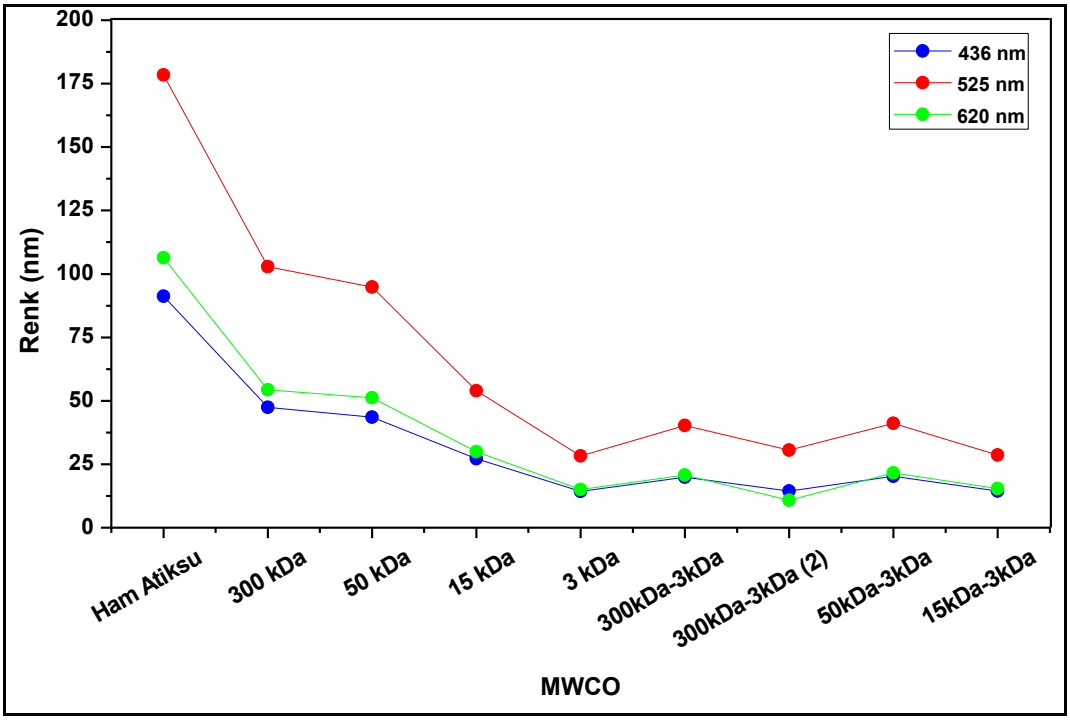
Şekil 4.79: Emprime Karışım 3.set için Renk RES değerleri (nm) ve giderimi (%).



Şekil 4.80: Emprime Karışım 3 kDa için renk RES değerleri (nm).

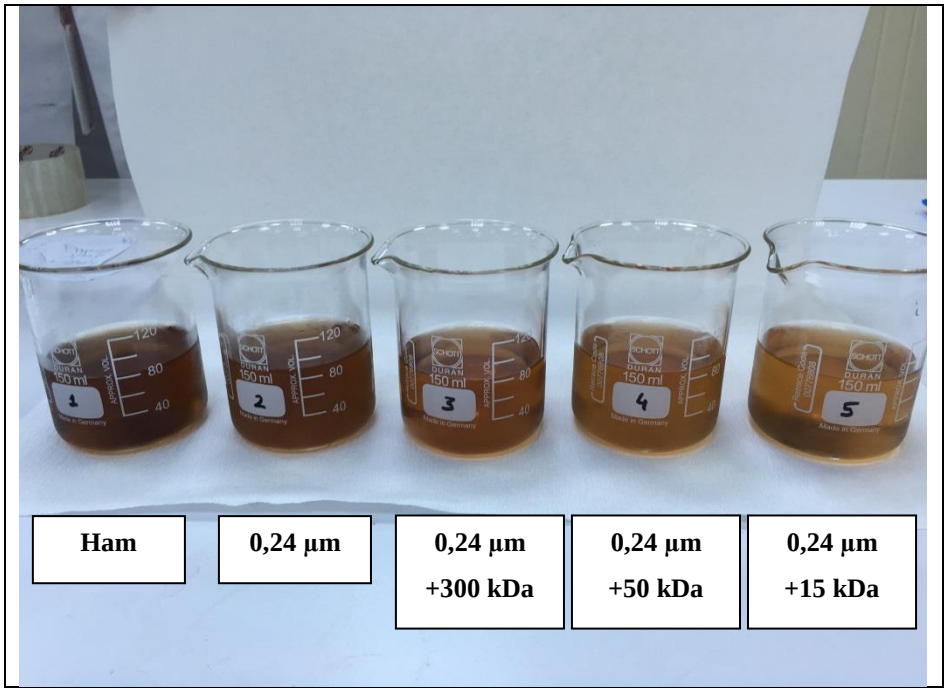


Şekil 4.81: Emprime Karışım 3 kDa için renk giderim verimi (%).

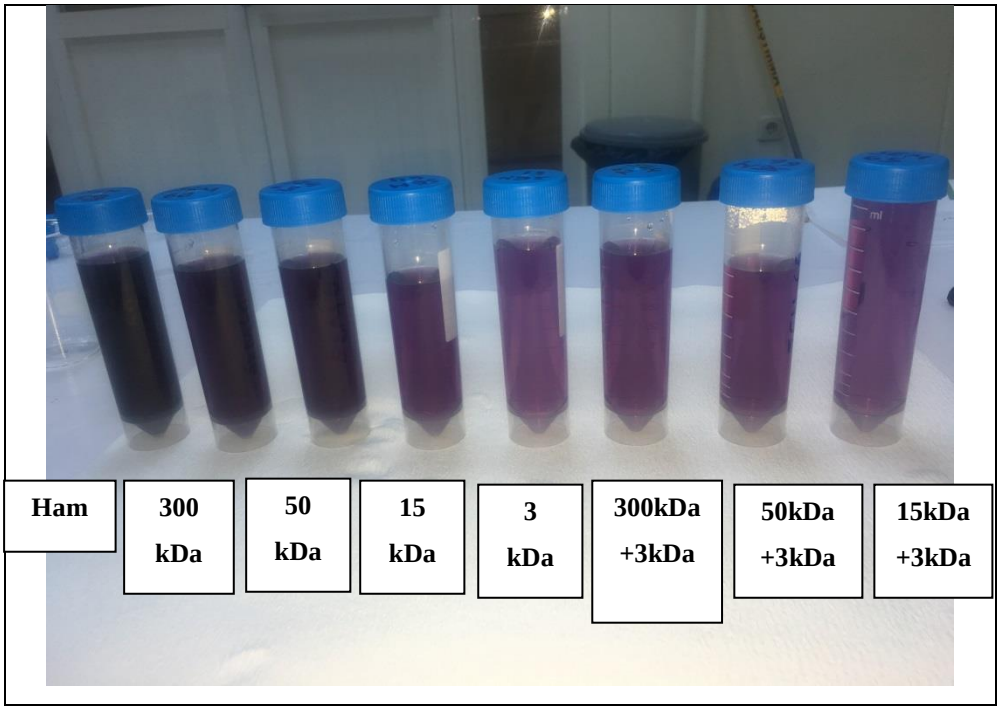


Şekil 4.82: Emprime Karışım Renk RES değerleri (nm).

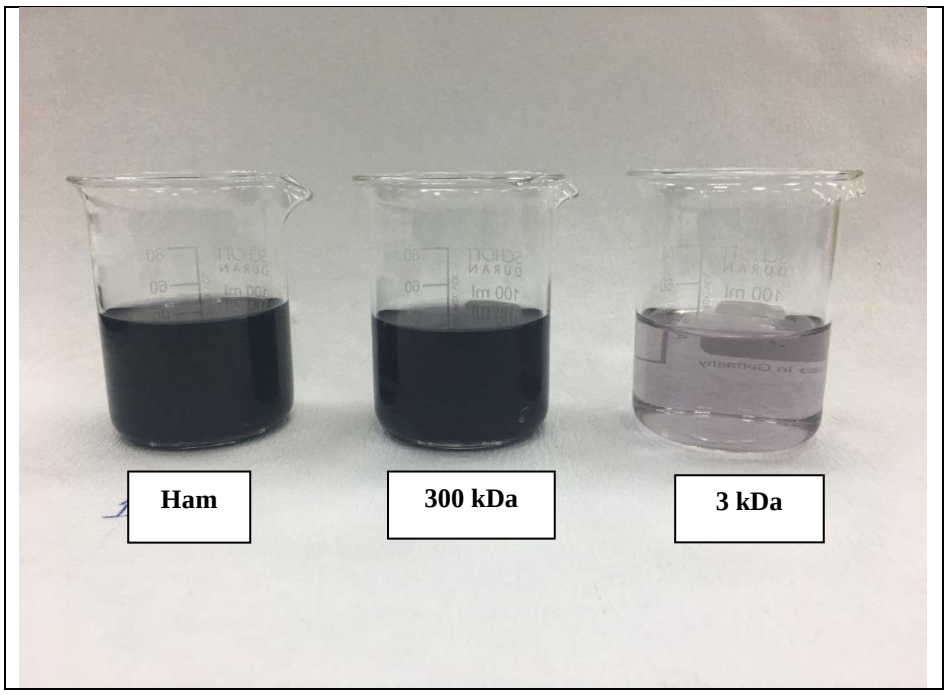
Boyalı sıcak atıksular içerisinde en renkli numune olan emprime karışım noktasına ait ham atıksu ve farklı MWCO membranlarda elde edilen süzüntülere ait fotoğraflar Şekil 4.83 - Şekil 4.85' de verilmektedir.



Şekil 4.83: Emprime karışım 1.set ham ve süzüntüler.



Şekil 4.84: Emprime karışım 2.set ham ve süzüntüler.



Şekil 4.85: Emprime karışım 3.set ham ve süzüntüler.

4.2.1.3.2. Emprime Karışım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Akı Davranışlarının Değerlendirilmesi

Emprime karışım birinci, ikinci ve üçüncü.set seramik membran filtrasyonu akı değerlendirilmesine ait sonuçlar Tablo 4.40 - Tablo 4.42' de verilmiştir.

MWCO esaslı akı grafikleri ve akı azalma oranları sırası ile Şekil 4.86 - Şekil 4.93' te verilmiştir. Akı geri kazanım grafikleri ise Şekil 4.94 - Şekil 4.96' da verilmiştir.

Ön arıtımı yapılımış emprime karışım birinci sete ait numuler 5 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa, 3 kDa (2 defa) ve 1 kDa) gözenek boyutunda filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. MF seviyesinde ayırmanın kirletici giderimi üzerine etkisinin çok az aldığı görülünce ham numune doğrudan 3 kDa (sıkı UF) seramik membrandan süzülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. UF+Sıkı UF etkisinin görülmesi maksadı ile 50 kDa süzüntüsü 1 kDa seramik membrandan süzülmüştür.

Birinci set, atıksu akıları 3 kDa ve 1 kDa seramik membranlarda yakın değerlerde (9 $L/m^2/sa$) kararlı duruma gelmiştir (Şekil 4.86). Beklendiği üzere düşük MWCO membranda düşük atıksu akısı gözlenmiştir. Birinci set gerçekleşen 8 filtrasyon deneyinde, fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su akısına etkisinin yakın

olduğu görülmüştür. Geri yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanım oranı 50 kDa+1 kDa (UF+Sıkı UF) deneyinde belirgin bir şekilde yüksektir (%74) (Şekil 4.94). Birinci set akı azalma grafikleri incelendiğinde, 300 kDa membranı çalışması sonuçları, diğer membran çalışması sonuçlarından bir miktar farklılık göstermiştir. 300 kDa membran ile yapılan çalışmada, akı düşmesinde üç kademe dikkat çekmektedir. Akı, 10 dakika gibi kısa bir süre içinde yaklaşık %60 oranda azalarak, başlangıcının %40'ı seviyesine düşmüş, daha sonra ise akının %40 seviyesinden, %30 seviyesine düşmesi 90 dk kadar sürmüştür. Üçüncü kırılım ise %30 seviyesinde gözlenmiş, 10 dk gibi kısa bir sürede akı %20 seviyelerine düşmüştür. Atıksuda bulunan organik maddenin yaklaşık %67'si, 300 kDa boyutu üstündedir. Atıksu karakterizasyonu da dikkate alındığında hem gözenek tıkanması, hem de kek kirlenmesi açısından 300 kDa membranında görülen davranış bir miktar nalaşılabilmektedir. Bu durum, ilk anda tıkanmanın gözenek içlerinde gerçekleşerek hızlı bir akı düşmesine sebep olması, daha sonra ise yüzeyde kek oluşumuna bağlı olarak ikinci bir kırılma yaşanması ile açıklanabilir.

İkinci sete ait numuler 4 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa) gözenek boyutunda filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Atıksu akıları 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa seramik membranlarda yakın değerlerde (15-23 $L/m^2/sa$) kararlı duruma gelmiştir (Şekil 4.87). Akı azalması %80-%90 oranlarında 300 kDa ve 50 kDa membranlarda görülmüştür. İlk 25 dakikada en hızlı akı azalması %50-%60 oranında 300kDa membranda görülmüştür (Şekil 4.91). Her dört MWCO için fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su akısına etkisinin yakın olduğu görülmüştür. Atıksu filtrasyonu sonrasında gözenek tıkanmasının en çok olduğu saf su akısında geri kazanımı %37 olarak 3 kDa' da görülmüştür (Tablo 4.41).

UF+sıkı UF ile direk UF veya sıkı UF deneylerinde atıksu akısı ve saf su geri kazanımı açısından belirgin farklar bulunmaktadır. 3 kDa atıksu akıları değerlendirildiğinde daha öncesinde uygulanan ön arıtmanın atıksu akısına olumlu etkisi bulunmaktadır. Hamdan yapılan deneyde atıksu akısı 23 $L/m^2/sa$ iken 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa süzüntülerinde elde edilen atıksu akıları sırası ile 87, 85 ve 132 $L/m^2/sa$ olarak gerçekleşmiştir. Benzer şekilde geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanımı 15 kDa+3 kDa için %88 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.95). Bu sebeple membran açısından emprime karışım filtrasyonunda UF+sıkı UF uygulanması uygun olacağı düşünülmektedir.

Üçüncü set için emprime karışım noktasından alınan numune ile 300 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) membranlar kullanılarak çapraz akış membran filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait akıların değerleri Tablo 4.42' de verilmiştir. MWCO esaslı akı grafikleri ve akı azalma oranları sırası ile Şekil 4.88 - Şekil 4.96'da verilmiştir. 300 kDa ve 3 kDa seramik membranlarda atıksu akıları yakın değerlerde (39-30 $L/m^2/sa$) kararlı duruma gelmiştir (Şekil 4.88). İlk 25 dakikada akı azalma oranları 300 kDa için %20-%30 iken 3 kDa için bu oran %10-%20'dir. Filtrasyon deneyi değerlendirildiğinde akı azalma oranı 3 kDa membran için %30-%40 iken 300 kDa membranda bu değer %60-%70 değerindedir (Şekil 4.92). Fiziksel temizlik sonrasında saf su akısının geri kazanım oranları 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile %42 ve %48, kimyasal temizlik sonrasında geri kazanım oranları ise %79 ve %95 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.96).

.

Tablo 4.40: Emprime Karışım 1. Set akı sonuçları.

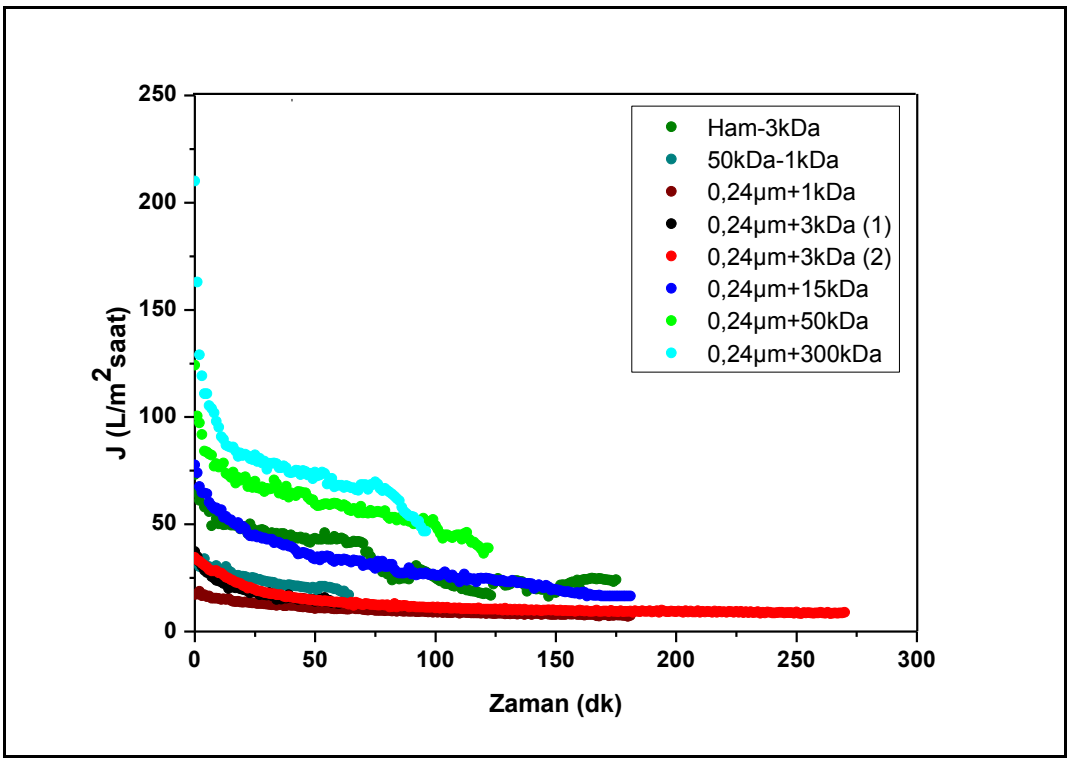
Emprime Karışım 1. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Geri Yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Geri yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
0,24 µm+ 300 kDa	2.288	48	828	943	1.905	36	41	83
0,24 µm+ 50 kDa	906	39	190	200	759	21	22	84
0,24 µm+ 15kDa	291	17	73	83	206	25	29	71
0,24 µm+ 3 kDa	221	13	82	89	222	37	41	100
3 kDa (2)	244	9	57	64	222	23	26	91
0,24 µm+ 1 kDa	284	8	54	65	120	19	23	42
50 kDa+1 kDa	120	18	89	89	121	74	74	100
Hamdan 3kDa	272	24	89	110	276	33	40	100
*Membran firmasının verdiği sıcaklık düzeltme katsayıları kullanılarak saf su akıları atıksu sıcaklığına göre normalize edilmiştir.								

Tablo 4.41: Emprime Karışım 2. Set akı sonuçları.

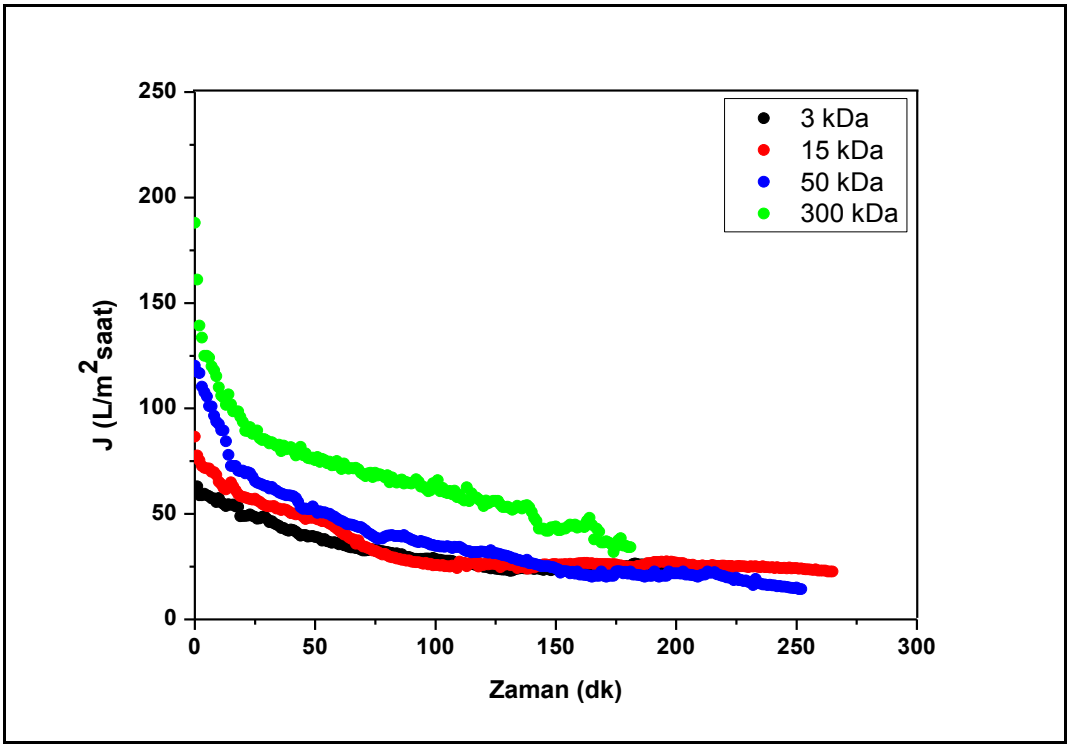
Emprime Karışım 2. Set	Saf su akısı ($L/m^2/sa$)*	Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)	Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)*	Geri Yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)*	Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)*	Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)	Geri yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)	Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)
300 kDa	1.867	35	938	942	1.772	50	50	95
50 kDa	775	15	353	359	675	46	46	87
15 kDa	216	23	93	94	218	43	43	100
3 kDa	185	23	67	69	184	36	37	99
300 kDa+3 kDa	289	87	170	179	270	59	62	93
50 kDa+3 kDa	320	85	208	216	320	65	67	100
15 kDa+3 kDa	251	132	218	221	255	87	88	100

Tablo 4.42: Emprime Karışım 3. Set akı sonuçları.

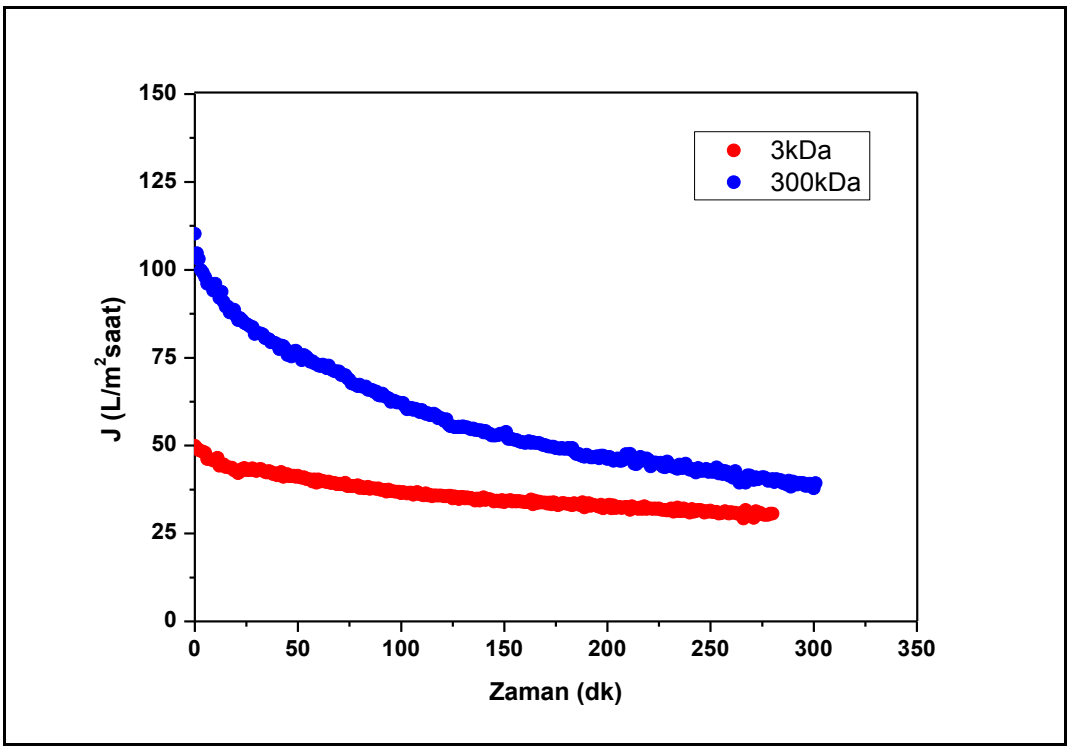
Emprime Karışım 3. Set	Saf su akısı ($L/m^2/sa$)*	Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)	Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)*	Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)*	Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)	Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)
300 kDa	1.029	39	427	813	42	79
3 kDa	228	30	108	216	48	95



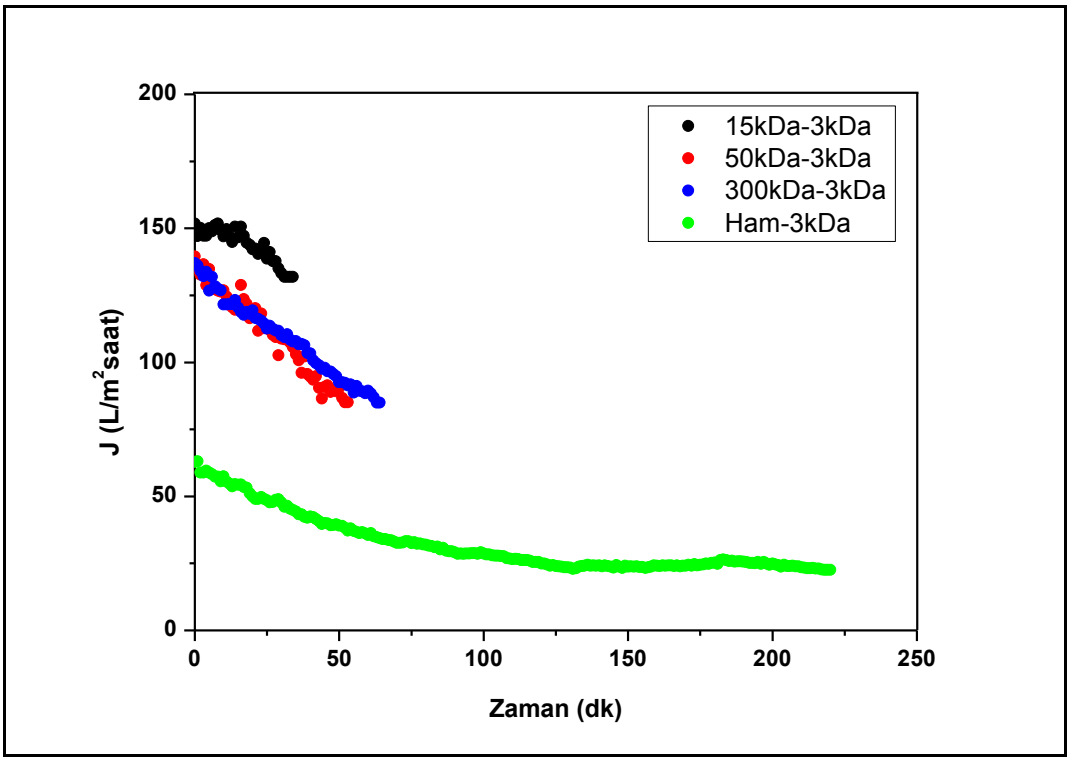
Şekil 4.86: Emprime Karışım 1.set atıksu akısı zaman grafiği.



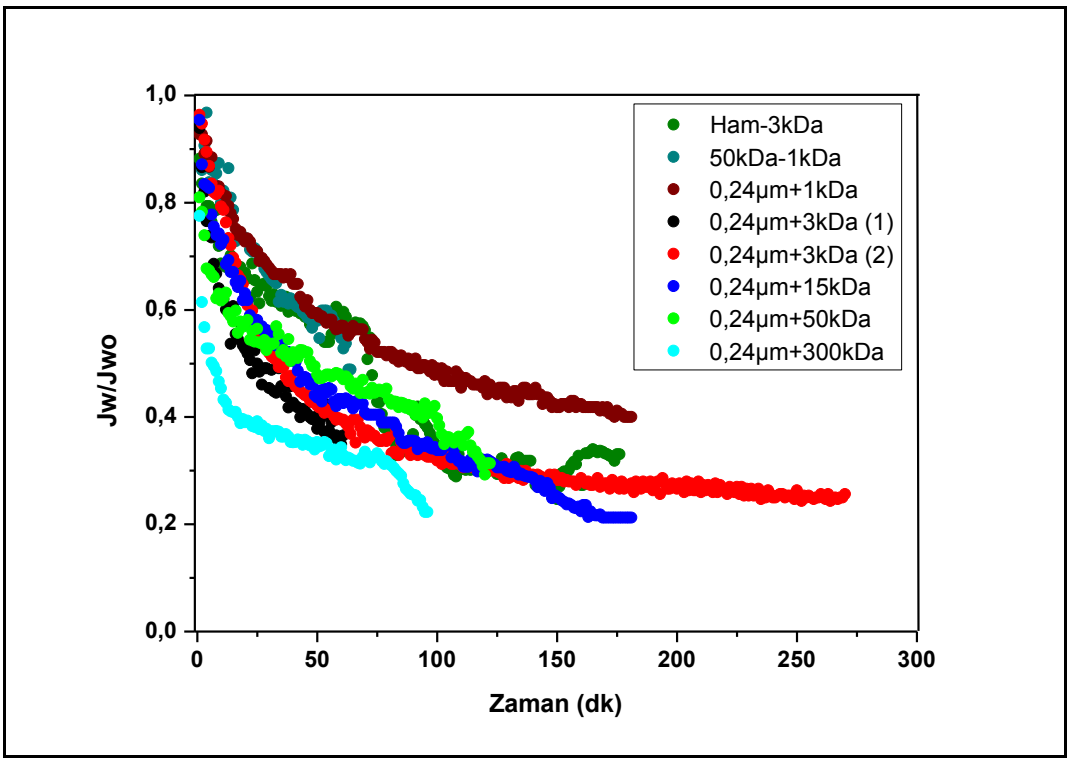
Şekil 4.87: Emprime Karışım 2.set atıksu akısı zaman grafiği.



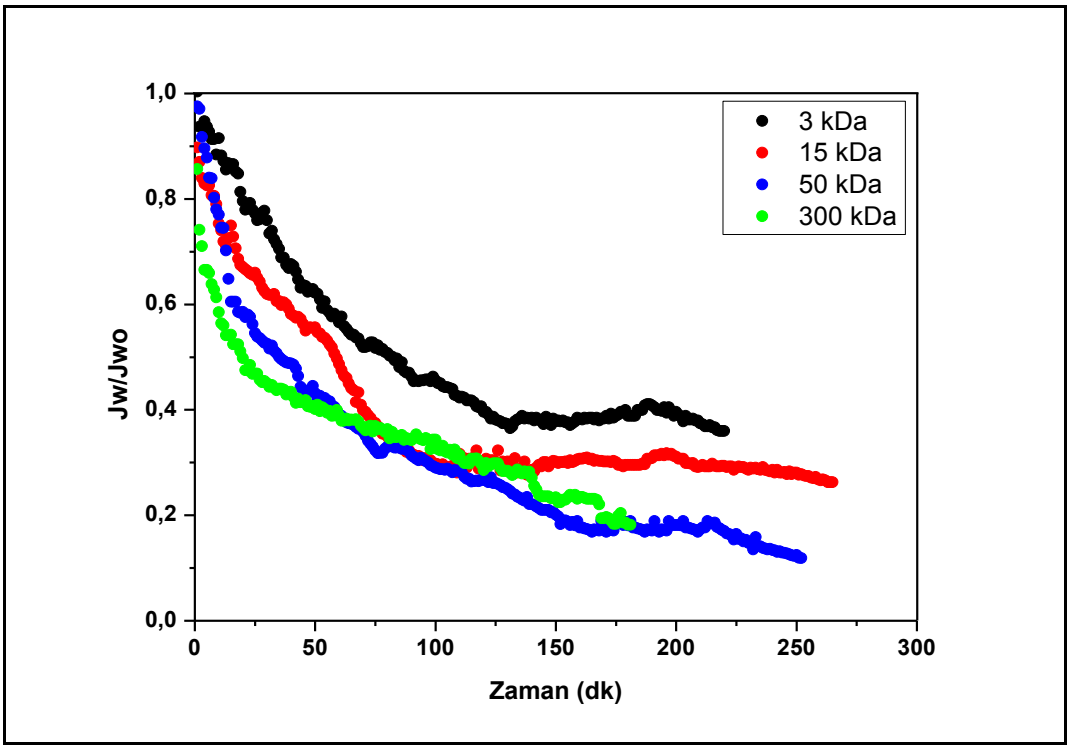
Şekil 4.88: Emprime Karışım 3.set atıksu akısı zaman grafiği.



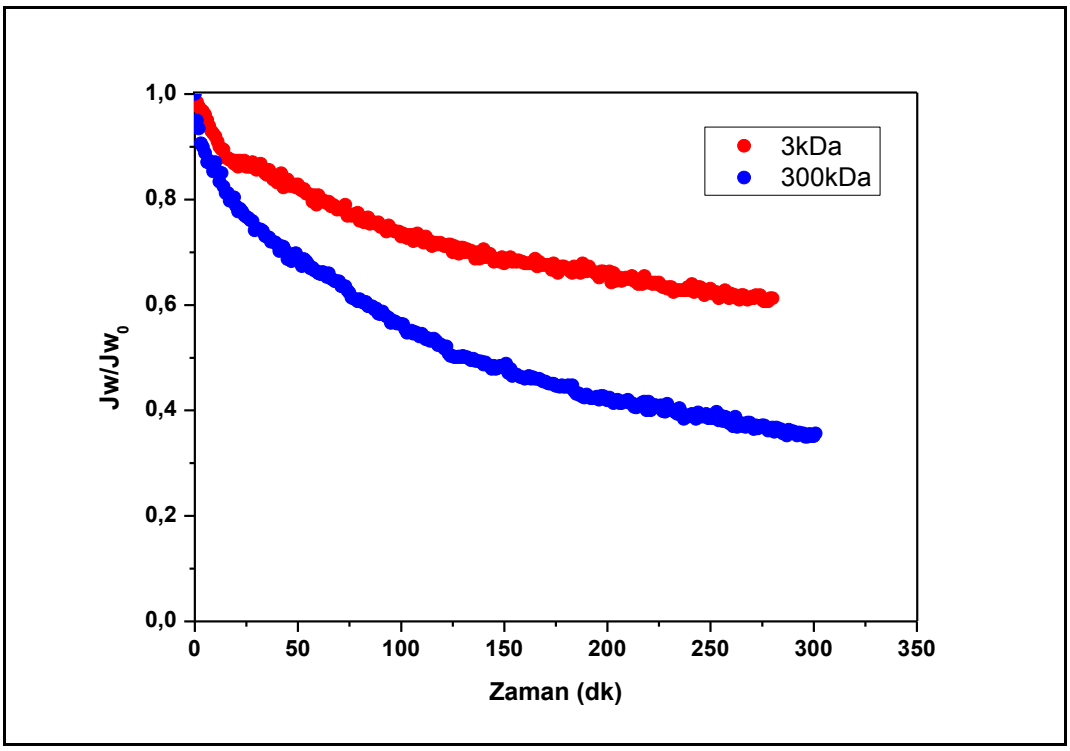
Şekil 4.89: Emprime Karışım 2.set 3 kDa atıksu akısı zaman grafiği.



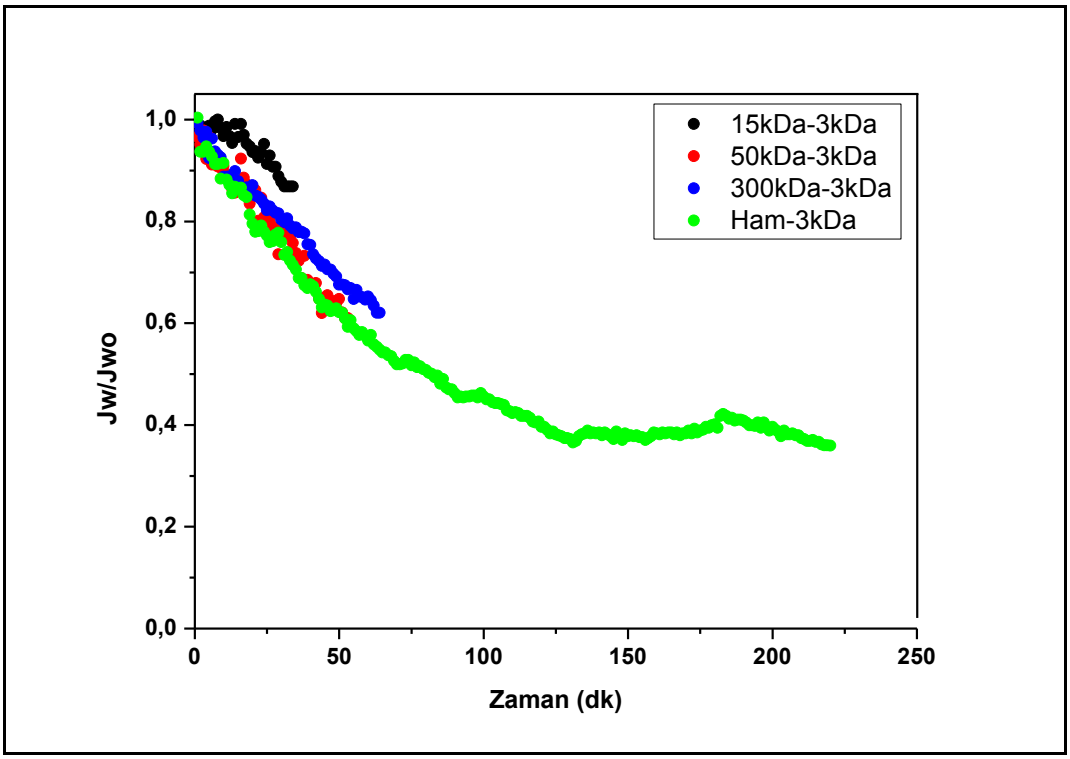
Şekil 4.90: Emprime Karışım 1.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



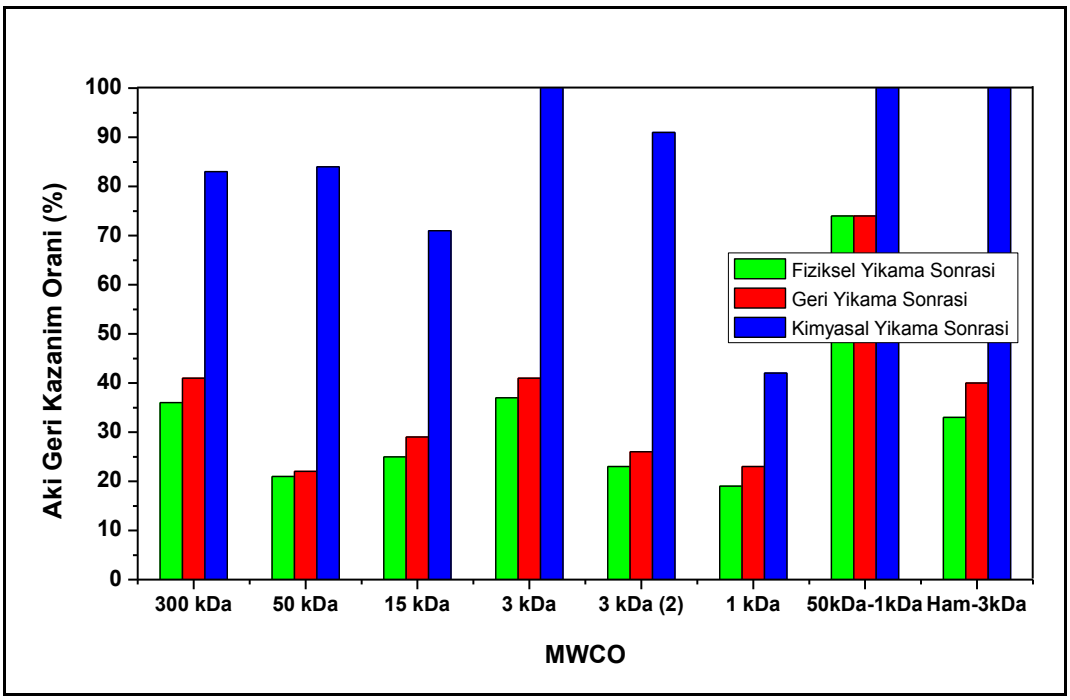
Şekil 4.91: Emprime Karışım 2.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



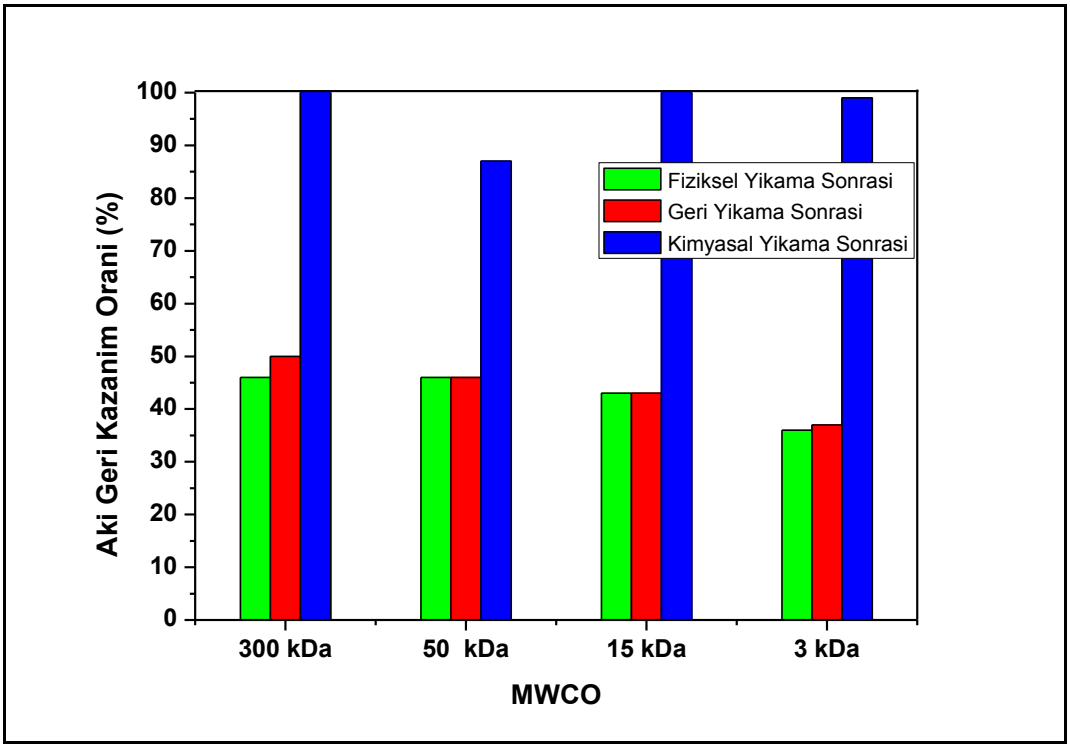
Şekil 4.92: Emprime Karışım 3.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jwo).



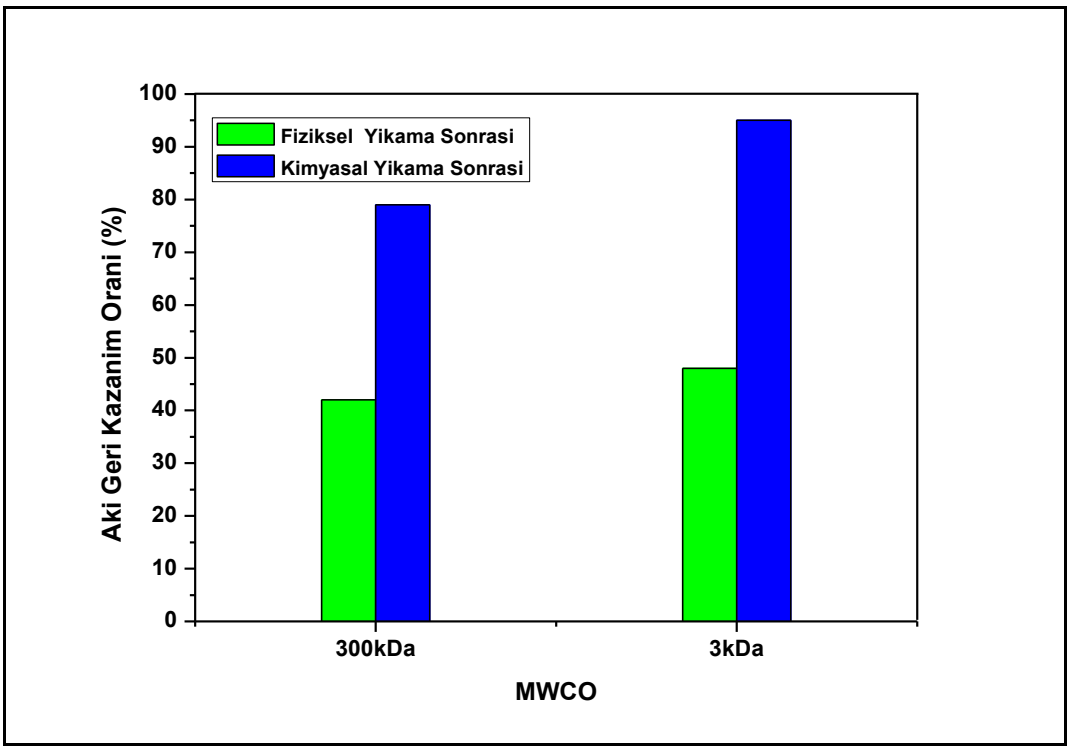
Şekil 4.93: Emprime Karışım 2.set 3 kDa atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



Şekil 4.94: Emprime Karışım 1.set akı geri kazanım oranları (%).



Şekil 4.95: Emprime Karışım 2.set akı geri kazanım oranları (%).



Şekil 4.96: Emprime Karışım 3.set akı geri kazanım oranları (%).

4.2.1.3.3. Emprime Karışım Noktası ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi

Emprime karışım kazanım noktasından alınan numune ile yapılan tüm deneylerde oluşan etkin kirlenme mekanizması "seri direnç modeli" ile incelendiğinde beklendiği üzere etkin mekanizma fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmuştur (Şekil 4.98 - Şekil 4.104).

Birinci set deneylerde ön arıtım olarak 0,24 µm MF membran süzüntüleri farklı MWCO seramik membranlar ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Birinci set deneylerde, kirlenmemiş membranın en düşük saf su direnci $4{,}43*10^{11}(m^{-1})$ değeri ile 300 kDa membranda, en büyük saf su direnci ise $2{,}1*10^{13}(m^{-1})$ değeri ile 1 kDa membranda görülmüştür. Beklendiği üzere MWCO değeri azaldıkça saf suda gerçekleşen membran direnci artmaktadır. Atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan en büyük toplam direnç değerleri 3 kDa ve 1 kDa için sırası ile $2{,}49*10^{14}(m^{-1})$, $3{,}37*10^{14}(m^{-1})$ olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.43). Saf su direnci ile toplam direnç arasında görülen en büyük fark 47 kat değeri ile beklendiği üzere 300 kDa membranda gerçekleşmiştir. Tüm gözenek çaplarında toplam direncin

en büyük bileşeni %78 ve üzerindeki oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) %3 ile %15 arasında değişmektedir (Şekil 4.98).

İkinci set deneylerde ham numune, 300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa membranlardan filtre edilmiştir. Ayrıca UF+UF, UF+sıkı UF şeklinde gerçekleşen iki kademeli filtrasyonlar gerçekleştirilmiştir.

İkinci set deneylerde, kirlenmemiş membranın en düşük saf su direnci $5{,}43*10^{11}(m^{-1})$ değeri ile 300 kDa membranda, en büyük saf su direnci ise $1{,}1*10^{13}(m^{-1})$ değeri ile 3 kDa membranda görülmüştür. Atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan en büyük toplam direnç değeri 50 kDa membran için $1{,}38*10^{14}(m^{-1})$ olarak gerçekleşmiştir.

UF+sıkı UF iki kademe deneylerinde atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan toplam direnç değeri tek kademeye göre daha düşük bulunmuştur (Tablo 4.44). Tek kademe deneylerinde toplam direncin en büyük bileşeni %67 ve üzerindeki oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen dirençtir (Şekil 4.100).

İki kademe deneylerinde benzer durum 300 kDa+3 kDa ve 50 kDa+3 kDa deneylerinde görülmekte olup 15 kDa+3 kDa deneyinde etkin mekanizma kimyasal olarak giderilemeyen (Rif) direnç olmuştur (Şekil 4.102).

Üçüncü set deneylerde, kirlenmemiş membranın saf su direnci, 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile $9{,}88*10^{11}(m^{-1})$ ve $8{,}92*10^{12}(m^{-1})$ iken atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan toplam direnç 300 kDa için 26 kat artarak $2{,}6*10^{13}$ (m^{-1}), 3 kDa için 7,5 kat artarak $6{,}67*10^{13}(m^{-1})$ olarak bulunmuştur (Tablo 4.45).

Fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç değerinin toplam direnç içerisindeki payı 300 kDa ve 3 kDa membranlarda sırası ile %90,9 ve %71,9 olarak bulunmuştur. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) 300 kDa ve 3 kDa için sırası ile %5,3 ve %14,7 olarak bulunmuştur (Şekil 4.104).

Tubular membranlar ile gerçekleşen emprime karışım noktasından sıcak su geri kazanımı deneylerinde gerçekleşen kirlenme mekanizması eğilim olarak disk membranlara benzer olmakla beraber rakamsal farklar oluşmuştur. Ayrıca tüm deneylerde etkin kirlenme mekanizması fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmuş olup genel olarak kimyasal sonrası geri kazanım oranları yüksektir.

Tablo 4.43: Emprime Karışım Noktası 1. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

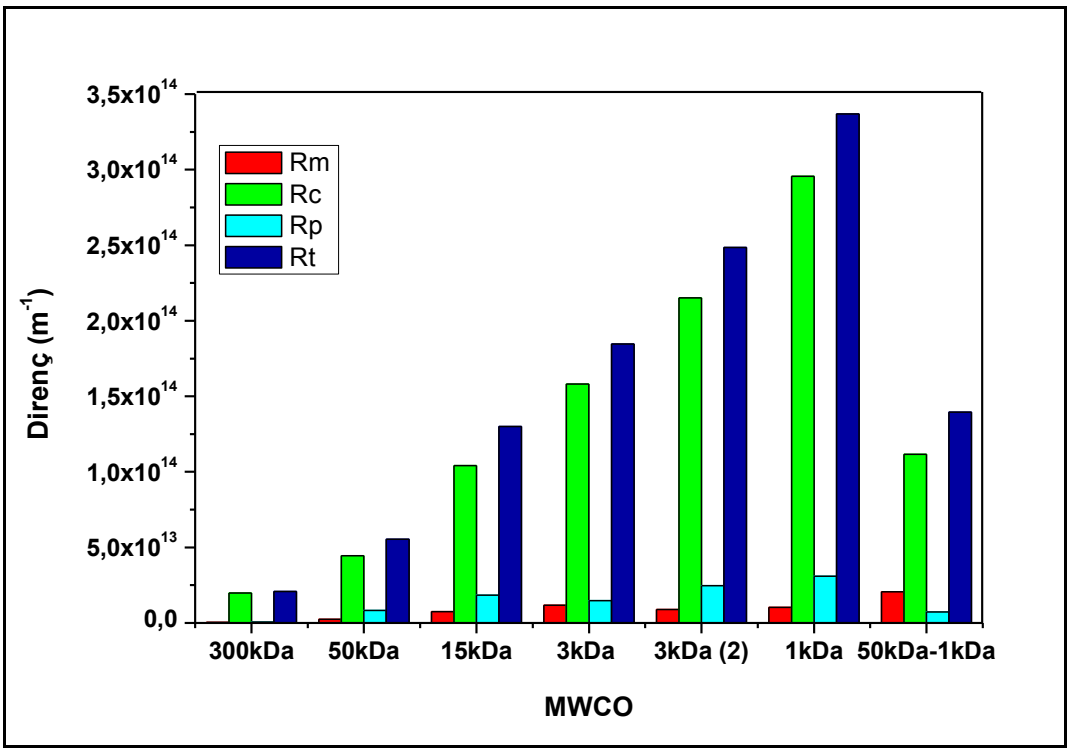
Emprime Karışım 1. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc1(m^{-1})**	**Rc2 (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
0,24 µm+ 300 kDa	4,43E+11	1,97E+13	1,50E+11	1,98E+13	6,32E+11	2,09E+13	2,12	94,9	3,0
0,24 µm+ 50 kDa	2,37E+12	4,40E+13	5,43E+11	4,46E+13	8,39E+12	5,53E+13	4,29	80,6	15,2
0,24 µm+ 15 kDa	7,38E+12	1,01E+14	3,39E+12	1,04E+14	1,85E+13	1,30E+14	5,68	80,1	14,2
0,24 µm+ 3 kDa	1,17E+13	1,54E+14	3,68E+12	1,58E+14	1,47E+13	1,85E+14	6,34	85,7	8,0
3kDa (2)	8,83E+12	2,11E+14	4,48E+12	2,15E+14	2,46E+13	2,49E+14	3,55	86,6	9,9
0,24 µm+ 1 kDa	1,02E+13	2,89E+14	6,95E+12	2,96E+14	3,09E+13	3,37E+14	3,04	87,8	9,2
50 kDa+1 kDa	2,05E+13	1,12E+14	-1,13E+11	1,12E+14	7,24E+12	1,39E+14	14,73	80,1	5,2
Hamdan 3 kDa	7,91E+12	6,47E+13	4,43E+12	6,91E+13	1,17E+13	8,88E+13	8,91	77,9	13,2

Tablo 4.44: Emprime Karışım Noktası 2. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

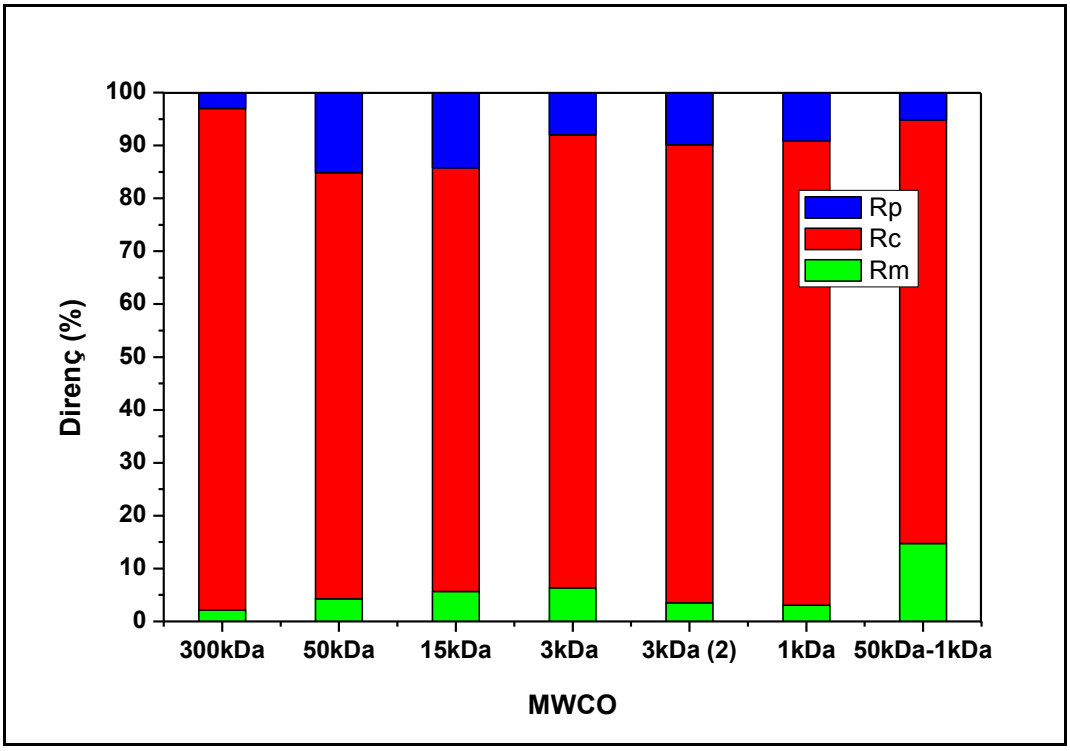
Emprime Karışım 2. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc1(m^{-1})**	**Rc2 (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
300 kDa	5,43E+11	2,78E+13	4,71E+09	2,78E+13	5,34E+11	2,89E+13	1,9	96,3	1,85
50 kDa	2,62E+12	1,33E+14	9,21E+10	1,33E+14	3,04E+12	1,38E+14	1,9	95,9	2,20
15 kDa	9,40E+12	6,66E+13	1,96E+11	6,68E+13	1,23E+13	8,85E+13	10,6	75,5	13,84
3 kDa	1,10E+13	5,78E+13	1,18E+12	5,90E+13	1,83E+13	8,83E+13	12,4	66,9	20,72
300 kDa+3 kDa	7,02E+12	1,14E+13	6,54E+11	1,20E+13	4,29E+12	2,33E+13	30,1	51,5	18,39
50 kDa+3 kDa	6,34E+12	1,41E+13	3,49E+11	1,44E+13	3,07E+12	2,38E+13	26,6	60,5	12,87
15 kDa+3 kDa	7,56E+12	5,68E+12	1,16E+11	5,80E+12	1,02E+12	1,44E+13	52,6	40,3	7,10

Tablo 4.45: Emprime Karışım Noktası 3. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

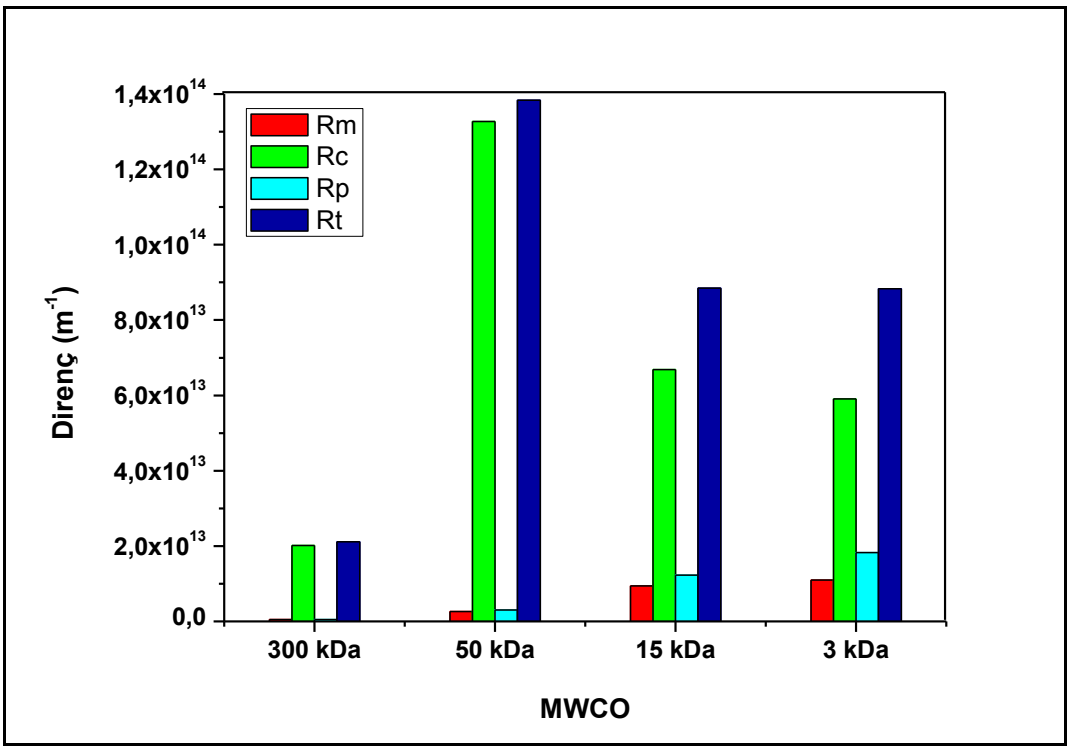
Emprime Karışım 3. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
300 kDa	9,88E+11	2,37E+13	1,39E+12	2,60E+13	3,8	90,9	5,3
3 kDa	8,92E+12	4,80E+13	9,82E+12	6,67E+13	13,4	71,9	14,7



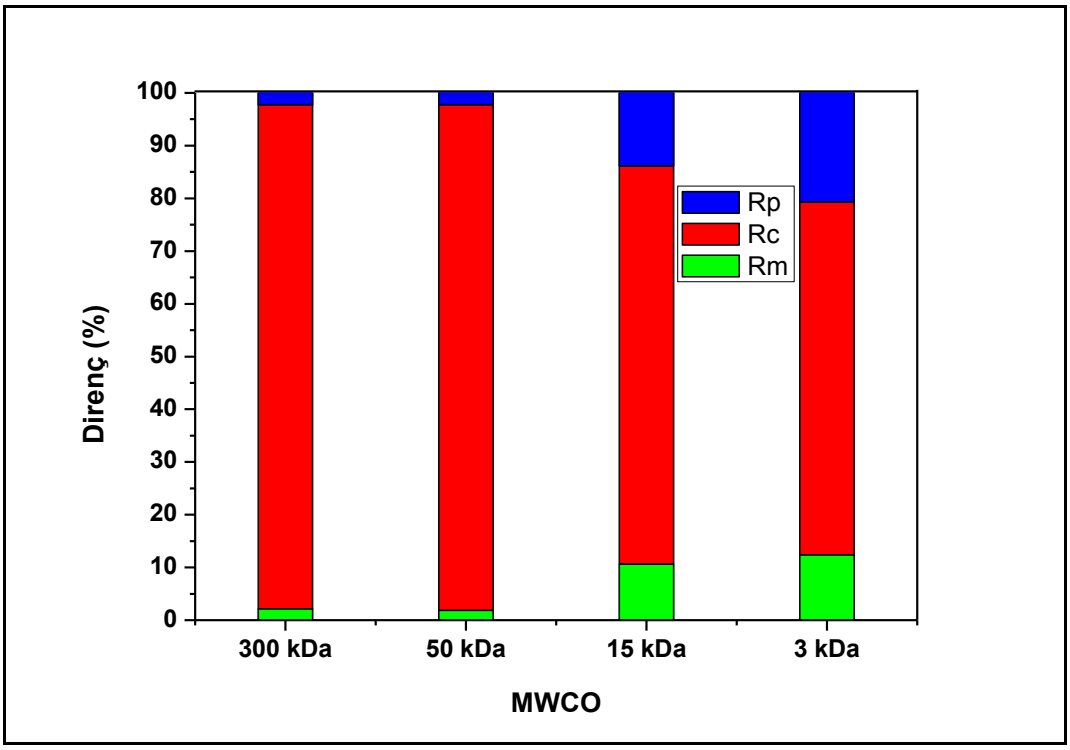
Şekil 4.97: Emprime Karışım 1.set direnç değerleri (m^{-1}).



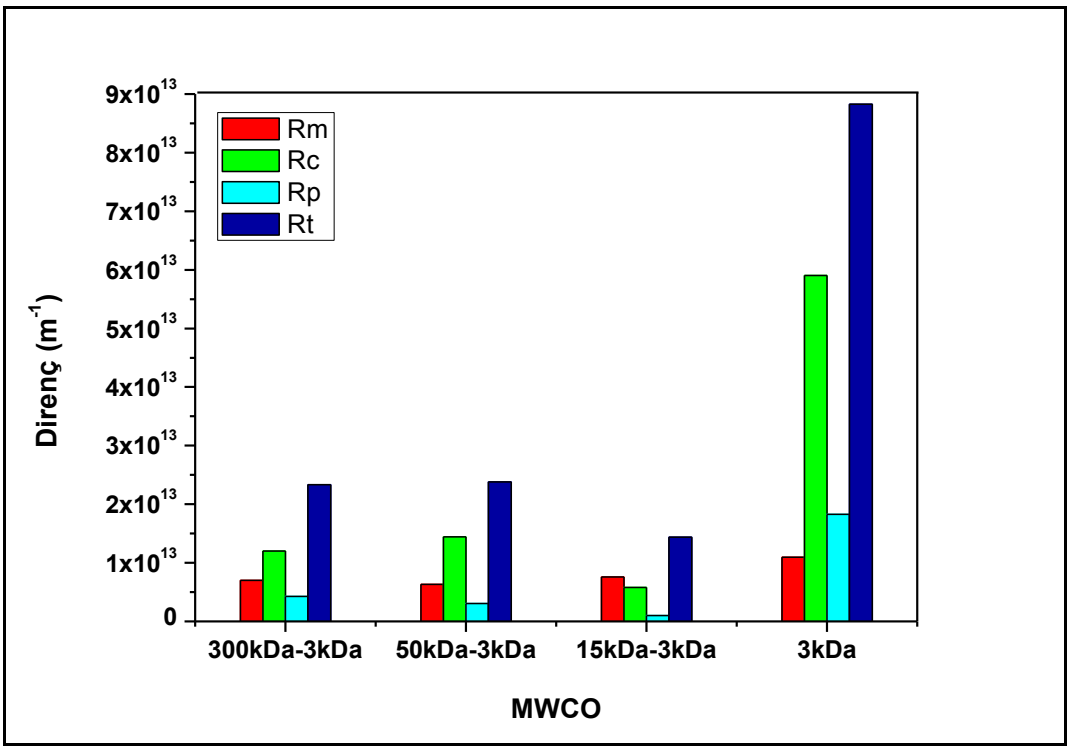
Şekil 4.98: Emprime Karışım 1.set direnç oranları (%).



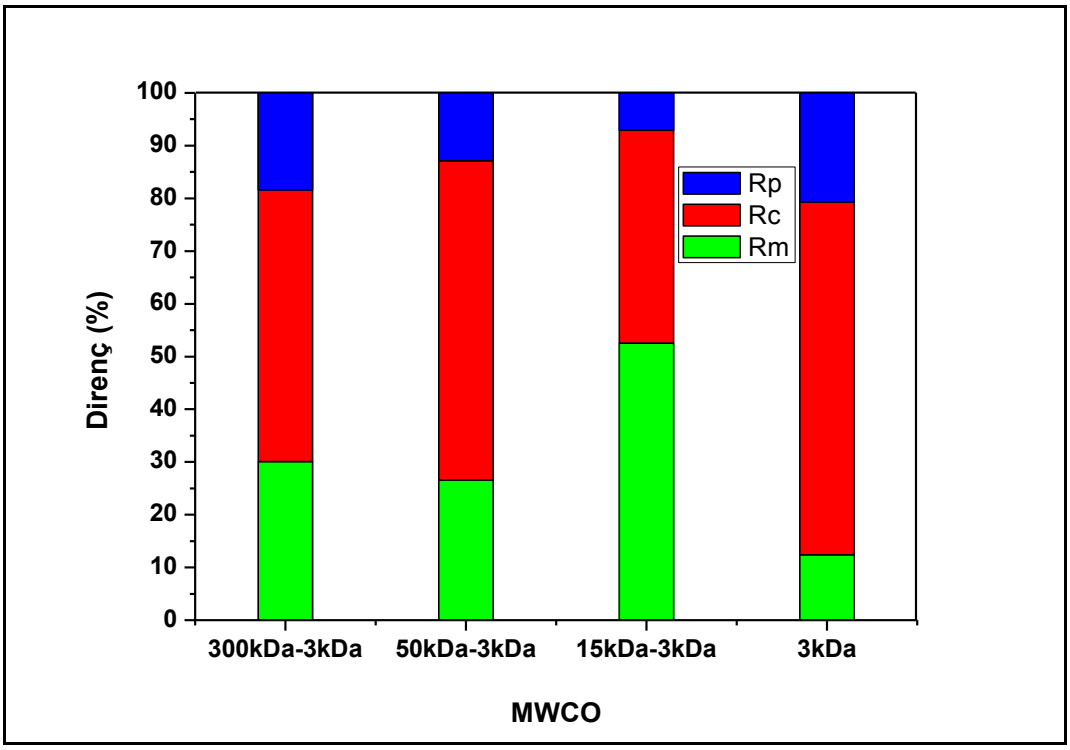
Şekil 4.99: Emprime Karışım 2.set direnç değerleri (m^{-1}).



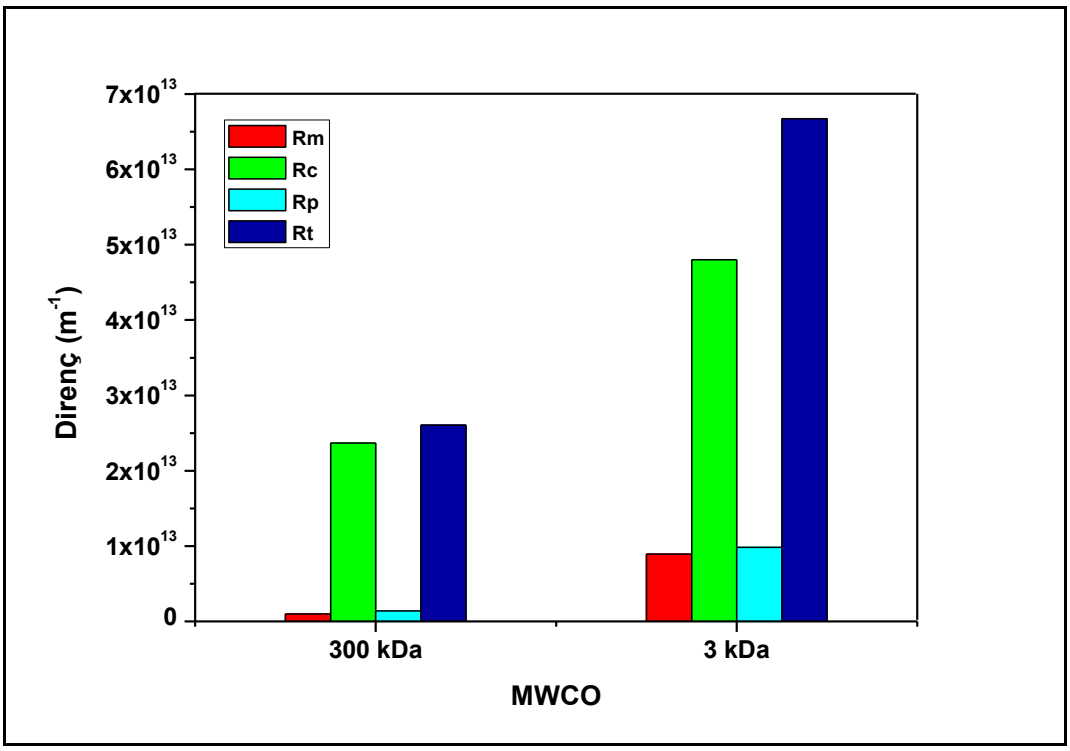
Şekil 4.100: Emprime Karışım 2.set direnç oranları (%).



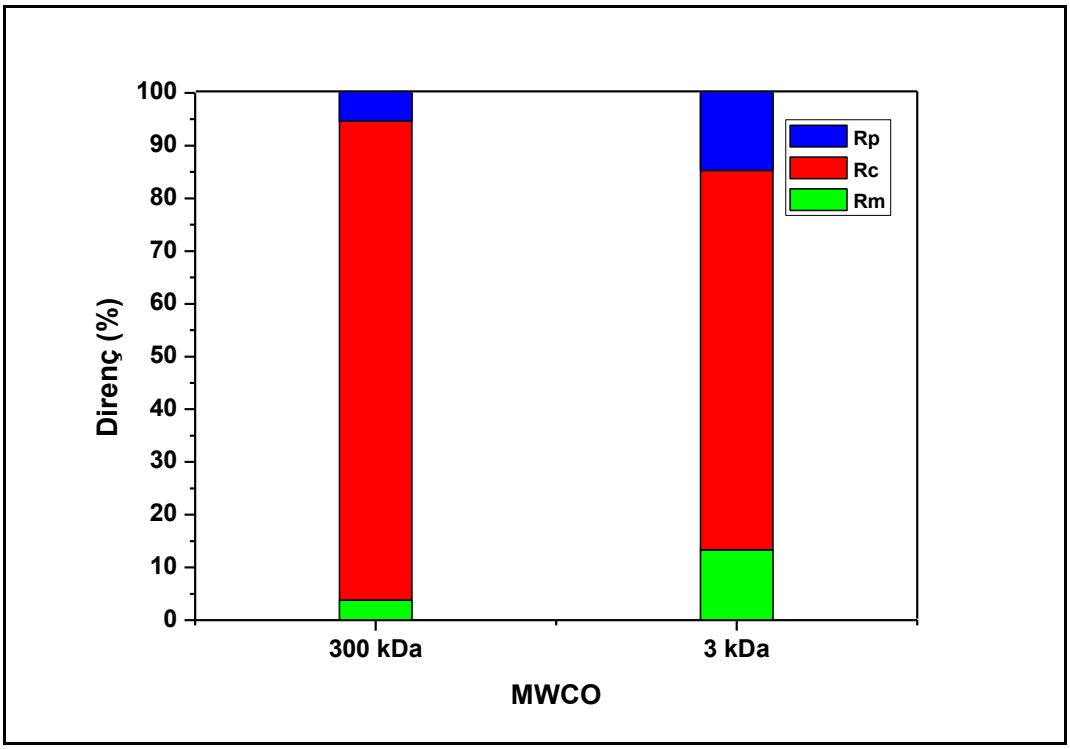
Şekil 4.101: Emprime Karışım 2.set 3 kDa için direnç değerleri (m^{-1}).



Şekil 4.102: Emprime Karışım 2.set 3 kDa için direnç oranları (%).



Şekil 4.103: Emprime Karışım 3.set direnç değerleri (m^{-1}).



Şekil 4.104: Emprime Karışım 3.set direnç oranları (%).

4.2.1.4. Viskon Kasar 4. Durulama Banyosundan Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi

Sıcak su geri kazanımı hedefi kapsamında dispers ve ısı geri kazanım noktalarında süzüntülerinde elde edilen yüksek organik madde içeriğinden dolayı sıcak su geri kazanımı hedefi için viskon kasar prosesinin 4. Durulama banyosuna ait sıcak atıksular 300 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) seramik membranlar ile çapraz akış filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 4.46'da verilmiştir.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde;

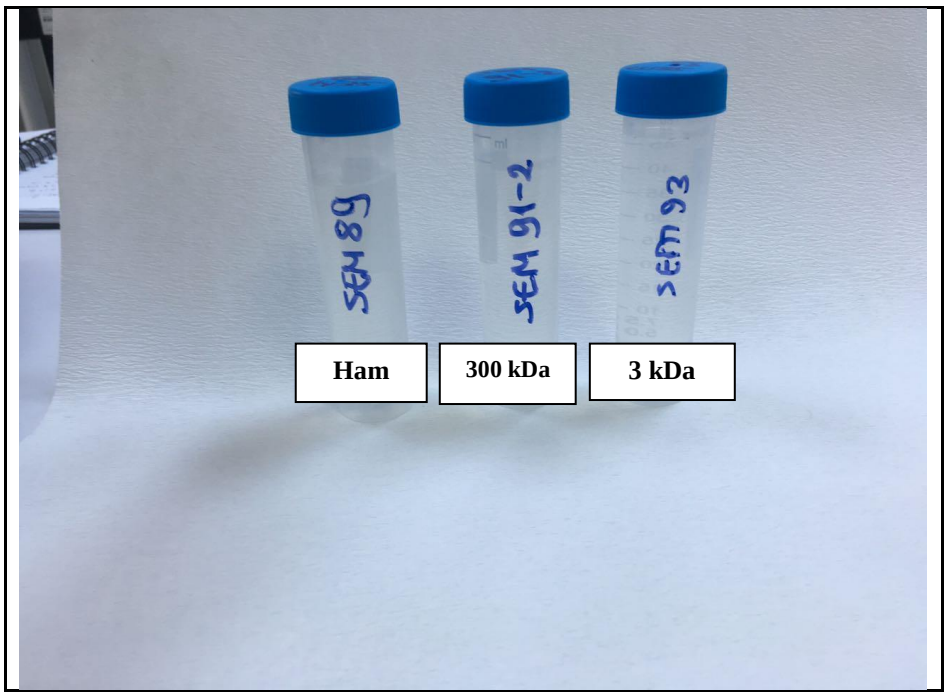
KOİ ham atıksu değeri 1.340 mg/L iken 300 kDa süzüntüsünde 1.132 mg/L ve 3 kDa süzüntüsünde 634 mg/L olarak ölçülmüştür. KOİ giderimi 3 kDa için %53 olmuştur.

TOK ham atıksu değeri 305 mg/L iken 300 kDa süzüntüsünde 338 mg/L ve 3 kDa süzüntüsünde 130 mg/L olarak ölçülmüştür. TOK giderimi 3 kDa için %57 olmuştur. 3 kDa (sıkı UF) süzüntüsünde organik miktarı oldukça yüksektir. Bu sebeple 4. durulama banyosunun geri kullanım açısından uygun olmadığı düşünülmektedir.

Renk giderimi açısından 3 kDa membran ile her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile %74, %76 ve %76 lık renk giderimi gerçekleşmiştir.

3 kDa süzüntüsünde elde edilen toplam sertlik değeri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L).

Viskon Kasar 4. Durulama banyosuna ait ham atıksu ve farklı MWCO membranlarda elde edilen süzüntülere ait fotoğraf Şekil 4.105' de verilmektedir.



Şekil 4.105: Viskon Kasar 4. Durulama ham ve süzüntüler.

Tablo 4.46: Viskon Kasar 4. Durulama analiz sonuçları.

Viskon Kasar 4. Durulama	**pH**	**EC (µs/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**	**Renk**				**Na+ (mg/L)**	**NaOH Hesap (mg/L)**	**Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L**	**Cl^- (mg/L)**
						Pt-Co	**436 nm**	**525 nm**	**620 nm**				
Ham	7,8	1.020	1.340	305	88	636	20,1	13,3	9,4	224	389	49	150
300 kDa	7,2	1.096	1.132	338	45	278	9,1	5,5	3,6	211	367	36	150
3 kDa	7,5	870	634	130	27	160	5,2	3,2	2,2	167	290	28	139

4.2.2. Kostik Geri Kazanımı Çalışmalarının Değerlendirilmesi

4.2.2.1.Viskon Kasar Ana Banyosundan Alınan Numunelerin Değerlendirilmesi

Kostik geri kazanımı hedefi doğrultusunda üç farklı tarihte alınan kasar ana banyosundan alınan numuneler ile çapraz akış membran filtrasyonları gerçekleştirilmiştir.

Alınan numunelerde atıksuyun hav içeriğinden dolayı (Şekil 4.106) önce 63 µm'lik kaba elekten süzülmüş sonrasında mikrofiltrasyon uygulanmıştır.



Şekil 4.106: Viskon Kasar Ana Banyosu atıksuyunda kaba elek sonrası kalan havlar.

4.2.2.1.1. Viskon Kasar Ana Banyo ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Ham ve Süzüntü Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Birinci set filtrasyon deneylerinde, MF seviyesinde ön arıtımı yapılmış numuneler 3 farklı MWCO (300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa) gözenek çapına sahip seramik membranlar ile filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

İkinci set filtrasyon deneylerinde, MF seviyesinde ön arıtımı yapılmış numuneler 15 kDa (UF) ve 15 kDa sonrası 1 kDa (UF+sıkı UF) seramik membranlardan süzülmüştür. 15 kDa ve 15 kDa+1 kDa sonuçları değerlendirildiğinde, KOİ, TOK ve renk giderimlerinin benzer olduğu görülmüştür.

Üçüncü set filtrasyon deneylerinde 63 µm elek ile kaba filtrasyonu yapılan ham numune ön arıtma için 0,2 µm ve 300 kDa membranlar denenmiştir. 0,2 µm çapraz akış membran filtrasyonu süzüntüleri ile tek bir numune elde edilerek 300 kDa, 15 kDa ve 3 kDa çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Birinci set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.47'de, ikinci. set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.48' te, üçüncü set deneylere ait analiz sonuçları Tablo 4.49' da verilmektedir.

Atıksuların geri kullanımı açısından izlenen parametrelerden KOİ, TOK ve Renk için MWCO esaslı kirletici giderim grafikleri Şekil 4.107 - Şekil 4.117' de verilmektedir.

Gerçekleşen tüm deneylerde beklendiği üzere, düşük MWCO değerlerinde kirletici giderim veriminin arttığı gözlenmiştir

Birinci set deneylerde 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa sonuçları değerlendirildiğinde, KOİ, TOK ve renk giderimlerinin benzer olduğu görülmüştür.

Birinci set KOİ ham atıksu değeri 33.400 mg/L iken 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa süzüntülerinde yaklaşık 6.000 mg/L ölçülmüştür. KOİ giderimi 15kDa için %81 olmuştur. İkinci set KOİ ham atıksu değeri 49.760 mg/L iken 15 kDa ve 15 kDa+1 kDa süzüntülerinde yaklaşık 6.300 mg/L ölçülmüştür. KOİ giderimi her iki filtrasyon için %87 olmuştur.. Üçüncü sette elde edilen minimum KOİ konsantrasyonu 6.020 mg/L olup ilk iki sette elde edilen minimum KOİ konsantrasyonu değerlerine yakındır (Şekil 4.107 - Şekil 4.109).

Birinci set TOK ham atıksu değeri 8.730 mg/L iken 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa süzüntülerinde yaklaşık 2.000 mg/L ölçülmüştür. TOK giderimi 15 kDa için %77 olmuştur. İkinci set TOK ham atıksu değeri 14.195 mg/L iken 15kDa süzüntüsünde 1.969 mg/L ve 15 kDa+1 kDa süzüntüsünde yaklaşık 1.713 mg/L ölçülmüştür. TOK giderimi 15 kDa+1 kDa için %88 olmuştur. Üçüncü sette elde edilen minimum TOK konsantrasyonu 729 mg/L'dir. Bu değer ilk iki sette elde edilen minimum TOK değerlerinden düşüktür (2.034 ve 1.713 mg/L). Bunun sebebi başlangıç TOK değerinin ilk iki sete göre az olmasıdır. Ancak TOK giderim verimleri üçüncü sette de benzerdir (Şekil 4.110 -Şekil 4.112).

Üçüncü set ham numunenin 23.140 mg/L KOİ değeri ve 4.718 mg/L TOK değeri ilk iki sete göre düşük olmakla beraber atıksu karakterizasyonundaki aralıklarda kalmaktadır. Bu farklılıkların kostik muamele edilen kumaşın metresi ile ilgili olduğu bilinmektedir. Kumaşın metresi arttıkça alıkonma süresi artmakta buda alınan numunede organik içeriğinin farklı olmasına neden olmaktadır. Bu durum, firmanın kostik içeriğini takip etmesi nedeni ile kostik miktarında görünmemekte ve kostik içeriği her numunede benzer çıkmaktadır. Üçüncü sette ham numunenin 0,2 µm veya 300 kDa membrandan süzülmesi arasında giderim verimi açısından önemli fark olmuştur. 0.2 µm ve 300 kDa membranlar için sırası ile KOİ giderimi %31 ve %46, TOK giderimi %27 ve %43 olarak gerçekleşmiştir.

Birinci set renk giderimi açısından 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa süzüntülerinin sonuçları benzer olmakla beraber 15 kDa süzüntüsünde her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile %96, %97 ve %98 renk giderimi gerçekleşmiştir. İkinci sette, renk giderimi açısından 15 kDa ve 15 kDa+1 kDa süzüntülerinin sonuçları benzer olmakla beraber 15 kDa+1 kDa süzüntüsünde her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile %96, %98 ve %98 üzerinde renk giderimi gerçekleşmiştir. Üçüncü sette, renk giderimi açısından 300 kDa membranda %88' in üzerinde, 50 kDa ve 15 kDa membranlarda %96'ının üzerinde renk giderimi gerçekleşmiştir (Şekil 4.113 – Şekil 4.117).

Birinci set ham atıksu NaOH içeriği 17,6 g/L iken süzüntülerde yaklaşık 15 g/L olarak ölçülmüş ve kayıp yaklaşık %16 olmuştur. İkinci set ham atıksu NaOH içeriği 17 g/L iken süzüntülerde yaklaşık 14 g/L olarak ölçülmüş ve kayıp yaklaşık %20 olmuştur ve ikinci set analiz sonuçları beraber değerlendirildiğinde kirletici giderimleri açısından tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmiştir. Kostik kaybı %15-%20

arasında gerçekleşmiştir. İkinci set analiz sonuçlarına göre organik madde açısından elde edilen değerler nispeten yüksek olmakla beraber firmanın mevcut kasar prosesinde kullandığı banyonun KOİ değerinin 30-50 g /L olduğu göz önünde bulundurulursa, elde edilen süzüntünün ticari kostik çözeltileri ile banyoda kullanılan kostik konsantrasyonuna getirilmesi sonrasında kullanılabileceği öngörülmektedir Üçüncü set ham atıksu NaOH içeriği 22 g/L iken süzüntülerde yaklaşık 20 g/L olarak ölçülmüş ve kayıp yaklaşık %9 olmuştur (Tablo 4.47 –Tablo 4.49).

Tablo 4.47: Viskon Kasar Ana Banyo 1. Set analiz sonuçları.

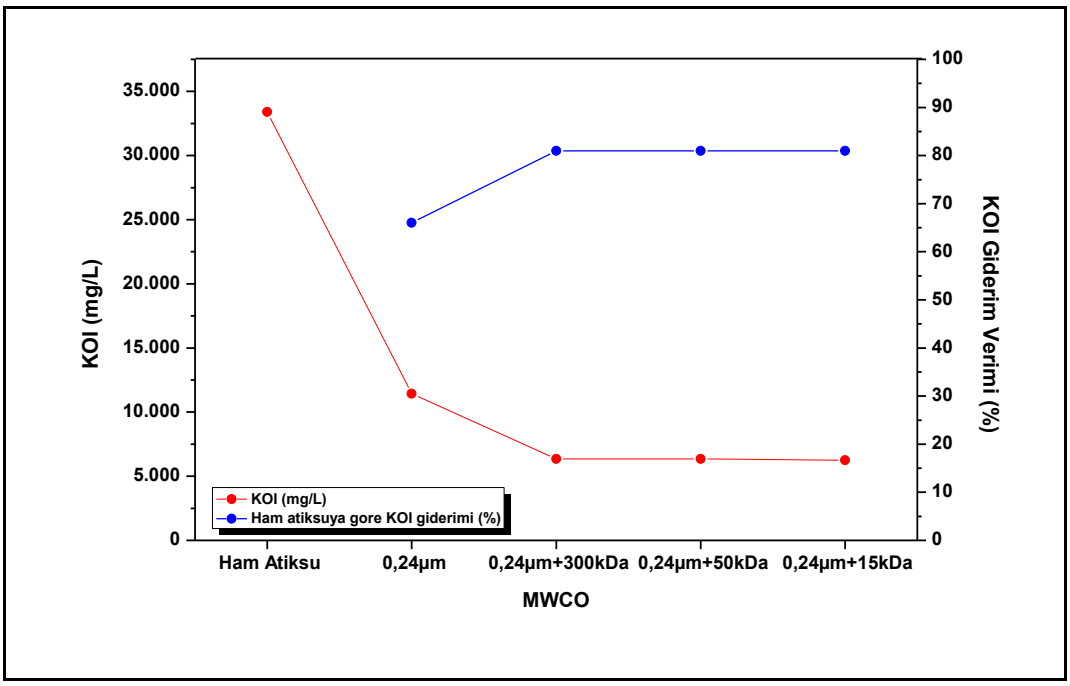
Viskon Kasar Ana Banyo 1.Set	**pH**	**EC (µs/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**	**Renk**				**Na+ (mg/L)**	**NaOH Hesap (mg/L)**	**Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L**	**Cl^- (mg/L)**
						Pt-Co	**436 nm**	**525 nm**	**620 nm**				
Ham (63µm süzüntüsü)	12,6	58.000	33.400	8.730	1.468	1.728	59,4	30,0	15,4	10.125	17.609	119	863
0,2 µm	12,8	63.000	11.440	2.540	87	590	22,3	15,0	10,7	9.760	16.974	52	814
0,2 µm + 300 kDa	12,8	59.600	6.360	2.005	2	81	3,5	1,1	0,5	8.495	14.774	185	791
0,2 µm + 50 kDa	12,9	60.000	6.360	2.018	1	71	2,8	0,9	0,3	9.365	16.287	94	779
0,2 µm + 15 kDa	12,9	59.100	6.240	2.034	3	58	2,6	0,7	0,2	8.555	14.878	36	790

Tablo 4.48: Viskon Kasar Ana Banyo 2. Set analiz sonuçları.

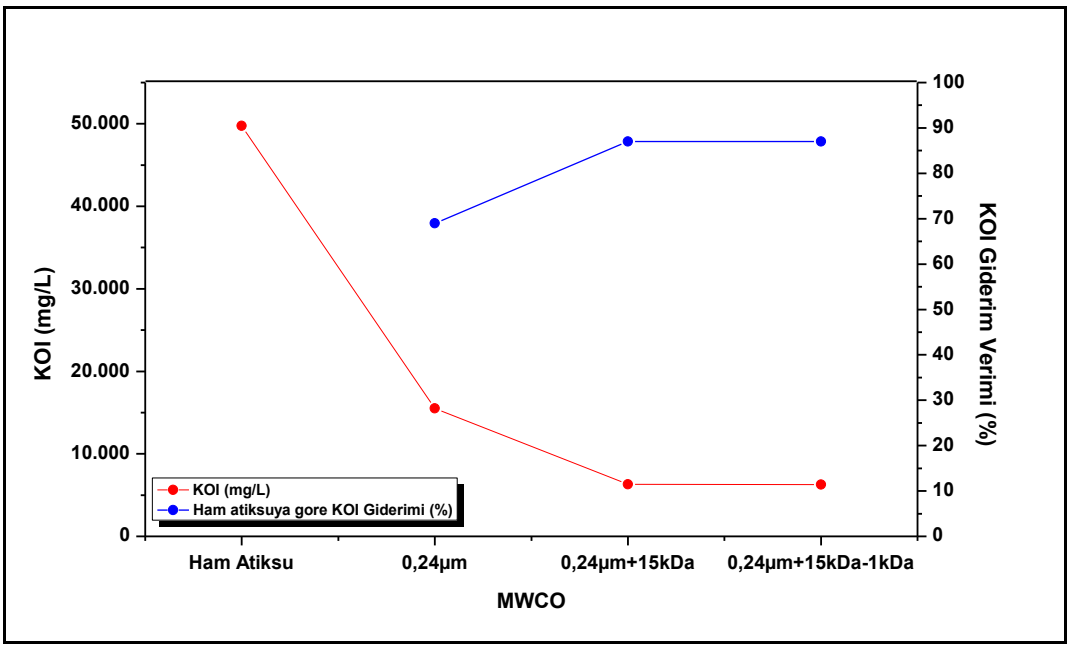
Viskon Kasar Ana Banyo 2. Set	**pH**	**EC (µs/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**	**Renk**				**Na+ (mg/L)**	**NaOH Hesap (mg/L)**	**Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L**	**Cl^- (mg/L)**
						Pt-Co	**436 nm**	**525 nm**	**620 nm**				
Ham (63µm süzüntüsü)	12,5	48.700	49.760	14.195	1.350	1.532	53,6	26,4	13,4	10.015	17.417	112	624
0,2 µm	12,5	50.300	15.500	4.744	67	877	27,6	19,0	14,9	8.991	15.637	81	624
0,2 µm + 15 kDa	12,6	48.100	6.300	1.969	13	62	2,8	0,7	0,2	8.611	14.976	37	642
15 kDa+1 kDa	12,4	45.300	6.280	1.713	0,5	53	2,4	0,6	0,2	7.955	13.835	18	606

Tablo 4.49: Viskon Kasar Ana Banyo 3. Set analiz sonuçları.

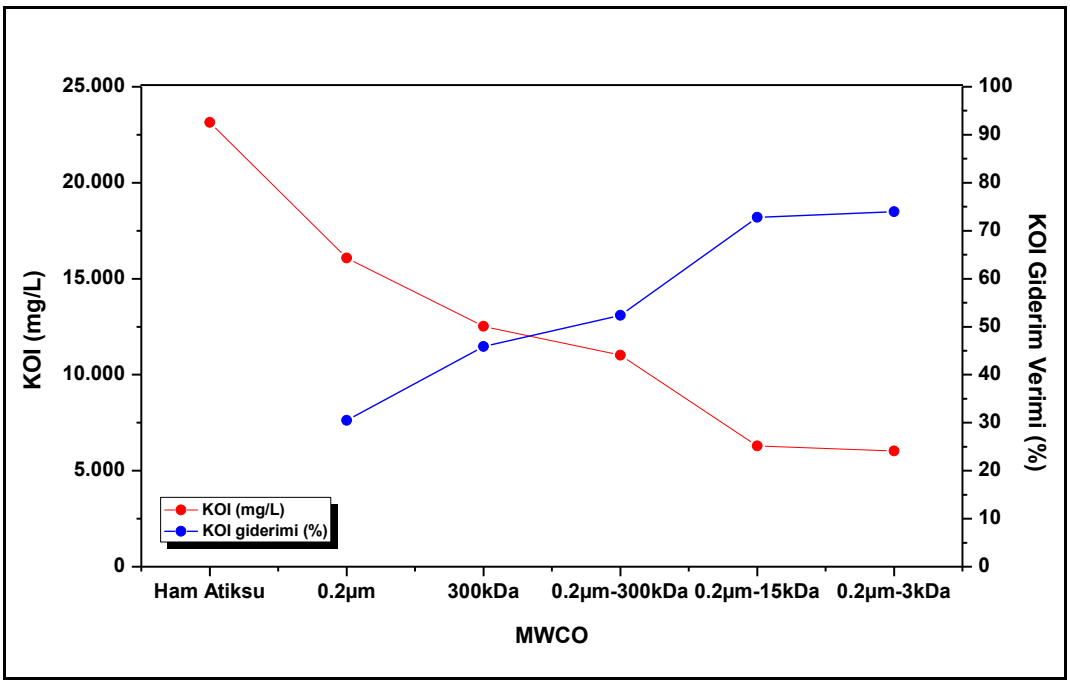
Viskon Kasar Ana Banyo 3. Set	**pH**	**EC (µs/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**	**Renk**				**Na+ (mg/L)**	**NaOH Hesap (mg/L)**	**Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L**	**Cl^- (mg/L)**
						Pt-Co	**436 nm**	**525 nm**	**620 nm**				
Ham (63µm süzüntüsü)	12,2	77.500	23.140	4.718	482	1.156	42,8	25,5	16,2	12.679	22.050	116,9	265
0,2 µm mix (1-10)	12,5	78.300	16.080	3.424	4	241	8,5	4,2	2,4	12.732	22.143	125,3	308
300 kDa	12,4	85.300	12.520	2.695	0,8	121	4,7	1,7	0,5	12.265	21.320	119,8	313
0,2 µm+300 kDa	12,5	76.000	11.020	1.857	1	127	4,9	1,7	0,6	12.052	20.960	95,4	300
0,2 µm+15 kDa	12,4	74.700	6.296	799	1	58	2,4	0,8	0,3	12.496	21.732	83,7	282
0,2 µm+3 kDa	12,5	73.000	6.020	729	1	40	1,6	0,6	0,3	12.549	21.824	158,5	294



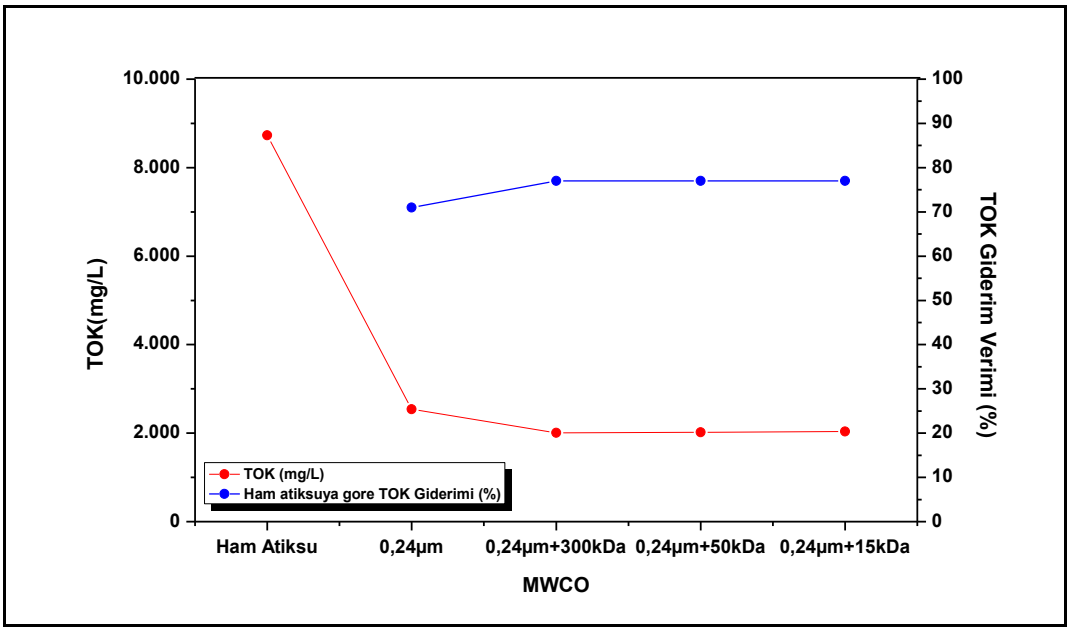
Şekil 4.107: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



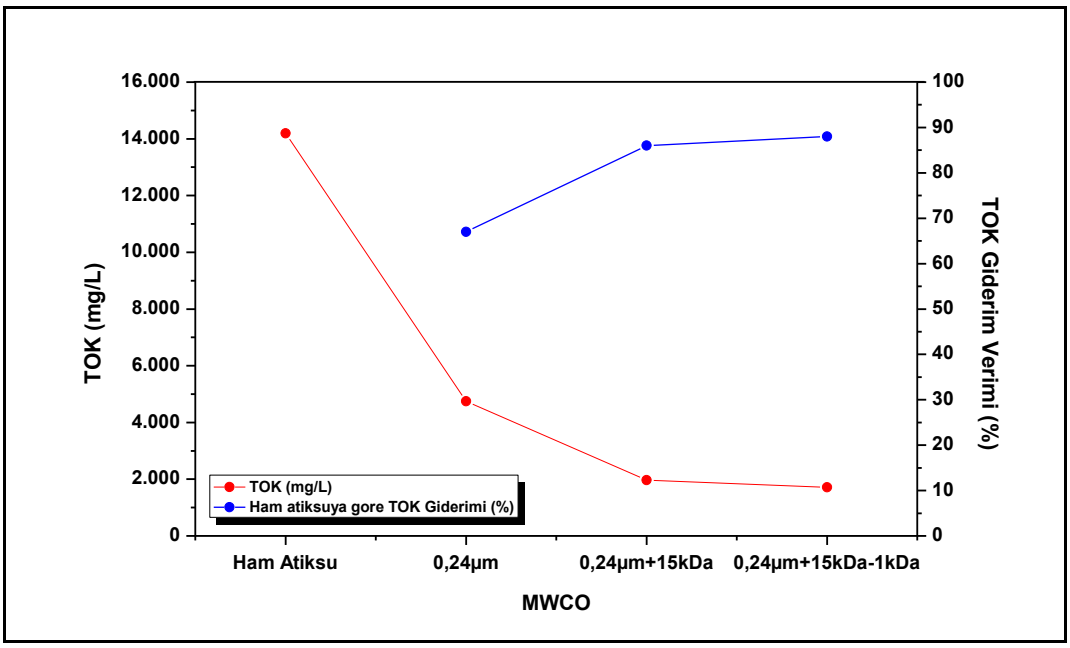
Şekil 4.108: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



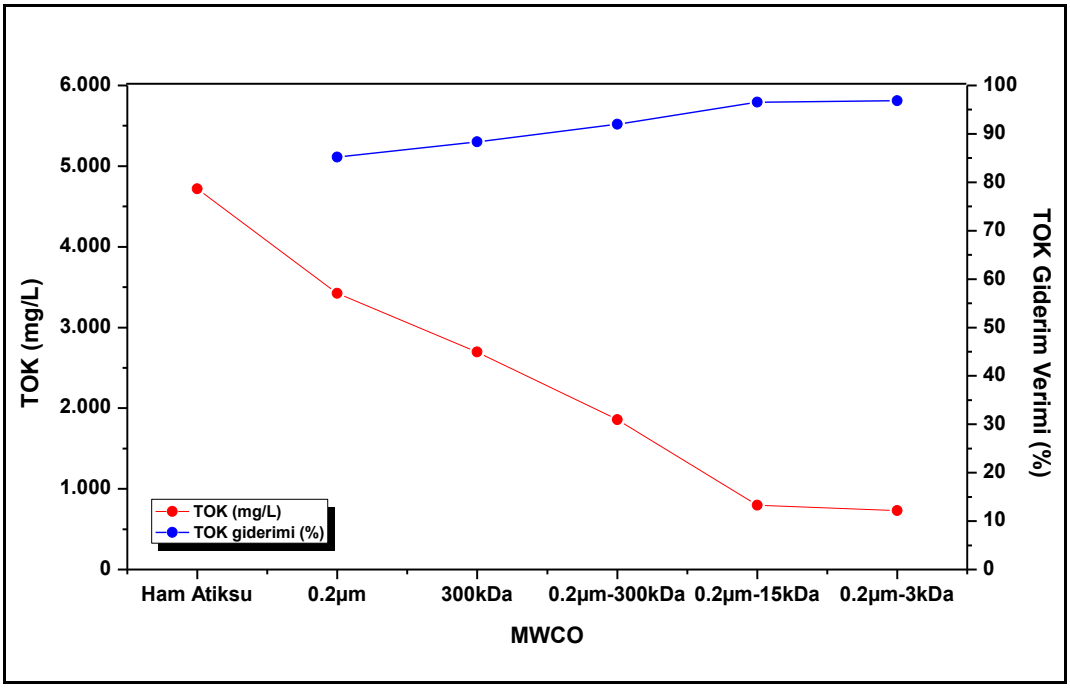
Şekil 4.109: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



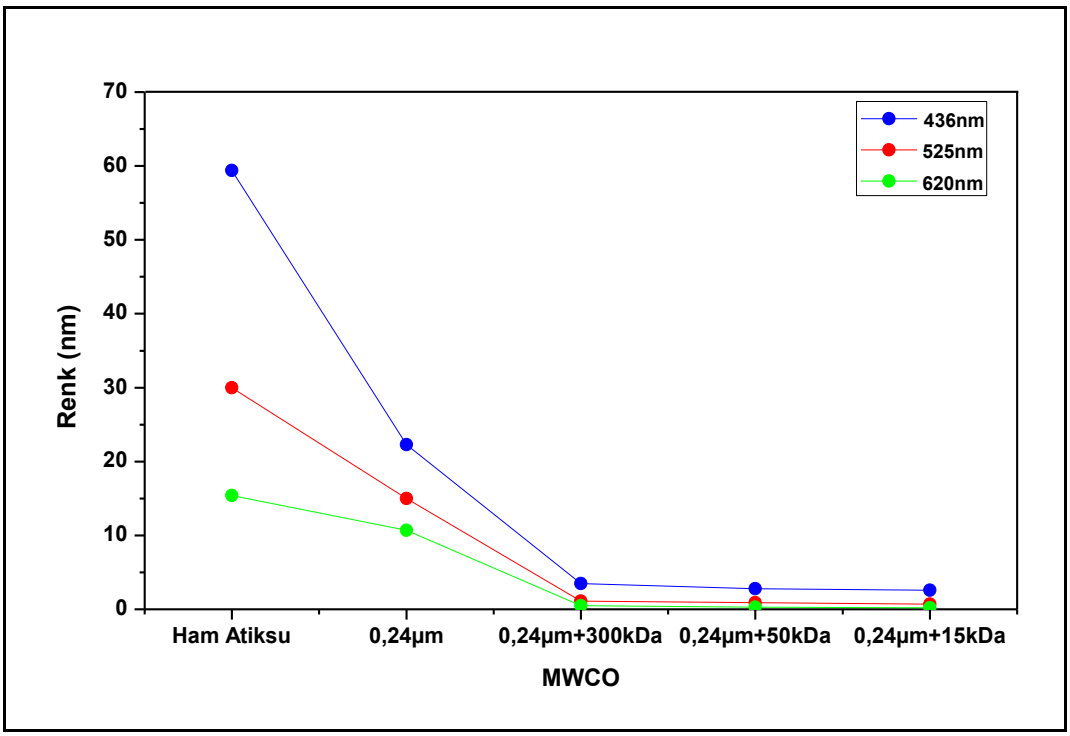
Şekil 4.110: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



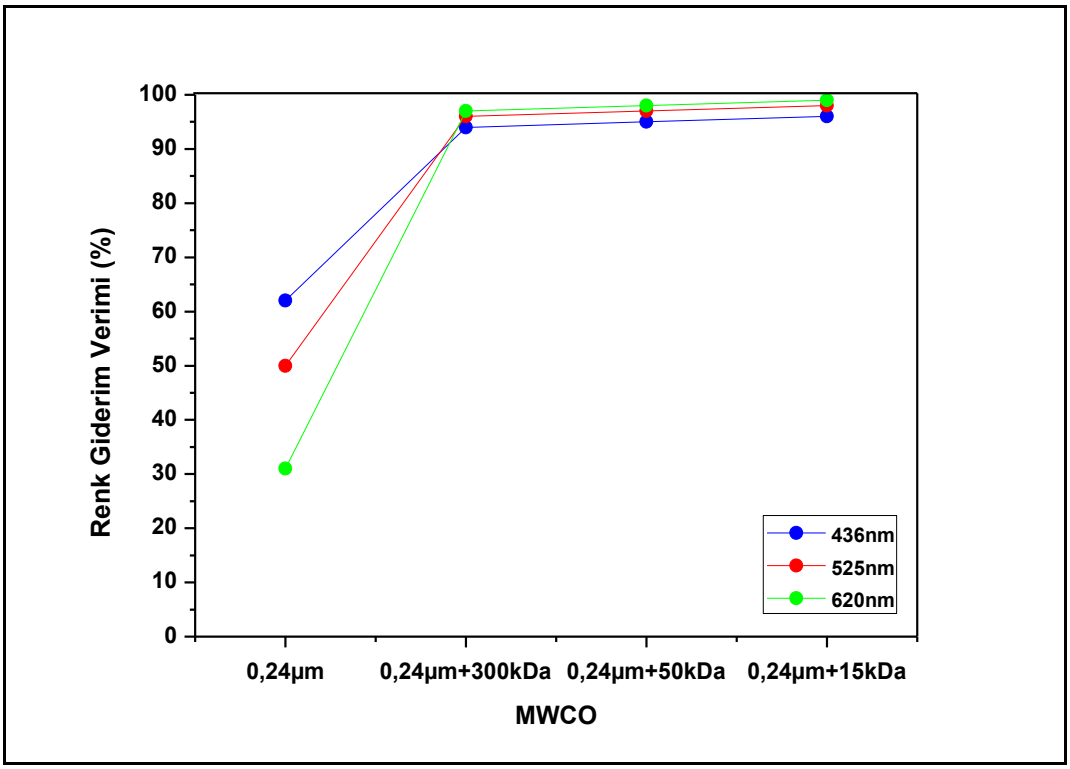
Şekil 4.111: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



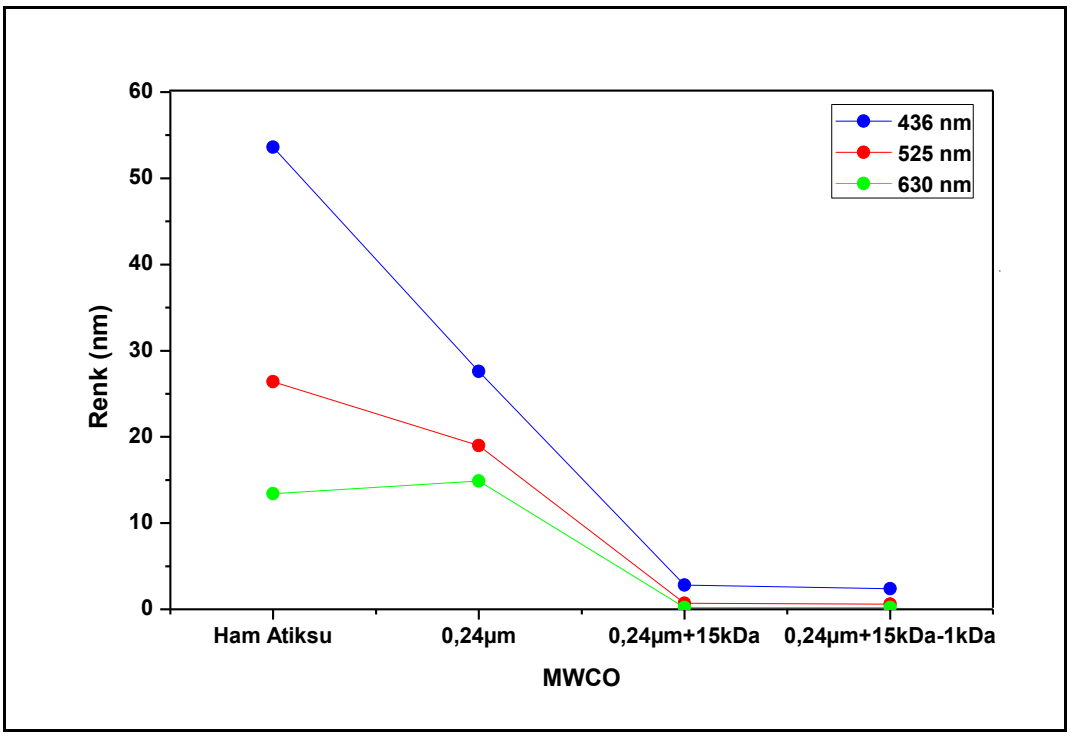
Şekil 4.112: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



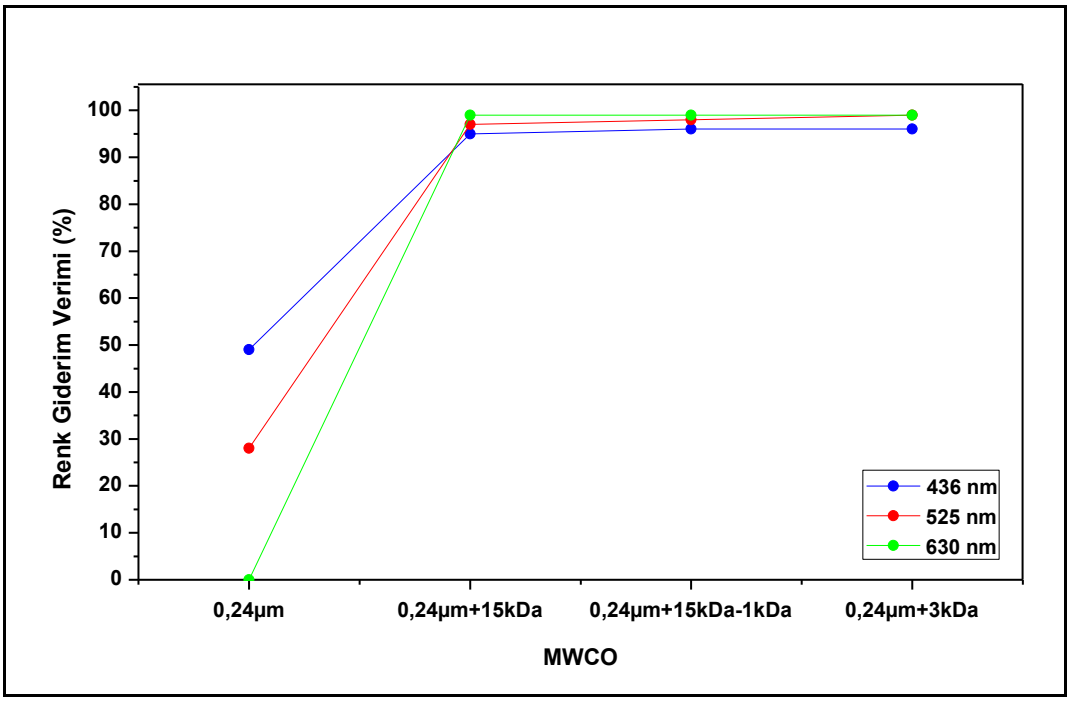
Şekil 4.113: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set için Renk RES değerleri (nm).



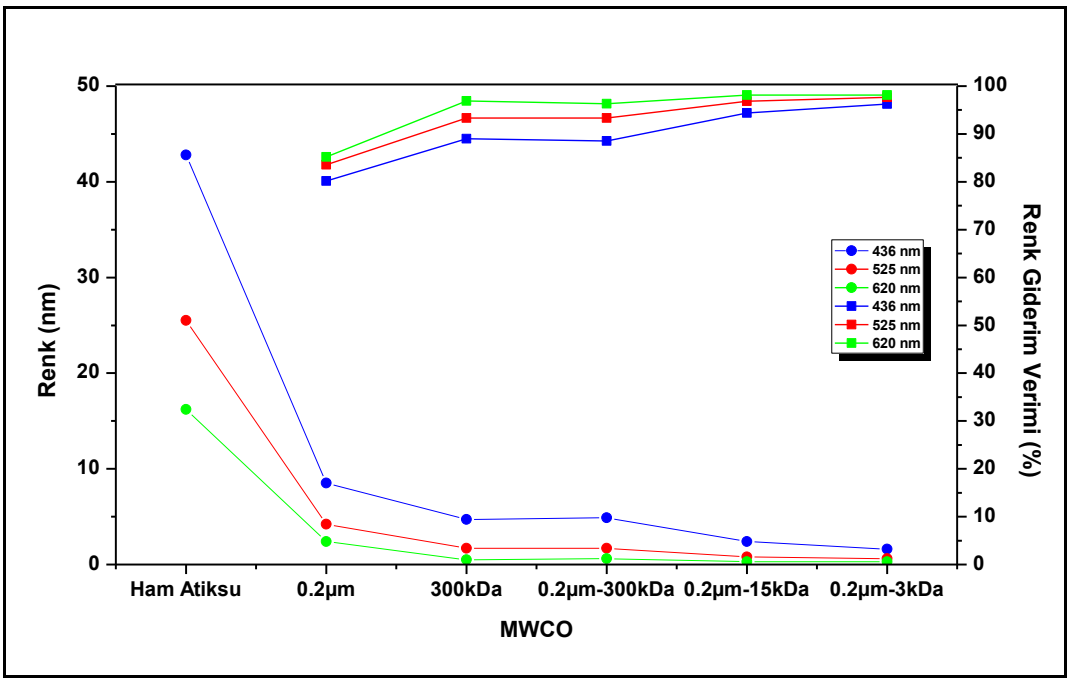
Şekil 4.114: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set için renk giderimi (%).



Şekil 4.115: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set için Renk RES değerleri (nm).

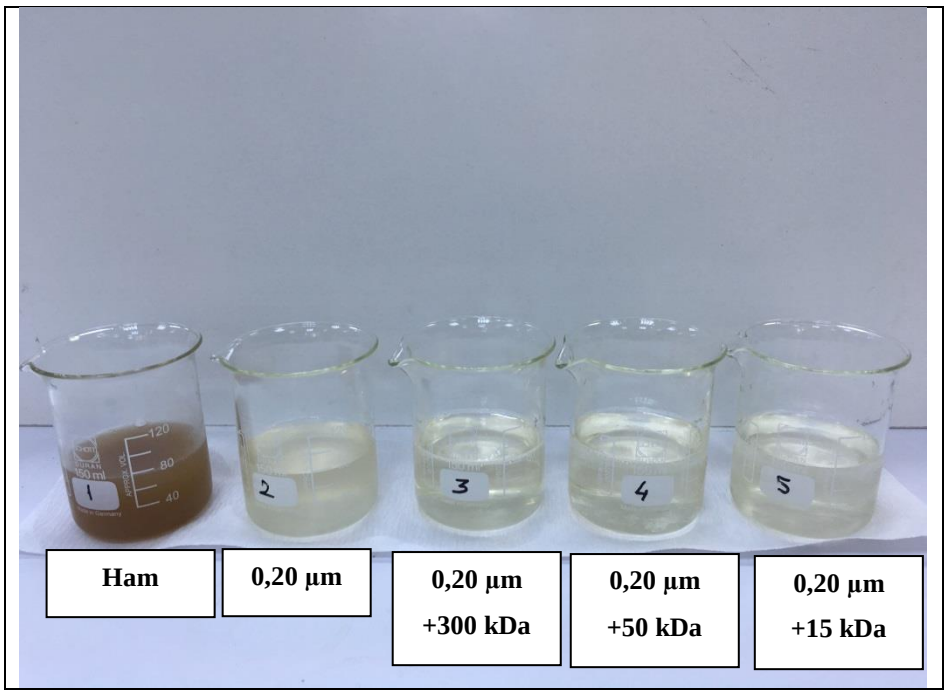


Şekil 4.116: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set için renk giderimi (%).

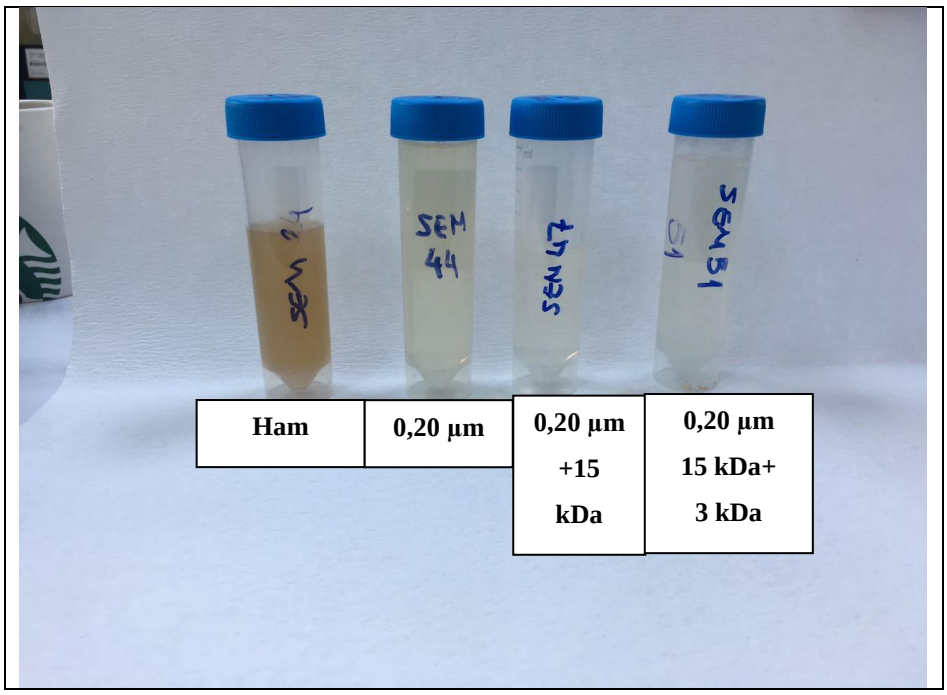


Şekil 4.117: Viskon Ana Banyo 3.set renk RES değerleri (nm) ve giderimi (%).

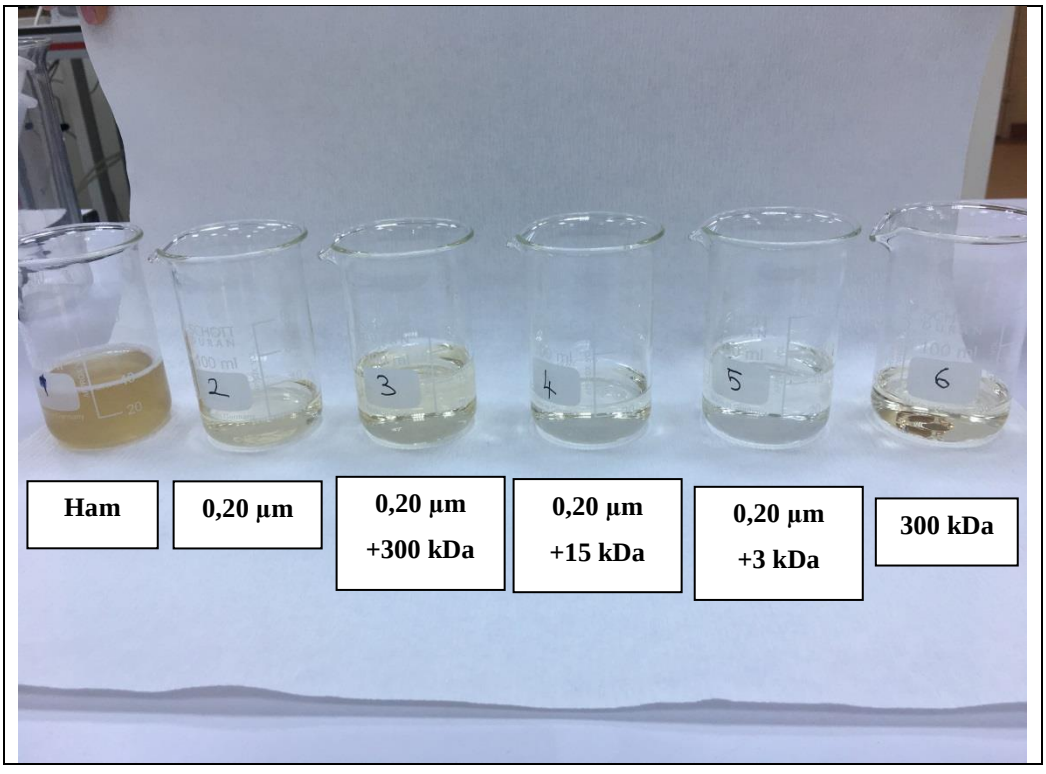
Viskon kasar ana banyo noktasına ait ham atıksu ve farklı MWCO membranlarda elde edilen süzüntülerine ait fotoğraflar Şekil 4.118 - Şekil 4.120' de verilmektedir.



Şekil 4.118: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set ham ve süzüntüler.



Şekil 4.119: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set ham ve süzüntüler.



Şekil 4.120: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set ham ve süzüntüler.

4.2.2.1.2. Viskon Kasar Ana Banyo ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Akı Davranışlarının Değerlendirilmesi

Viskon Kasar Ana banyo birinci, ikinci ve üçüncü.set akı değerlendirilmesine ait sonuçlar Tablo 4.50 –Tablo 4.52' de verilmiştir. MWCO esaslı akı grafikleri ve akı azalma oranları sırası ile Şekil 4.121 - Şekil 4.126' da verilmiştir. Akı geri kazanım grafikleri ise Şekil 4.127 - Şekil 4.129' da verilmiştir. Ön arıtımı yapılımış viskon kasar ana banyo birinci sete ait numuler 3 farklı MWCO (300, 50 ve 15 kDa) gözenek boyutunda filtrasyonları gerçekleştirilmiştir.

Atıksu akıları kullanılan seramik membranlarda yakın değerlerde kararlı duruma gelmiştir (18-22 $L/m^2/sa$). Yine benzer şekilde, atıksu filtrasyonu benzer sürelerde kararlı hale gelmiştir (Şekil 4.121). En hızlı tıkanma ve akı azalması beklendiği üzere 300 kDa membranda gerçekleşmiştir (Şekil 4.124). Her üç MWCO için fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su akısına etkisinin yakın olduğu görülmüştür. Geri yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanım oranı 300 ve 50 kDa membranlarda %80 üzerinde gerçekleşmişitir. Atıksu filtrasyonu sonrasında gözenek tıkanmasının en çok olduğu saf su akısında geri kazanımın en az olduğu 15 kDa' da görülmüştür. Kimyasal yıkama sonrasında 300 kDa ve 50 kDa membranlarda saf su geri kazanımı %100 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.127).

Ön arıtımı yapılımış viskon kasar ana banyo ikinci sete ait numuler 15 kDa ve 15 kDa süzüntüsü 1 kDa seramik membranlar ile filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Atıksu akısı 9 $L/m^2/sa$ iken 15 kDa+1 kDa için 43 $L/m^2/sa$ olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.51). Geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanımı 15 kDa+1 kDa için %98 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.128).

Üçüncü sete ait numune ile 0,2 µm (MF), 300 kDa (UF), 15 kDa (UF) ve 3 kDa (sıkı UF) membranlar ile çapraz akış filtrasyonları gerçekleştirilmiştir. Tüm MWCO membralarda atıksu akısı birbirine yakın değerlerde (7-11 $L/m^2/sa$) kararlı hale gelmiştir (Şekil 4.123). En hızlı akı azalması beklendiği üzere 0,2 µm membranda görülmüştür (Şekil 4.126). Fiziksel temizlik sonrasında saf su akı geri kazanım oranları %88 ile en yüksek 300 kDa membranda, %34 ile en düşük 15 kDa membran filtrasyon deneyinde görülmüştür. Kimyasal temizlik sonrasında saf su akısının geri kazanımı %80 ve üzerinde gerçekleşmiştir (Tablo 4.52).

Tablo 4.50: Viskon Kasar 1.Set akı sonuçları.

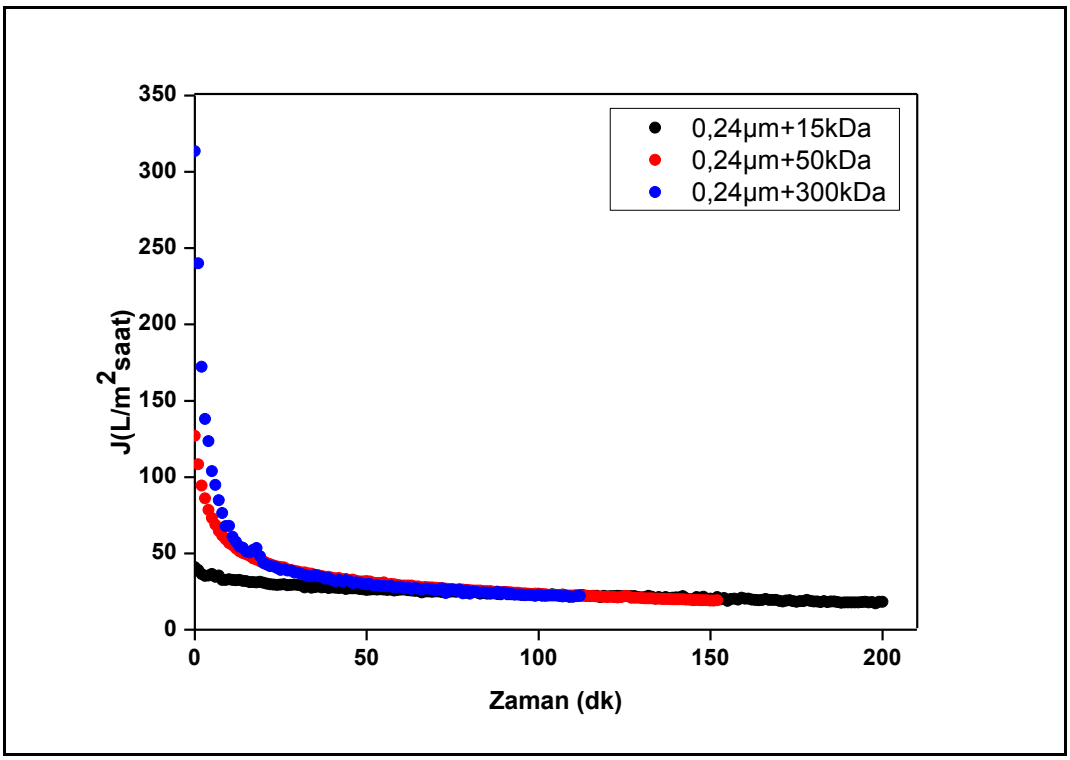
Viskon Kasar Ana Banyo 1. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)**	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)**	**Geri Yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Geri yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
0,2 µm+300 kDa	595	22	527	527	600	88	89	100
0,2 µm+50 kDa	268	19	223	226	267	83	84	99
0,2 µm+15 kDa	130	18	71	74	95	55	57	74

Tablo 4.51**:** Viskon Kasar 2.Set akı sonuçları.

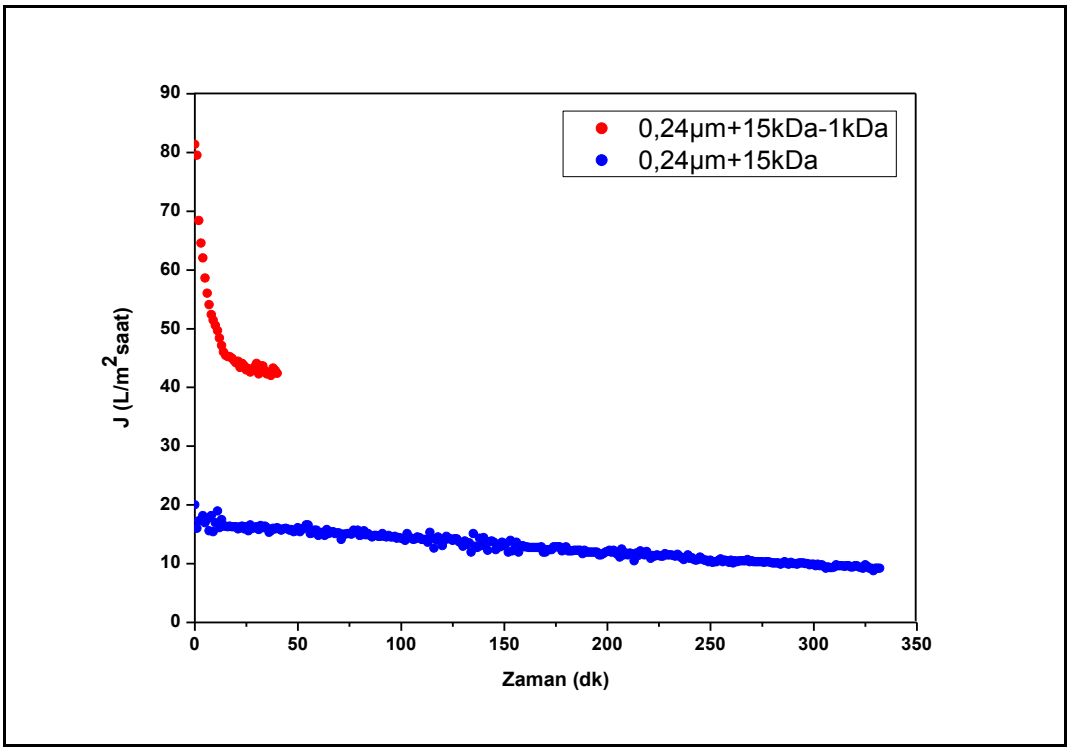
Viskon Kasar Ana Banyo 2. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)**	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)**	**Geri Yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Geri yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
0,2 µm+15 kDa	99	9	41	43	82	42	44	83
0,2 µm+15 kDa+1 kDa	158	43	108	155	168	68	98	100

Tablo 4.52: Viskon Kasar 3.Set akı sonuçları.

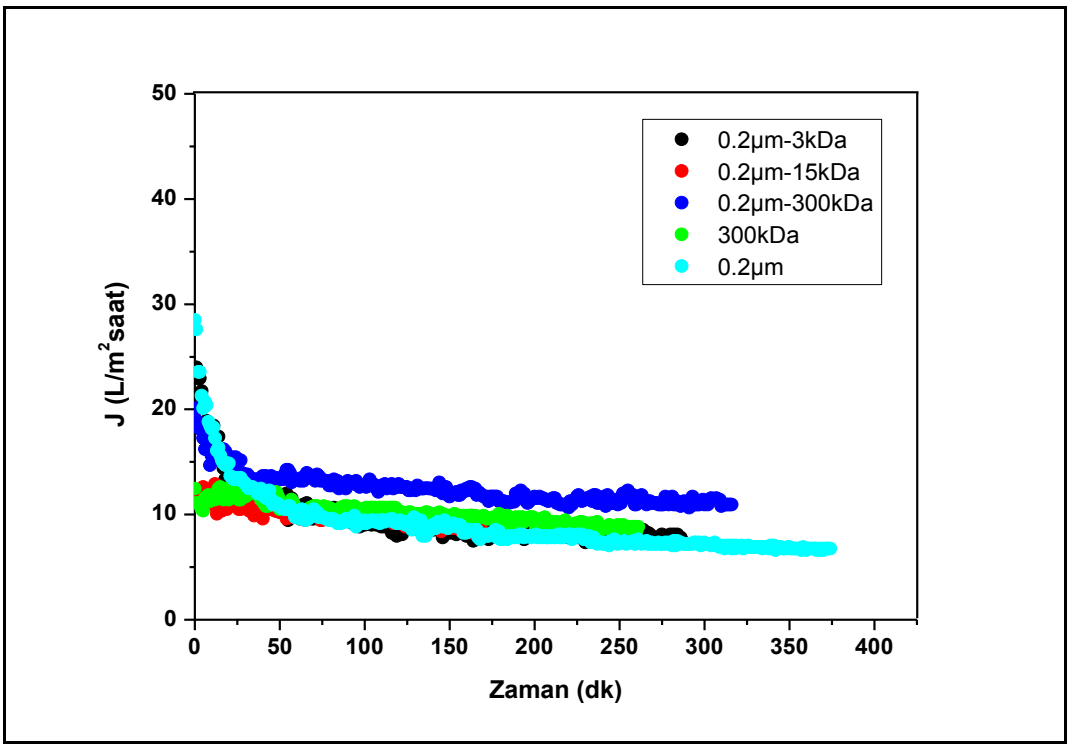
Viskon Kasar Ana Banyo 3. Set	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası saf su akı geri kazanımı (%)**
0,20 µm	1.258	7	1.110	1.257	88	100
0,20 µm+300 kDa	499	11	297	437	59	88
0,20 µm+15 kDa	165	8	57	129	34	78
0,20 µm+3 kDa	79	8	55	70	70	89
300 kDa	487	9	288	462	59	95



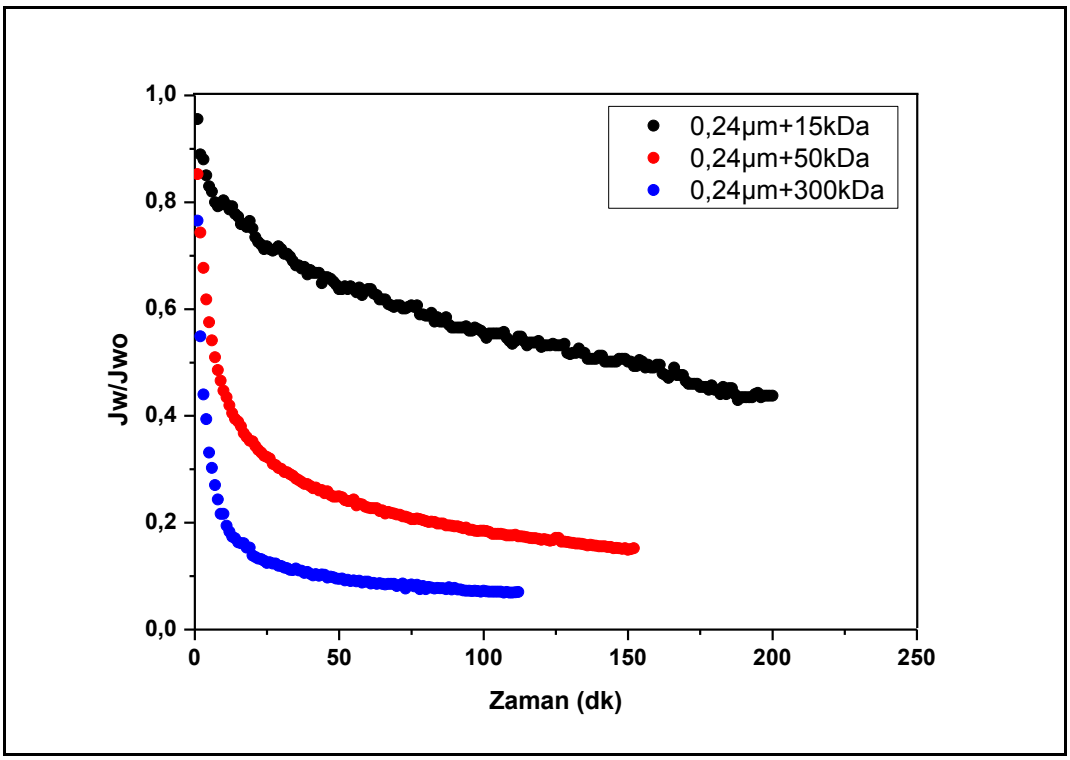
Şekil 4.121**:** Viskon Kasar Ana Banyo 1.set atıksu akısı zaman grafiği.



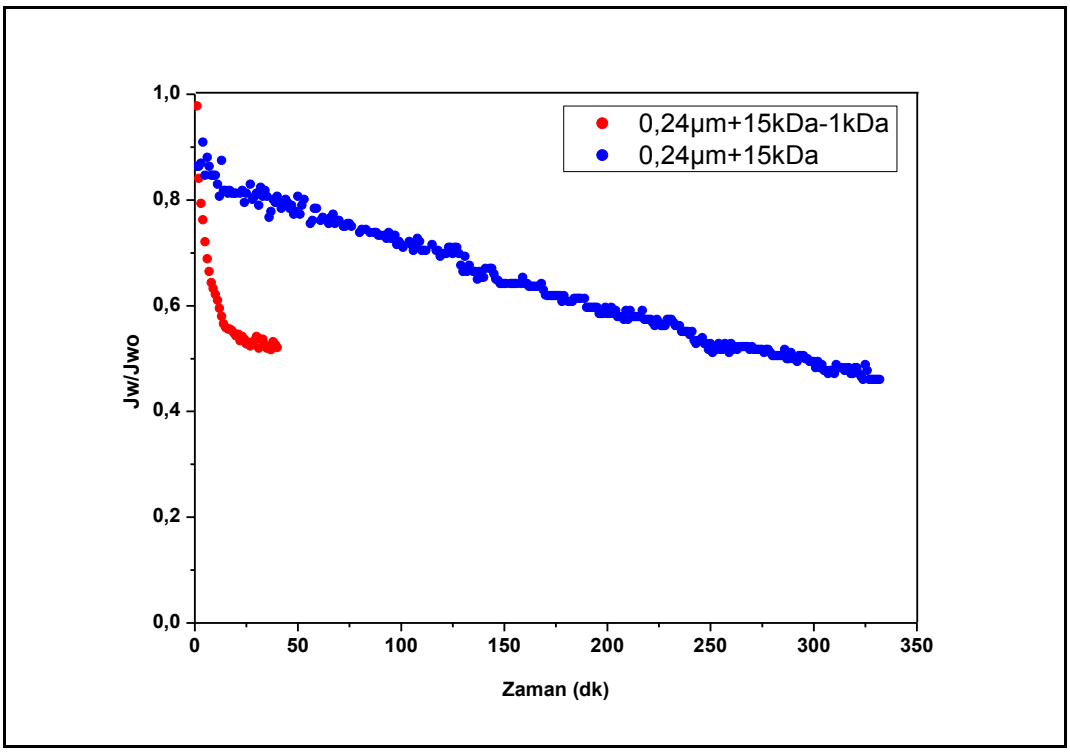
Şekil 4.122: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set atıksu akısı zaman grafiği.



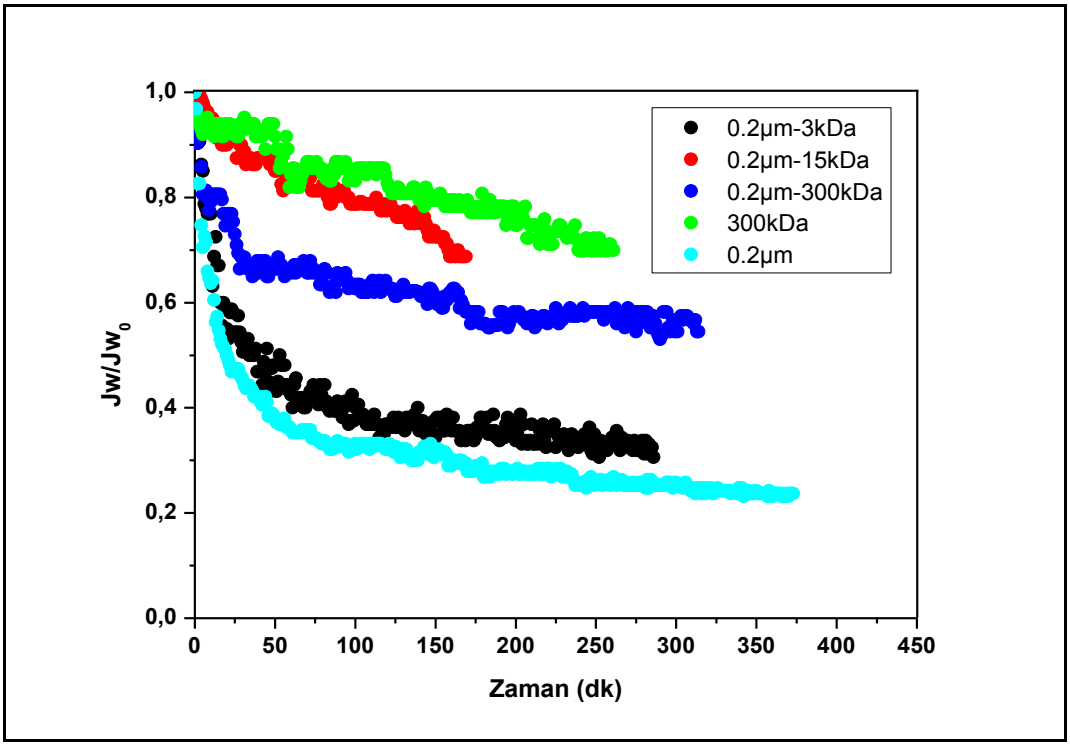
Şekil 4.123: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set atıksu akısı zaman grafiği.



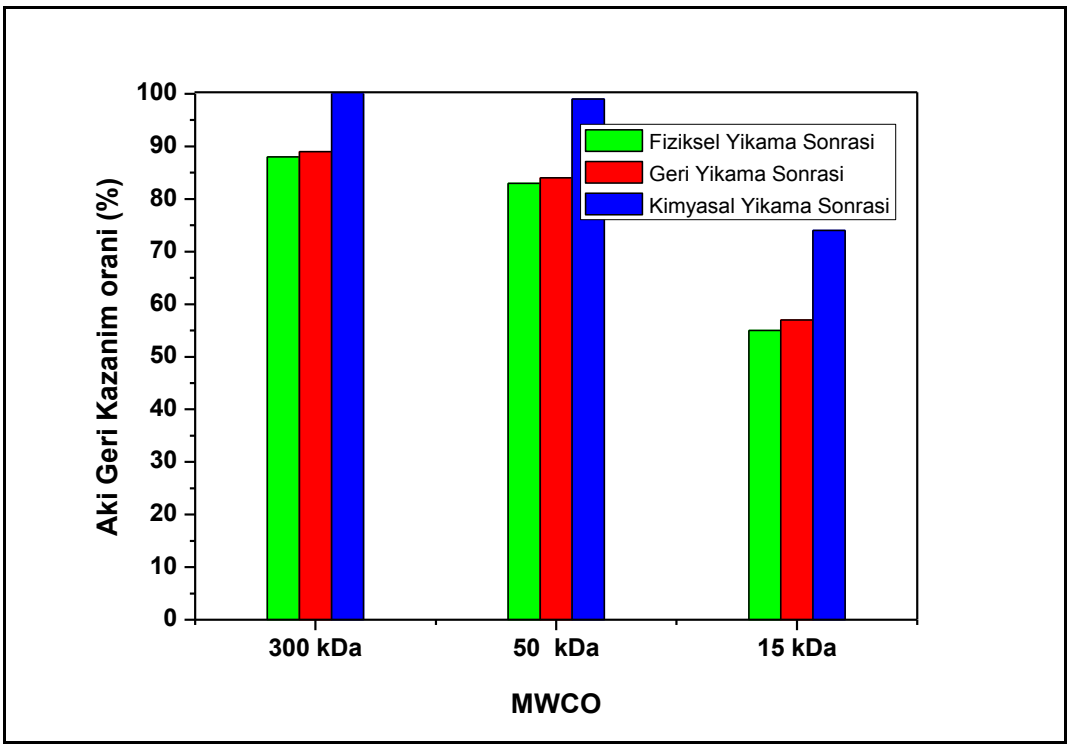
Şekil 4.124: Viskon Kasar Ana Banyo 1.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



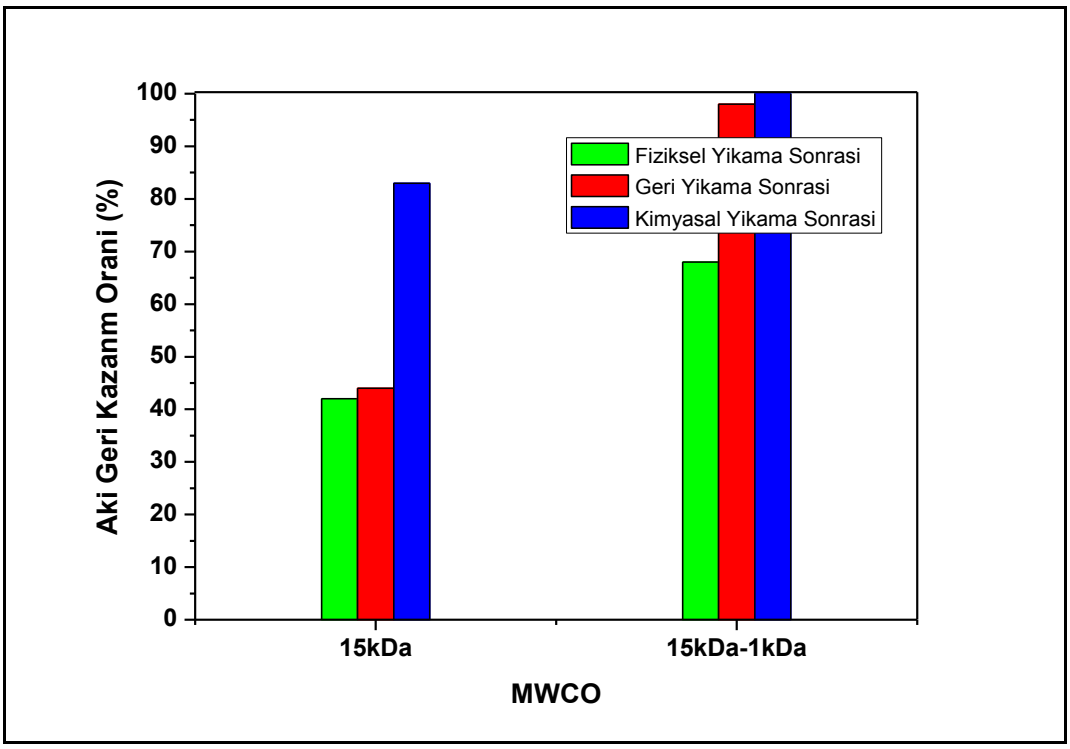
Şekil 4.125: Viskon Kasar Ana Banyo 2.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



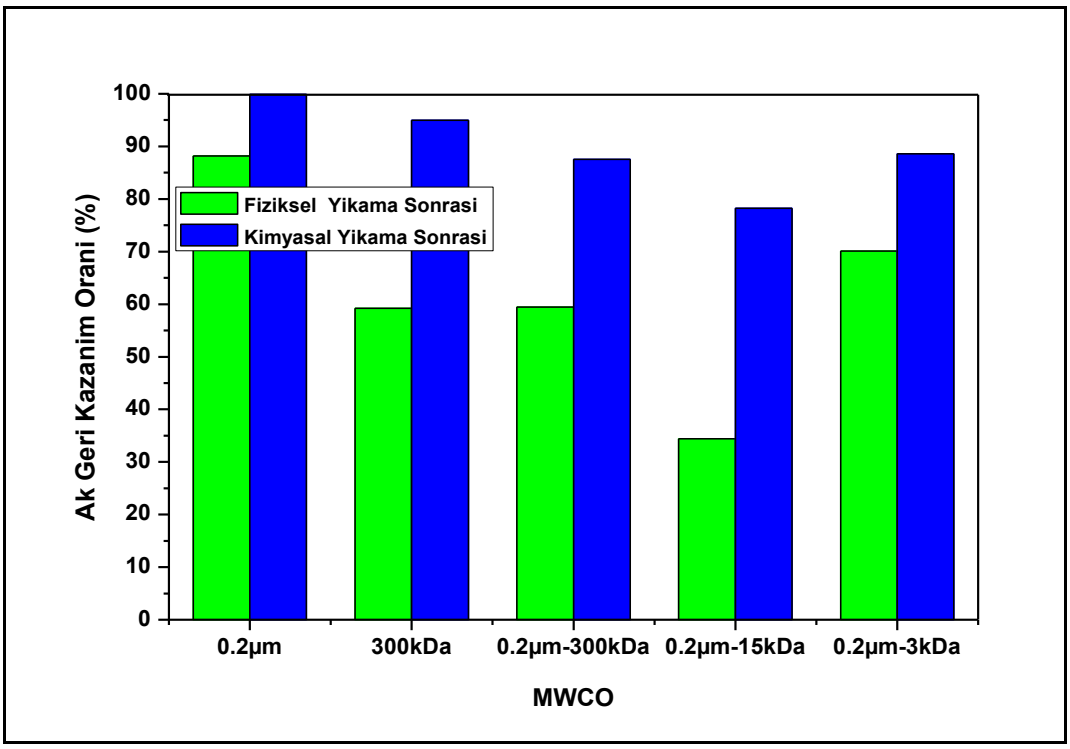
Şekil 4.126: Viskon Kasar Ana Banyo 3.set atıksu akı azalması (Jw_i/Jw_o).



Şekil 4.127: Kasar Ana Banyo 1.set akı geri kazanım oranları (%).



Şekil 4.128: Kasar Ana Banyo 2.set akı geri kazanım oranları (%).



Şekil 4.129: Kasar Ana Banyo 3.set akı geri kazanım oranları (%).

4.2.2.1.3. Viskon Kasar Ana Banyo ile Gerçekleşen Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Deneylerinin Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi

Viskon Kasar ana banyodan alınan numune ile yapılan tüm deneylerde oluşan etkin kirlenme mekanizması "seri direnç modeli" ile incelendiğinde beklendiği üzere etkin mekanizma fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmuştur (Şekil 4.131-Şekil 4.135).

Birinci.set deneylerde, ön arıtım olarak önce 63 µm kaba elekten geçirilen numune sonrasında 0,2 µm MF membrandan süzülmüş ve bu süzüntüler, farklı MWCO seramik membranlar ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kirlenmemiş membranın saf su direnci 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa için sırası ile $6{,}04*10^{11}(m^{-1})$, $2{,}68*10^{12}(m^{-1})$ ve $5{,}54*10^{12}(m^{-1})$ olarak bulunmuştur. Beklendiği üzere MWCO değeri azaldıkça saf suda gerçekleşen membran direnci artmaktadır. Atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan toplam direnç değerleri ise $1{,}63*10^{13}(m^{-1})$, $3{,}72*10^{13}(m^{-1})$ ve $4{,}0*10^{13}(m^{-1})$ sırası ile 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa membranlarda görülmüştür.

Saf su direnci ile atıksu direnci arasında görülen en büyük fark 27 kat ile 300 kDa membranda görülmüştür. 50 kDa ve 15 kDa membranda görülen toplam direnç değerleri birbirine yakındır (Tablo 4.53).

Tüm gözenek çaplarında toplam direncin en büyük bileşeni %75 ve üzerindeki oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) %0,5 ile %10,3 arasında değişmektedir (Şekil 4.131).

İkinci set deneylerde, ön arıtım olarak önce 63µm kaba elekten geçirilen numune sonrasında 0,2 µm MF membrandan süzülmüş ve bu süzüntü 15 kDa membrandan süzüülmüştür. 15 kDa membran süzüntüsü ise 1 kDa membrandan süzülerek ikinci set çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kirlenmemiş membranın saf su direnci 15 kDa ve 1 kDa için sırası ile $7,27*10^{12}(m^{-1})$ ve $4,54*10^{12}(m^{-1})$ olarak bulunmuştur. 1kDa membranda saf su direncinin yüksek olması beklenmektedir ancak 1 kDa membranlar karakteristik özelliklerini göstermemektedir. Atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan toplam direnç değerleri ise $7,69*10^{13}(m^{-1})$ ve $1,68*10^{13}(m^{-1})$ sırası ile 15kDa ve 1kDa membranlarda görülmüştür (Tablo 4.54).

İkinci set deneylerde de toplam direncin en büyük bileşeni fiziksel olarak uzaklaştırılabilen dirençtir. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) 15 kDa ve 1 kDa membranlar için sırası ile %12,3 ve %0,6 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.133).

Bu set deneyde 1 kDa membranda kullanılan besleme suyunun 15kDa membran süzüntüsü olması nedeni ile toplam direnç değeri daha küçük, kimyasal olarak giderilebilen kısım ise daha büyüktür. Buradan kostik geri kazanımı için iki kademeli membran filtrasyonunun kullanılmasının membran işletimi ve performansı açısından daha uygun olabileceği söylenebilir

Üçüncü set deneylerde, ön arıtım olarak önce 63µm kaba elekten geçirilen numune sonrasında 0,20 µm MF membrandan süzülmüş ve bu süzüntüler, farklı MWCO seramik membranlar ile çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Kirlenmemiş membranın saf su direnci 0,20µm, 300 kDa, 15 kDa ve 3 kDa için sırası ile $1,29*10^{11}(m^{-1})$, $9,05*10^{11}(m^{-1})$, $4,92*10^{12}(m^{-1})$ ve $1,02*10^{13}(m^{-1})$ olarak bulunmuştur. Atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan toplam direnç değerlerinde en

yüksek değerler $1,03*10^{14}(m^{-1})$ ve $1,05*10^{14}(m^{-1})$ sırası ile 15 kDa ve 3 kDa membranlarda görülmüştür (Tablo 4.55).

Tüm gözenek çaplarında toplam direncin en büyük bileşeni %86 ve üzerindeki oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmakla beraber gözenek çapının küçülmesi ile Rc değerinin oranının azaldığı görülmektedir. Kimyasal olarak giderilemeyen kirlenme ise (Rif) %0,02 ile %9,8 arasında değişmektedir (Şekil 4.135).

Viskon kasar ana banyo birinci ve ikinci set deneyleri beraber değerlendirildiğinde, kirletici giderimi açısından 300 kDa, 50 kDa, 15 kDa ve 15 kDa+1 kDa değerleri yakın olmakla beraber membran kirlenmesi açısından kostik geri kazanımının iki aşamalı (MF+UF) olarak yapılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Bu yaklaşım üçüncü set deneyler sonrasında da teyit edilmiştir. Kostik geri kazanımının iki aşamalı olarak (MF+UF veya MF+sıkı UF) ile yapılması membran işletimi açısından uygun olacaktır.

Tablo 4.53: Viskon Kasar Ana Banyo 1. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

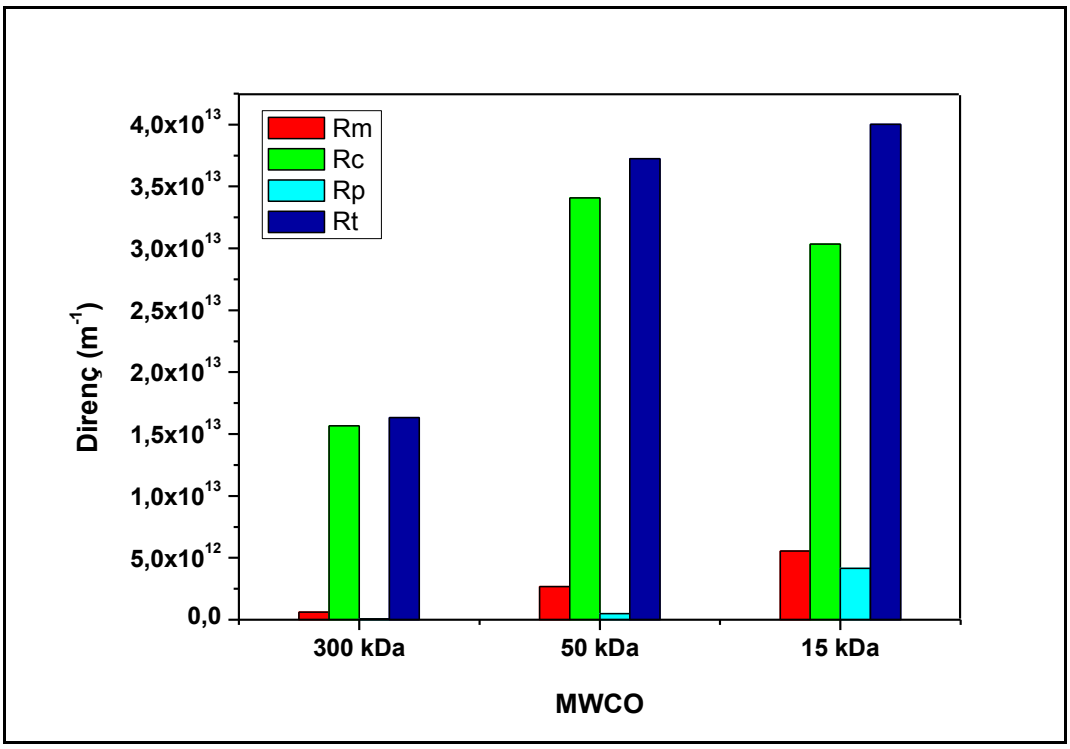
Viskon Kasar Ana Banyo 1. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc1(m^{-1})**	**Rc2 (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
0,20 µm+300 kDa	6,04E+11	1,57E+13	1,09E+09	1,57E+13	7,75E+10	1,63E+13	3,69	95,8	0,5
0,20 µm+50 kDa	2,68E+12	3,40E+13	5,16E+10	3,41E+13	4,94E+11	3,72E+13	7,19	91,5	1,3
0,20 µm+15 kDa	5,54E+12	2,99E+13	4,43E+11	3,03E+13	4,14E+12	4,00E+13	13,85	75,8	10,3

Tablo 4.54: Viskon Kasar Ana Banyo 2. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

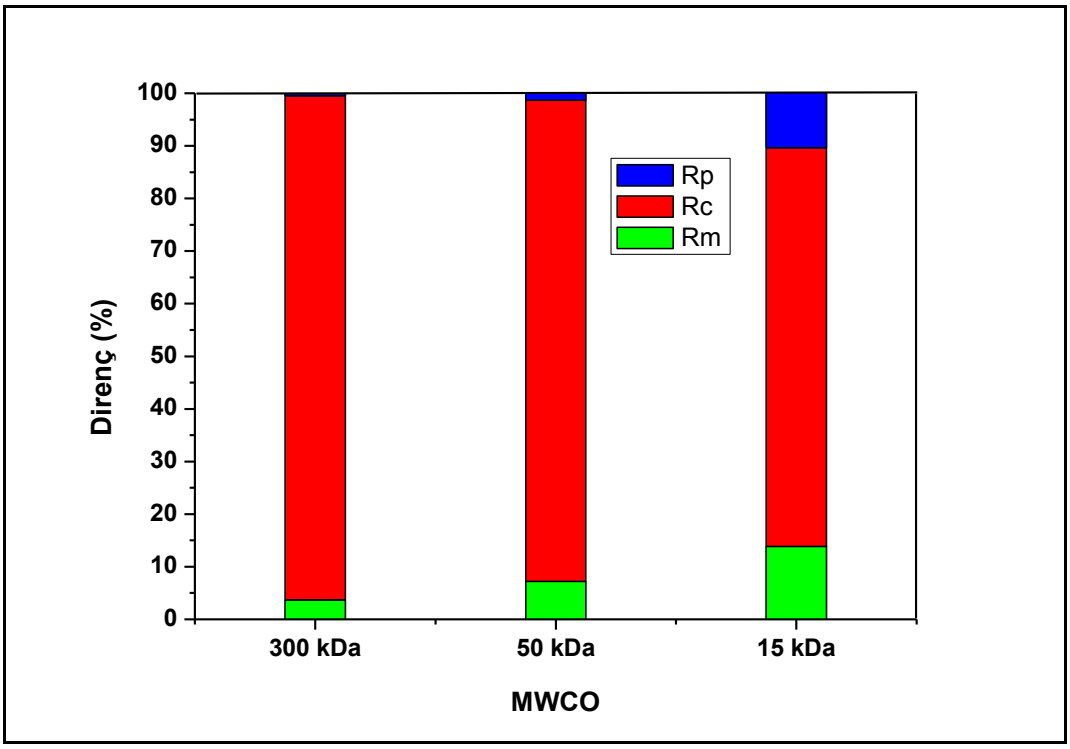
Viskon Kasar Ana Banyo 2. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc1(m^{-1})**	**Rc2 (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
0,20 µm+15 kDa	7,27E+12	5,94E+13	8,49E+11	6,03E+13	9,39E+12	7,69E+13	9,45	78,3	12,2
0,20 µm+15 kDa+1 kDa	4,54E+12	1,01E+13	2,05E+12	1,21E+13	9,58E+10	1,68E+13	27,06	72,4	0,6

Tablo 4.55: Viskon Kasar Ana Banyo 3. Set filtrasyonda oluşan direnç değerleri.

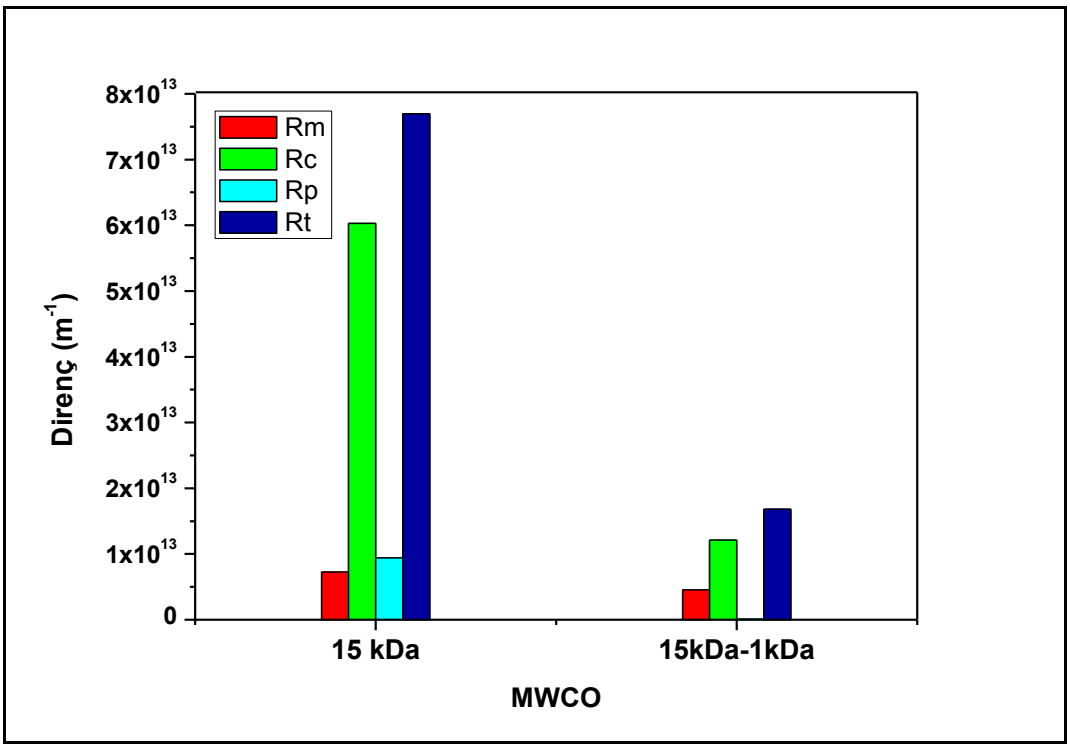
Viskon Kasar Ana Banyo 3. Set	**Rm (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
0,20 µm	1,29E+11	6,02E+13	1,72E+10	6,04E+13	0,2	99,8	0,02
0,20 µm+300 kDa	9,05E+11	3,69E+13	4,59E+11	3,83E+13	2,4	96,4	1,2
0,20 µm+15 kDa	4,92E+12	8,82E+13	1,01E+13	1,03E+14	4,8	85,4	9,8
0,20 µm+3 kDa	1,02E+13	9,01E+13	4,37E+12	1,05E+14	9,8	86,0	4,2
300 kDa	8,31E+11	4,75E+13	5,73E+11	4,89E+13	1,7	97,1	1,2



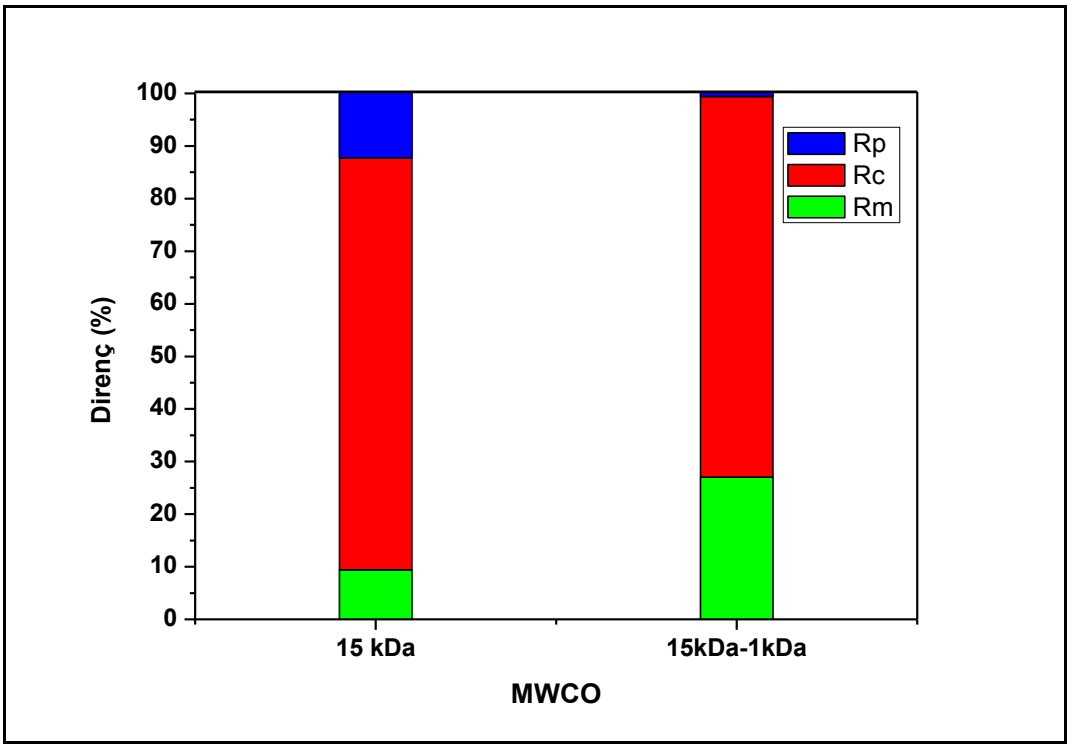
Şekil 4.130: Kasar Ana Banyo 1.set direnç değerleri (m^{-1}).



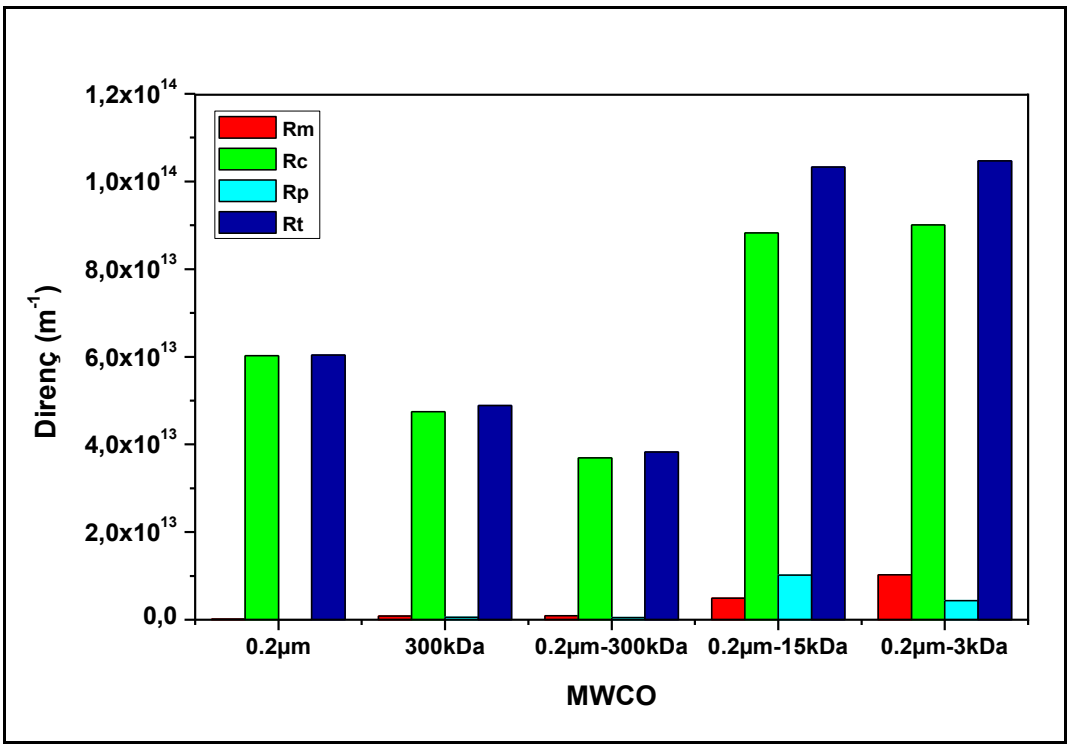
Şekil 4.131: Kasar Ana Banyo 1.set direnç oranları (%).



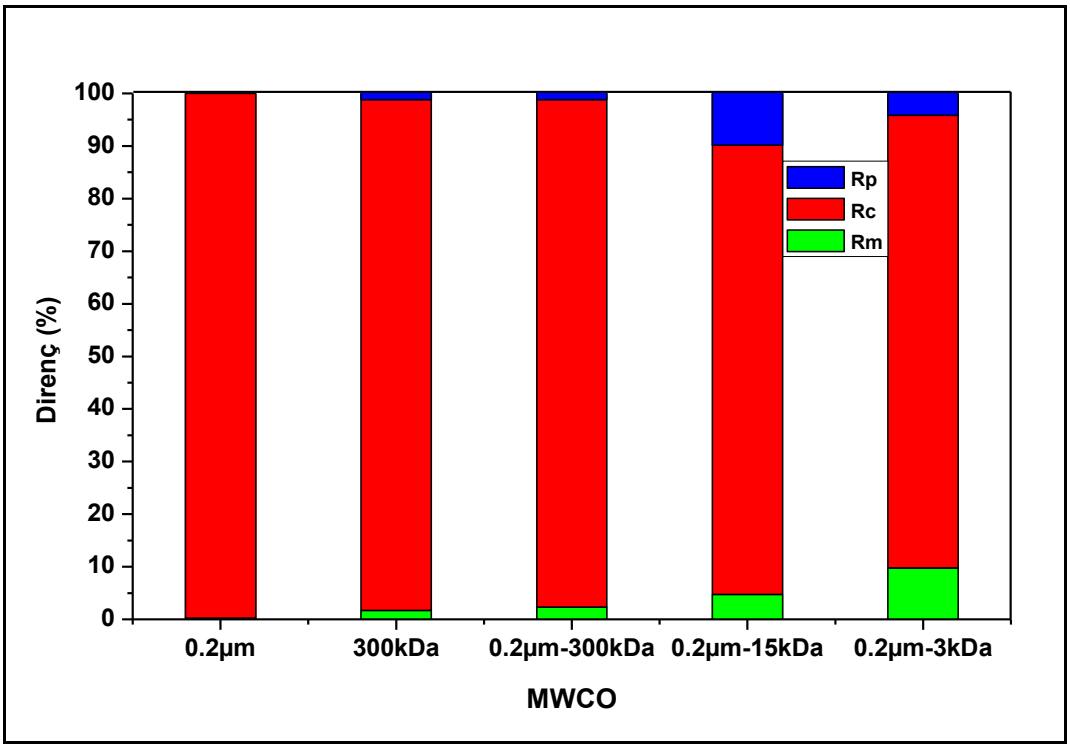
Şekil 4.132: Kasar Ana Banyo 2.set direnç değerleri (m^{-1}).



Şekil 4.133: Kasar Ana Banyo 2.set direnç oranları (%).



Şekil 4.134: Kasar Ana Banyo 3.set direnç değerleri (m^{-1}).



Şekil 4.135: Kasar Ana Banyo 3.set direnç oranları (%).

4.2.3. Laboratuvar Ölçekli Çapraz Akış Membran Filtrasyonu Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez çalışmaları kapsamında sıcak su geri kazanımı ve kostik geri kazanımı için toplam 55 adet çapraz akış membran filtrasyon deneyleri tubular ve disk tip seramik membranlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Tablo 4.18). Çapraz akış filtrasyonu deneylerinde elde edilen ham atıksu ve süzüntülere ait analiz sonuçlarının genel değerlendirmesi karşılaştırmalı olarak Tablo 4.56' da verilmiştir.

Sıcak su geri kazanımı deney çalışmaları değerlendirildiğinde, Dispers Emprime Baskı ve Isı Geri Kazanımı noktalarına ait numunelerinin mevcut en düşük gözenek çapında (3 kDa (sıkı UF)) elde edilen süzüntülerin içeriğinde yüksek renk giderimi elde edilirken, nihai organik madde konsantrasyonları oldukça yüksektir (Tablo 4.57). Diğer bir sıcak su geri kazanımı noktası olan Emprime Karışım noktasına ait numunelerde düşük gözenek boyutlarında (3 kDa (sıkı UF), 15 kDa+3 kDa (UF+sıkı UF)) yüksek kirletici giderimi elde edilmiş ve nihai süzüntüde ölçülen organik madde konsantrasyonları yeniden kullanım için uygun aralıklarda kalmıştır (Tablo 4.57).

Dispers emprime baskı banyosu numunesinde renk gideriminin %90 ve üzerinde olmasına rağmen KOİ ve TOK gideriminde en fazla %30 giderim elde edilebilmiştir. Bunun sebebinin organik yüke neden olan partiküllerin membran gözenek boyutundan küçük olması nedeni tutulamaz iken boya moleküllerinin membran yüzeyine adsorbe olması sonucunda yüksek renk gideriminin elde edildiğini söylenebilir.

Isı geri kazanım noktasında, KOİ giderim verimi %55-70 aralığında, TOK giderim verimi %53-67 aralığında kalırken %90 ve üzerinde renk giderimi gerçekleşmiştir. Organik madde açısından elde edilen en yüksek KOİ ve TOK giderimleri %70 yakın olsada nihai konsantrasyon değerleri geri kullanım limitlerinin üzerinde kalmaktadır.

Dispers emprime baskı ve ısı geri kazanım noktasında elde edilen sonuçlarda olduğu gibi, renk gideriminin %90 ve üzerinde olduğu ancak düşük KOİ ve/veya TOK gideriminin gerçekleştiği çalışmalar bulunmaktadır [Erkanlı et al., 2017], [Simonic, 2009]. Erkanlı ve arkadaşlarının çalışmasında, iki kademeli ultrafiltrasyon membranı ile tekstil atıksuyunda %90 üzerinde renk giderimi sağlanmış ancak TOK giderim verimi yeterli düzeyde olmamıştır bunun sebebinin ise boya partiküllerinden

daha küçük organiklerin membran gözeneklerinden geçmesi ile açıklamışlardır [Erkanlı et al., 2017].

Düşük organik madde giderimi çalışılan atıksuyun kimyasal yapısı, boyaların yapısı, farklı boyaların kullanılması ve atıksu içerisinde yeralan boyaların farklı etkileşimlerde bulunması ile açıklanabilir [O'Neill et al., 1999], [Voigt et al., 2001], [Barredo-Damas et al., 2010]. Dispers boyaların suda çözünürlüğünün oldukça düşük olması, atıksuda yüksek AKM içeriği ve düşük zeta potansiyeli dağılımında düşük KOİ ve TOK giderimine sebep olduğu rapor edilmiştir [Kim T. H et al., 2004].

Emprime Karışım noktasında %62-88 oranında KOİ giderimi, %78-95 oranında TOK giderimi ve %80-95 oranın renk giderimi elde edilmiştir. Elde edilen minimum organik madde konsantrasyonları geri kullanım limitlerini sağlarken yüksek renk giderimine rağmen nihai renk değeri geri kullanım limitini sağlayamamaktadır. 2001 yılında yapılan bir çalışmada, 30 farklı renkli atıksuyun 400 Da gözenek boyutundaki seramik NF membranlar ile filtrasyonu sonrasında %45-80 KOİ giderimi elde edilmiştir. Bu geniş aralığın sebebi olarak boya banyoları arasındaki fark olduğu belirtilmiştir [Voigt et al., 2001]. 2010 yılında yapılan başka bir çalışmada, 600 Da üzeri organik aniyonik boyaların seramik membran filtrasyonunda giderildiği görülmüştür [Majewska-Nowak, 2010]. Başka bir tekstil endüstrisi atıksuyu arıtımı çalışmasında NF/TO polimerik membran filtrasyonu öncesinde 30 kDa, 50 kDa ve 150 kDa seramik membranlar ön arıtma olarak kullanılarak, %80 ve üzerinde bulanıklık, renk ve KOİ giderimi elde edilmiştir [Barredo-Damas et al., 2010].

Sıcak su geri kazanımı hedeflenen diğer bir nokta olan kasar durulama banyolarının nispeten daha temiz su kalitesine sahip olan 4.durulama banyosundan alınan atıksu ile yapılan filtrasyon deneyinde de ısı geri kazanım ve dispers emprime baskı numunelerinde olduğu gibi sıkı UF seviyesinde elde edilen süzüntüde yüksek organik madde içeriği görülmüştür.

Laboratuvar ölçekli çalışma sonuçlarına göre sıcak su geri kazanımı hedefi için en uygun nokta ayda yaklaşık ortalama 8.000 m^3 sıcak su geri kazanım potansiyeli bulunan emprime karışım noktasıdır.

Kostik geri kazanımı açısından ise 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa süzüntülerinde elde edilen organik madde içeriği, renk ve kostik içeriği benzerdir. Elde edilebilen minimum KOİ konsantrasyonu 6 g/L civarında iken yaklaşık %80 giderim sağlanmıştır. Filtrasyon sonrasında yaklaşık %15±5 kostik kaybı görülmüştür. Bu nedenle, elde edilen kostik çözeltisinin, ticari kostik çözeltileri ile karıştırılarak, ana banyoda yeniden kullanılabileceği öngörülmektedir.

Merserizasyon ve soğuk kasar işleminden oluşan atıksuların organik kirlilik yükü oldukça fazladır ve bu atıksular NaOH, yüzey aktif madde ve askıda katı madde içeriği bakımından zengindir. Sulu alkali sistemler selülozun kristal yapısını tamamen parçalamaz ve çözünürlük düşük polimerizasyon derecesine sahip selülozla sınırlıdır. Fakat kumaş liflerindeki selüloz düşük sıcaklıklarda, NaOH gibi güçlü konsantre alkali çözeltilerde çözünür . Askıda katı içeriği UF prosesi ile giderilirse, alkali çözelti ve yüzey aktif maddeler proseste tekrar kullanılabilmektedir [Avdicevic et al., 2017]. Literatürde, yüksek alkali özellikteki tekstil atıksularının arıtımı ve kostik sodanın geri kazanımını içeren sınırlı sayıda çalışma mevcuttur [Choe et al., 2005], [Johakimo et al., 2016]. Avdicevic et al. (2017) tarafından tekstil merserizasyon atıksuyunun arıtımında, farklı por boyutuna (1, 2 ve 500 kDa) sahip seramik tubular membranların performansları değerlendirilmiştir. Çok kanallı tubular membranlar kullanılarak gerçekleştirilen çapraz akış ultrafiltrasyon deneyleri sonucunda; 1 kDa süzüntüsünde kalan organik bileşiklerin ıslatma maddesi ve çözünmüş selüloz moleküllerinden gelen sürfaktanları ifade edebileceği rapor edilmiştir [Avdicevic et al., 2017].

Tablo 4.56: Çapraz akış filtrasyonu analiz sonuçlarının genel değerlendirilmesi.

Numune Noktası	**1. Set**	**2. Set**	**3. Set (tubular)**
Dispers Emprime Baskı* (Sıcak Su Geri Kazanım)	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.
	Ham atıksu **KOİ değeri 1.058 mg/L** iken **15kDa** süzüntüsünde elde edilen değer **735 mg/L**'dir. **KOİ giderim verimi** yaklaşık **%30** olarak gerçekleşmiştir ancak nihai durumda kalan organik miktarı oldukça yüksektir.	Ham numune için **KOİ değeri 1.044** mg/L iken 15kDa ve 3kDa sonuçları **785 mg/L**'dir. KOİ giderim verimi 15kDa ve 3kDa için yaklaşık **%25** olarak gerçekleşmiştir ancak nihai durumda kalan organik miktarı oldukça yüksektir.	Ham numune için **KOİ değeri 939** mg/L iken 300kDa ve 3kDa sonuçları sırası ile 870 mg/L ve **794 mg/L**'dir. 3kDa KOİ değeri ilk iki sette elde edilen KOİ değerine yakındır. KOİ giderim verimi 3kDa için yaklaşık **%15** olarak gerçekleşmiştir. İlk iki sette olduğu gibi bu deneyde nihai durumda kalan organik miktarı oldukça yüksektir.
	Ham atıksu **TOK değeri 83 mg/L** iken **15kDa** süzüntüsünde elde edilen değer **23 mg**/L' dir. **TOK giderim verimi** yaklaşık **%72** olmuştur.	Ham atıksu **TOK değeri 290 mg/L** iken 15kDa süzüntüsünde elde edilen değer **205 mg/L**' dir. **TOK giderim verimi** yaklaşık **%29** olmuştur.	Ham atıksu **TOK değeri 221 mg/L** iken 300kDa ve 3kDa süzüntüsünde elde edilen değerler sırası ile 183 mg/L ve **169 mg/L**' dir. **TOK giderim verimi 3kDa için** yaklaşık **%24** olmuştur. 2. ve 3. Sette 3kDa süzüntüsünde elde edilen giderim verimleri benzerdir.
	Renk giderimi ise 15kDa seramik membran için her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile **%72, %82 ve %91** olarak gerçekleşmiştir.	Renk giderimi 300kDa, 50kDa, 15kDa ve 3kDa için benzerdir. Renk giderim verimi her üç dalga boyunda **%98'** in üzerindedir.	Renk giderimi 3kDa için her üç dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile %79, %91 ve %93' olarak gerçekleşmiştir.
	300kDa, 50kDa ve 15kDa seramik membran süzüntülerinde elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır.	En düşük MWCO (3kDa) elde edilen toplam sertlik değeri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerin bir miktar üzerinde kalmıştır (42 mg CaCO3/L>36 mg CaCO3/L).	300kDa ve 3kDa süzüntülerinde elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerlerin oldukça altındadır.
Isı Geri Kazanım (Sıcak Su Geri Kazanım)	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.
	Ham atıksu **KOİ değeri 1.784 mg/L** iken **15kDa süzüntüsünde** elde edilen değer **805 mg/L**'dir. KOİ giderim verimi yaklaşık **%55** olarak gerçekleşmiştir ancak nihai durumda **kalan organik miktarı oldukça yüksektir**.	Ham atıksu **KOİ değeri 1.778 mg/L** iken **15kDa süzüntüsünde 754 mg/L**, **3kDa süzüntüsünde 610 mg/L**'dir. **KOİ giderim verimi** 15kDa için **%58**, 3kDa için yaklaşık **%66** olarak gerçekleşmiştir. Ancak nihai durumda **kalan organik miktarı oldukça yüksektir.**	Ham atıksu **KOİ değeri 4.000 mg/L** iken 300kDa ve 3kDa süzüntülerinde 2.300 mg/L ve 1.248 mg/L bulunmuştur. 2. ve 3. sette elde edilen KOİ giderim verimleri 300kDa ve 3kDa için sırası ile **%41** ve **%69**'dur. Bu değerler 2. Sette elde edilen değerlere yakındır. İlk iki sette olduğu gibi bu deneyde de nihai durumda **kalan organik miktarı oldukça yüksektir**.
	Ham atıksu **TOK değeri 476 mg/L** iken **15kDa** süzüntüsünde ölçülen değer **222 mg/L'dir**. **TOK giderim verimi %53't**ür.	Ham atıksu **TOK değeri 473 mg/L** iken **15kDa** süzüntüsünde **210 mg/L**, **3kDa süzüntüsünde 183 mg/L'** dir. **TOK giderim verimi** 15kDa için **%56,**	Ham atıksu **TOK değeri 929 mg/L** iken 300kDa ve 3kDa süzüntülerinde sırası ile 583 mg/L ve 307 mg/L olarak bulunmuştur TOK giderim verimleri

Tablo 4.56: Çapraz akış filtrasyonu analiz sonuçlarının genel değerlendirilmesi.

Numune Noktası	1. Set	2. Set	3. Set (tubular)
		3kDa için **%61** olarak gerçekleşmiştir.	300kDa ve 3kDa için sırası ile **%37** ve **%67**'dir. Bu değerler 2. Sette elde edilen değerlere yakındır.
	Renk giderimi 15kDa için her 3 dalga boyunda (436 nm; 525 nm; 620 nm) sırası ile **%80, %83 ve %82** olmuştur	**Renk giderim verimi** 15kDa için her 3 dalga boyunda (436 nm; 525nm; 620nm) sırası ile **%82, %81 ve %93**, 3kDa membran için **% 91, %90 ve %96** olarak gerçekleşmiştir.	**Renk giderim verimi** 3kDa için her 3 dalga boyunda (436 nm; 525nm; 620nm) sırası ile **%92, %94 ve %96 ve %96** olarak gerçekleşmiştir.
	50kDa ve 15kDa süzüntülerinde elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L).	300kDa, 50kda, 15kDa ve 3kDa süzüntülerinde elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L).	300kDa ve 3kDa süzüntülerinde elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L).
Emprime Karışım (Sıcak Su Geri Kazanım)	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.	Düşük MWCO değerlerinde yüksek kirletici giderimi görülmüştür.
	Ham atıksu **KOİ değeri 821 mg/l** iken en düşük KOİ değeri 315 mg/L (3KDa) ve 325 mg/L(50kDa+1kDa) olarak ölçülmüştür. Elde edilen en büyük **KOİ giderim verimi yaklaşık %62'** dir.	Ham atıksu **KOİ değeri 454 mg/l** iken en düşük KOİ değeri 54 mg/L (15kDa+3kDa) olarak ölçülmüştür. Elde edilen en büyük **KOİ giderim verimi ise yaklaşık %88'** dir.	Ham atıksu **KOİ değeri 917 mg/l** iken 300kDa ve 3kDa süzüntülerinde sırası ile 298 mg/L ve 122 mg/L olarak bulunmuştur. Elde edilen **en düşük KOİ giderim verimi %87**'dir. Bu değer ikinci sette elde edilen giderim verimine benzerdir.
	Ham atıksu **TOK değeri 181 mg/L** iken en düşük TOK değeri 40 mg/L (3kDa) olarak ölçülmüştür. Elde edilen en büyük **TOK giderim verimi yaklaşık %78**' dir.	Ham atıksu **TOK değeri 129 mg/L** iken en düşük TOK değeri 19 mg/L (15kDa+3kDa) olarak ölçülmüştür. Elde edilen en büyük **TOK giderim verimi ise yaklaşık %85'** dir.	Ham atıksu **TOK değeri 269 mg/L** iken 300kDa ve 3kDa süzüntülerinde sırası ile 78 mg/L ve 27 mg/L olarak bulunmuştur. Elde edilen **en düşük TOK giderim verimi %90**'dlr. Bu değer ikinci sette elde edilen giderim verimine benzerdir.
	Ham atıksu renk değeri 436 nm; 525nm;620nm için sırası ile 55,6;34,4;15,8 iken elde edilen en düşük renk değeri **3kDa** süzüntüsünde görülmüştür. Renk giderim verimi 436 nm; 525nm;620nm için sırası **ile %74, %79 ve %87'** dir.	Ham atıksu renk değerleri 436 nm; 525nm ;620nm için sırası ile 91,2;178,4;106,4 iken elde edilen en düşük renk değerleri **3kDa** ve **15kDa+3kDa** süzüntülerinde 3 dalga boyunda sırası ile 14,3;28,3;15,1 olarak ölçülmüştür. Renk giderim verimi 3 dalga boyunda sırası ile **%84, %84 ve %86** olarak gerçekleşmiştir.	Ham atıksu renk değerleri 436 nm; 525nm ;620nm için sırası ile 107,2;94,8;112,4 iken 3kDa membranda elde edilen renk giderim verimi 3 dalga boyunda sırası ile **%94, %93 ve %95** olarak gerçekleşmiştir.
	50kDa, 15kDa ve 3kDa süzüntülerinde elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır.	300kDa, 50kDa, 15kDa ve 3kDa süzüntülerinde elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır.	300kDa ve 3kDa süzüntülerinde elde edilen sertlik değerleri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır.
Viskon Kasar Ana Banyo (Kostik Geri Kazanım)	300kDa, 50kDa ve 15kDa sonuçları değerlendirildiğinde, KOİ, TOK ve renk giderimlerinin benzer olduğu görülmüştür.	15kDa ve 15kDa+1kDa sonuçları değerlendirildiğinde, KOİ, TOK ve renk giderimlerinin benzer olduğu görülmüştür	İlk iki sete benzer şekilde elde edilen minimum KOİ değeri 6.000 mg/L civarındadır. Renk giderimi düşük MWCO yüksektir.
	Ham atıksu **KOİ değeri 33.400 mg/L** iken 300kDa, 50kDa ve 15 kDa süzüntülerinde **yaklaşık 6.000 mg/L** ölçülmüştür**. KOİ giderimi** 15KDa için **%81** olmuştur.	Ham atıksu **KOİ değeri 49.760 mg/L** iken 15 kDa ve 15kDa+1kDa süzüntülerinde **yaklaşık 6.300 mg**/L ölçülmüştür**. KOİ giderimi** her iki filtrasyon için **%87** olmuştur.	Ham atıksu **KOİ değeri 23.140 mg/L** iken 0,2µm, 300kDa, 15 kDa ve 3kDa süzüntülerinde sırası ile 16.080 mg/L, 11.020 mg/L, 6.196 mg/L ve 6.020 mg/L ölçülmüştür**. Elde edilen minimum KOİ değeri ilk**

Tablo 4.56: Çapraz akış filtrasyonu analiz sonuçlarının genel değerlendirilmesi.

Numune Noktası	1. Set	2. Set	3. Set (tubular)
			iki sete benzerdir. **KOİ giderimi** 3kDa membran için **%74** olmuştur.
	Ham atıksu **TOK** değeri **8.730 mg/L** iken 300kDa, 50kDa ve 15kDa süzüntülerinde yaklaşık **2.000 mg/L** ölçülmüştür. **TOK giderimi** 15kDa için **%77 olmuştur**	Ham atıksu **TOK** değeri **14.195 mg/L** iken 15kDa süzüntüsünde **1.969 mg/L** ve 15kDa+1kDa süzüntüsünde yaklaşık **1.713 mg/L** ölçülmüştür**. TOK giderimi** 15kDa+1kDa için **%88** olmuştur	Ham atıksu **TOK değeri 4.718 mg/L** iken 0,2µm, 300kDa, 15 kDa ve 3kDa süzüntülerinde sırası ile 3.424 mg/L, 1.857 mg/L, 799 mg/L ve 729 mg/L ölçülmüştür**..** **TOK giderimi** 3kDa membran için **%85** olmuştur. **Elde edilen minimum TOK giderim verimi ikinci sete benzerdir**
	Renk giderimi açısından 300kDa, 50kDa ve 15kDa süzüntülerinin sonuçları benzer olmakla beraber 15kDa süzüntüsünde her üç dalga boyunda **%96** üzerinde renk giderimi gerçekleşmiştir	Renk giderimi açısından 15 kDa ve 15kDa+1kDa süzüntülerinin sonuçları benzer olmakla beraber 15kDa+1kDa süzüntüsünde **%96**'nın üzerinde renk giderimi gerçekleşmiştir.	Renk giderimi açısından ilk iki sette olduğu gibi her üç dalga boyunda **%96** üzerinde renk giderimi gerçekleşmiştir
	Ham atıksu **NaOH içeriği 17,6 g/L** iken süzüntülerde yaklaşık 15g/L olarak ölçülmüş ve **kayıp yaklaşık %16** olmuştur.	Ham atıksu **NaOH içeriği 17 g/L iken** süzüntülerde yaklaşık 14 g/L olarak ölçülmüş **ve kayıp yaklaşık %20** olmuştur.	Ham atıksu **NaOH içeriği 22 g/L iken** süzüntülerde yaklaşık 20-21 g/L olarak ölçülmüş **ve kayıp yaklaşık %5-%10** olmuştur.
Viskon Kasar Durulama (Sıcak Su Geri Kazanım)**		Ham atıksu **KOİ değeri 1.340 mg/L** iken 300kDa süzüntüsünde 1.132 mg/L ve 3kDa süzüntüsünde **634 mg/L** olarak ölçülmüştür**. KOİ giderimi %53** olmuştur	
		Ham atıksu **TOK değeri 305 mg/L** iken 300kDa süzüntüsünde 338 mg/L ve 3kDa süzüntüsünde **130 mg/L** olarak ölçülmüştür. **TOK giderimi %57** olmuştur	
		Renk giderimi açısından 3kDa membran ile 3 dalga boyunda (436 nm; 525nm; 620nm) sırası ile **%74, %76 ve %76 lık renk giderimi** gerçekleşmiştir.	
		3kDa süzüntüsünde elde edilen sertlik değeri firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L).	
		Süzüntüde organik miktarı oldukça yüksektir. Bu sebeple **4. durulama banyosunun geri kullanım açısından uygun olmadığı düşünülmektedir.**	

*Dispers baskı banyosunun ikinci ve üçüncü setinde TOK ve renk değerleri birinci sete göre yüksektir. Burada ikinci set için dispers emprime baskı 4. deşarjının etkisi olduğu düşünülmektedir. Atıksu karakterizasyonu kapsamında alınan 4. nolu deşarjdan alınan 3 farklı numunede de yüksek TOK ve renk değerleri görülmüştür.

** Sıcak su geri kazanımı açısından değerlendirilen viskon kasar 4.durulama numunesi sadece 2. set deneyler kapsamında incelenmiştir.

Tablo 4.57: Sıcak su akımlarında elde edilen atıksu karakterizasyonun geri kullanım limitleri ile karşılaştırılması

Dispers Baskı Banyo Sıcak Deşarj Karışım						
	pH	**İletkenlik (mS/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Renk (Pt-Co)**	**Toplam Sertlik ($mgCaCO_3/L$)**
Ham Atıksu	**7.8±4.5**	**3.29±0.6**	**1044±7**	**290±22.4**	**1128±459.5**	**83±15.9**
MWCO						
300 kDa	8.3±4.0	3.30±0.7	800±50	248±7	15±4.1	71±26
50 kDa	8.1±4.1	3.30±0.5	792±51	252±24.5	12±1.9	68±27
15 kDa	8.1±4.1	3.22±0.5	785±25	249±29.5	10±1.6	51±22
3 kDa	8.1±4.1	3.24±.0.5	785±24	244±28	8±1.1	42±18
Geri Kullanım Limiti	**-**	**1.0[b]-2.5[c]**	**60-80[b]**	**30[d]**	**20[c]**	**25-50[a]**
Baskı Banyoları Karışım						
	pH	**İletkenlik (mS/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Renk (Pt-Co)**	**Toplam Sertlik ($mgCaCO_3/L$)**
Ham Atıksu	**11.1±1.4**	**1.43±0.4**	**454±16.5**	**129±15**	**3820±9.5**	**90±16.3**
MWCO						
300 kDa	10.6±1.9	1.39±0.2	142±19.5	44±11.5	2127±9.5	34±1
50 kDa	10.8±.1.8	1.38±0.2	117±16	40±8	1944±4	29±3.1
15 kDa	10.8±1.8	1.24±0.3	68±18.5	24±8.5	1128±9.5	16±3.1
3 kDa	10.7±1.8	1.32±0.1	67±12	21±4	599±15	23±7.7
Geri Kullanım Limiti	**-**	**1.0[b]-2.5[c]**	**60-80[b]**	**30[d]**	**20[c]**	**25-50[a]**
Isı Geri Kazanım						
	pH	**İletkenlik (mS/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Renk (Pt-Co)**	**Toplam Sertlik ($mgCaCO_3/L$)**
Ham Atıksu	**9.8±1.1**	**7.13±0.1**	**1778±3**	**473±1.5**	**1438±90**	**108±32.8**
MWCO						
300 kDa	9.6±0.2	7.51±0.1	923±14	296±63.5	419±83.5	28±6.2
50 kDa	9.8±0.3	7.25±.0.2	783±13	230±82	357±45	17±3.1
15 kDa	9.9±0.3	7.18±0.2	754±1.5	210±6	261±22	13±2.1
3 kDa	10.0±0.0	7.17±0.1	610±1.5	183±6	141±20.5	16±4
Geri Kullanım Limiti	**-**	**1.0[b]-2.5[c]**	**60-80[b]**	**30[d]**	**20[c]**	**25-50[a]**

[a] Guyer et al., 2016; [b] Capar et al., 2008; [c] Yukseler et al., 2017; [d] De Florio et al., 2005

Çapraz akış filtrasyonu deneylerinde elde edilen akı davranışları ve kirlenme mekanizmasının genel değerlendirmesi karşılaştırmalı olarak Tablo 4.58'de verilmiştir.

Dispers Emprime Baskı banyolarında yapılan deneylerde denge akıları 50 kDa ve 15 kDa membranlarda benzer değerlerde gerçekleşmiştir. 300 kDa membranlarda 30-50 LMH aralığında gerçekleşmiştir. Elde edilen minimum denge akısı 20 LMH değeri ile 3 kDa membrandan görülmüştür. En hızlı akı azalması ilk 10-25 dakikada %50 oranında, toplamda %80 oranında birinci ve üçüncü sette 300 kDa membrandan, ikinci sette 50 kDa membranda gözlenmiştir.

Isı geri kazanım noktasında ise birinci sette, 300 kDa ve 50 kDa denge akıları, ikinci sette 50 kDa ve 15 kDa denge akıları benzerdir. Elde edilen minimum denge akı değeri 3 kDa membrandan 15 LMH olarak gerçekleşmiştir. En hızlı akı azalması ilk 10-25 dakikada %60-70 oranı ile 300 kDa membranda görülmüştür.

Emprime karışım noktasında birinci sette en düşük denge akısı 8-9 LMH değeri ile 1 kDa ve 3 kDa membranlarda görülmüştür. İkinci sette, 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa denge akıları birbirlerine yakındır (15-23 LMH).Üçüncü sette ise 300 kDa ve 3 kDa için denge akıları sırası ile 39 LMH ve 30 LMH olarak gerçekleşmiştir. En hızlı akı azalması, 300 kDa membrandan görülmüştür. Bu noktada iki kademeli gerçekleşen deneylerde denge akılarının iyileştiği görülmüştür. 50 kDa, 15 kDa ve 3 kDa için 15-23 LMH iken, 300 kDa+3 kDa için 87 LMH, 50 kDa+3 kDa için 85 LMH, 15 kDa+3 kDa için 132 LMH olarak gerçekleşmiştir.

Viskon kasar ana banyo noktasında, 300 kDa, 50 kDa ve 15 kDa denge akıları birbirine benzerdir (18-22 LMH). İki kademeli membran filtrasyonunun olumlu etkisi 15 kDa için 9 LMH iken 15 kDa+1 kDa için 43 LMH olarak gerçekleşmiştir. Üçüncü sette ilk sette olduğu gibi 300 kDa ve 3 kDa denge akıları benzerdir. Sıcak su deneylerinde olduğu gibi en hızlı akı azalması 300 kDa membrandan görülmüştür.

Büyük gözenekli membranlarda hızlı tıkanmanın görüldüğü benzer çalışmalar bulunmaktadır. Büyük gözenekli membranlarda taşınımın daha çok olması nedeni ile hızlı tıkanması beklenmektedir ve başlangıç kirlenme mekanizması gözenek tıkanması iken kek kirlenmesine döner [Costa et al., 2006]. Büyük gözenek çapına sahip membranlarda, başlangıç akı azalma çözünen organik ve inorganiklerin membran yüzeyinde ve gözeneklerinde adsorbe olmasının neden olabileceği rapor edilmiştir [Tang and Chen, 2002], [Bae and Tak, 2005]. Erkanlı ve arkadaşları

(2017), çoğunlukla partikül boyutları 1000 g/mol den küçük olan boya partiküllerinin membran gözeneklerinde adsorbe edildiğini belirtmişlerdir, filtrasyon deneylerinde 300 kDa ve 50 kDa seramik membran filtrasyonunda, ilk 10-25 dakikada en hızlı akı azalmasının görülmesinin nedeni de benzer şekilde açıklanabilir.

Kirlenme mekanizması açısından seramik membranlarda beklendiği üzere fiziksel olarak giderilebilen direnç (Rc) etkindir. Toplam direncin genelde %70 ve üzerinde fiziksel olarak giderilebilen direnç (Rc) olduğu görülmüştür. Membran gözenek boyutu arttıkça Rc değerinin sayısal olarak azaldığı ancak yinede toplam direncin (R_T) en büyük kısmının oluşturduğu görülmüştür.

Gözeneklerde biriken, geri yıkama ve kimyasal yıkama ile giderilemeyen direncin ihmal edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir böylece kimyasal yıkama sonrasında saf su akısı yeni membran akı değerine yakın veya benzer bulunmuştur.

Seramik membran filtrasyonunda tüm deneylerde fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su geri kazanıma etkisinin benzer olduğu görülmüştür. Kimyasal yıkama sonrasında saf su geri kazanımının yaklaşık olarak %90 seviyelerinde gerçekleştiği söylenebilir.

Literatürde seramik membranların kirlenme mekanizmasının değerlendirildiği çalışmalarda da benzer şekilde etkin kirlenme mekanizmasının fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olduğu ve geri çevrilemeyen kirlenmenin (Rif) ihmal edilebilir düzeyde olduğu belirtilmiştir [Lee et al., 2013], [Lee et al., 2014], [Cromey et al., 2015], [Dilaver et al., 2018].

Cromey ve arkadaşları, kolloidal silika içeren besleme suyunda, 25-90 ^{O}C sıcaklık aralıklarında çapraz akış filtrasyonu ile 50 kDa disk tip seramik UF membranların performansını değerlendirmiştir. Seri direnç (Resistance-in-series) model analizi ve kek özellikleri karakteristiği verilerine göre, toplam kirlenme sıcaklıkla artmakta olup, baskın kirlenmenin fiziksel temizlik ile kolayca temizlenebilen kek kirlenmesi olduğu belirtilmiştir. Toplam direncin (R_T) %95'i fiziksel olarak uzaklaştırılabilen dirençtir (Rc). Tüm sıcaklıklarda kimyasal olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rrf) ve geri çevrilemeyen kirlenme (Rif) direnci ihmal edilebilir düzeyde bulunmuştur [Cromey et al., 2015]

2013 yılında Lee ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada sıcaklıktan bağımsız olarak seramik membranların temel kirlenme mekanizmasının fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olduğu bulunmuştur [Lee et al., 2013], [Lee et

al., 2014]. Membran kirlenmenin büyük ölçüde fiziksel olarak uzaklaştırılabilir olması kimyasal yıkama periyodu uzamakta ve membranın zarar görme olasılığı azalmaktadır.

Seramik membran filtrasyonları genel olarak değerlendirildiğinde, ultra filtrasyon ve/veya sıkı ultrafiltrasyon öncesinde mikrofiltrasyon yapmanın kirletici giderimi açısından etkili olmadığı görülmüştür. Ancak membran kirlenmesi açısından baktığımızda ise, iki kademeli filtrasyonun fiziksel olarak geri kazanılabilir akı üstünde olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, iki kadameli filtrasyonun atıksu akısı üstünde de olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, sıcak su ve kostik geri kazanımının iki kademeli olarak yani , ultra filtrasyon ve/veya sıkı ultrafiltrasyon öncesinde mikrofiltrasyon yapmanın uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.58: Çapraz akış filtrasyonu akıların ve kirlenme mekanizmasının genel değerlendirilmesi.

Numune Noktası	1. Set	2. Set	3. Set (tubular)
Dispers Emprime Baskı	0.24 µm ile ön arıtma sonrası 300-50-15kDa membranlar ile yapılan filtrasyon deneylerinde, **50kDa ve 15kDa** için atıksu denge akılarının benzer değerlerde **(11 ve 12 L/m^2/sa), 300 kDa için 31 L/m^2/sa** değerinde olduğu görülmüştür.	Ön arıtma yapılmadan 300-50-15-3kDa membranlar ile yapılan filtrasyon deneylerinde, **atıksu denge akıları 300 kDa için L/m^2/sa, 50 ve 15 kDa için yakın (29 ve 27 L/m^2/sa)** değerlerdedir. Kararlı hale gelmesi en uzun süren **membran 3 kDa** olup, **atıksu denge akısı 20 L/m^2/sa** değerindedir.	300kDa ve 3kDa tubular membranlar ile yapılan filtrasyon deneylerinde, **atıksu denge akıları sırası ile 34 L/m^2/sa ve 46 L/m^2/sa** olarak bulunmuştur.
	En hızlı akı azalması 300kDa ve 15kDa için ilk 10 dk'da yaklaşık %50 oranında gözlenmiştir. 300kDa membranda %80-%90 oranında akı azalması görülmüştür.	**En hızlı akı azalması ilk 10 dk içinde 50kDa için % 50** oranında gözlenirken, **300kDa, 15kDa ve 3kDa'da benzer oranda azalma (yaklaşık %30) %70 seviyesinde** olmuştur. 50kDa membranda akı azalma oranı %80-%90 olarak gerçekleşmiştir.	**İlk 25 dakikada** 300kDa membranda akı azalması %60-%70, 3kDa membranda %10-%20 olarak gerçekleşmiştir. Akı azalma oranı 300kDa ve 3kDa membran için sırası ile **%70-%80, %30-%40** oranında gözlenmiştir.
	Fiziksel ve geri yıkama sonrası saf su akısı geri kazanımı, her üç MWCO için yakın değerlerde olmakla birlikte, en az geri kazanım **%47 ile 15kDa** için elde edilmiştir.	Her dört MWCO için de saf su akısı geri kazanımı değerlerinin fiziksel yıkama ve geri yıkama sonrası aynı olduğu belirlenmiştir. Fiziksel ve geri yıkama sonrası en düşük **saf su geri kazanım oranı 3kDa için (~ %25) elde edilirken, 300-50-15kDa için ortalama %50** civarındadır.	**Fiziksel temizlik sonrası saf su akısı geri kazanım oranları** 300kDa ve 3kDa membranlar için sırası ile **%31** ve **%73** olarak gerçekleşmiştir.
	Kimyasal yıkama sonrası **saf akısı geri kazanımı 300-50-15 kDa için sırasıyla %75, %86 ve %80** olarak gözlenmiştir.	Kimyasal yıkama sonrasında **saf su akısının geri kazanımı** her 4 MWCO için **%95'in** üzerinde gerçekleşmiştir.	**Kimyasal temizlik sonrası saf su akısı geri kazanım oranları** 300kDa ve 3kDa membranlar için sırası ile **%52** ve **%97** olarak gerçekleşmiştir.
	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması tüm MWCO membranlar için **%93 ve üzeri oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) dir**.	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması tüm MWCO membranlar için **%71 ve üzeri oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) dir**.	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması **fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olup 300kDa ve 3kDa** membranlar için sırası ile **%89 ve %59 oranlar ile gerçekleşmiştir.**
Isı Geri Kazanım	0.24µm ile ön arıtma sonrası 300-50-15kDa ile yapılan filtrasyon deneylerinde, **300kDa ve 50kDa** için atıksu denge akılarının benzer değerlerde **(78 ve 76 L/m^2/sa)**, **15 kDa için 20 L/m^2/sa** değerinde olduğu görülmüştür.	Ön arıtımın yapılmadığı filtrasyon deneylerinden elde edilen atıksu denge akıları, **50 kDa ve 15kDa için** yakın değerlerde **(20 L/m^2/sa)** olup, **300kDa** için elde edilen değerden **(26 L/m^2/sa)** bir miktar düşük bulunmuştur. **En düşük atıksu denge akısı 3 kDa için 15 L/m^2/sa** olarak gözlenmiştir.	300kDa ve 3kDa tubular membranlar ile gerçekleşen deneylerde atıksu denge akıları sırası ile **27 L/m^2/sa ve 29 L/m^2/sa** olarak gerçekleşmiştir.
	En hızlı akı azalması büyük gözenek boyutuna sahip olan **300 kDa** için gözlenmiş olup, akı azalma oranı **ilk 10 dk içinde %70 seviyesine düşmüştür. 15 kDa ve 50 kDa için ise akı azalma oranlarının ilk 10 dk'da sırasıyla %50 ve %60**	Atıksu akısında ani düşüş ilk 15-20 dk içinde sırasıyla 300kDa, 50kDa, 15kDa için gözlenmiştir. Atıksu akısındaki azalma oranları **300kDa ve 50kDa için ilk 10 dk'da %30 oranında azalma ile %70** olarak gözlemiştir**. 15kDa ve 3kDa için ise %70 seviyesine 30**	İlk 25 dakikada görülen akı azalma oranı 300kDa membran için %40-%50, 3kDa membranda %10 oranında gerçekleşmiştir. Akı azalma oranı 300kDa membran için %50, 3kDa membran için %10 civarındadır.

Tablo 4.58: Çapraz akış filtrasyonu akıların ve kirlenme mekanizmasının genel değerlendirilmesi.

Numune Noktası	1. Set	2. Set	3. Set (tubular)
	seviyelerine düştüğü gözlenmiştir.	**dk'da düştüğü** görülmüştür.	
	Fiziksel yıkama ve geri yıkama sonrası saf su akısı geri kazanım oranları **300kDa ve 50kDa için %60-67** arasında değişirken, 15kDa için düşük değerlerde kalmıştır. Geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanımı **15kDa için %43** olarak gerçekleşmiştir.	Fiziksel yıkama ve geri yıkama sonrası saf su akısı geri kazanım oranları **300kDa, 50kDa ve 15kDa için** ön arıtımın yapıldığı 1. setteki sonuçlara benzer ve **%62-66** arasında bulunmuştur. En düşük geri kazanım oranı ise geri yıkama sonrası **3 kDa için %46** olarak gerçekleşmiştir.	Fiziksel yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanımı oranı 300kDa ve 3kDa membranlar için sırası ile **%63 ve %56** olarak gerçekleşmiştir.
	Kimyasal yıkama sonrası saf su akısının geri kazanım oranı **300kDa ve 50kDa için %90'ın üzerinde** iken, por tıkanmasının en çok görüldüğü **15kDa için %63** olarak bulunmuştur.	Kimyasal yıkama sonrası saf su akısının geri kazanım oranı **300kDa ve 50kDa için %85'in üzerinde** iken, **15kDa ve 3kDa için %95'in üzerindedir**.	Kimyasal yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanımı oranı 300kDa ve 3kDa membranlar için sırası ile **%81 ve %93** olarak gerçekleşmiştir
	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması tüm MWCO membranlar için **%84 ve üzeri oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) dir**.	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması tüm MWCO membranlar için **%83 ve üzeri oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) dir**.	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması **fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olup** 300kDa ve 3kDa membranlar için sırası ile **%97 ve %73 oranlarında gerçekleşmiştir.**
Emprime Karışım	0.24 µm ile ön arıtma sonrası 300-50-15-3-1kDa ve 50kDa sonrası 1kDa ile yapılan filtrasyon deneylerinde, **kararlı haldeki en düşük denge akıları 3kDa ve 1kDa için (8-9 L/m^2/sa)** elde edilmiştir.	Ön arıtımın yapılmadığı filtrasyon deneylerinden elde edilen atıksu akıları **50kDa, 15kDa ve 3kDa için** yakın değerlerde **(15-23 L/m^2/sa)** olup, **300kDa için** elde edilen değerden **(35 L/m^2/sa)** bir miktar düşüktür. 300kDa, 50kDa ve 15kDa süzüntülerinin 3kDa'dan süzülmesi ile elde edilen akı grafikleri incelendiğinde ise, **kararlı haldeki atıksu akılarının 300kDa+3kDa ve 50kDa+3kDa için aynı (87 ve 85 L/m^2/sa), 15kDa+3kDa için bir miktar yüksek (132 L/m^2/sa) olduğu** görülmüştür.	300kDa ve 3kDa tubular membranlar ile gerçekleşen deneylerde atıksu denge akıları sırası ile **39 L/m^2/sa ve 30 L/m^2/sa** olarak gerçekleşmiştir.
	En hızlı akı azalması büyük gözenek boyutuna sahip olan **300kDa** için gözlenmiş olup, akı azalma oranı **ilk 10 dk içinde yaklaşık %60 oranında bir azalma ile %40 seviyesine** düşmüştür. **50kDa** için akı azalma oranı ilk **10 dk'da %40 oranında bir azalma ile %60** seviyesine düşerken, bunu **%30'luk bir azalma ile %70 seviyesine düşen 15kDa ve 3 kDa izlemektedir.** İlk 10 dk'lık zaman diliminde **en düşük akı azalma oranı**na sahip membran ise **%20'lik bir azalma ile %80 seviyesine**	300-50-15-3kDa akı grafikleri kendi içinde değerlendirildiğinde; **en hızlı akı azalması 300kDa ve 15kDa için ilk 10 dk'da yaklaşık %40'lık bir azalma ile %60 olarak gözlenirken, 15kDa ve 3kDa için sırasıyla %25 ve %10'luk bir azalma ile %75 ve %90** olarak belirlenmiştir. **300-50-15kDa sonrası 3 kDa** akı grafikleri kendi içinde değerlendirildiğinde ise, atıksu akısında ani bir düşüş görülmemiş, akı azalma oranları **ilk 20 dk'da 300kDa+3kDa ve 50kDa+3kDa için %20 oranında, 15kDa+3kDa için %10'luk bir azalma**	İlk 25 dakikada görülen akı azalma oranı 300kDa membran için %20-%30, 3kDa membranda %10-%20 oranında gerçekleşmiştir. Akı azalma oranı 300kDa membran için %60-%70, 3kDa membran için %30-%40 civarındadır.

Tablo 4.58: Çapraz akış filtrasyonu akıların ve kirlenme mekanizmasının genel değerlendirilmesi.

Numune Noktası	1. Set	2. Set	3. Set (tubular)
	düşen 1kDa'dır.	görülmüştür.	
	8 deney için fiziksel yıkama ile geri yıkamanın saf su akısına etkisinin yakın olduğu **(%22-41 arasında)** görülmüştür. Geri yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanım oranı **50kDa+1kDa** için belirgin bir şekilde yüksektir **(%74).**	Her dört MWCO için de saf su akısı geri kazanımı değerlerinin fiziksel yıkama ve geri yıkama sonrası aynı olduğu belirlenmiştir. Fiziksel ve geri yıkama sonrası en düşük **saf su geri kazanım oranı 3kDa için (%37) elde edilirken, 300kDa, 50kDa ve 15kDa için bu oran %43-50** arasındadır. Aynı şekilde fiziksel temizlik sonrası saf su akısı geri kazanım oranı 300kDa+3kDa ve 50kDa+3kDa için %60'ın üzerinde, 15kDa+3kDa için ise %88 değerindedir.	Fiziksel yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanımı oranı 300kDa ve 3kDa membranlar için sırası ile **%42 ve %48** olarak gerçekleşmiştir.
	Kimyasal yıkama sonrası saf su geri kazanım oranının en düşük olduğu belirlenen membran, en küçük por boyutuna sahip olan **1kDa**'dır **(%42). 300-50-15kDa için** kimyasal yıkama sonrası saf su akısının geri kazanım oranları ise **sırasıyla %83, %84 ve %71** bulunurken**, 3kDa ve 50kDa+1kDa için %100** olarak belirlenmiştir.	Kimyasal yıkama sonrası saf su geri kazanım oranları değerlendirildiğinde, her **dört MWCO için ve 300-50-15kDa sonrası 3kDa için genel olarak %100'e yakın (ya da %100) oranda kazanım** elde edildiği tespit edilmiştir.	Kimyasal yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanımı oranı 300kDa ve 3kDa membranlar için sırası ile **%79 ve %95** olarak gerçekleşmiştir
	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması tüm MWCO membranlar için **%78 ve üzeri oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) dir.**	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması tüm MWCO membranlar için **%67 ve üzeri oranlar ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) dir.**	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması için fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmuştur. Rc değerleri 300kDa ve 3kDa membranlar için sırası ile %90,9 ve %71,9 olarak bulunmuştur.
Viskon Kasar Ana Banyo	0.24µm ile ön arıtım sonrası **300-50-15kDa** ile yapılan filtrasyon deneylerinde, **kararlı haldeki atıksu akıları**nın birbirlerine yakın değerlerde ve **sırasıyla 22, 19 ve 18 L/m^2/sa** olduğu görülmüştür.	0.24µm ile ön arıtım sonrası yapılan **15kDa ve 15kDa sonrası 1kDa** akılarının kararlı haldeki atıksu akıları sırasıyla **9 ve 43L/m^2/sa** olarak bulunmuştur.	3.set deneylerde tubular membranlar ile gerçekleşen deneylerde atıksu denge akıları sırası ile **7-11 L/m^2/sa aralığında gerçekleşmiştir.**
	Atıksu denge akıları birbirine yakın olmakla birlikte, **300kDa ve 50kDa** için **ilk 10 dk içinde %80 ve %60 oranında ani bir azalma** gözlenirken, küçük gözenek boyutuna sahip olan **15kDa** için ani bir düşüş gözlenmemiştir **(%20 oranında azalma ile %80 seviyesine** düşmüştür).	Küçük gözenek boyutuna sahip 15kDa ve 15kDa sonrası 1kDa için yapılan filtrasyon deneylerinde atıksu akılarında ani bir düşüş gözlenmemiştir.	İlk 25 dakikada görülen en hızlı akı azalması 0,2µm membranda %70-%80 oranında görülmüştür.
	Fiziksel yıkama ve geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanım oranı,	Fiziksel ve geri yıkama sonrası saf su akısının geri kazanım oranı **15kDa** için aynı ve	Fiziksel yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanımı oranı en

Tablo 4.58: Çapraz akış filtrasyonu akıların ve kirlenme mekanizmasının genel değerlendirilmesi.

Numune Noktası	1. Set	2. Set	3. Set (tubular)
	300kDa ve 50kDa için yüksek ve **%80'in** üzerinde iken, **15kDa için ortalama %55 civarında** gerçekleşmiştir.	yaklaşık **%40** civarında iken, **15kDa sonrası 1kDa** için bu oran **%68'den %98'e** çıkmıştır.	yüksek 0,2µm membrandan %88 oranında olmuştur.
	Kimyasal yıkama sonrası saf akısı geri kazanım oranı **300 kDa ve 50 kDa için %100** olup, bu değer **15 kDa için %74** olarak bulunmuştur.	Kimyasal yıkama sonrası safsu akısı geri kazanım oranı **15 kDa için %83, 15kDa sonrası 1 kDa için %100** olarak bulunmuştur.	Kimyasal yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanımı en yüksek olduğu membranlar **%100 ve %95 oranlar ile 0,2µm ve 300kDa** membranlarda gerçekleşmiştir
	300kDa-50kDa ve 15kDa membran filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması **fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) dir**.Rc değerinin toplam direnç içerisindeki oranları sırası ile **%96, %92 ve %76 oranlarda olmuştur.**	15kDa ve 1kDa (15kDa+1kDa) membran filtrasyonu deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması **ile fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) dir**. Rc değerinin toplam direnç içerisindeki oranları sırası ile **%78 ve %72 oranlarda olmuştur.**	Filtrasyon deneyleri "seri direnç modeli" ile değerlendirildiğinde etkin kirlenme mekanizması tüm deneylerde fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olmuştur. Rc değerinin toplam direnç içerisindeki oranı %86 ile %99,8 arasındadır**.**

4.2.4. Emprime Karışım Noktasının Detaylı Değerlendirilmesi

Laboratuvar ölçekli çapraz akış seramik membran filtrasyonu sonuçlarına göre sıcak su geri kazanımı için çalışılan 4 farklı noktadan sadece emprime karışım noktasının uygun olduğu görülmüştür. Bu bölümde emprime karışım noktası için ardışık membran filtrasyonu ile gerçekleşen elek analizi ve farklı işletme basınçlarında gerçekleşen filtrasyon deneylerine ait sonuçlar irdelenmiştir.

4.2.4.1.Emprime Karışım 2. Set için Kirletici Boyut Dağılımı

Emprime Karışım numunelerinin detaylı karakterizasyonu amacıyla, emprime karışım noktasına ait numune ardışık olarak farklı gözenek çaplarında seramik membranlar kullanılarak filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için, 2. set için alınan emprime karışım ham numunesi önce 300 kDa (UF) membrandan süzülmüş, elde edilen süzüntü 50 kDa (UF) membrandan, elde edilen süzüntü 15 kDa (UF) membrandan ve nihai süzüntü 3 kDa (sıkı UF) membrandan süzülmüştür. Yeteri kadar süzüntü elde edebilmek için 300 kDa deneyi 3 defa, 300 kDa+50 kDa deneyi 2 defa farklı membranlar ile tekrar edilmiştir. Tekrarlara ait süzüntüler karıştırılarak diğer filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Elek analizine ait KOİ, TOK ve renk parametrelerinin atıksu konsantrasyon değerleri Tablo 4.59' da verilmektedir. KOİ, TOK ve renk için kirleticilerin boyut dağılımı Şekil 4.136 - Şekil 4.139' de grafik olarak verilmiştir.

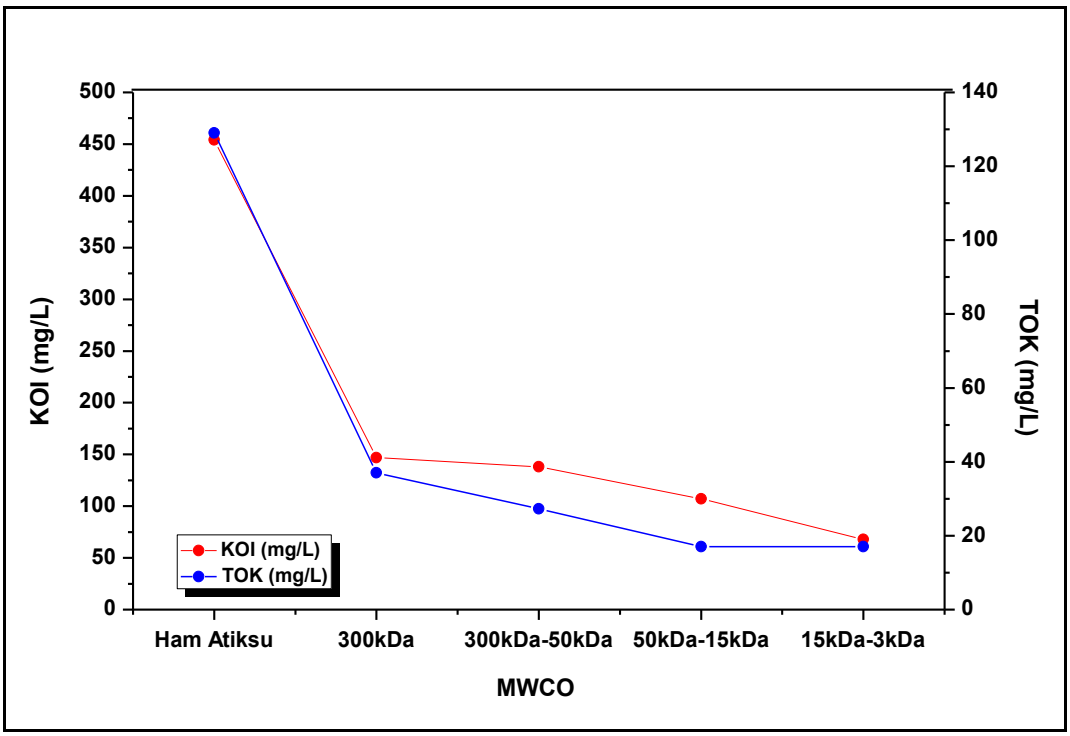
Sonuçlar değerlendirildiğinde; En büyük kirletici giderimi 300 kDa (UF) iken, 3 kDa altında (<3nm), 68 mg KOİ/L, 17 mg TOK/L kirlilik bulunmaktadır. 3 kDa altında (<3nm), renk açısından ise ham atıksuyun %20 si bulunmaktadır.

Emprime karışım numunesinde KOİ konsantrasyonun yaklaşık %68' i, TOK konsantrasyonun yaklaşık %71'i 300 kDa dan büyük partiküllerden kaynaklanmaktadır. Renk neden olanların ise yaklaşık %50 si 300 kDa'dan büyüktür. Kirleticilerin %15'i 3 kDa'dan küçüktür.

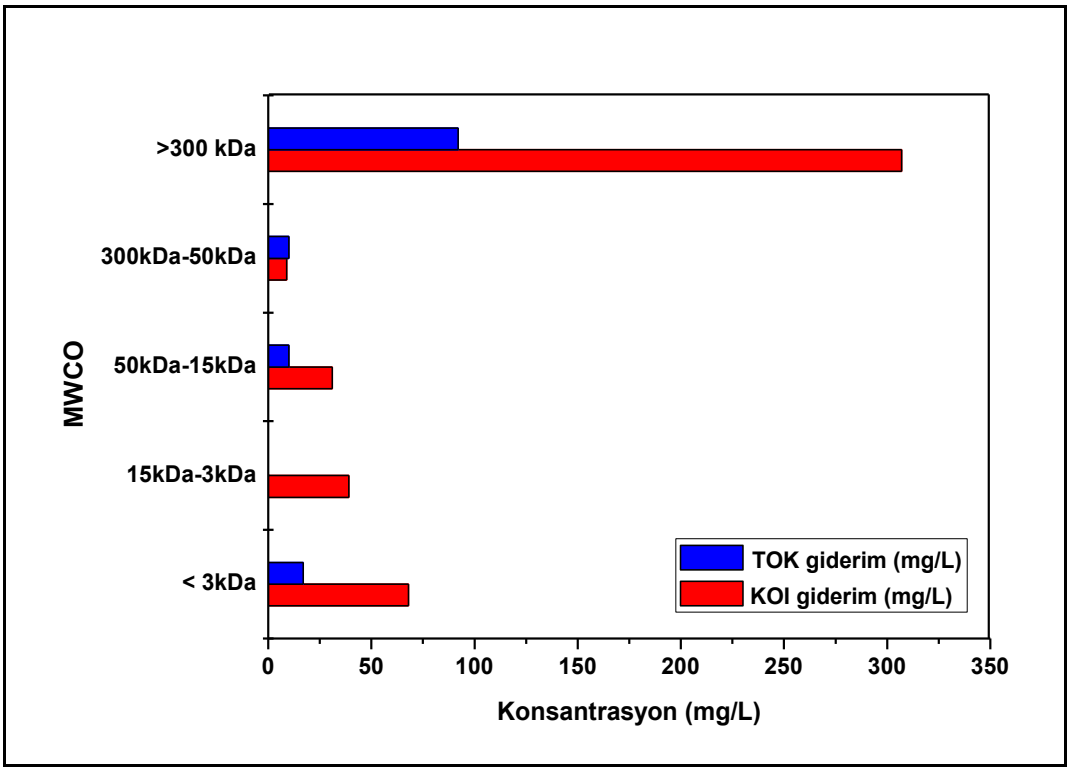
Kirleticilerin boyut dağılımına baktığımızda 300 kDa büyük olanlar, 50 kDa altında olanlar olarak değerlendirebiliriz. 300 kDa ile 50 kDa arasında bulunan kirleticiler ihmal edilebilir.

Tablo 4.59: Emprime Karışım atıksuyu kirleticilerin boyut dağılımı çalışması sonuçları (toplam konsantrasyon).

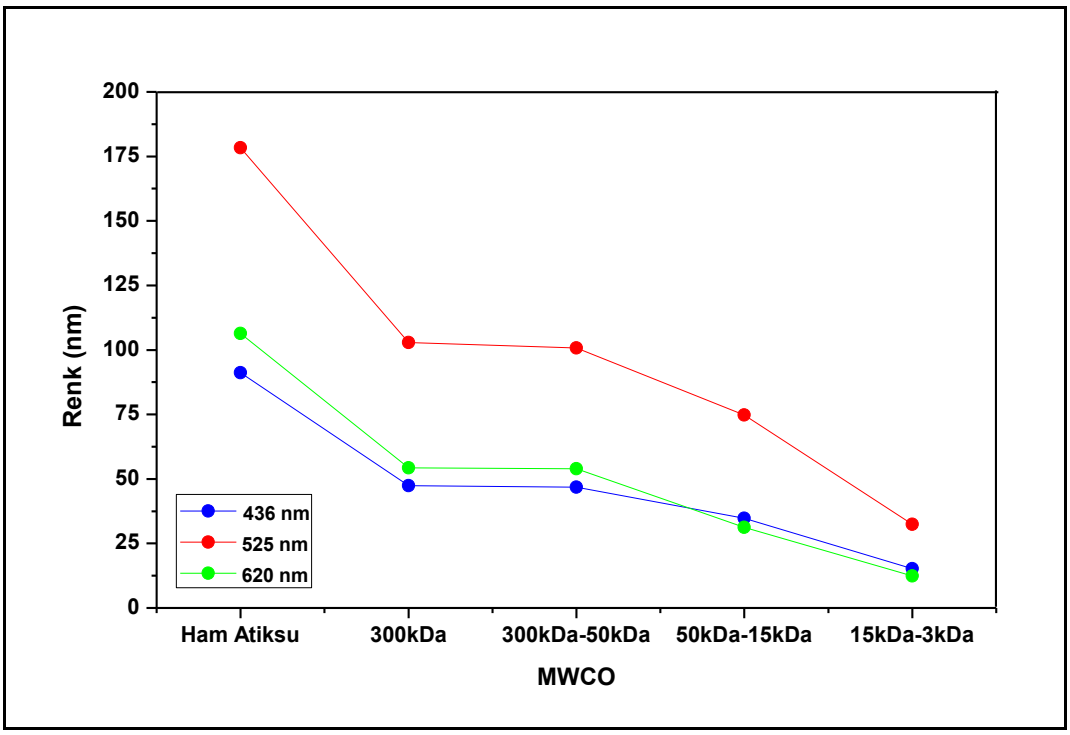
Numune Adı	**KOİ (mg/L)**	**TOK (mg/L)**	**Renk**			
Emprime Karışım			**Pt-Co**	**436nm**	**525nm**	**620nm**
Ham	454	129	3.820	91,2	178,4	106,4
300 kDa (UF)	147	37	2.127	47,4	102,9	54,3
300 kDa+50 kDa (UF+UF)	138	27	1.992	46,8	100,8	54,0
50 kDa+15 kDa (UF+UF)	107	17	1.492	34,8	74,8	31,2
15 kDa+3 kDa (UF+Sıkı UF)	68	17	652	15,2	32,4	12,4



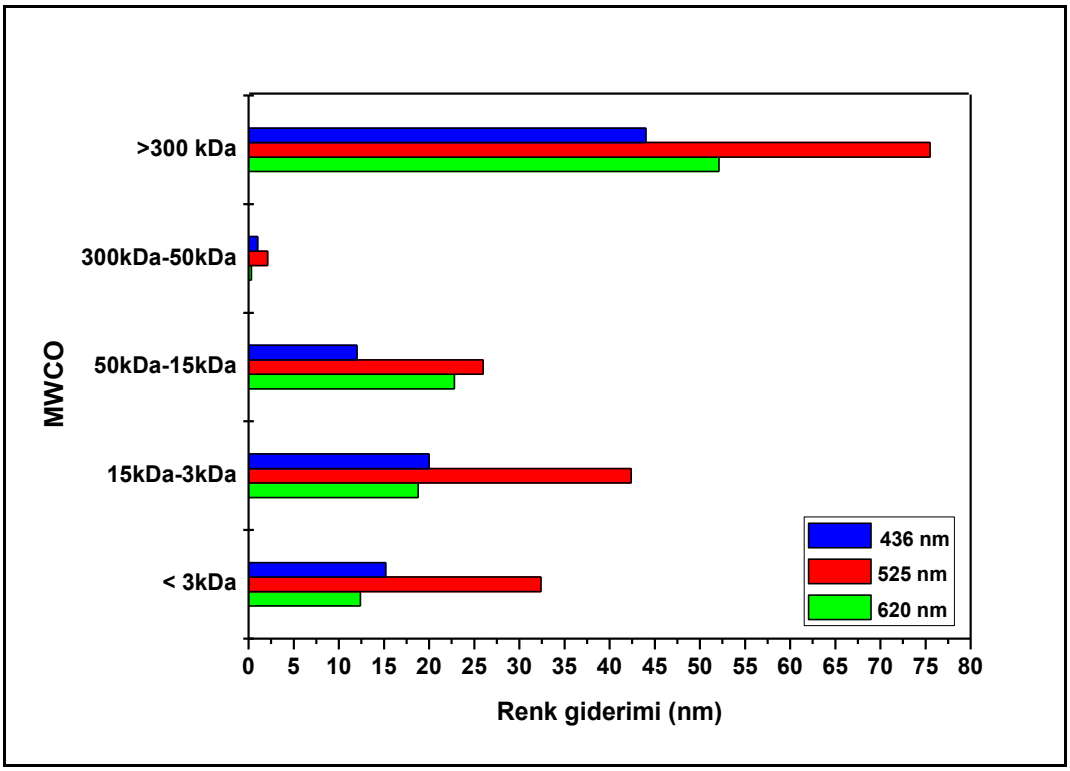
Şekil 4.136: Emprime karışım KOI ve TOK konsantrasyonlar (mg/L).



Şekil 4.137: Emprime karışım KOI ve TOK fark konsantrasyonları (mg/L).



Şekil 4.138: Emprime karışım renk RES değerleri (nm).



Şekil 4.139: Emprime karışım renk RES değerleri (nm).

4.2.4.2. Emprime Karışım Noktası Üç Farklı İşletme Basıncında İşletilen 3kDa Tubular Membran Filtrasyonu Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Emprime karışım noktasından alınan numuneler ile farklı MWCO ticari disk ve tubular seramik membranlar kullanılarak çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiş ve en iyi giderim veriminin 3 kDa membranda olduğu görülmüştür.

İşletme koşullarının giderim verimi, akı ve kirlenme mekanizması üzerine etkilerini görmek maksadı ile emprime karışım noktasından alınan numune ön arıtma yapılmadan 3kDa tubular ticari seramik membranlar ile 3 farklı işletme basıncında (1 bar, 1.6 bar ve 2 bar) çapraz akış filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

İşletme basıncının yanı sıra temizlik prosedürünün etkiside incelenmek istemiş ancak mevcut prosedür ile %100 yakın saf su geri kazanımı elde edildiği için farklı temizlik prosedürü uygulanmamıştır.

Gerçekleşen filtrasyon deneylerine ait atıksu analiz sonuçları Tablo 4.60' da verilmektedir. KOİ, TOK ve Renk için MWCO esaslı kirletici giderim grafikleri Şekil 4.140 - Şekil 4.142'de verilmektedir.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde; Ham atıksu KOİ değeri 578 mg/l olup elde edilen süzüntülerde benzer KOİ değeri 177-180 mg/L görülmüştür. Her üç işletme basıncında KOİ giderimi yaklaşık %69 olmuştur. İlk üç sette KOİ giderim verimi %62-88 aralığında olup buradaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

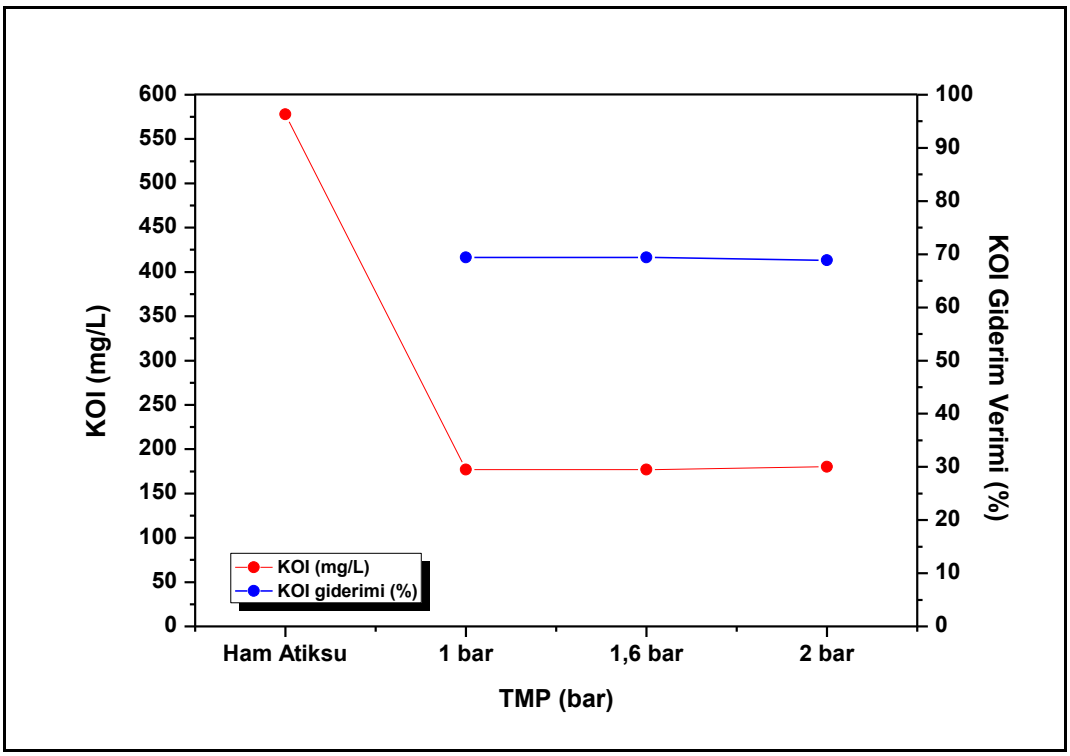
Ham atıksu TOK değeri 149 mg/L olup elde edilen süzüntülerde birbirine yakın TOK değerleri 19-26 mg/L görülmüştür. TOK giderim verimi 1 bar, 1,6 bar ve 2 bar için sırası ile %87, %86 ve %83 olarak gerçekleşmiştir. İkinci ve üçüncü set deneylerde elde edilen %85-90 giderim verimleri ve 19-27 mg/L konsantrasyon değerleri benzerdir.

Ham atıksu renk değerleri 436 nm; 525 nm; 620 nm için sırası ile 60,6;53;61,6 iken her üç işletme basıncında ve her üç dalga boyu için sırası %80, %85 ve %92 civarında renk giderimi gerçekleşmiştir. KOİ ve TOK gideriminde olduğu gibi renk giderimi açısından da yapılan üç deney seti ile uyumludur.

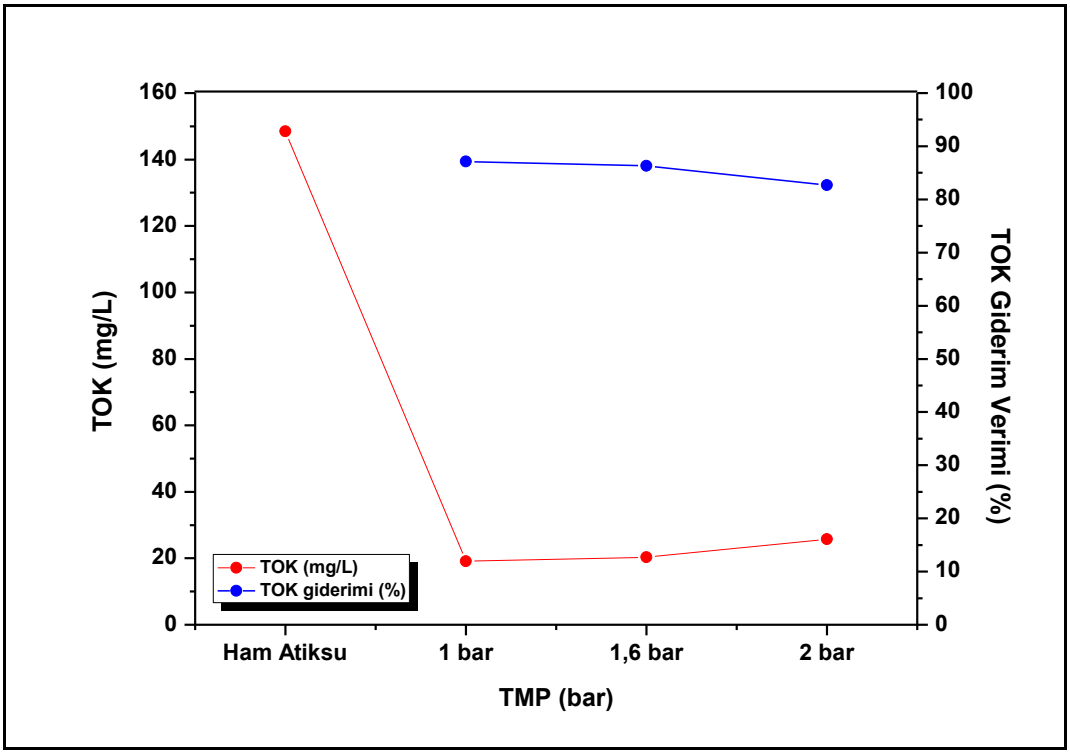
Ham atıksu için sertlik değeri 23,8 mg $CaCO_3$/L iken süzüntülerde 4 mg $CaCO_3$/L civarında olmuştur ve bu değer firmanın yeniden kullanacağı su için istediği değerleri sağlamaktadır (<36 mg $CaCO_3$/L).

Tablo 4.60: Emprime Karışım 3 farklı TMP deneyleri analiz sonuçları.

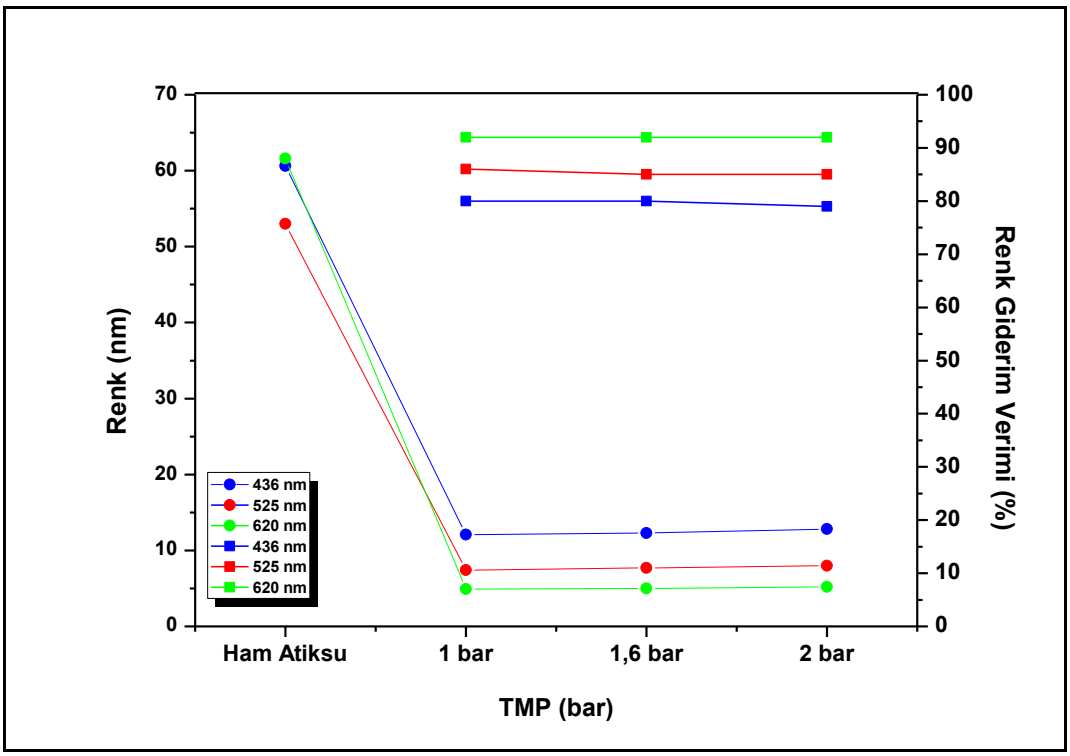
Emprime Karışım	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)
						PtCo	436nm	525nm	620nm	
Ham	12,2	8.480	578	149	9	2.206	60,6	53	61,6	23,8
3 kDa - 1 bar	12,1	7.770	177	19	2	441	12,1	7,4	4,9	3,9
3 kDa - 1,6 bar	12,0	8.010	177	20	2	451	12,3	7,7	5	3,1
3 kDa - 2 bar	12,1	7.920	180	26	2	468	12,8	8	5,2	4,7



Şekil 4.140: Emprime Karışım TMP için KOİ değerleri (mg/L) ve giderimi (%).

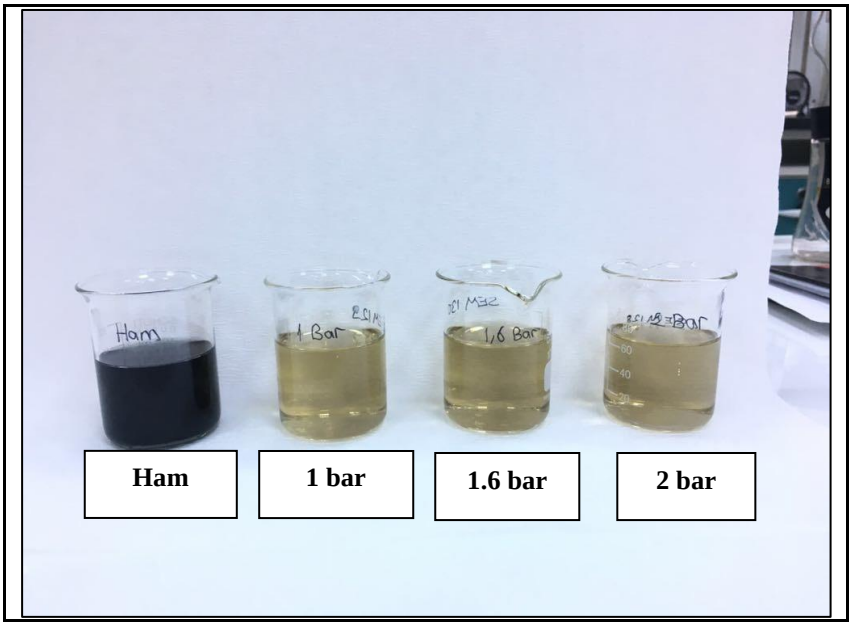


Şekil 4.141: Emprime Karışım TMP için TOK değerleri (mg/L) ve giderimi (%).



Şekil 4.142: Emprime Karışım TMP için RES değerleri (nm) ve giderimi (%).

3 kDa tubular seramik membran çapraz akış filtrasyonu sonrasında 3 farklı işletme basıncında elde edilen süzüntülere ait fotoğraf Şekil 4.143' de verilmektedir.



Şekil 4.143: Emprime karışım 3 kDa ve 3 farklı TMP için ham ve süzüntüler.

4.2.4.3.Emprime Karışım Noktası Üç Farklı İşletme Basıncında İşletilen 3 kDa Tubular Membran Filtrasyonu Akılarının ve Membran Temizliğinin Saf Su Akısı Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Emprime Karışım numunesi ile üç farklı işletme basıncında gerçekleşen 3 kDa tubular seramik membran filtrasyonu akı değerlendirilmesine ait sonuçlar Tablo 4.61 **'**de verilmiştir. MWCO esaslı akı grafiği ve akı azalma oranları sırası ile Şekil 4.144 ve Şekil 4.145' te verilmiştir.

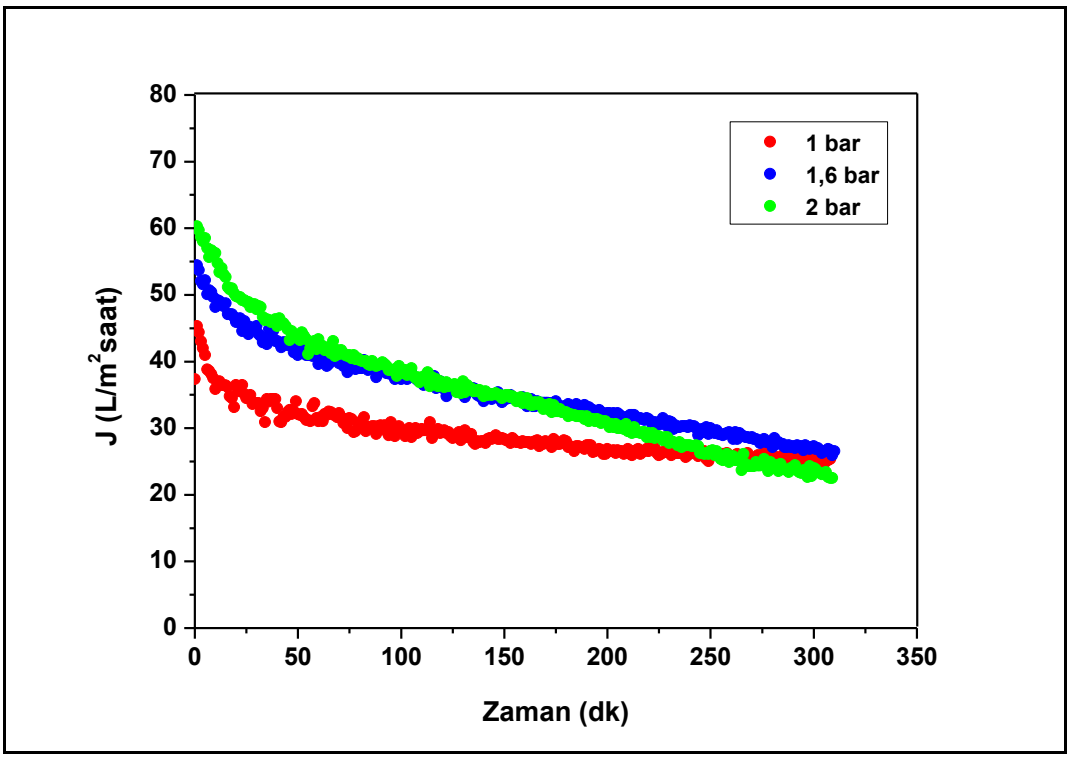
1 bar, 1.6 bar ve 2 bar işletme basıncında atıksu akılarının dengeye geldiği değerler sırası ile 25, 27 ve 23 $L/m^2/sa$ olarak gerçekleşmiş ve bu değerler birbirlerine yakındır (Şekil 4.144). Emprime karışım numunesi ile gerçekleşen ikinci ve üçüncü set deneylerde denge akıları 23-30 LMH olarak gerçekleşmiş olup buradaki değerlere yakındır.

Akı azalmaları incelendiğinde ilk 25 dakikada en hızlı akı azalması %25 oranında 1 barda görülürken bu değerler 2 bar için %20 ve 1.6 bar için %15 olarak gerçekleşmiştir. Yaklaşık 300 dakikalık atıksu filtrasyonu sonunda 2 barda %60, 1.6 barda %50 ve 1 barda %40 oranında akı azalması görülmüştür (Şekil 4.145). Tubular membranlar ile gerçekleşen üçüncü set deneyde de 3 kDa membran için akı azalma oranı %40 civarında gerçekleşmiştir. 3 kDa ile gerçekleşen diğer emprime karışım deneylerinde de fiziksel temizlik sonrası saf su geri kazanım oranı %37-48 olarak gerçekleşmiştir.

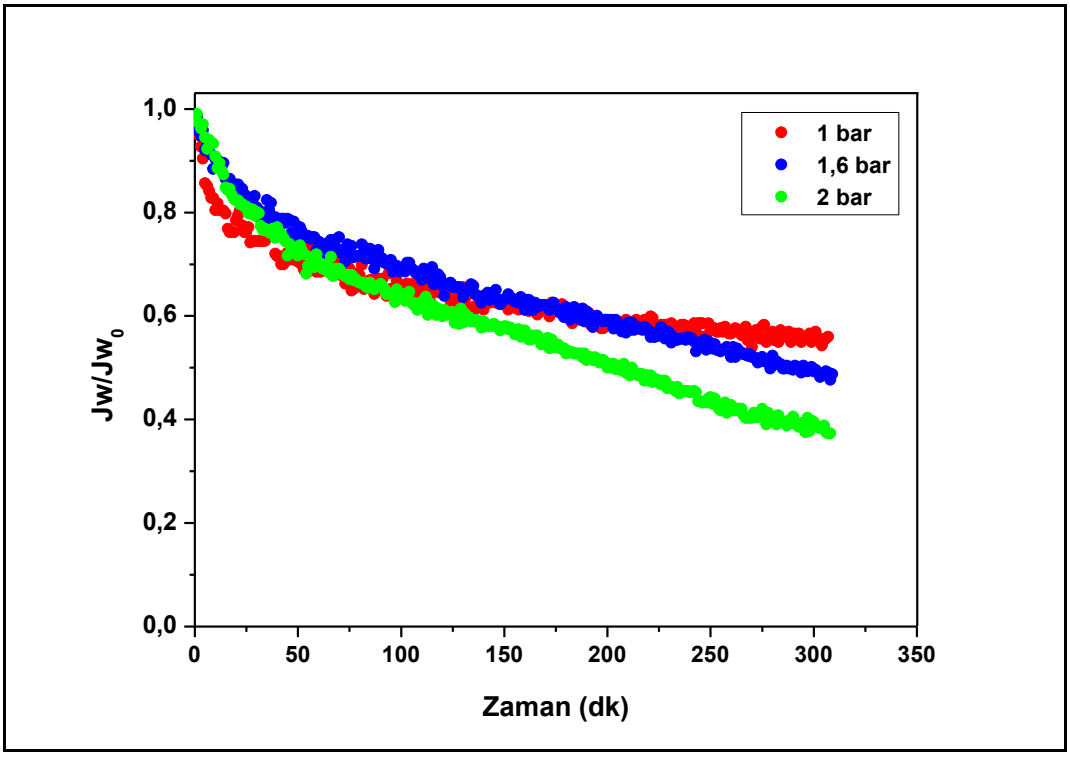
Fiziksel temizlik sonrasında 2 bar işletme basıncından en düşük saf su geri kazanımı oranı %39 iken bu değer 1.6 barda %47, en yüksek olarak 1 barda %51 olarak görülmüştür. Kimyasal temizlik sonrasında ise hepsinde %99 ve üzeri saf su geri kazanımı gerçekleşmiştir (Tablo 4.61- Şekil 4.146). Kimyasal yıkamanın etkili olduğu tüm deney setlerinde görülmüştür.

Tablo 4.61: Emprime Karışım tubular 3 kDa için farklı TMP akı sonuçları.

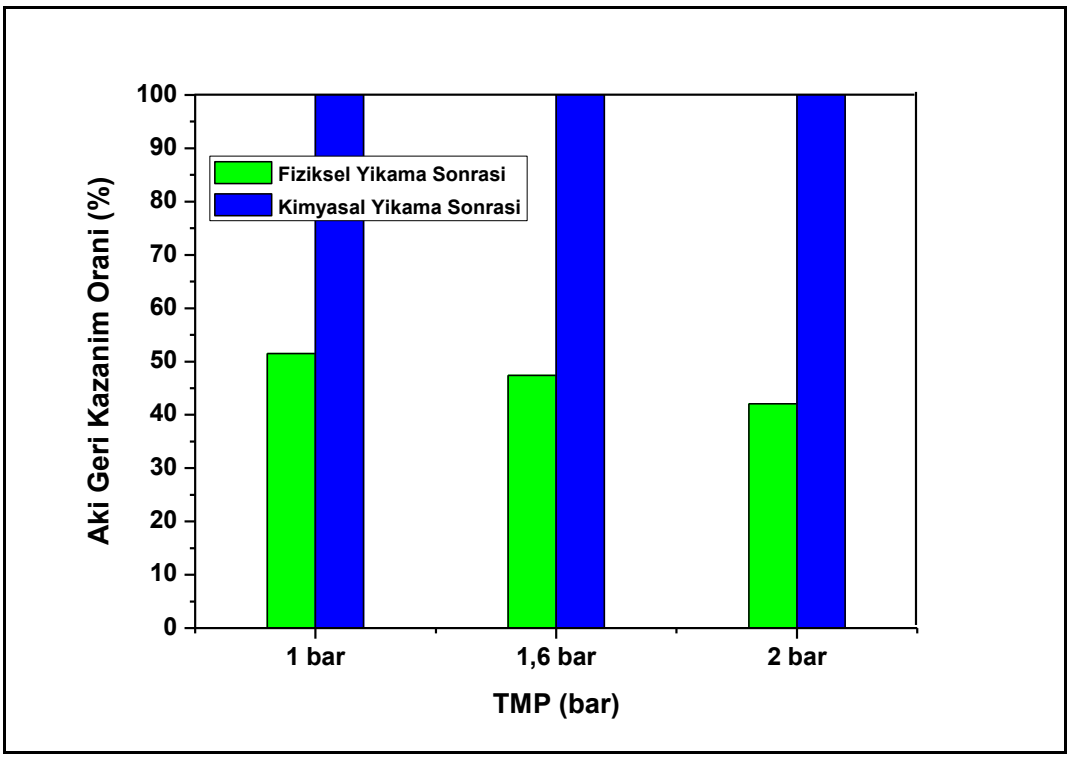
Emprime Karışım	**Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Atıksu akısı ($L/m^2/sa$)**	**Fiziksel yıkama sonrası Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Kimyasal yıkama sonrası Saf su akısı ($L/m^2/sa$)***	**Fiziksel yıkama sonrası Saf su akı geri kazanımı (%)**	**Kimyasal yıkama sonrası Saf su akı geri kazanımı (%)**
3kDa (1 bar)	78	25	40	77	51	99
3kDa (1.6 bar)	110	27	52	110	47	100
3kDa (2 bar)	142	23	56	141	39	100
*Membran firmasının verdiği sıcaklık düzeltme katsayıları kullanılarak saf su akıları atıksu sıcaklığına göre normalize edilmiştir.						



Şekil 4.144: Emprime Karışım farklı TMP'de atıksu akısı zaman grafiği.



Şekil 4.145: Emprime Karışım farklı TMP'de atıksu akı azalması (Jwi/Jwo).



Şekil 4.146: Emprime karışım farklı TMP'da akı geri kazanım oranları (%).

4.2.4.4.Emprime Karışım Noktası Üç Farklı İşletme Basıncında İşletilen 3 kDa Tubular Membran Filtrasyonu Kirlenme Mekanizmasının Değerlendirilmesi

Emprime karışım noktasından alınan numuneler ile gerçekleşen disk ve tubular seramik membran çapraz akış filtrasyonu deneylerinde oluşan etkin kirlenme mekanizması "seri direnç modeli" ile incelendiğinde etkin mekanizma fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olduğu görülmüştür.

Üç farklı işletme basıncında gerçekleşen emprime karışım noktası 3 kDa tubular seramik membran filtrasyonu deneyleri seri direnç modeli ile irdelendiğinde; Kirlenmemiş membranın saf su direnci 1 bar, 1.6 bar ve 2 bar için sırası ile $1{,}31*10^{13}(m^{-1})$, $1{,}48*10^{13}(m^{-1})$ ve $1{,}53*10^{13}(m^{-1})$ iken atıksuyun filtrasyonu sırasında oluşan toplam direnç 1 bar için 3 kat, 1.6 bar için 4 kat ve 2 bar için 5 kat olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.62). Beklendiği üzere basınç artışı ile direnç değeri artmıştır.

Fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç değerinin toplam direnç içerisindeki payı 1 bar, 1.6 bar ve 2 bar için sırası ile %37, %48 ve %58 olarak bulunmuştur. Benzer durum atıksu filtrasyonu sırasında da görülmüş, basınç artışı ile akı

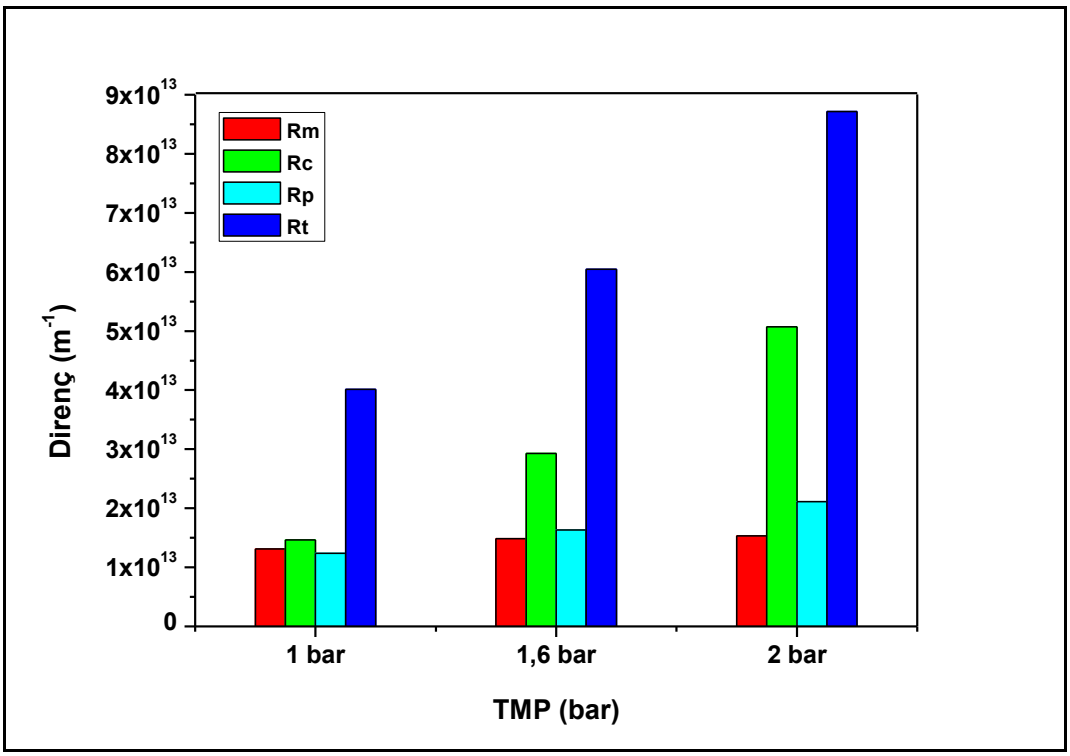
azalmasının değeri artmıştır. Beklendiği üzere, basınç değerinin artması ile taşınım hızı artmakta böylece daha hızlı kek tabakası oluşmaktadır [Costa et al., 2006]. Kimyasal olarak giderilen kirlenme ise (Rp) 1 bar, 1.6 bar ve 2 bar için sırası ile %31, %27 ve %24 olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.62). Benzer şekilde, fiziksel yıkama sonrasında saf su akısının geri kazanım oranının en düşük gerçekleştiği basınç.2 bar olmuştur.

Emprime karışım noktasına ait numune ile 3 kDa Tubular membranlar ile üç farklı işletme basıncında gerçekleşen filtrasyon deneylerinde etkin kirlenme mekanizması fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç olmuştur (Şekil 4.148).

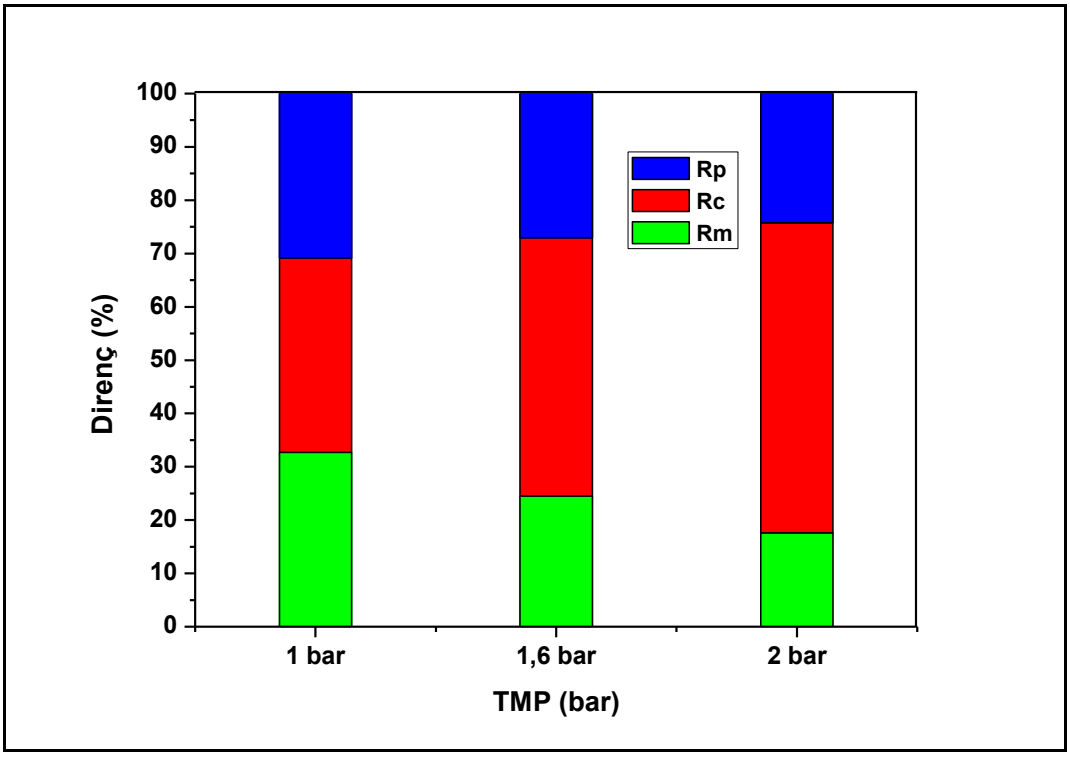
Mevcut prosedürde uygulanan kimyasal yıkamanın saf su geri kazanım oranını %99 ve üzerinde (Tablo 4.61) sağladığı görülünce yeni bir kimyasal yıkama prosedürü uygulanmamıştır.

Tablo 4.62: Emprime Karışım 3 kDa farklı TMP direnç değerleri.

Emprime Karışım 3 farklı TMP	**Rm (m^{-1})**	**Rc (m^{-1})**	**Rp (m^{-1})**	**Rt (m^{-1})**	**Rm (%)**	**Rc (%)**	**Rp (%)**
3kDa (1 bar)	1,31E+13	1,46E+13	1,24E+13	4,01E+13	32,7	36,5	30,8
3kDa (1.6 bar)	1,48E+13	2,93E+13	1,63E+13	6,04E+13	24,5	48,4	27,0
3kDa (2 bar)	1,53E+13	5,07E+13	2,11E+13	8,71E+13	17,6	58,2	24,2



Şekil 4.147: Emprime karışım farklı TMP için dirençler (m^{-1}).



Şekil 4.148: Emprime karışım farklı TMP için direnç oranları (%).

4.3. Yerli Üretilen Seramik Membranların Performans Deneyleri

4.3.1. Saf Su Geçirgenlik Deneylerinin Değerlendirilmesi

TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü (ME) tarafından 114Y498 nolu proje kapsamında geliştirilen Alumina ve Titan tubular ve disk tip seramik membranların önce destek tabakaları için safsu geçirgenlik deneyleri yapılmıştır. Saf su geçirgenlik değerlerine göre iyileştirmeler yapılmış ve destek tabakası üzerine ara katmanlar ME tarafından kaplanmıştır. Her bir katman sonrasında tekrar saf su geçirgenlik testleri gerçekleştirilmiştir. Nihai noktaya gelindiği düşünülen membranlarda ise gözeneklilik (MWCO) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yerli üretim seramik membranlar için gerçekleştirilen saf su geçirgenlik materyal metot bölümünde Bölüm 3.6.1' de verilen prosedür ile yapılmıştır.

Ölü uç hücresine uygun 47 mm çapında 14 adet Alumina ve 14 adet Titan altlık disk tip seramik membranların saf su geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Disk tip membranlarda elde edilen saf su akıları farklılık göstermiş ve nihai bir aşamaya henüz gelinememiştir.

ME tarafından 19 adet Titan altlık üzerine Titan ara tabakalı ve 8 adet Alumina altlık üzerine Titan ara tabakalı tubular membranların saf su geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiş. Elde edilen minimum saf su akısı TiTi 16 kodlu membran için 646 LMH (1 bar) iken bir kat daha ara tabaka yapılarak elde edilen TiTi 16 (2) membran için saf su akısı 518 LMH (1bar) değerine düşürülmüştür. Benzer şekilde tubular membranlarda iyileştirmelere devam edilmiştir.

Tubular ve disk tip seramik membranlarda gerçekleştirilen saf su geçirgenlik deneylerinin sonuçları Tablo 4.63 - Tablo 4.67' de verilmektedir.

Tablo 4.63: Titan altlık üzerine Titan ara tabaka kapanmış tubular seramik membranların safsu geçirgenlik testleri.

Numune No	**Membran**	**Akı (J)* (L/m^2saat)**	**R^2**
1	TiTi-1	922	0,99
2	TiTi-2	742	0,99
3	TiTi-3	910	0,99
4	TiTi-4	895	0,99
5	TiTi-5	908	1,00
6	TiTi-6	931	0,98
7	TiTi-7	941	0,99
8	TiTi-8	871	0,99
9	TiTi-9	700	0,99
10	TiTi-10	703	0,99
11	TiTi-11	1.141	0,99
12	TiTi-11 (2)	1.170	0,99
13	TiTi-12	832	0,99
14	TiTi-13	799	0,99
15	TiTi-14	987	0,99
16	TiTi-15	888	0,99
17	TiTi-16	646	0,99
18	TiTi-16 (2)	518	0,99
19	TiTi-17	894	0,99
20	TiTi-18	1.054	0,99
21	TiTi-19	766	0,99
22	AlAl-1**	135	0,99
23	TiTiAl-2**	216	0,99

*Üç farklı TMP de saf su deneyleri gerçekleştirildikten sonra doğrunun eğiminden 1 bar için elde edilen akı değeridir.

** Alümina üzerine Alümina ara tabaka ve üst tabaka

*** Titan üzerine Titan ara tabaka üzerine Alümina üst tabaka

Tablo 4.64: Alumina altlık üzerine Titan ara tabaka kaplanmış tubular seramik membranların safsu geçirgenlik testleri.

Numune No	**Membran**	**Akı (J)* (L/m^2saat)**	**R^2**
1	AlTi-2(2)	1.652	0,94
2	AlTi-3(2)	2.026	0,66
3	AlTi-4(2)	3.463	0,71
4	AlTi-5	1.825	0,72
5	AlTi-5(2)	1.935	0,99
6	AlTi-6	1.767	0,47
7	AlTi-6 (2)	1.660	0,99
8	AlTi-7 (2)	2.182	0,99

*Üç farklı TMP de saf su deneyleri gerçekleştirildikten sonra doğrunun eğiminden 1 bar için elde edilen akı değeridir.

Tablo 4.65: Alumina A7 serisi disk tip (Φ 47 mm) seramik membranların safsu geçirgenlik testleri.

Numune No	**Membran**	**Akı (J)* (L/m^2saat)**	**R^2**
1	A7	325	0,92
2	A7 (2)	314	0,99
3	A7 (4)	431	1,00
4	A7 (6)	309	0,99
5	A7 (8)	167	0,99
6	A7 (8) – 2	118	0,99
7	A7 (9)	194	0,98
8	A7 (9) – 2	181	0,99
9	A7 (10)	157	0,99
10	A7 (11)	76	0,96
11	A7 (12)	132,6	0,99
12	A7 (13)	313,2	0,95
13	A7 (14)	509	0,99
14	T 18 (6) S1	525	0,99

*Üç farklı TMP de saf su deneyleri gerçekleştirildikten sonra doğrunun eğiminden 1 bar için elde edilen akı değeridir

Tablo 4.66: Titan A9 serisi disk tip (Φ 47 mm) seramik membranların safsu geçirgenlik testleri.

Numune No	Membran	Akı (J)* (L/m^2saat)	R^2
1	A9 (1)	581	0,99
2	A9 (2)	642	0,99
3	A9 (3)	582	0,99
4	T 36(2) S1	604	0,99
5	T 36(2) S2	601	0,99

*Üç farklı TMP de saf su deneyleri gerçekleştirildikten sonra doğrunun eğiminden 1 bar için elde edilen akı değeridir.

Tablo 4.67: Titan disk tip (Φ 47 mm) seramik membranların safsu geçirgenlik testleri.

Numune No	Membran	Akı (J) (L/m^2saat)	R^2
1	Titan A-1	161	0,99
2	Titan A-4	2.836	0,95
3	Titan A-2(2)	432	0,96
4	Titan A-3(2)	1.876	0,99
5	Titan A-5	1.141	0,99
6	Titan A-6	1.227	0,78
7	Titan B-1	39	0,99
8	Titan B-2	87	0,99
9	Titan D1	3.374	0,84

*Üç farklı TMP de saf su deneyleri gerçekleştirildikten sonra doğrunun eğiminden 1 bar için elde edilen akı değeridir

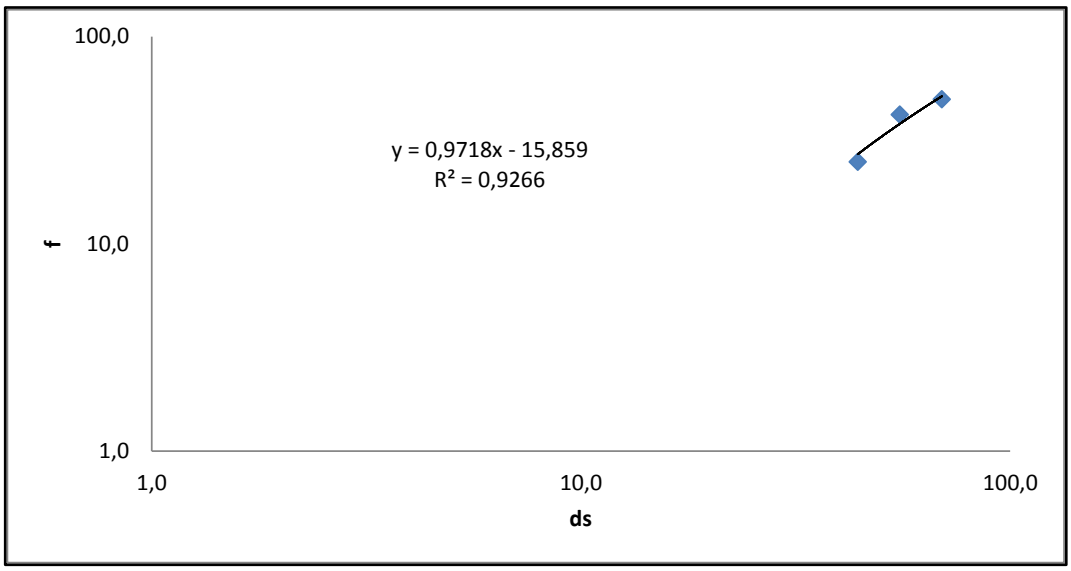
4.3.2. Moleküler Engelleme Sınırı (MWCO) Deneylerinin Değerlendirilmesi

Tubular TiTi 5, SH6 (1) ve Al Al-1 kodlu membranlarda 35.000-900.000 g/mol aralığında altı farklı molekül ağırlığındaki Polietilenoksit (PEO) model solusyonu ile gözeneklilik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney prosedürü materyal metot bölümü Bölüm 3.6.2' de verilmektedir.

Tablo 4.68' de hazırlanan model solüsyonların ham ve süzüntülerinde elde edilen TOK değerleri verilmekte ve membranın hangi moleküler büyüklükteki model solüsyonu hangi oranda geçirmediği görülmektedir.

Tablo 4.68: TiTi 5 MWCO deney seti ham ve süzüntü TOK değerleri.

PEO (g/mol)	Giriş TOK (mg/L)	Çıkış TOK (mg/L)	Rejeksiyon (%), f
35.000	47,6	47,2	0,8
300.000	40,5	40,3	0,5
400.000	42,7	32,1	24,8
600.000	56,1	32,6	41,9
900.000	42,6	21,4	49,8



Şekil 4.149: TiTi 5 f ve ds değerlerinden elde edilen doğru denklemi.

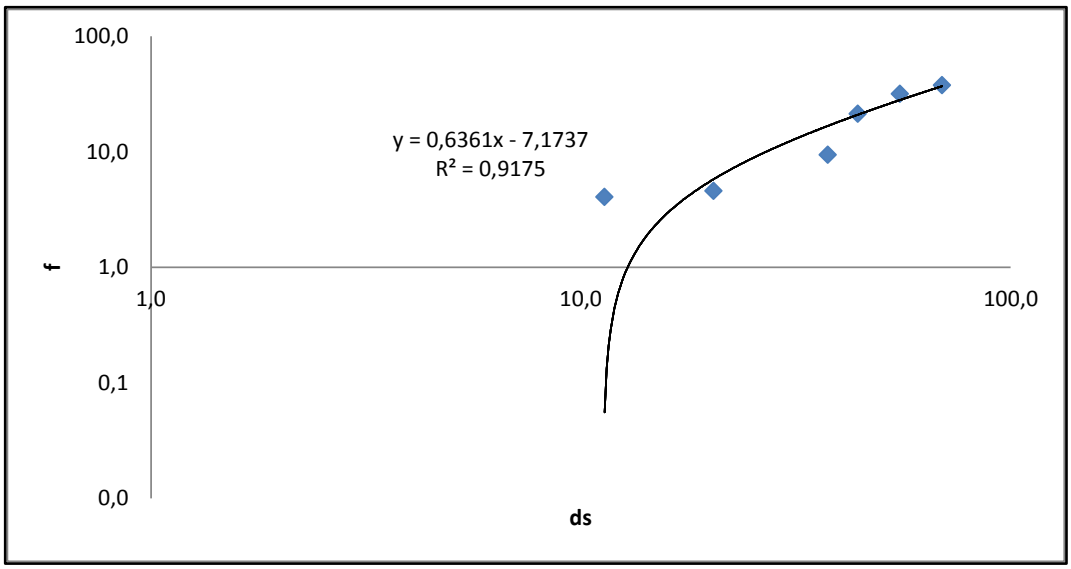
TOK giderimleri üzerinden yapılan hesaplar ile f ve ds değerleri için doğrunun denklemi elde edilmiştir (Şekil 4.149). Doğru denkleminden elde edilen sonuçlar ile TiTi 5 için hesaplanan MWCO değeri 2.024.550 Da olarak bulunmuştur. Bu değeri Howe ve Clark (2002) tarafından verilen eşitlik 4.1 ile nm değerine çevirir isek membran gözenek çapı yaklaşık 54 nm (0.05µm)'dir.

$$d\ (nm)=0{,}09*(MW\ (da))^{0{,}44} \qquad (4.1)$$

Tablo 4.69' da hazırlanan model solüsyonların ham ve süzüntülerinde elde edilen TOK değerleri verilmekte ve membranın hangi moleküler büyüklükteki model solüsyonu hangi oranda geçirmediği görülmektedir.

Tablo 4.69: SH6 (1) MWCO deney seti ham ve süzüntü TOK değerleri.

PEO (g/mol)	Giriş TOK (mg/L)	Çıkış TOK (mg/L)	Rejeksiyon (%), f
35.000	40,45	38,81	4,1
100.000	41,84	39,92	4,6
300.000	45,44	41,16	9,4
400.000	42,97	33,82	21,3
600.000	46,76	31,98	31,6
900.000	41,3	25,81	37,5



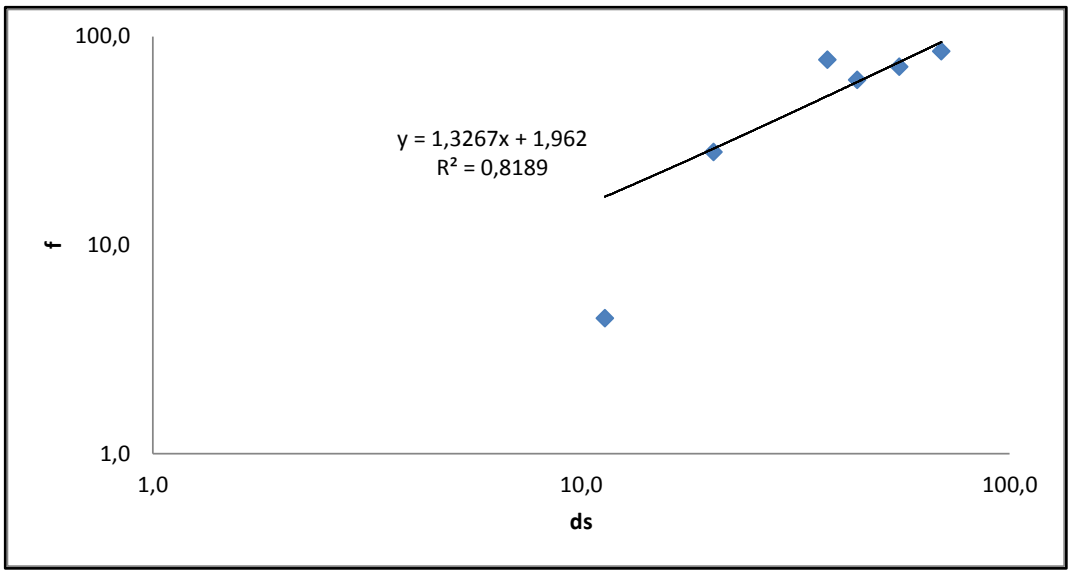
Şekil 4.150: SH6 (1) f ve ds değerlerinden elde edilen doğru denklemi.

TOK giderimleri üzerinden yapılan hesaplar ile f ve ds değerleri için doğrunun denklemi elde edilmiştir (Şekil 4.150). Doğru denkleminden elde edilen sonuçlar ile SH6 (1) için hesaplanan MWCO değeri 3.715.466 Da olarak bulunmuştur. Bu değeri Howe ve Clark (2002) tarafından verilen formül ile nm değerine çevirir isek membran gözenek çapı yaklaşık 70 nm (0.07µm)'dir.

Tablo 4.70: Al Al-1 MWCO deney seti ham ve süzüntü TOK değerleri.

PEO (g/mol)	Giriş TOK (mg/L)	Çıkış TOK (mg/L)	Rejeksiyon (%), f
35.000	43,09	41,17	4,5
100.000	39,86	28,73	27,9
300.000	50,04	11,38	77,3
400.000	43,22	16,51	61,8
600.000	43,72	12,48	71,5
900.000	43,57	6,583	84,9

TOK giderimleri üzerinden yapılan hesaplar ile f ve ds değerleri için doğrunun denklemi elde edilmiştir (Şekil 4.151). Doğru denkleminden elde edilen sonuçlar ile AlAl-1 için hesaplanan MWCO değeri 831.525 Da olarak bulunmuştur. Bu değeri Howe ve Clark (2002) tarafından verilen formül ile nm değerine çevirir isek membran gözenek çapı yaklaşık 36 nm (0.036µm)'dir.



Şekil 4.151: AlAl-1 f ve ds değerlerinden elde edilen doğru denklemi.

4.4. Potansiyel Geri Kazanım Noktalarında Elde Edilen Sonuçların Geri Kazanım Açısından Değerlendirilmesi

Isı geri kazanımı hedefi doğrultusunda incelenen potansiyel noktalarda elde edilen sonuçlar ve geri kazanım potansiyelleri avantaj ve dezavantajları ile beraber Tablo 4.71' de verilmektedir. Disper Baskı Banyoları, Emprime Karışım, Isı Geri Kazanım ve Kasar Duruluma 4. Banyo deşarjı için potansiyel geri kazanılabilecek su miktarları sırası ile 17 L/kg kumaş, 59 L/kg kumaş, 170 L/kg kumaş ve 4 L/kg kumaştır. Dispers Emprime Baskı Banyoları, Isı Geri Kazanım noktası ve Kasar Durulama Banyolarının 4. Deşarjı elde edilen maksimum organik madde giderimi yeniden kullanım açısından uygun değildir. Organik madde içeriği yeniden kullanım için uygun olmayan miktar toplam su tüketiminin %80'i olmakla beraber farklı arıtma yöntemleri denenmesi gerekmektedir ancak bu durumda da atıksuyun sıcak olarak kazanılması güçleşecektir.

Seramik membranlar kullanılarak sıcak su geri kazanımı yapılabilecek en uygun nokta toplam su tüketiminin %28'i olan emprime karışım noktasıdır. Burada %80 geri kazanım oranı ile seramik membran filtrasyonu gerçekleştirildiğinde 47 L/kg-kumaş miktarında (toplam tüketiminin %22'si) sıcak su geri kazanımı yapılabilecektir. Emprime Karışım Noktasında elde edilen minimum KOİ, TOK, Elektriksel İletkenlik ve toplam sertlik değerleri tekstilde yeniden kullanım limitlerine uyarken renk açısından limitlerin üzerinde kalmaktadır [De Florio et al., 2005], [Capar et al., 2008], [Guyer et al., 2016], [Yukseler et al., 2017]. Renk giderimi için ilave arıtma yöntemi denenebilir veya koyu renkli baskılı kumaşların sıcak yıkamasında kullanılabileceği öngörülmektedir.

Kostik geri kazanımı hedefi doğrultusunda Viskon Kasar Prosesinin ana banyosu seçilmiştir. Burada proses sıklıkları göz önüne alındığında ayda ortalama 48 ton yüksek pH (pH 12-14) ve organik madde (28 g/L KOİ, 7,4 g/LTOK)içerikli kostik çözeltisi deşarj edilmektedir. Seramik membran filtrasyonu ile elde edilen kostik çözeltisinde yaklaşık %15±5 kayıp gerçekleşmektir. Renk gideriminin %95'in üzerinde gerçekleşmiştir ve elde edilen minimum KOİ değeri yaklaşık 6 g/L'dir. Kasar ana banyoda gerçekleşn proseste kostik içeriğinin sabit tutulmasının önemli olduğu ve yüksek KOİ değerlerinde banyoyu kullandıkları dikkate alındığında ayda atılan yaklaşık 48 ton kostik çözeltinin tamamı geri kazanılabilecektir. %15 olarak

gerçekleşen kostik kaybını ticari çözelti ile bir miktar karıştırılarak istenilen konsantrasyona getirilebilir. Ancak burada elde edilen süzüntülerin ticari çözelti karıştırıldıktan sonra kumaş üzerinde etkilerinin incelenmesi önemlidir.

İlerleyen bölümde laboratuvar ölçekli seramik membran çapraz akış filtrasyonu sonuçlarına göre geri kazanımı uygun olan Emprime Karışım Noktası ve Viskon Kasar Ana Banyo noktasında gerçek ölçekli seramik membran filtrasyonu kurulması durumunda ilk yatırım maliyetleri, işletme, bakım ve onarım maliyetleri ile geri dönüş sürelerini kapsayan teknik ve ekonomik değerlendirmeler verilmiştir.

Tablo 4.71: Sıcak su geri kazanım noktalarının değerlendirilmesi.

Geri Kazanılacak Proses	Su Sıcaklığı. (^{O}C)	Su Tüketimi (L/kg-kumaş)	Su Tüketimi* (%)	Geri Kazanım Potansiyeli** (%)	Avantaj	Dezavantaj
Dispers Emprime Baskı Banyoları Sıcak Deşarjları	70-90	17	8	14L/kg-kumaş (%6)	Renk içeriği düşük.	KOİ ve TOK içeriği yeniden kullanım için uygun değil
Emprime Karışım	70-90	59	27	47L/kg-kumaş (%22)	KOİ ve TOK içeriği düşük	Renk giderimi gerekebilir.
Isı Geri Kazanım	70-90	170	79	136 L/kg-kumaş (%63)	En fazla sıcak su geri kazanım potansiyeli	KOİ, TOK ve renk içeriği yeniden kullanım için uygun değil
Kasar 4. Durulama	95±3	4	2	3 L/kg-kumaş (%1)	Renk içeriği düşük.	KOİ ve TOK içeriği yeniden kullanım için uygun değil

* Toplam su tüketimi 214 L/kg-kumaş

**Membran filtrasyonu %80 geri kazanım ile çalıştırıldığında

4.4.1. Seramik Membran Filtrasyonu ile Sıcak Atıksu Geri Kazanımının Teknik ve Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Su ihtiyacının yüksek olduğu sektörlerde, su, enerji, su ve atıksu arıtımı en önemli gider kalemleridir. En küçük su geri kazanımı ile su ve atıksu maliyetleri, alıcı ortama deşarj edilen su miktarı, kirlilik yükü ve suyun kullanımı ve arıtımı için harcanan enerjinin azaltılmasında önemli etkisi olacaktır. Özellikle sıcak atıksu kullanan olan sektörlerde sıcak suyun geri kazanılması ile su geri kazanımının yanında önemli ölçüde enerji kazancı sağlanabilecektir.

Çalışılan firmada gerçekleşen sıcak su geri kazanımı hedefi doğrultusunda gerçekleşen laboratuvar ölçekli çalışmaların sonucunda emprime karışım noktasında oluşan günlük 708 m^3 sıcak atıksuların 3 kDa seramik membran filtrasyonu ile tekrar koyu renkli baskı yıkama banyolarında sıcak olarak kullanılabilme potansiyeli olduğu görülmüştür.

Emprime karışım noktasından geri kazanılacak su miktarı dikkate alınarak ihtiyaç olan seramik membran filtrasyon sisteminin ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Geri kazanılan sıcak atıksuyun enerji ve su maliyetleri dikkate alınarak yapılacak yatırımın ne kadar sürede geri alınabileceği laboratuvar ölçekli çalışma sonuçlarını esas alarak öngörülmüştür. Yapılan bu çalışma Journal of Cleaner Production dergisinin Ocak 2018 yılında yayımlanan 171. Sayısında sunulmaktadır [Dilaver et al., 2018].

Firma, mevcut durumda 50 ^{O}C üzeri sıcak suları bir haznede toplayarak bu suların ısısından faydalanarak proses suyunu yaklaşık 40 ^{O}C sıcaklığa enerji harcamadan getirebilmektedir. Bir miktar ısısı olan suyu ise enerji harcayarak 95-99 ^{O}C sıcaklığa ısıtmaktadır. Yaklaşık 55-59 ^{O}C ısıtma için gerekli olan enerji ihtiyacını eşitlik 4.2 ile hesaplar isek;

$$Q=m*c*\Delta T \qquad (4.2)$$

- Q= gerekli olan ısı, Joule
- m =kütle, g
- c = özgül ısı kapasitesi, J/g ^{O}C su için 4.184 J/g°C
- ΔT = Sıcaklık değişimi, °C

708 m^3 suyu 40 ^OC den 95 ^OC getirmesi için gerekli ısı miktarını eşitlik 4.2 ile hesaplarsak; $162.925*10^6$ Joule veya 45.257 kWh (1 Joule = $2,8*10^{-8}$ kWh) enerji harcamış olacak günde.

Seramik membran filtrasyonu kullanılır ise bir miktar ısı kaybı kabul edilerek geri kazanılacak suyun 70 ^OC de olacağı öngörülmüştür. Firmanın geri kazandığı 70 ^OC lik suyu 95 ^OC getirmesi için gerekli olan enerji ise $74.056,8*10^6$ Joule veya 20.571 kWh enerji harcamış olacak ve yıkama suyu ısıtma giderinde %45 azalma gerçekleşecektir. Ülkemizde enerji maliyeti olarak 20 kuruş/kWh kabul edersek, günlük enerji maliyeti kazancı yaklaşık 5.000 TL veya yılda 1.8 Milyon TL azalacaktır.

Enerji maliyetlerinin yanı sıra firmanın attığı su ve kullandığı suya ödediği bedellerden kazanç sağlanacaktır. Firma atıksu bedeli olarak m^3 başına 60 kuruş, kullanım suyuna ise yaklaşık 1 TL ödemektedir. 708 m^3 suyun geri kazanılması ile günlük 1.000 TL veya yılda 410.000 TL su kaynaklı maliyetler azalacaktır.

Seramik membran kurulumu ve işletme giderleri ile ilgili gerçek işletme koşullarına ait veri bulunmadığından Belirtilen miktarda suyun geri kazanılması için gerekli olan kurulum, işletme ve diğer maliyetler için literatürden bazı değerler ve çalışmalar uyarlanarak maliyet hesapları gerçekleştirilmiştir. Seramik membran sarfı için ABD' de 2017 yılında tamamlanan SBIR projesi çıktıları dikkate alınmıştır. Burada, membran maliyeti için metre kare başına 2.000 ABD Doları ve membran modülü için ise metre kare başına 16-32 ABD doları maliyet verilmiştir [SBIR, 2017]. Günlük 708 m^3 sıcak atıksuyun geri kazanılması için %80 geri kazanım oranı kabul edilerek gerekli olan debi 885 m^3/gün olarak kabul edilmiştir. Laboratuvar ölçekli çalışma sonuçlarına göre atıksu akısı 20 LMH olarak kabul edilmiş ve gerekli olan membran alanı 1.850 m^2 olarak hesaplanmıştır. SBIR verilerine göre 3.7 Milyon ABD Doları membran maliyeti, 44.400 ABD Doları gerekli olan modül maliyeti hesaplanmıştır.

Heijman and Bakker tarafından 2007 yılında yayımlanan TECHNEAU Raporundan ise içme suyu arıtılması için verilen kurulum, işletme, bakım ve diğer maliyetler uyarlanarak alınmıştır [Heijman and Bakker, 2007]. Bu raporda 200 m^3/sa seramik membran filtrasyonu için mekanik, elektrik, işçi maliyetleri dahil ilk yatırım için 1.512.000 Avro ve yıllık işletme maliyeti olarak 165.730 Avro rapor edilmiştir.

Enerji, kimyasal, konsantre bertarafı, bakım-onarım için ise 238.980 Avro ve beklenmeyen giderler için 0.14 Avro/m^3 maliyet belirtilmiştir.

Geri kazanımı hedeflenen atıksu debisi çalışmada rapor edilenin 0,18 katı olduğundan verilen tüm maliyetler bu katsayı ile çarpılarak toplam yatırım bedeli ve diğer işletme giderleri ile beraber toplam yaklaşık 4 Milyon ABD doları maliyet hesaplanmıştır.

Seramik membran filtrasyonunun kurulması durumunda yılda 2.2 Milyon TL kazanç sağlanırken bu sistemin kurulumu için yaklaşık 14 Milyon TL (1 ABD Doları 3.5 TL, 1 Avro 4 TL kabul edilmiştir) harcanmış olacak ve yaklaşık 4 yıl içerisinde yatırım kendini amorti etmiş olacaktır.

Bu sonuçların pilot ölçekli çalışmalarda sahadan temin edilecek veriler ile tekrar edilmesi sonucunda doğru bir yönlendirme yapabilecektir.

4.4.2. Seramik Membran Filtrasyonu ile Kostik Geri Kazanımının Teknik ve Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Tekstil sektörü yüksek su tüketiminin yanında atıksu karakteristiğinde çeşitli tehlikeli kimyasallar içermesi nedeni ile arıtılmadan alıcı su ortamlarına deşarj edilmemesi gerekmektedir. Ülkemizde mevcut Tekstil Tebliğinde özellikle yüksek pH değerine sahip merserizasyon, kasar, ağartma, haşıl sökme ve kostik proseslerinin atıksularının kontrol altına alınması için 10 ton/gün kapasite üzeri tesisler ile 1 ton/gün üzeri merserizasyon kapasitesi olan tesislerin tebliğ hükümlerine uyulması beklenmektedir.

Çalışılan firmada gerçekleşen kostik geri kazanımı hedefi doğrultusunda gerçekleşen laboratuvar ölçekli çalışmaların sonucunda Viskan Kasar Ana Banyosundan yaklaşık %15±5 kostik kaybı ile kostik geri kazanımı potansiyeli olduğu görülmüştür. Geri kazanılan kostik çözeltisine belli oranda ve konsantrasyonda ticari kostik ile karıştırılarak istenilen proses için tekrar kullanılabileceği ön görülmektedir. Böylece sıfıra yakın deşarj sağlanacak ve ticari kostik çözeltisi kullanımı azaltılarak hem karışık tekstil atıksuyuna verilecek kirletici yükü azaltılacak hem de ekonomik olarak kazanç sağlanabilecektir.

Firmada aylık ortalama Viskon Kasar Ana Banyosundan 48 ton kullanılmış kostik çözeltisi atığı atılmaktadır. İki kademeli (MF+UF) çapraz akış seramik membran filtrasyonu ile sıfıra yakın kostik deşarjı sağlanabilir. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda denge atıksu akısı yaklaşık 10 LMH olduğu görülmüştür. Viskon Kasar prosesininin kesikli olması nedeni ile atıksuların bir tankta toplanacağı ve ihtiyaca göre çalıştırılacağı ön görülmüştür. Membran alanı ihtiyacını minimumda tutmak maksadı ile günlük olarak 1.600 L (8 saat çalışacağı kabulü) kostik çözeltisini geri kazanımını yapacağımızı kabul edersek gerekli olan membran alanı 20 m^{2}'dir. Geri kazanım için MF+UF iki kademeli sisteme ihtiyaç duyulduğundan gerekli olan alan 40 m^{2} dir.

Bölüm 4.4.1' de detaylı olarak verilen maliyetler benzer şekilde 1.600 L kostik çözeltisini geri kazanmak için uyarlanırsa, toplam yatırım bedeli ve diğer işletme giderleri ile beraber yaklaşık 100.000 ABD doları maliyet hesaplanmıştır.

Kostik çözeltisinin ton başı fiyatının 30 ABD $ olduğu, yılda yaklaşık 500 ton kostiğin geri kazanılması durumunda yaklaşık 15.000 ABD $ kazanç sağlanmış olacaktır.

Bu sonuçların pilot ölçekli çalışmalarda sahadan temin edilecek veriler ile tekrar edilmesi sonucunda doğru bir yönlendirme yapabilecektir.

Sıcak su ve kostik geri kazanımı için hesaplanan maliyetler ve kazançlar özet olarak Tablo 4.72' de verilmiştir.

Tablo 4.72: Sıcak su ve kostik geri kazanımı için hesaplanan maliyetler.

Geri Kazanılacak ürün	**Debisi (m^3/gün)**	**İlk Yatırım (ABD $)**	**Yıllık Kazanç (ABD $)**
Kostik (15-20 g/L)	1,6	100.000	15.000
Sıcak su (70-80 ^{O}C	885	4.000.000	2.200.000

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su kaynaklarının sınırlı olması nedeni ile su yönetimi yaklaşımında sadece suyun fiziksel ve kimyasal kalitesi değil suyun miktarının da korunması önemlidir. Atıksuların yeniden kullanılması bütünleşik su yönetiminde su kaynaklarının sürdürülebilirliği için önem kazanmıştır. Dünyada ve ülkemizde endüstrilerin su ve ham madde kullanımının azaltımına yönelik bir çok Mevcut En İyi Teknikler ve rehber dokümanları bulunmakta ve bu dokümanlar bir çok tavsiye niteliğinde uygulama önermektedir.

Su tüketimin en yoğun olduğu ikinci sektör olan tekstil endüstrisinde, yüksek hacimlerde sıcak atıksular oluşmaktadır. Bu sıcak suların geri kazanılması ile atıksu miktarı ve alıcı ortama deşarj edilen kirleticiler azaltılmış olacak ve aynı zamanda sıcak olarak geri kazanılan sular ile ısıtma maliyetlerinde önemli oranda kazanç sağlanmış olacaktır. Su geri kazanımı teknolojilerinde son yıllarda membran teknolojileri en etkili uygulamalar arasındadır.

Sıcak atık suların geri kazanılmasında mekanik ve kimyasal dayanımları yüksek olan seramik membranların kullanılması önemli avantajlar sağlayacaktır. Yüksek sıcaklıkta yüksek akı elde edilmesi ile arıtılmış atıksu miktarı yüksek olacaktır. Kimyasal temizlik ihtiyacının daha az olması, etkin kirlenme mekanizmasının fiziksel olarak uzaklaştırılabilir direnç olması, düşük işletme basıncı ihtiyaçları nedeni ile işletme açısından da avantajlı olacaktır. Polimerik membranlara göre ilk yatırım maliyetleri 2-3 kat fazla olmasına rağmen ayrıca ekonomik verim değerlendirildiğinde (Ekonomik Verim=Akı*Ömür*Fiyat^{-1}), uzun ömür, yüksek akı eldesi gibi etmenler ile polimerik eşdeğerleri ile rekabet edebilir düzeydedir. Ayrıca, sıcak atıksuların geri kazanılması ile elde edilecek enerji tasarrufu ile kısa sürede yatırım kendini amorti edebilecektir.

Kasar, ağartma, merserizasyon gibi yüksek pH içerikli kostik atıksularının geri kazanılması için "Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği'' üretim kapasitesi 10 ton/gün üzerinde olan yıkama, ağartma, merserizasyon, haşıllama, baskı, haşıl sökme ve benzeri ön işlem, boyama ve son işlemlerinin gerçekleştirildiği tekstil tesislerine ve 1 ton/gün üzeri merserizasyon yapan tesislere sorumluluk vermektedir. Yüksek alkali ve yüksek asidik karakterde olan atıksuların arıtılmasında seramik membranlar kimyasal dayanımları nedeni ile öne çıkmaktadır.

Bir miktar kostik kaybı ile geri kazanılan çözelti daha düşük miktarlarda ticari çözelti ile karıştırılarak tekrar tekrar kullanılabilecektir. Böylece hem sıfır sıfır deşarj sağlanmış olacak hem kimyasal giderlerinde kazanç sağlanmış olacaktır.

Tez çalışmasında tekstil endüstrisinde oluşan sıcak atıksu akımlarından ve kostik akımlarından laboratuvar ölçekli çapraz akış seramik membran filtrasyonu ile sıcak su ve kostik geri kazanımı çalışılmış, elde edilen arıtılmış suların uygun tekstil proseslerinde tekrar kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Laboratuvar ölçekli sıcak su geri kazanımı çalışmalarında en yüksek kirletici giderimi en düşük MWCO sahip 3 kDa membranlar ile elde edilmiştir. Dispers Baskı, Isı Geri Kazanımı ve Kasar Durulama 4. Deşarj noktalarında yüksek renk giderimine karşın organik madde giderimi düşük kalmış ve elde edilen süzüntüler proseste yeniden kullanıma uygun olmayan aralıklarda kalmıştır. Sıcak su geri kazanımı için en uygun nokta toplam su tüketiminin yaklaşık %22 si olan emprime karışım noktası olmuştur. 3 kDa seramik membran filtrasyonu ile elde edilen süzüntülerde, organik madde açısından yeniden kullanım uygun olmakla beraber bir miktar renk içermektedir. Koyu renkli baskı kumaşlarının sıcak havuzlarında emprime karışım noktasından elde edilen sıcak suların kullanılabileceği öngörülmektedir. Su geri kazanımının yanı sıra sıcak su eldesi ile enerji maliyetlerinde önemli oranda azalma gerçekleşecektir. Su sıcaklığını 55 ^{O}C ısıtmak yerine 25 ^{O}C ısıtılırsa %45 oranında sıcak su ısıtımında enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. 800 m^3/gün emprime karışım noktasından sıcak su geri kazanımı için yaklaşık 4 Milyon TL maliyet ön görülmüş, enerjiden elde edilecek kazanımlar ile bu maliyetin yaklaşık üç yıl içerisinde geri döneceği hesaplanmıştır.

Laboratuvar ölçekli kostik geri kazanımı açısından Viskon Kasar Prosesi ana banyosundan UF seramik membranlar ile yaklaşık %15±5 kostik kaybı ile geri kazanım yapılabileceği görülmüştür. Banyonun hav içeriği nedeni ile kaba elek veya sepet ızgara sonrasında MF+UF iki kademeli seramik membran filtrasyonu ile sıfıra yakın deşarj elde etmek mümkün olabilecektir. Viskon Kasar ana banyosundan yılda yaklaşık 500 ton kostik çözeltisi geri kazanılarak yılda 60.000 TL ekonomik kazanç hesaplanmıştır.

Membran performansı incelendiğinde tüm deneylerde etkin kirlenme mekanizmasının fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direnç (Rc) olduğu görülmüştür. Böylece kimyasal yıkama ihtiyacı periyodu daha uzun olacak ve daha uzun filtrasyon

sürelerinde yüksek akılar elde edilebilecektir. Termal dayanım ile yüksek sıcaklıklarda düşük viskozite nedeni ile elde edilen akı değerleri polimerik membranlara göre yüksek olacaktır.

Akı davranışları sıcak sularda 20-30 LMH değerinde, kasar ana banyo için 10-20 LMH değerinde dengeye ulaşmıştır. İki kademeli filtrasyonun membran performansını arttırdığı görülmüştür. İki kademeli sistemlerde, yüksek akı elde edilirken, akı azalması oranı düşmüş ve fiziksel temizlik sonrasında saf su geri kazanım oranları tek kademeli sisteme göre yüksek olmuştur. Kimyasal temizlik tüm deneylerde etkili olmuş, tersinir olmayan kirlilik (Rif) ihmal edilir düzeyde kalmıştır.

Sıcak su geri kazanımı için nihai nokta olan emprime karışım noktasında işletme basıncının etkisi incelendiğinde basınç arttıkça membran direncinin (Rm) arttığı, fiziksel olarak uzaklaştırılabilen direncin (Rc) arttığı, buna karşın organik madde ve renk giderimin benzer olduğu görülmüştür.

- Öneriler

Laboratuvar ölçekli gerçekleşen çalışmaların emprime karışım noktası ve Viskon Kasar Prosesi Ana Banyosu için pilot ölçekli çalışmalar yapılmalı ve pilot ölçekte elde edilen süzüntüler kumaş denemeleri yapılmalıdır.

Su geri kazanımı açısından en büyük paya sahip ısı geri kazanım noktasında organik madde giderimi için seramik membran filtrasyonu öncesi oksidasyon proses çalışmaları yapılabilir.

Tekstil atıksuyunda seramik membran kirlenmesinin optimize edilmesi maksadı ile farklı yatay akış hızlarında filtrasyon çalışmaları gerçekleştirilebilir.

Tekstil endüstilerinde proses suyu eldesinde kullanılan ters ozmoz ünitelerinden kaynaklanan membran konsantrelerin bertarafında seramik membran filtrasyonu ön arıtma olarak kullanımı araştırılabilir.

Diğer sıcak atıksuyu bulunan kağıt, otomotiv gibi, yüksek asidik atıksuları bulunan maden atıksuları gibi sektörlerde seramik membranlar ile su ve değerli ham madde geri kazanımı çalışmaları gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Akbari A., Remigy J. C., Aptel P., (2002), "Treatment of textile dye effluent using a polyamide-based nanofiltration membrane", Chemical Engineering and Processing Process Intensification, 41(7), 601-609.

Alventosa-deLara E., Barredo-Damas S., Zuriaga-Agustí E., Alcaina-Miranda M I., Iborra-Clar M I., (2014), "Ultrafiltration ceramic membrane performance during the treatment of model solutions containing dye and salt", Separation and Purification Technology, 129, 96-105.

Aslam M. M., Bai M. A., Hassan I., Qazi I. A., Malik M., Saeed, H., (2004), "Textile wastewater characterization and reduction of its COD and BOD by oxidation", EJEAF Che, 3(6), 804-811.

Barclay S., Buckley C., (2000), "Waste Minimisation Guide for the Textile Industry A Step Towards Cleaner Production", Volume I, The Pollution Research Group, University of Natal Durban South Africa.

Barredo-Damas S., Alcaina-Miranda M. I., Bes-Piá A., Iborra-Clar M. I., Iborra-Clar A., Mendoza-Roca J. A. (2010), "Ceramic membrane behavior in textile wastewater ultrafiltration", Desalination, 250(2), 623-628.

Bes-Piá, A., Mendoza-Roca J. A., Alcaina-Miranda M. I., Iborra-Clar A., Iborra-Clar M. I., (2002), "Reuse of wastewater of the textile industry after its treatment with a combination of physico-chemical treatment and membrane technologies", Desalination, 149(1), 169-174.

Bisschops I., Spanjers H., (2003), "Literature review on textile wastewater characterisation", Environmental Technology, 24(11), 1399-1411.

Blanco J., Torrades F., Morón M., Brouta-Agnésa M., García-Montaño J., (2014), "Photo-Fenton and sequencing batch reactor coupled to photo-Fenton processes for textile wastewater reclamation: feasibility of reuse in dyeing processes", Chemical Engineering Journal, 240, 469-475.

Buscio V., Marín M. J., Crespi M., Gutiérrez-Bouzán C., (2015), "Reuse of textile wastewater after homogenization–decantation treatment coupled to PVDF ultrafiltration membranes", Chemical Engineering Journal, 265, 122-128.

Capar G., Yilmaz L., Yetis U., (2006), "Reclamation of acid dye bath wastewater: Effect of pH on nanofiltration performance", Journal of Membrane Science, 281(1-2), 560-569.

Capar G., Yilmaz L., Yetis, U., (2008), "A membrane-based co-treatment strategy for the recovery of print-and beck-dyeing textile effluents", Journal of Hazardous Materials, 152(1), 316-323.

Chakraborty S., Purkait M. K., DasGupta S., De S., Basu, J. K., (2003), "Nanofiltration of textile plant effluent for color removal and reduction in COD", Separation and Purification Technology, 31(2), 141-151.

Cheryan M., (1986), "Ultrafiltration Handbook", 1st Edition, Technomic Publition Company.

Cheryan M., (1998), "Ultrafiltration and Microfiltration Handbook", 2nd Edition, Taylor & Francis.

Choe E. K., Son E. J., Lee B. S., Jeong S. H., Shin H. C., Choi J. S., (2005), "NF process for the recovery of caustic soda and concentration of disodium terephthalate from alkaline wastewater from polyester fabrics", Desalination, 186(1), 29-37.

Ciardelli G., Corsi L., Marcucci M., (2001), "Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry", Resources, Conservation and Recycling, 31(2), 189–197.

Correia V. M., Stephenson T., Judd S. J., (1994), "Characterisation of textile wastewaters-a review", Environmental Technology, 15(10), 917-929.

Costa A. R., de Pinho M. N., Elimelech M., (2006), "Mechanisms of colloidal natural organic matter fouling in ultrafiltration", Journal of Membrane Science, 281(1-2), 716-725.

Cromey T., (2014), "Effect of Elevated Temperature on Ceramic Ultrafiltration of Colloidal Suspensions", Master Thesis, Georgia Institute of Technology

Cromey T., Lee S. J., Kim J. H., (2015), "Effect of Elevated Temperature on Ceramic Ultrafiltration of Colloidal Suspensions", Journal of Environmental Engineering, 141(6), 04014096.

De Florio L., Giordano A., Mattioli D., (2005), "Nanofiltration of low-contaminated textile rinsing effluents for on-site treatment and reuse", Desalination. 181 (1-3), 283-292.

Dilaver M., Hocaoğlu S. M., Soydemir G., Dursun M., Keskinler B., Koyuncu İ., Ağtaş M., (2018), "Hot wastewater recovery by using ceramic membrane ultrafiltration and its reusability in textile industry", Journal of Cleaner Production, 171, 220-233.

Doumic L. I., Soares P. A., Ayude M. A., Cassanello M., Boaventura R. A., Vilar V. J., (2015), "Enhancement of a solar photo-Fenton reaction by using ferrioxalate complexes for the treatment of a synthetic cotton-textile dyeing wastewater", Chemical Engineering Journal, 277, 86-96.

DSİ, (2016), Toprak ve su kaynakları, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.

Erickson H. P., (2009), "Size and shape of protein molecules at the nanometer level determined by sedimentation, gel filtration, and electron microscopy", Biological Procedures Online, 11(1), 32-51.

EC, (2003), "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry", European Commission.

EuroStats, (2016), Su kullanım istatistikleri, Avrupa Birliği İstatistik Ofisi.

Fane A.G., (1996), "Membranes for water production and wastewater reuse", Desalination , 106(1–3), 1-9.

Fersi C., Dhahbi M. (2008), "Treatment of textile plant effluent by ultrafiltration and/or nanofiltration for water reuse", Desalination, 222(1), 263-271.

Fersi C., Gzara L., Dhahbi M. (2005), "Treatment of textile effluents by membrane technologies", Desalination, 185(1), 399-409.

Finley J., (2005), "Ceramic membranes: a robust filtration alternative", Filtration and Separation, 42, 34-37.

Freeman S., Shorney-Darby H., (2011), "What's the Buzz About Ceramic Membranes", American Water Works Association Journal, 103, 12-13.

Gillot J. (1991), "The developing use of inorganic membranes: A historical perspective. In Inorganic Membranes Synthesis, Characteristics and Applications", 1-9, Springer, Dordrecht.

Giwa A., Ogunribido, A., (2012), "The Applications of Membrane Operations in the Textile Industry: A Review", British Journal of Applied Science and Technology 2(3), 296-310.

Guerra K., Pellegrino J., (2012), "Development of a Techno-Economic Model to Compare Ceramic and Polymeric Membranes", Separation Science and Technology, 48, 51-65.

Guizard C., Stevenson A., (2008), "Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food and Biotechnological Applications: Chapter 9, Ceramic Membranes Technology Current Applications and Future Development", CRC Press.

H. Lee, S.G. Kim, J.S. Choi, S.K. Kim, H.J. Oh, W.T. Lee, (2013), "Effects of water temperature on fouling and flux of ceramic membranes for wastewater reuse", Desalination and Water Treatment, 51 5222-5230.

Guyer G. T., Nadeem K., Dizge N., (2016), "Recycling of pad-batch washing textile wastewater through advanced oxidation processes and its reusability assessment for Turkish textile industry", Journal of Cleaner Production 139, 488-494.

Heijman B., Bakker S., (2007), "Ceramic micro filtration as the first treatment step in surface water treatment", Joint R&D Report KIWA Water Research & Vitens.

Howe K.J., Clark M.M., (2002), "Fouling of microfiltration and ultrafiltration membranes by natural waters", Environmental Science and Technology, 36, 3571–3576.

İçoğlu H. İ., (2006), "Pamuklu dokunmuş kumaşların reaktif boyar maddeler ile boyanması ve uygulama yöntemlerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.

Jorfi S., Barzegar G., Ahmadi M., Soltani R. D. C., Takdastan A., Saeedi R., Abtahi M., (2016), "Enhanced coagulation-photocatalytic treatment of Acid red 73 dye and real textile wastewater using UVA/synthesized MgO nanoparticles", Journal of Environmental Management, 177, 111-118.

Judd S., (2010), "The MBR Book:Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment", 2nd Edition, Elsevier.

Kallioinen M., Manttari M., Nystrom M., Nuortila-Jokinen J., (2007), "Effect of high filtration temperature on regenerated cellulose ultrafiltration membranes", Separation Science and Technology, 42, 2863-2879.

Kehinde F. O., Aziz H. A., (2016), "Classical optimization of process variables in the treatment of real textile wastewater using clinoptilolite", Journal of Environmental Chemical Engineering, 4(1), 1242-1247.

Koltuniewicz A.B., Field R.W., Arnot T.C., (1995), "Cross-flow and dead-end microfiltration of oily-water emulsion. Part I: Experimental study and analysis of flux decline", Journal of Membrane Science, 102, 193-207.

Koyuncu I., Topacik D., Yuksel E., (2004a), "Reuse of reactive dyehouse wastewater by nanofiltration:process water quality and economical implications", Separation and Purification Technology, 36, 77–85.

Koyuncu İ., Topacik D., Wiesner M.R., (2004b), "Factors influencing flux decline during nanofiltration of solutions containing dyes and salts", Water Research, 38, 432-440.

Koyuncu İ.,(2012), "Industrial Wastewater Reuse in Textile Industry by Application of Appropriate Membrane Treatment Technology and Investigating Pre-treatment Methods, Fouling Phenomenon, and Cleaning of Fouled Membranes" 108Y243 sonuç raporu, Nisan 2012.

Kurt E., (2012), "Tekstil Endüstrisi Ayrılmış Atıksularının Pilot Ölçekli Membran Sistemleri ile Arıtımı ve Geri Kazanımı",Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Lamminen M.O., Walker H.W., Weavers L.K., (2004), "Mechanisms and factors influencing the ultrasonic cleaning of particle-fouled ceramic membranes", Journal of Membrane Science, 237, 213-223.

Lee S.J., Dilaver M., Park P-H., Kim J.H., (2013), "Comparative analysis of fouling characteristics of ceramic and polymeric microfiltration membranes using filtration models", Journal of Membrane Science, 432, 97-105.

Lee S. J., Kim, J. H., (2014), "Differential natural organic matter fouling of ceramic versus polymeric ultrafiltration membranes" Water Research, 48, 43-51.

Lee S-H., Chung K-C., Shin M-C., Dong J-I., Lee H-S., Auh K-H., (2002), "Preparation of ceramic membrane and application to the crossflow microfiltration of soluble waste oil", Materials Letters, 52, 266-271.

Lin S., Chen, M.L., (1997), "Treatment of textile wastewater by chemical methods for reuse", Water Research, 31 (4), 868-876.

Lindmark J., Thorin E., Kastensson J., Pettersson C.M., (2011), "Membrane filtration of process water at elevated temperatures—A way to increase the capacity of a biogas plant", Desalination, 267, 160-169.

Luque S., Gómez D., Álvarez J. R., (2008), "Industrial Applications of Porous Ceramic Membranes (Pressure-Driven Processes)", Membrane Science and Technology, 13, 177-216.

Majewska-Nowak, K.M., (2010), "Application of ceramic membranes for the separation of dye particles", Desalination, 254,185–191.

Marcucci M., Nosenzo G., Capannelli G., Ciabatti I., Corrieri D., Ciardelli, G. (2001), "Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane Technologies", Desalination, 138(1-3), 75-82.

Marcucci M., Ciardelli G., Matteucci A., Ranieri L., Russo M., (2002), "Experimental campaigns on textile wastewater for reuse by means of different membrane processes", Desalination, 149, 137-143.

McGinnis R., Elimelech M., (2008), "Global Challenges in Energy and Water Supply: The Promise of Engineered Osmosis", Environmental Science and Technology, 42(23), 8625–8629.

Mujeriego R., Asano T., (1999), "The Role of Advanced Treatment in Wastewater Reclamation and Reuse", Water Science and Technology, 40 (4-5) 1-9;

Mulder M., (1996), "Basic Principles of Membrane Technology 2nd Edition", Kluwer Academic Publishers.

Neamtu, M., Yediler, A., Siminiceanu, I., Macoveanu, M. and Kettrup, A., (2004), "Decolorization of Disperse Red 354 Azo Dye in Water by Several Oxidation Processes-A Comparative Study", Dyes and Pigments, 6061-68.

Oğuz E., Keskinler B., (2008), "Removal of colour and COD from synthetic textilewastewaters using O3, PAC, H_2O_2 and HCO3", Journal of Hazardous Materials, 151, 753–760.

Ozturk E., Karaboyacı M., Yetis U., Yigit N. O., Kitis M., (2015), "Evaluation of integrated pollution prevention control in a textile fiber production and dyeing mill", Journal of Cleaner Production, 88, 116-124.

Ozturk E., Koseoglu H., Karaboyaci M., Yigit N. O., Yetis U., Kitis M., (2016a), "Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco-efficiency analysis study in a textile mill", Journal of Cleaner Production, 138, 248-263.

Ozturk E., Koseoglu H., Karaboyacı M., Yigit N. O., Yetis U., Kitis M., (2016b), "Minimization of water and chemical use in a cotton/polyester fabric dyeing textile mill", Journal of Cleaner Production, 130, 92-102.

Partal R., (2013), "Tekstil Endüstrisi Atıksularında Renk Parametresi Ölçümü İçin Farklı Metotların Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Petrova S. P., Stoychev, P. A. (2003), "Ultrafiltration purification of waters contaminated with bifunctional reactive dyes", Desalination, 154(3), 247-252.

Puhlfürß P., Voigt A., Weber R., Morbé M., (2000), "Microporous TiO_2 membranes with a cut off <500 Da", Journal of Membrane Science, 174, 123–133.

Raghu S., Basha, CA., (2007), "Chemical or electrochemical techniques, followed by ion exchange, for recycle of textile dye wastewater", Journal of Hazardous Materials, 149, 324–330.

ResGaz 1, (2011), Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği, 14 Aralık 2011 tarih ve 28142 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 2, (2015), Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Tebliğ, 10 Mart 2015 tarih ve 29291 sayılı Resmi Gazete.

Ripperger S., Altmann J., (2002), "Crossflow microfiltration–state of the art", Separation and Purification Technology, 26(1), 19-31.

Salt Y., Dinçer, S., (2006), "An Option for Special Seperation Operations: Membrane Process", Çağrılı Derleme Makalesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi

SBIR, (2017), "A Low Cost Ceramic Ultrafiltration Membrane Module Project", Small Business Innovation Research, United States.

Schlesinger R., Götzinger G., Sixta H., Friedl A., Harasek M., (2006), "Evaluation of alkali resistant nanofiltration membranes for the separation of hemicellulose from concentrated alkaline process liquors", Desalination, 192(1), 303-314.

Schoeberl P., Brik M., Braun R., Fuchs W., (2004), "Treatment and recycling of textile wastewatercase study and development of a recycling concept", Desalination 171,173-183.

Scott K., (1995) "Handbook of Industrial Membranes", 2nd Edition, Elsevier Science.

Seif H. and Malak M., (2001), "Textile wastewater treatment", Sixth International Water Technology Conference, IWTC, Alexandria, Egypt.

Snow M.J.H., Winter D de., Buckingham R., Campbell J., Wagner J. (1996), "New techniques for extreme conditions: high temperature reverse osmosis and nanofiltration", Desalination, 105, 57-61.

Sójka-Ledakowicz J., Koprowski T., Machnowski W., Knudsen H. H., (1998), "Membrane filtration of textile dyehouse wastewater for technological water reuse", Desalination, 119(1), 1-9.

Sondhi R., Bhave R. and Jung G., (2003), "Applications and benefits of ceramic membranes", Membrane Technology, 2003(11), 5-8.

Šostar-Turk S., Simonič M., Petrinić I., (2005), "Wastewater treatment after reactive printing", Dyes and Pigments, 64(2), 147-152.

Tang C., Chen V., (2002), "Nanofiltration of textile wastewater for water reuse", Desalination, 143(1), 11-20.

Taşıyıcı S., (2009), "Batık membran sistemleri ile içme suyu arıtımı: membran tıkanıklığını azaltmak için farklı yöntemlerin kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi

Tomei M. C., Pascual J. S., Angelucci D. M., (2016), "Analysing performance of real textile wastewater bio-decolourization under different reaction environments", Journal of Cleaner Production 129, 468-477.

Touati A., Hammedi T., Najjar W., Ksibi Z., Sayadi S., (2015), "Photocatalytic degradation of textile wastewater in presence of hydrogen peroxide: Effect of cerium doping titania", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 35, 36-44.

Tunç M. S., Yılmaz L., Yetiş Ü., Çulfaz-Emecen P. Z., (2014), "Purification and Concentration of Caustic Mercerization Wastewater by Membrane Processes and Evaporation for Reuse", Separation Science and Technology, 49 (13), 1968-1977.

Tünay O., (1996), "Endüstriyel Kirlenme Kontrolü", 1578. Sayı, İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü.

US EPA, (1978), "Environmental Pollution Prevention Control Textile Processing Industry", EPA-625/7-78-002, U.S. Environmental Protection Agency Environmental Research Information Center.

US EPA, (1996); "Manual: Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry", EPA/625/R-96/004, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development.

US EPA, (1997), "Profile of the Textile Industry", EPA-310-R-97-009, U.S. Environmental Protection Agency, EPA Office of Compliance Sector Notebook Project.

Van Gestel T., Kruidhof H., Blank DHA., Bouwmeester HJM., (2006), "ZrO_2 and TiO_2 membranes for nanofiltration and pervaporation. Part 1. Preparation and characterization of a corrosion-resistant ZrO_2 nanofiltration membrane with a MWCO < 300", Journal of Membrane Science, 284, 128–136.

Van der Bruggen B., Cornelis G., Vandecasteele C., Devreese I., (2005), "Fouling of nanofiltration and ultrafiltration membranes applied for wastewater regeneration in the textile industry", Desalination, 175(1), 111-119.

Van der Bruggen B., Curcio E., Drioli E., (2004), "Process intensification in the textile industry: the role of membrane technology", Journal of Environmental Management, 73(3), 267-274.

Van der Bruggen B., Vandecasteele C., Van Gestel T., Doyen W., Leysen R., (2003), "A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production", Environmental Progress and Sustainable Energy, 22(1), 46-56.

Varol C., (2008), "Caustic recovery from high alkaline denim mercerizing wastewaters using membrane technology", Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi.

Varol C., Uzal N., Dilek F.B., Kitis M., Yetis U., (2015), "Recovery of caustic from mercerizing wastewaters of a denim textile mill", Desalination and Water Treatment, 53(12), 3418-3426.

Vincent-Vela M-C., Cuartas-Uribe B., Álvarez-Blanco S., Lora-García J., (2012), "Analysis of an ultrafiltration model: Influence of operational conditions", Desalination, 284, 14-21.

Vladisavljevic G.T., Milonjic S.K., Nikolic D., Pavasovic V.L., (1992), "Influence of temperature on the ultrafiltration of silica sol in a stirred cell", Journal of Membrane Science, 66, 9-17.

Voigt, I., Stahn, M., Junghans, A., Rost, J., Voigt, W., (2001), "Integrated cleaning of coloured waste water by ceramic NF membranes", Separation and Purification Technology, 25(1), 509-512.

Vogel H. C., Todaro, C. L., (1997), "Fermentation and biochemical engineering handbook: principles, process design, and equipment", 2nd Edition Noyes Publications, USA.

Wintgens T., Melin T. , Schäfer A. , Khan S., Muston M., Bixio D., Thoeye C., (2005), "The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse", Desalination, 178 (1–3), 1-11.

WRI, (2016), "Water Stress by Country", World Resources Institute.

Yang J., Park C., D. Lee., S. Kim., (2007), "Recovery of Caustic Soda in Textile Mercerization by Combined Membrane Filtration", Technical Proceedings of the 2007 NSTI Nanotechnology Conference and Trade Show, Volume 4, Chapter 6, Cleantech: Emissions, and Environmental.

Yukseler H., Uzal N., Sahinkaya E., Kitis M., Dilek F. B., Yetis, U., (2017), "Analysis of the best available techniques for wastewaters from a denim manufacturing textile mill", Journal of Environmental Management, 203, 1118-1125

Zebić Avdičević M., Košutić K., Dobrović, S., (2017), "Effect of operating conditions on the performances of multichannel ceramic UF membranes for textile mercerization wastewater treatment", Environmental Technology, 38(1), 65-77.

Zeidler S., Puhlfürß P., Kätzel U., Voigt I., (2014), "Preparation and characterization of new low MWCO ceramic nanofiltration membranes for organic solvents", Journal of Membrane Science,470, 421-430.

Zhao Y., Zhang Y., Xing W., Xu N., (2005), "Treatment of titanium white waste acid using ceramic microfiltration membrane", Chemical Engineering Journal, 111, 31-38.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İzmir'de doğan Mehmet DİLAVER ilk, orta ve lise öğrenimini Muğla'nın Bodrum ilçesinde tamamladı. 2006 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini bölüm birincisi olarak bitirdi. TÜBİTAK Son Sınıf Lisans öğrencileri için verilen 2228 nolu yüksek lisans bursunu 2006 yılında kazandı. 2006-2008 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Bilimleri Bölümünde yüksek lisansına devam ederken 1416 sayılı kanun kapsamında Milli Eğitim Bakanlığı tarafından verilen yurtdışı lisansüstü eğitim bursunu almaya hak kazanındı. 2011 yılında Amerika Birleşik Devletleri Atlanta şehri Georgia eyaletinde bulunan Georgia Institute of Technology Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans derecesi ile mezun oldu. 2013 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programına başlamış ve 2012 yılından itibaren TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü'nde uzman araştırmacı olarak çalışmaya devam etmektedir.

EKLER

EK A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Dilaver M., Hocaoğlu S. M., Soydemir G., Dursun M., Keskinler B., Koyuncu İ., Ağtaş M. (2018), "Hot wastewater recovery by using ceramic membrane ultrafiltration and its reusability in textile industry", Journal of Cleaner Production, 171, 220-233.

EK B: Açıklamalar

TAMI firması tarafından verilen sıcaklık düzeltme katsayıları Tablo B1.1' de, viskozite değerleri Tablo B1.2' de, tez çalışmasında kullanılan düzeltme değerleri Tablo B1.3' te sunulmaktadır.

Tablo B1.1: Sıcaklık düzeltmeleri tablosu (TAMI Manuel).

Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Düzeltmesi	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Düzeltmesi	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Düzeltmesi
0	2,003	34	0,822	68	0,468
1	1,934	35	0,816	69	0,461
2	1,870	36	0,788	70	0,454
3	1,808	37	0,773	71	0,449
4	1,751	38	0,759	72	0,442
5	1,696	39	0,744	73	0,436
6	1,645	40	0,73	74	0,431
7	1,596	41	0,717	75	0,426
8	1,549	42	0,703	76	0,42
9	1,505	43	0,691	77	0,414
10	1,463	44	0,678	78	0,409
11	1,422	45	0,667	79	0,404
12	1,383	46	0,656	80	0,398
13	1,346	47	0,644	81	0,393
14	1,311	48	0,634	82	0,385
15	1,278	49	0,624	83	0,383
16	1,245	50	0,612	84	0,380
17	1,214	51	0,603	85	0,375
18	1,184	52	0,594	86	0,371
19	1,153	53	0,585	87	0,366
20	1,127	54	0,575	88	0,362
21	1,099	55	0,566	89	0,357
22	1,073	56	0,557	90	0,354
23	1,048	57	0,549	91	0,349
24	1,022	58	0,541	92	0,347
25	1,000	59	0,533	93	0,342
26	0,977	60	0,525	94	0,339
27	0,955	61	0,517	95	0,334
28	0,934	62	0,509	96	0,331
29	0,913	63	0,502	97	0,327
30	0,893	64	0,495	98	0,324
31	0,875	65	0,488	99	0,32

Tablo B1.2: Viskozite tablosu.

T (^{O}C)	**μ (Pas)**	**μ (Pas)*10^{-3}**
10	1,3080	0,001308
20	1,0020	0,001002
25	0,8900	0,00089
30	0,7978	0,0007978
40	0,6531	0,0006531
50	0,5471	0,0005471
60	0,4658	0,0004658
70	0,4044	0,0004044
80	0,3550	0,000355
85	0,3350	0,000335
90	0,3150	0,000315
100	0,2822	0,0002822
100	0,2822	0,0002822

Tablo B1.3: Tez çalışmasında kullanılan sıcaklık düzeltmeleri.

T (^{O}C)	**Düzeltme (20°C)**	**Düzeltme (25°C)**
70	2,48	2,20
75	2,65	2,35
80	2,83	2,51
85	3,01	2,67

EK C: Atıksu Karakterizasyonu Analiz Sonuçları

Şubat-Mayıs 2016 tarihlerinde, Pamuk Kasar-1 prosesinden 8 noktadan, Pamuk Kasar-2 prosesinden 3 noktadan, Viskon Kasar prosesinden 8 noktadan, Dispers Emprime Baskı Banyolarından 4 noktadan, Reaktif Emprime Baskı Banyolarından 4 noktadan, Emprime Karışım ve Isı Geri Kazanım noktalarından olmak üzere toplam 29 farklı noktan alınan 105 adet atıksu numunesinin atıksu karakterizasyon sonuçları detaylı olarak Tablo C1.1 - Tablo C1.8' de verilmektedir.

Tablo C1.1: Pamuk Kasar-1 prosesi için atıksu karakterizasyonu.

Ünite	Örnekleme Tarihi	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Renk				Na^+ (mg/L)	NaOH* (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
						PtCo	436nm	525nm	620nm						
Ana Banyo	24.3.2016	12,9	51.300	60.265	14.670	800	31,0	17,3	12,0	10.820	18.817	220	546	451	1.768
	4.4.2016	12,8	64.700	61.671	19.385	2.550	17,4	13,7	8,54	10.490	18.243	235	321	800	2.096
	5.4.2016	12,6	48.800	51.991	15.790	1.110	42,5	26,5	18,3	9.271	16.123	300	511	703	1.870
	15.4.2016	12,5	69.100	48.425	14.595	85	24,2	10,9	5,5	11.720	20.383	320	203	344	1.197
Durulama 1	10.2.2016	12,5	12.670	18.578	7.047	225	7,6	3,6	2,0	2.107	3.664	416	707	168	242
	4.4.2016	9,2	1.266	1.147	296	55	1,8	0,7	0,4	270	470	43	26	18	82
	5.4.2016	8,4	737	639	10	15	0,3	0,1	0,0	144	251	< 5	2	8	97
	15.4.2016	11,2	2.030	3.264	890	125	4,1	2,1	1,2	354	616	41	49	25	122
Durulama 2	10.2.2016	10,8	6.790	9.785	3.105	350	11,6	6,2	3,8	1.616	2.810	316	702	144	129
Durulama 3	10.2.2016	10,4	3.690	3.782	1.332	225	7,1	3,8	2,3	879	1.528	174	340	35	108
Dengeleme	10.2.2016	9,6	1.453	2.570	797	100	3,4	1,8	1,8	306	532	104	164	45	121
Durulama 4	10.2.2016	10,0	1.261	1.679	463	85	2,5	1,2	0,8	269	469	149	169	31	112
	4.4.2016	10,5	1.440	2.330	564	100	2,8	1,4	0,8	295	514	46	39	57	71
	5.4.2016	10,0	972	1.292	285	225	7,0	4,4	2,9	184	320	64	75	30	105
	15.4.2016	8,0	1.074	1.147	315	100	3,4	1,9	1,2	224	389	74	47	40	120
Durulama 5	10.2.2016	7,9	1.059	900	254	45	1,4	0,8	0,5	222	387	49	50	22	104
Durulama 6	10.2.2016	5,2	1.128	1.061	350	55	1,7	1,0	0,6	241	418	43	34	72	101

Tablo C1.2: Pamuk Kasar-2 prosesi için atıksu karakterizasyonu.

Ünite	Örnekleme Tarihi	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Renk				Na^+ (mg/L)	NaOH* (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
						PtCo	436nm	525nm	620nm						
Ana Banyo	12.4.2016	13,0	404.000	10.277	2.831	510	15,5	9,6	6,4	97.638	169.805	57	2.727	14	411
Durulama 1	24.3.2016	13,1	22.500	485	339	25	1,0	0,4	0,2	2.191	3.810	< 5	9	23	144
	12.4.2016	12,5	8.630	228	61	10	0,3	0,1	0,1	1.029	1.790	6	6	6	93
Durulama 4	24.3.2016	6,6	1.310	1.213	6.900	50	2,4	1,2	0,7	250	435	24	13	137	145

Tablo C1.3: Viskon Kasar prosesi için atıksu karakterizasyonu.

Ünite	Örnekleme Tarihi	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Renk				Na^+ (mg/L)	NaOH* (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
						PtCo	436nm	525nm	620nm						
Ana Banyo	10.2.2016	13,2	84.800	3.990*	579*	60	1,8	0,9	0,5	10.040	17.461	46	13,4	420	120
	24.2.2016	13,1	96.700	20.652	8.161	-	24,4	13,5	8,0	12.950	22.522	890	1.032	235	534
	23.3.2016	13,1	78.400	30.445	9.372	1.250	47,6	23,5	11,8	13.250	23.043	865	709	264	612
	24.3.2016	13,2	78.500	24.746	6.900	1.000	36,4	18,0	9,3	11.820	20.557	730	786	230	517
	4.4.2016	12,8	82.600	24.137	5.977	932	34,4	18,0	9,8	11.490	19.983	850	1.540	441	278
	5.4.2016	12,8	95.000	35.363	7.907	1.057	36,8	18,9	10,1	13.310	23.148	1.280	1.789	310	249
	26.4.2016	13,2	76.300	36.129	9.866	5.780	133,0	80,6	51,7	12.820	22.296	715	957	131	347
	27.4.2016	13,1	63.000	45.085	9.690	2.290	67,9	34,3	17,3	12.340	21.461	1.810	2.818	168	337
	14.5.2016	12,8	92.700	18.637	4.653	894	10,1	50,1	26,6	12.970	22.557	1.300	818	205	269
	17.5.2016	12,9	82.400	15.897	4.324	1.080	19,0	9,1	4,3	10.920	18.991	995	602	170	670
Durulama 1	10.2.2016	11,8	16.490	13.394	4.723	175	6,09	3,2	1,9	4.391	7.637	480	941	34,9	93
	24.2.2016	13,0	34.000	15.830	5.888	-	28,6	16,2	9,7	4.196	7.297	476	805	43,1	204
	23.3.2016	12,5	7.500	2.638	743	60	2,15	1,0	0,5	1.092	1.899	30	31,4	15,6	126
	24.3.2016	11,7	2.010	727	217	60	2,2	1,1	0,6	379	660	13	20,9	10,5	141
	4.4.2016	12,5	9.700	2.421	710	175	7,96	4,5	2,7	1.055	1.835	74	103	20,5	106
	5.4.2016	11,8	2.270	591	182	45	1,4	0,8	0,5	317	551	<5	23,2	5,1	85
	26.4.2016	11,5	12.700	6.603	1.907	575	17,2	10,8	7,3	1.741	3.028	132	246	17,6	140
Durulama 2	10.2.2016	11,7	9.380	10.074	2.866	400	13,4	7,6	4,7	2.112	3.673	235	1.088	30,8	96
	24.2.2016	12,8	15.820	4.623	1.338	-	21,4	12,8	8,1	1.712	2.977	223	429	22,6	109

Tablo C1.3 devamı: Viskon Kasar prosesi için atıksu karakterizasyonu.

Ünite	Örnekleme Tarihi	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	Renk				Na^+ (mg/L)	NaOH* (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L	Cl^- (mg/L)
						PtCo	436nm	525nm	620nm						
Durulama 3	10.2.2016	10,9	4.410	5.533	1.812	400	12,2	7,0	4,3	1052	1.830	166	677	18,5	122
	24.2.2016	12,5	6.320	2.538	687	-	10,8	6,1	3,6	728,8	1.268	165	307	22,6	104
Dengeleme	10.2.2016	8,3	1.537	4.620	1.263	85	2,7	1,4	0,8	326	568	59	154	9,2	156
	24.2.2016	6,9	16.520	4.183	1.308	-	37,2	22,6	14,5	358	622	77	329	20	228
Durulama 4	10.2.2016	8,3	967	1.048	252,7	30	1,0	0,5	0,3	184	320	66	63,5	46	123
	24.2.2016	6,2	1.068	2.428	386,5	-	27,3	17,2	11,4	236	411	189	281	9,8	140
	23.3.2016	6,2	906	639	182	40	1,1	0,6	0,3	197	343	24	20,2	-	126
	24.3.2016	6,4	1.213	1.608	461	85	2,9	1,5	0,9	272	472	81	50,2	8,6	186
	4.4.2016	9,9	889	329	60	30	1,0	0,5	0,3	181	315	19	15,4	8,6	126
	5.4.2016	8,3	776	467	116	45	1,4	0,8	0,5	156	272	25	27,6	8,2	92
	26.4.2016	6,8	1.145	1.673	481	85	2,4	1,3	0,8	217	376,5	25	19,8	13,1	174
Durulama 5	10.2.2016	7,8	890	334	54	35	1,2	0,7	0,4	171	298	31	31,2	-	114
	24.2.2016	5,7	867	850	265	-	4,3	2,5	1,5	184	320	84	112	6,4	102
Durulama 6	10.2.2016	5,8	979	660	208	35	1,1	0,7	0,4	196	342	35	37,6	4,7	113
	24.2.2016	4,5	950	2.163	651	-	6,9	4,0	2,5	196	340	114	158	5,0	89

Tablo C1.4: Reaktif-Dispers-Isı Geri Kazanım prosesleri için atıksu karakterizasyonu.

Ünite	Örnekleme Tarihi	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Na^+ (mg/L)	Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
								PtCo	436nm	525nm	620nm			
Reaktif Yıkama 1	10.2.2016	9,7	5.630	791	178	140	32	1.500	1,9	0,9	0,5	244	123	112
	24.2.2016	8,8	1.254	578	464	140	17	-	13,7	23,2	29,5	223	21	96
Reaktif Yıkama 2	10.2.2016	8,8	812	660	171	120	26	1.500	45,7	54,9	25,4	160	212	101
	24.2.2016	9,0	1.069	625	203	10	21	-	14,1	18,3	35,5	243	3	97
	15.3.2016	9,2	769	614	22	850	16	-	34,5	35,5	34,9	206	49	79,4
	24.3.2016	9,3	1.064	1.019	330	160	21	-	196,0	222,0	191,0	261	64	130
	7.4.2016	7,6	815	405	110	140	12	3.190	84,6	97,4	82,9	157	80	104
Reaktif Yıkama 3	10.2.2016	9,1	713	113	20	15	15	150	4,0	5,8	2,3	124	605	105
	24.2.2016	8,5	1.002	316	82	< 5	5	-	1,3	1,3	1,8	219	15	91
	15.3.2016	9,2	649	131	88	< 5	8	-	11,8	12,9	11,1	137	3	79,7
	24.3.2016	9,5	881	197	38	20	4	-	15,3	15,6	16,7	178	29	130
	7.4.2016	8,8	772	131	27	10	8	702	19,1	19,9	17,8	155	35	102
Reaktif Yıkama 4	10.2.2016	6,8	669	211	16	12	5	85	0,7	1,1	0,4	112	144	91
	24.2.2016	6,7	801	292	93	19	16	-	1,5	1,3	1,4	148	72	91

Tablo C1.4 devamı: Reaktif-Dispers-Isı Geri Kazanım prosesleri için atıksu karakterizasyonu.

Ünite	Örnekleme Tarihi	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Na^+ (mg/L)	Toplam Sertlik (mg $CaCO_3$/L)	Cl^- (mg/L)
								PtCo	436nm	525nm	620nm			
Dispers Yıkama 1	10.2.2016	7,6	802	1.253	340	200	177	300	8,9	4,8	1,6	183	130	100
	24.2.2016	7,8	694	789	204	20	32	-	1,5	1,0	0,5	137	3	94
Dispers Yıkama 2	10.2.2016	12,9	41.700	1.001	129	26	74	300	8,8	4,8	1,6	6.060	14	99
	24.2.2016	12,5	33.300	1.049	160	< 5	25	-	5,3	2,9	0,7	4.504	103	117
	15.3.2016	12,7	16.500	743	55	12	13	125,0	4,3	2,0	0,5	2.577	29	82
	7.4.2016	12,5	29.600	1.303	229	24	43	860	24,3	11,5	3,3	4.564	29	91
	26.4.2016	12,4	8820,0	290	28	< 5	5,8	100	3,5	1,3	0,4	1.327	4	105
	27.4.2016	12,4	12.960	671	42	27	6,7	429	12,8	2,6	0,4	1.947	9	109
	17.5.2016	12,9	43.800	1.593	206	25	40,7	175	5,6	5,4	3,0	6.174	5	82,6
Dispers Yıkama 3	10.2.2016	7,6	3.170	2.209	620	27	110	40	1,4	0,7	0,3	717	-	1.253
	24.2.2016	4,6	5.150	625	90	17	15	-	0,9	0,5	0,3	1.183	5	88
	15.3.2016	6,8	1.627	326	55	7	6	10,0	0,4	0,3	0,2	342	9	76
	7.4.2016	5,9	2.540	966	240	< 5	21	35	1,0	0,5	0,3	499	50	96
	26.4.2016	6,8	1.623	147	15,8	< 5	2,4	10	0,3	0,1	0,0	301,6	2	107
	27.4.2016	6,4	3.490	657	81,0	< 5	2,4	10	0,4	0,1	0,0	782,4	5	843
	17.5.2016	4,5	13.210	1.920	327,0	44	157,0	65	2,2	1,1	0,6	2.874	-	83,0
Dispers Yıkama 4	10.2.2016	3,1	1.922	1.285	552	5	10	15	0,5	0,2	0,1	296	56	281
	24.2.2016	2,6	1.281	2.105	1.038	< 5	2	-	0,3	0,1	0,1	146	-	86

Tablo C1.4 devamı: Reaktif-Dispers-Isı Geri Kazanım prosesleri için atıksu karakterizasyonu.

Ünite	Örnekleme Tarihi	pH	EC (µs/cm)	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Renk				Na^+ (mg/L)	Toplam Sertlik	Cl^- (mg/L)
								PtCo	436nm	525nm	620nm			
Emprime Karışım	10.2.2016	12,5	19.140	653	143	45	25	1.000	21,5	34,5	35,4	2.633	33	101
	24.2.2016	12,3	1.151	784	196	38	17	-	40,8	62,4	57,9	1.590	94	104
	15.3.2016	12,2	5.520	455	94	26	8	-	12,0	10,9	10,1	910	37	75
	24.3.2016	9,3	989	583	136	80	19	-	63,0	73,5	65,0	201	72	140
	7.4.2016	12,1	6.800	538	134	40	11	960	29,5	27,5	55,5	986	33	103
	26.4.2016	11,9	3.950	221	42	13	8,9	560	17,9	13,7	13,9	645,6	11	108
	27.4.2016	12,2	6.370	601	117	40	13,0	322	10,1	4,4	6,0	966	38	553
	17.5.2016	12,5	12.130	1.007	249	200	17,1	225	46,4	67,0	52,5	1.774	53	86,5
Isı Gerikazanım	24.2.2016	12,4	10.980	2.132	594	75	103	-	33,6	37,8	35,7	1.528	-	328
	15.3.2016	11,7	2.700	1.404	375	140	78	-	23,6	21,4	21,8	495	13	161
	24.3.2016	7,8	1.021	639	102	30	18	-	14,2	15,8	13,8	208	43	147
	5.4.2016	10,4	2.940	4.137	1.245	110	139	902	27,5	18,0	15,8	575	22	501
	7.4.2016	10,0	1.291	1.035	294	60	16	1.975	57,5	71,5	83,0	250	51	178
	26.4.2016	11,8	4.920	1.809	575	26	48,1	906	-	-	-	974,8	23	613
	27.4.2016	12,0	5.710	1.435	396	42	82,3	85,0	27,4	23,1	14,2	1.050	20	212

Kasar Ana ve Durulama Banyoları için partikül boyut dağılımı analizi sonuçları:

Tablo C1.5: Pamuk Kasar-1 prosesi için partikül boyut dalığımı analizi sonuçları.

Ünite	Örnekleme Tarihi	Boyut Dağılımı		
		d(0.1) (µm)	d(0.5) (µm)	d(0.9) (µm)
Ana Banyo	24.3.2016	7,759	52,653	142,839
	4.4.2016	6,548	41,578	147,72
	5.4.2016	11,723	59,34	106,281
	15.4.2016	5,628	28,345	543,964
Durulama 1	10.2.2016	1,298	15,393	62,791
	4.4.2016	16,03	99,624	449,868
	5.4.2016	19,362	66,449	138,683
	15.4.2016	1,452	14,792	37,236
Durulama 2	10.2.2016	1,11	15,438	104,557
Durulama 3	10.2.2016	14,481	163,536	290,623
Dengeleme	10.2.2016	0,893	17,714	174,563
Durulama 4	10.2.2016	3,57	37,483	371,665
	4.4.2016	15,147	53,301	291,415
	5.4.2016	3,677	38,079	329,357
	15.4.2016	10,438	40,34	406,455
Durulama 5	10.2.2016	3,456	37,61	372,084
Durulama 6	10.2.2016	11,085	90,611	305,137

Tablo C1.6: Pamuk Kasar-2 prosesi için partikül boyut dağılımı analizi sonuçları.

Ünite	Örnekleme Tarihi	Boyut Dağılımı		
		d(0.1) (µm)	d(0.5) (µm)	d(0.9) (µm)
Ana Banyo	12.4.2016	2,557	20,475	793,048
Durulama 1	24.3.2016	30,821	49,138	78,122
	12.4.2016	7,33	48,284	673,245
Durulama 4	24.3.2016	3,475	28,511	90,638

Tablo C1.7: Viskon Kasar prosesi için partikül boyutu analizi sonuçları.

Ünite	Örnekleme Tarihi	Boyut Dağılımı		
		d(0.1) (µm)	d(0.5) (µm)	d(0.9) (µm)
Ana Banyo	10.2.2016	14,033	58,975	163,474
	24.2.2016	8,891	53,964	307,156
	23.3.2016	10,387	44,357	135,713
	24.3.2016	11,654	48,45	163,266
	4.4.2016	12,515	73,325	442,115
	5.4.2016	31,624	217,208	634,533
	26.4.2016	7,188	86,009	591,917
	27.4.2016	6,752	26,143	143,672
	14.5.2016	10,827	31,932	332,363
	17.5.2016	4,91	38,858	156,904
Durulama 1	10.2.2016	15,967	66,783	135,164
	24.2.2016	3,099	93,187	488,658
	23.3.2016	1,571	14,279	74,054
	24.3.2016	8,155	51,328	134,812
	4.4.2016	0,932	11,904	55,106
	5.4.2016	5,497	51,553	161,98
	26.4.2016	2,499	23,653	108,2
Durulama 2	10.2.2016	8,647	84,817	179,536
	24.2.2016	0,822	16,684	115,679
Durulama 3	10.2.2016	0,475	13,263	412,877
	24.2.2016	1,1	24,548	147,001
Dengeleme	10.2.2016	0,337	19,06	107,755
	24.2.2016	0,328	22,902	116,614
Durulama 4	10.2.2016	8,254	55,909	213,943
	24.2.2016	13,796	81,461	517,358
	23.3.2016	3,449	40,302	523,753
	24.3.2016	3,611	33,035	281,866
	4.4.2016	14,174	58,307	115,887
	5.4.2016	2,2	108,35	754,438
	26.4.2016	5,587	37,984	544,342
Durulama 5	10.2.2016	7,586	41,451	189,215
	24.2.2016	10,44	84,099	171,975
Durulama 6	10.2.2016	2,68	23,785	204,118

Tablo C1.8: Reaktif-Emprime-Isı Gerikazanım için partikül boyut dağılımı sonuçları.

Ünite	Örnekleme Tarihi	Boyut Dağılımı		
		d(0.1) (µm)	d(0.5) (µm)	d(0.9) (µm)
Reaktif Yıkama 2	10.2.2016	1,060	15,188	77,831
	24.2.2016	67,499	110,438	195,609
	15.3.2016	6,111	57,928	135,229
Reaktif Yıkama 3	10.2.2016	11,066	64,303	208,896
	24.2.2016	57,123	116,143	319,128
	15.3.2016	44,655	80,887	549,521
Dispers Yıkama 2	10.2.2016	18,841	67,676	147,922
	24.2.2016	9,441	24,676	58,317
	15.3.2016	1,041	40,463	74,140
	7.4.2016	4,198	69,965	717,045
	26.4.2016	9,704	54,967	796,958
	27.4.2016	2,164	14,631	54,324
	17.5.2016	2,469	730,309	896,341
Dispers Yıkama 3	10.2.2016	3,268	39,211	88,052
	24.2.2016	7,675	60,635	126,158
	15.3.2016	8,130	48,013	82,728
	7.4.2016	3,748	59,924	136,268
	26.4.2016	22,953	86,884	801,165
	27.4.2016	29,790	70,180	821,379
	17.5.2016	0,537	1,889	18,886

Tablo C1.8: Reaktif-Emprime-Isı Gerikazanım için partikül boyut dağılımı sonuçları.

Ünite	Örnekleme Tarihi	Boyut Dağılımı		
		d(0.1) (µm)	d(0.5) (µm)	d(0.9) (µm)
Emprime Karışım	10.2.2016	0,935	92,528	456,126
	24.2.2016	1,936	66,095	127,567
	15.3.2016	11,689	57,723	791,625
	24.3.2016	12,306	56,961	129,688
	7.4.2016	39,490	106,443	793,958
	26.4.2016	4,636	48,410	765,989
	27.4.2016	2,847	12,513	107,804
	17.5.2016	4,944	98,276	830,609
Isı Geri Kazanım	24.2.2016	0,729	18,865	107,358
	15.3.2016	10,608	34,346	274,455
	24.3.2016	12,783	47,289	154,961
	5.4.2016	2,185	40,175	349,489
	7.4.2016	2,757	30,820	154,913
	26.4.2016	0,387	9,303	57,088
	27.4.2016	0.289	17,268	145,776
	17.5.2016	0,820	2,468	11540,000
	20.5.2016	0,716	16,001	531,038