

**KOT YIKAMA ATIKSULARININ MEMBRAN
TEKNOLOJİSİ İLE GERİ KAZANILABİLİRLİĞİ**

Yük. Müh. Merve ARIN

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ubeyde İPEK

OCAK-2011

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOT YIKAMA ATIKSULARININ
MEMBRAN TEKNOLOJİSİ İLE GERİ KAZANILABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yük. Müh. Merve ARIN

(08112102)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Ocak 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2011**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ubeyde İPEK (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Gülbeyi DURSUN (F.Ü)

Prof. Dr. Halil HASAR (F.Ü)

Doç. Dr. Ubeyde İPEK (F.Ü)

OCAK-2011

ÖNSÖZ

Tüm dünyada sanayileşme ve hızlı nüfus artışının bir sonucu olarak elverişli su kaynakları günden güne azalmaktadır. Bu durum, atıksuların arıtıldıktan sonra yeniden kullanımını gündeme getirmiş, ayrıca deşarj standartlarının daraltılmasıyla birlikte birçok ülkede uygulama alanı bulmuştur. Özellikle endüstriyel kuruluşlarda kullanma suyunun yüksek maliyeti, mevcut su kaynaklarının ileride yetersiz kalabileceği ve kaynak israfının azaltılması konuları göz önüne alındığında arıtılmış atıksuların geri kazanılmasının önemi ortaya çıkmaktadır. İleri arıtma tekniklerinden biri olan ve son yıllarda kullanım alanı yaygınlaşan membran prosesler ile kirlenmiş su, çok iyi kalitede geri kazanılabilmekte, gelecek nesillere aktarılma imkanı bulmaktadır.

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programı'nda hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi çalışmasında "Kot Yıkama Atıksularının Membran Teknolojisi ile Geri Kazanılabilirliği" konusu ele alınmıştır. Çalışmada, ön arıtma olarak mikrofiltrasyon membranları kullanılmış, ardından da ters osmoz membranları ile kot yıkama atıksuyunun geri kazanılabilirliği araştırılmıştır.

Tez çalışmalarım sırasında her türlü destek ve yardımlarını gördüğüm tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Ubeyde İPEK' e; çalışmalarım boyunca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve görüşleriyle her zaman yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Halil HASAR' a; lisans ve lisansüstü öğrenimim boyunca üzerimde çok emeği olan, beni her zaman yürekten destekleyen değerli hocam Doç. Dr. Mehmet ERDEM' e; çalışmalarım süresince zamanını ve bilgisini paylaşan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Özge HANAY' a en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarımda yardımını ve desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Ergin TAŞKAN' a, su temini konusunda bize yardımcı olan GAP Tekstil' e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme ve burada sayamadığım emeği olan bütün dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Merve ARIN

ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ.....	XIX
SEMBOLLER.....	XXII
KISALTMALAR.....	XXIII
1. GİRİŞ.....	1
2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNE GENEL BAKIŞ.....	3
2.1. Üretim Prosesleri.....	4
2.1.1. Kuru Prosesler.....	4
2.1.2. Yaş Prosesler.....	4
2.1.2.1. Pişirme.....	5
2.1.2.2. Haşılama.....	5
2.1.2.3. Haşıl Sökme.....	5
2.1.2.4. Kasarlama.....	6
2.1.2.5. Merserizasyon.....	6
2.1.2.6. Apre-İkmal.....	6
2.1.2.7. Karbonizasyon.....	6
2.1.2.8. Dinkleme.....	6
2.1.2.9. Boyama.....	7
2.2. Tekstil Endüstrisinde Sınıflandırma.....	8
2.2.1. Pamuklu Tekstil.....	8
2.2.2. Yünlü Tekstil.....	8

2.2.3. Sentetik Tekstil.....	9
2.3. Tekstil Endüstrisinin Çevresel Etkileri.....	9
2.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Özellikleri.....	11
2.4.1. Tekstil Endüstrisinde Altkategorizasyon.....	13
2.5. Tekstil Endüstrisi Atıksuları Arıtım Yöntemleri.....	13
2.6. Tekstil Endüstrisinde Arıtım ve Geri Kazanım Teknolojileri	15
2.6.1. Tesis İçi Atıksu Kontrolü.....	15
2.6.2. Suyun Tekrar Kullanımı.....	16
2.6.3. Su Kullanımının Azaltılması.....	16
2.6.4. Madde Geri Kazanımı.....	17
2.6.5. Diğer Geri Kazanım Uygulamaları.....	18
2.7. Atıksuların İleri Arıtımı.....	18
2.7.1. Atıksuların İleri Arıtılmasının Nedenleri.....	20
2.8. Atıksuyun Yeniden Kullanım Nedenleri.....	21
2.9. Dünyada Tekstil Endüstrisinin Durumu.....	22
2.10. Türkiye’de Tekstil Endüstrisinin Durumu.....	23
3. MEMBRAN PROSESLER.....	26
3.1. Membranların Ayırma Mekanizmaları.....	28
3.1.1. Membran Performansı.....	31
3.1.1.1. Akı.....	31
3.1.1.2. Giderme verimi.....	33
3.2. Su ve Atıksu Arıtımında Membran Teknolojileri.....	34
3.2.1. Mikrofiltrasyon (MF).....	35
3.2.2. Ultrafiltrasyon (UF).....	37
3.2.3. Nanofiltrasyon (NF).....	37
3.2.4. Ters Osmoz (TO).....	38
3.2.4.1. Ters Osmoz Prosesini Sınırlayan Faktörler.....	42
3.3. Membran Karakteristikleri.....	44

3.3.1. Kimyasal Uygunluk	44
3.3.2. Sıcaklığa Dayanıklılık.....	44
3.3.3. Basınca Dayanıklılık	44
3.3.4. pH' ya Dayanıklılık	45
3.3.5. Mekanik Kararlılık ve Ekonomik Özellikler.....	45
3.4. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Tıkanma.....	45
2.5. Membranların Yıkınması.....	51
3.5.1. Hidrolik Yıkama.....	51
3.5.2. Kimyasal Yıkama.....	52
3.6. Tekstil Endüstrisinde Membran Teknoloji Uygulamaları.....	53
4. MATERYAL VE METOD.....	55
4.1. Tesis Bilgileri.....	55
4.2. Deneyel Düzenek.....	55
4.3. Çalışmanın Yöntemi.....	60
5. BULGULAR.....	64
5.1. Deney No 1 (D1)	64
5.2. Deney No 2 (D2)	79
5.3. Deney No 3 (D3)	86
5.4. Yeni TO Membranı ile Saf Suyla Yapılan Akı Ölçümleri.....	101
5.5. Deney No 4 (D4)	103
5.6. Deney No 5 (D5)	111
5.7. Deney No 6 (D6).....	125
5.8. Deney No 7 (D7)	140
5.9. Deney No 8 (D8)	145
5.10. Deney No 9 (D9).....	150
5.11. Deney No 10 (D10).....	156
5.12. Membranın Yıkınması.....	162
5.12.1. Alkali Yıkama.....	162

5.12.2. Asidik Yıkama.....	163
5.13. Deney No 11 (D11).....	163
5.14. Deney No 12 (D12).....	174
5.15. Arıtım Kademelerindeki Yüzde Giderim Verimleri.....	185
5.16. Membrandan alınan kesitlerin SEM fotoğrafları.....	194
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	196
KAYNAKLAR.....	202
ÖZGEÇMİŞ.....	209

ÖZET

Atıksuyun arıtılarak yeniden kullanılması dünyada yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Atıksuyun arıtılmasıyla doğadaki su döngüsü kısaltılarak su kaynakları korunmuş ve su ihtiyacı karşılanmış olur. İleri arıtma tekniklerinden biri olan membran prosesler ile kirlenmiş su çok iyi kalitede geri kazanılabilmektedir.

Bu çalışmada MF ve TO gibi membran proseslerle kot yıkama atıksuyunun arıtılabilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmalar esnasında pH, iletkenlik, absorbans, TKM, KOİ analizlenmiş ve ürün suyunun hacmi belirlenmiştir. Deneyler süresince giriş-çıkış basınçları ve akılar izlenmiştir. Akının azalması ve TO membranının tıkanması sonucu kimyasal yıkama yapılmış, tekrar atıksu ile çalışılmaya başlanmıştır.

Kot yıkama atıksuyunun iletkenlik değeri 0,4-2,7 mS/cm arasında değişirken, iletkenlik giderimi MF ile yüzde 2, TO ile yüzde 99 civarında olmuştur. Renk analizi esnasında en yüksek absorbansa sahip 660 nm' lik dalga boyu kullanılmıştır. Renk MF ile yüzde 10, TO ile yüzde 100 giderilmiştir. TKM giderimi; MF ile yüzde 8, TO ile yüzde 97 olmuştur. Ham atıksu 1000-5050 mg/l KOİ değerine sahipken; KOİ, MF ile yüzde 9, TO ile yüzde 100 civarında giderilmiştir.

TO sisteminde ürün suyunun miktarı da farklı işletme basınçlarında belirlenmiştir. 10, 11, 12 atm' lik basınçlarda sırasıyla yüzde 7, yüzde 11 ve yüzde 93-100' lük ürün suyu dönüşümü sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil Endüstrisi, Kot yıkama, Membran, TO, MF.

SUMMARY

The reuse of wastewater is being a common application over the world after reclaimed. By using the reclaimed wastewater, the period for hydrological recycle is shorted and the water resources are protected. The membrane processes as the advanced treatment methods can purify the wastewater to obtain high quality-effluent.

In this study, the treatability of the rinsing effluent by membrane processes such as microfiltration (MF) and reverse osmosis (RO) was investigated. The parameters such as pH, conductivity, absorbance, TSM, COD during the experimental studies were analyzed and recovery volume of permeate was determined. During experiments, pressures and fluxes were continuously monitored. The membranes were washed by chemical reagents after fouling the membrane, and re-used.

While the conductivity of rinsing effluent had the values between 0.4 mS/cm and 2.7 mS/cm, removal of conductivity has been around 2 % and 99 % by MF and RO, respectively. The wavelength with 660 nm during color analysis was used because it was the wavelength having maximum absorbance. The color was removed around 10 % and 100 % by MF and RO, respectively. Removal of TSM has been around 8 % and 97 % by MF and TO, respectively. The raw wastewater had ranged COD values between 1000 and 5050 mg/l, the COD was removed around 9 % and 100 % by MF and RO, respectively.

The variation of permeate volume in RO system was also determined at the different operating pressures. It was obtained the permeate recovery of 7, 11 and 93-100 % at pressures with 10, 11 and 12 atm, respectively.

Key Words: Textile Industry, Rinsing, Membrane, Reverse Osmosis, Microfiltration.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Bir membranin ayırma işleminin şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.2. MF, UF, NO, RO membranlarının ayırma işleminin şematik gösterimi	29
Şekil 3.3. Membran proseslerde giriş ve çıkış akımları.....	30
Şekil 3.4. Dik akışlı ve yatay akışlı membran filtrasyonu.....	30
Şekil 3.5. Basıncın fonksiyonu olarak akı değişimi.....	33
Şekil 3.6. Membran prosesleri ve por büyüklükleri	34
Şekil 3.7. Mikrofiltrasyon membranları.....	35
Şekil 3.8. MF membranlarında por büyüklüğü dağılımı.....	36
Şekil 3.9. Ultrafiltrasyon membranları.....	37
Şekil 3.10. Nanofiltrasyon membranları.....	38
Şekil 3.11. Osmoz prensibi.....	39
Şekil 3.12. Osmoz ve ters osmoz sistemlerinin şematik gösterimi	40
Şekil 3.13. Ters osmoz membranı.....	41
Şekil 3.14. Farklı çaplardaki ters osmoz membranı.....	41
Şekil 3.15. Ters osmoz prosesini sınırlayan faktörler.....	43
Şekil 3.16. Membranların tutma ve ayırma aralıkları.....	43
Şekil 3.17. Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri.....	46
Şekil 3.18. Membran yüzeyinde konsantrasyon profili.....	49
Şekil 4.1. Arıtım sistemi şeması.....	55
Şekil 4.2. MF ve TO üniteleri.....	56
Şekil 4.3. MF membranı ve giriş-çıkış basınç gösteregeleri	57
Şekil 4.4. TO membranı.....	57
Şekil 4.5. TO membranı, basınç motoru ve basınç gösteregeleri.....	58
Şekil 4.6. YBP, giriş ve çıkış basınç gösteregeleri.....	58
Şekil 4.7. TO girişindeki (MF çıkışındaki) atıksu ve TO çıkışındaki ürün suyu.....	59

Şekil 4.8. Kot yıkama atıksuyu için farklı dalga boylarındaki absorbans değerleri	61
Şekil 5.1. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D1).....	65
Şekil 5.2. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi (D1).....	65
Şekil 5.3. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D1)	66
Şekil 5.4. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D1)	66
Şekil 5.5. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D1).....	67
Şekil 5.6. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D1).....	69
Şekil 5.7. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbansın zamana göre değişimi (D1).....	69
Şekil 5.8. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi (D1).....	69
Şekil 5.9. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi (D1).....	70
Şekil 5.10. TO ünitesinde, ilk döngüde Ü1 (Ürün 1) akısının zamana bağlı değişimi (D1).....	70
Şekil 5.11. TO ünitesinde, ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi.....	71
Şekil 5.12. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi (D1).....	72
Şekil 5.13. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi (D1).....	73
Şekil 5.14. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi (D1).....	73
Şekil 5.15. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi (D1).....	73
Şekil 5.16. TO ünitesinde, ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi (D1).....	74
Şekil 5.17. TO ünitesinde, ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi (D1).....	74
Şekil 5.18. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) iletkenliğin zamana göre değişimi (D1).....	76
Şekil 5.19. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) absorbansın zamana göre değişimi (D1).....	76
Şekil 5.20. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) TKM' nin zamana göre değişimi (D1).....	77

Şekil 5.21. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) KOİ' nin zamana göre değişimi (D1).....	77
Şekil 5.22. TO ünitesinde, üçüncü döngüde Ü3 akısının zamana bağlı değişimi (D1).....	78
Şekil 5.23. TO ünitesinde, üçüncü döngüde K3 akısının zamana bağlı değişimi (D1).....	78
Şekil 5.24. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D2).....	80
Şekil 5.25. MF çıkışında atıksudaki absorbandsın zamana göre değişimi (D2).....	80
Şekil 5.26. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D2).....	80
Şekil 5.27. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D2).....	81
Şekil 5.28. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D2).....	81
Şekil 5.29. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) iletkenliğin zamana göre değişimi (D2).....	84
Şekil 5.30. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) absorbandsın zamana göre değişimi (D2).....	84
Şekil 5.31. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) TKM' nin zamana göre değişimi (D2).....	84
Şekil 5.32. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) KOİ' nin zamana göre değişimi (D2).....	85
Şekil 5.33. TO ünitesinde, Ü akısının zamana bağlı değişimi (D2)	85
Şekil 5.34. TO ünitesinde, K akısının zamana bağlı değişimi (D2)	86
Şekil 5.35. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D3).....	88
Şekil 5.36. MF çıkışında atıksudaki absorbandsın zamana göre değişimi (D3).....	88
Şekil 5.37. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D3).....	88
Şekil 5.38. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D3).....	89
Şekil 5.39. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D3).....	89
Şekil 5.40. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D3).....	91
Şekil 5.41. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D3).....	92
Şekil 5.42. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D3).....	92
Şekil 5.43. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D3).....	92

Şekil 5.44. TO ünitesinde, ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi (D3)	93
Şekil 5.45. TO ünitesinde, ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi (D3)	93
Şekil 5.46. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi (D3).....	95
Şekil 5.47. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbandsın zamana göre değişimi (D3).....	95
Şekil 5.48. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi (D3).....	96
Şekil 5.49. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi (D3).....	96
Şekil 5.50. TO ünitesinde, ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi (D3).....	97
Şekil 5.51. TO ünitesinde, ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi (D3).....	97
Şekil 5.52. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi (D3).....	99
Şekil 5.53. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbandsın zamana göre değişimi (D3).....	99
Şekil 5.54. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi (D3).....	99
Şekil 5.55. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi (D3).....	100
Şekil 5.56. TO ünitesinde, üçüncü döngüde Ü3 akısının zamana bağlı değişimi (D3)....	100
Şekil 5.57. TO ünitesinde, üçüncü döngüde K3 akısının zamana bağlı değişimi (D3)....	101
Şekil 5.58. Farklı sürücü basınçlarında ürün suyu akısının değişimi.....	102
Şekil 5.59. Farklı sürücü basınçlarında konsantre suyu akısının değişimi.....	102
Şekil 5.60. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D4).....	104
Şekil 5.61. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D4).....	104
Şekil 5.62. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D4).....	104
Şekil 5.63. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D4).....	105
Şekil 5.64. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D4).....	105
Şekil 5.65. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) iletkenliğin zamana göre değişimi (D4).....	108

Şekil 5.66. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) absorbandsın zamana göre değişimi (D4).....	108
Şekil 5.67. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) TKM' nin zamana göre değişimi (D4).....	108
Şekil 5.68. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) KOİ' nin zamana göre değişimi (D4).....	109
Şekil 5.69. TO ünitesinde Ü akısının zamana bağlı değişimi (D4).....	109
Şekil 5.70. TO ünitesinde K akısının zamana bağlı değişimi (D4)	110
Şekil 5.71. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D5).....	112
Şekil 5.72. MF çıkışında atıksudaki absorbandsın zamana göre değişimi (D5).....	112
Şekil 5.73. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D5).....	112
Şekil 5.74. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D5).....	115
Şekil 5.75. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D5).....	115
Şekil 5.76. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D5).....	115
Şekil 5.77. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbandsın zamana göre değişimi (D5).....	116
Şekil 5.78. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi (D5).....	116
Şekil 5.79. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi (D5).....	116
Şekil 5.80. TO ünitesinde ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi (D5).....	117
Şekil 5.81. TO ünitesinde ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi (D5).....	117
Şekil 5.82. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi (D5).....	119
Şekil 5.83. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbandsın zamana göre değişimi (D5).....	119
Şekil 5.84. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi (D5).....	120
Şekil 5.85. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi (D5).....	120
Şekil 5.86. TO ünitesinde ikinci döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi (D5).....	121
Şekil 5.87. TO ünitesinde ikinci döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi (D5).....	121

Şekil 5.88. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) iletkenliğin zamana göre değişimi (D5).....	123
Şekil 5.89. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) absorbandsın zamana göre değişimi (D5).....	123
Şekil 5.90. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) TKM' nin zamana göre değişimi (D5).....	123
Şekil 5.91. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) KOİ' nin zamana göre değişimi (D5).....	124
Şekil 5.92. TO ünitesinde üçüncü döngüde Ü3 akısının zamana bağlı değişimi (D5).....	124
Şekil 5.93. TO ünitesinde üçüncü döngüde K3 akısının zamana bağlı değişimi (D5).....	125
Şekil 5.94. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D6).....	126
Şekil 5.95. MF çıkışında atıksudaki absorbandsın zamana göre değişimi (D6).....	127
Şekil 5.96. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D6).....	127
Şekil 5.97. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D6).....	127
Şekil 5.98. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D6).....	128
Şekil 5.99. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D6).....	130
Şekil 5.100. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbandsın zamana göre değişimi (D6).....	130
Şekil 5.101. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi (D6).....	131
Şekil 5.102. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi (D6).....	131
Şekil 5.103. TO ünitesinde ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi (D6)	132
Şekil 5.104. TO ünitesinde ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi (D6)	132
Şekil 5.105. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi (D6).....	134
Şekil 5.106. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbandsın zamana göre değişimi (D6).....	134
Şekil 5.107. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi (D6).....	134
Şekil 5.108. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi (D6).....	135

Şekil 5.109.	TO ünitesinde ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi (D6).....	135
Şekil 5.110.	TO ünitesinde ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi (D6)...	136
Şekil 5.111.	TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) iletkenliğin zamana göre değişimi (D6).....	137
Şekil 5.112.	TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) absorbansın zamana göre değişimi (D6).....	138
Şekil 5.113.	TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) TKM' nin zamana göre değişimi (D6).....	138
Şekil 5.114.	TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) KOİ' nin zamana göre değişimi (D6).....	138
Şekil 5.115.	TO ünitesinde ikinci döngüde Ü3 akısının zamana bağlı değişimi (D6).....	139
Şekil 5.116.	TO ünitesinde ikinci döngüde K3 akısının zamana bağlı değişimi (D6).....	139
Şekil 5.117.	MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D7).....	141
Şekil 5.118.	MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi (D7).....	141
Şekil 5.119.	MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D7).....	142
Şekil 5.120.	MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D7).....	142
Şekil 5.121.	MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D7).....	143
Şekil 5.122.	TO ünitesinde Ü akısının zamana bağlı değişimi (D7).....	145
Şekil 5.123.	MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D8).....	146
Şekil 5.124.	MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi (D8).....	147
Şekil 5.125.	MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D8).....	147
Şekil 5.126.	MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D8).....	147
Şekil 5.127.	MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D8).....	148
Şekil 5.128.	TO ünitesinde Ü akısının zamana bağlı değişimi (D8).....	150
Şekil 5.129.	MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D9).....	152
Şekil 5.130.	MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi (D9).....	152
Şekil 5.131.	MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D9).....	152
Şekil 5.132.	MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D9).....	153
Şekil 5.133.	MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D9).....	153
Şekil 5.134.	TO ünitesinde Ü akısının zamana bağlı değişimi (D9).....	156

Şekil 5.135. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D10).....	158
Şekil 5.136. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi (D10).....	158
Şekil 5.137. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D10).....	158
Şekil 5.138. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D10).....	159
Şekil 5.139. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D10).....	159
Şekil 5.140. TO ünitesinde Ü akısının zamana bağlı değişimi (D10).....	161
Şekil 5.141. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D11).....	164
Şekil 5.142. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D11).....	165
Şekil 5.143. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D11).....	165
Şekil 5.144. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D11).....	165
Şekil 5.145. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D11).....	166
Şekil 5.146. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D11).....	168
Şekil 5.147. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbansın zamana göre değişimi (D11).....	168
Şekil 5.148. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi (D11).....	169
Şekil 5.149. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi (D11).....	169
Şekil 5.150. TO ünitesinde ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi (D11).....	170
Şekil 5.151. TO ünitesinde ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi (D11).....	170
Şekil 5.152. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi (D11).....	172
Şekil 5.153. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi (D11).....	172
Şekil 5.154. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi (D11).....	172
Şekil 5.155. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi (D11).....	173
Şekil 5.156. TO ünitesinde ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi (D11)....	173
Şekil 5.157. TO ünitesinde ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi (D11)....	174

Şekil 5.158. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi (D12).....	175
Şekil 5.159. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi (D12).....	176
Şekil 5.160. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi (D12).....	176
Şekil 5.161. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi (D12).....	176
Şekil 5.162. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi (D12).....	177
Şekil 5.163. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi (D12).....	179
Şekil 5.164. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbansın zamana göre değişimi (D12).....	179
Şekil 5.165. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi (D12).....	180
Şekil 5.166. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi (D12).....	180
Şekil 5.167. TO ünitesinde ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi (D12).....	181
Şekil 5.168. TO ünitesinde ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi (D12).....	181
Şekil 5.169. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi (D12).....	183
Şekil 5.170. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi (D12).....	183
Şekil 5.171. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi (D12).....	183
Şekil 5.172. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi (D12).....	184
Şekil 5.173. TO ünitesinde ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi (D12)....	184
Şekil 5.174. TO ünitesinde ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi (D12)....	185
Şekil 5.175. Deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12), TO membranının kot yıkama atıksuyundaki iletkenlik giderim yüzdeleri.....	187
Şekil 5.176. Deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12), TO membranının kot yıkama atıksuyundaki yüzde renk giderim verimleri.....	189
Şekil 5.177. Deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12), TO membranının kot yıkama atıksuyundaki yüzde TKM giderim verimleri.....	191
Şekil 5.178. Deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12), TO membranının kot yıkama atıksuyundaki yüzde TKM giderim verimleri.....	193

Şekil 5.179. Temiz membranın SEM görüntüsü.....	194
Şekil 5.180. Birinci membranın SEM görüntüsü.....	195
Şekil 5.181. İkinci membranın SEM görüntüsü.	195

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Tekstil endüstrisi atıksularına uygulanan çeşitli arıtma yöntemleri ve arıtma verimleri.....	15
Tablo 2.2. Tekstil endüstrisi atıksularında kullanılan arıtma teknolojilerinin değerlendirilmesi.....	20
Tablo 2.3. Türkiye’de genel olarak elde edilen atıksu karakteristik değerleri.....	25
Tablo 3.1. Membran proseslerinin sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılması.....	31
Tablo 3.2. Membran direnç ve basınç farklılığı değerleri.....	32
Tablo 3.3. Atıksuda membran tıkanmasının sebepleri.....	47
Tablo 3.4. Membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak için uygulanan metotlar.....	48
Tablo 4.1. TO membranının özellikleri.....	59
Tablo 5.1. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi (D1).....	64
Tablo 5.2. Ürün suyunun (Ü1’ in) özelliklerinin zamanla değişimi (D1)	68
Tablo 5.3. Konsantre suyunun (K1’ in) özelliklerinin zamanla değişimi (D1).....	68
Tablo 5.4. Ürün suyunun (Ü2’ nin) özelliklerinin zamanla değişimi (D1)	72
Tablo 5.5. Konsantre suyunun (K2’ nin) özelliklerinin zamanla değişimi (D1).....	72
Tablo 5.6. Ürün suyunun (Ü3’ ün) özelliklerinin zamanla değişimi (D1)	75
Tablo 5.7. Konsantre suyunun (K3’ ün) özelliklerinin zamanla değişimi (D1).....	75
Tablo 5.8. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi (D2).....	79
Tablo 5.9. Ürün suyunun (Ü’ nün) özelliklerinin zamanla değişimi (D2)	83
Tablo 5.10. Konsantre suyunun (K’ nin) özelliklerinin zamanla değişimi (D2).....	83
Tablo 5.11. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi (D3)	87
Tablo 5.12. Ürün suyunun (Ü1’ in) özelliklerinin zamanla değişimi (D3)	91
Tablo 5.13. Konsantre suyunun (K1’ in) özelliklerinin zamanla değişimi (D3).....	91
Tablo 5.14. Ürün suyunun (Ü2’ nin) özelliklerinin zamanla değişimi (D3).....	94
Tablo 5.15. Konsantre suyunun (K2’ nin) özelliklerinin zamanla değişimi (D3).....	94

Tablo 5.42. Ürün suyunun (Ü' nün) özelliklerinin zamanla değişimi (D10).....	160
Tablo 5.43. Alkali yıkama sırasında zamanla basınç, pH ve sıcaklık değişimi (D10).....	162
Tablo 5.44. Asidik yıkama sırasında zamanla basınç, pH ve sıcaklık değişimi (D10)....	163
Tablo 5.45. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi (D11).....	164
Tablo 5.46. Ürün suyunun (Ü1' in) özelliklerinin zamanla değişimi (D11).....	167
Tablo 5.47. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi (D11).....	167
Tablo 5.48. Ürün suyunun (Ü2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi (D11).....	171
Tablo 5.49. Konsantre suyunun (K2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi (D11).....	171
Tablo 5.50. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi (D12).....	175
Tablo 5.51. Ürün suyunun (Ü1' in) özelliklerinin zamanla değişimi (D12).....	178
Tablo 5.52. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi (D12).....	178
Tablo 5.53. Ürün suyunun (Ü2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi (D12).....	182
Tablo 5.54. Konsantre suyunun (K2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi.....	182
Tablo 5.55. Arıtım kademelerinde iletkenlik değişimleri ve ortalama giderim yüzdeleri.....	186
Tablo 5.56. Arıtım kademelerinde absorbens değerleri ve absorbansa bağlı ortamala renk giderim yüzdeleri.....	188
Tablo 5.57. Arıtım kademelerinde TKM değerleri ve ortalama TKM giderim yüzdeleri.....	190
Tablo 5.58. Arıtım kademelerinde KOİ değişimleri ve ortamala KOİ giderim yüzdeleri.....	192

SEMBOLLER

J = Membrandan geçen akı

ΔP = Membran Basıncı

μ = Süzüntü viskozitesi

R = Geri dönüş oranı

$R_{\text{gerçek}}$ = Gerçek giderim verimi

R_m = Membran Direnci

C = Konsantrasyon

C_f = Besleme suyu konsantrasyonu

C_m = Membran yüzeyindeki konsantrasyon

C_p = Süzüntü akımı konsantrasyonu

k = Kütle transfer katsayısı

D = Difüzyon katsayısı

dN = Nominal por çapı

KISALTMALAR

KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
BOİ	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
AKM	: Askıda katı madde
MF	: Mikrofiltrasyon
UF	: Ultrafiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon
TO	: Ters Osmoz
NDF	: Net sürücü basıncı
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloroetilen
PA	: Poliamid
YBP	: Yüksek basınç pompası
K	: Konsantre su
K1	: İlk döngüdeki konsantre su
K2	: İkinci döngüdeki konsantre su
K3	: Üçüncü döngüdeki konsantre su
Ü	: Ürün suyu
Ü1	: İlk döngüdeki ürün suyu
Ü2	: İkinci döngüdeki ürün suyu
Ü3	: Üçüncü döngüdeki ürün suyu

1. GİRİŞ

Su her zaman en önemli doğal kaynakların başında gelmektedir. Günümüzde nüfusa bağlı olarak sürekli artan su ihtiyacı, ülkelerin sanayileşmesi ile birlikte endüstriyel bazlı su kullanımının artması ve son yıllarda ortaya çıkan küresel ısınma sorunu, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının global ölçekte hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, büyük çaplı endüstriyel akım içerisinde çok miktarda su tüketmekte ve bu bağlamda oluşan atıksuların arıtılması, su kaynakların beslenmesi ve yenilenmesi için yeterli olmamaktadır. Bu yüzden bu atıksuların, evsel kullanım ve endüstriyel prosesler gibi değişik amaçlı veya daha farklı uygulamalarda geri kazanılması için zaman içinde yeni alternatif yöntemler ve teknolojiler geliştirilmektedir. Atıksuların arıtılıp geri kazanılması ile; hem su kaynaklarının tüketimi hem de deşarj edilen arıtılmış atıksuların miktarı azaltılmakta ve bu suların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir (Büyükdere, 2008).

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve endüstriyel alandaki hızlı gelişmeler, doğanın asimile edebileceği miktarın çok üstünde atıksu oluşumuna neden olmaktadır. Bu atıksuların, deşarj edildikleri alıcı ortamlarda meydana getirdikleri kirlilik, alıcı ortam üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu etkilerin başında ekolojik dengenin bozulması ve alıcı ortamın rekreasyonel sulama veya daha başka amaçlarla kullanılma olanağının kaybolması gelmektedir. Kentler içinde ya da yakın çevrelerinde kurulmuş olan özellikle kimya, tekstil, kâğıt, deri gibi alıcı ortamlara çok yoğun kirlilik veren endüstriler yakın zamanlarda insanların dikkatini çekmiştir. Kirliliğin kaynağı, miktarı ve etkileri araştırılmış, bu kirliliği önleme yolları aranmıştır. Bu yönde yapılan araştırmalar, atıksuların alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce arıtılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur (Birgül, 2006).

Arıtılmış atıksuların alıcı ortama deşarjı söz konusu olduğunda bazı özel durumlar dışında konvansiyonel arıtım yöntemleri deşarj yönetmeliklerini sağlamada yeterli olmaktadır. Ancak sulama da dahil olmak üzere tekrar kullanım söz konusu olduğunda atıksuyun daha ileri arıtımı gereklidir. Son yıllarda kullanım alanı giderek artan ve özellikle endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımı konusunda yaygınlaşan membran teknolojisi, atıksu geri kazanımı ve arıtılmasında kullanılan ileri arıtma ve geri kazanım, yeniden kullanım alternatiflerinden biridir.

Membran prosesleri ile atıksuların geri kazanılması özellikle tekstil, metal, boya, gıda endüstrisi gibi çok miktarda su kullanılan endüstriler için büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde, kirletici yükleri çok yüksek olan bu proses atıksularının arıtılması da oldukça problemli olmaktadır. Tekstil endüstrisinde arıtma tesisine giden atıksuyun yükünün azaltılması bazı kimyasal maddelerin geri kazanılması nedeniyle ekonomik bir işletme çözümü de oluşturacaktır (Büyükdere, 2008). Membran prosesleri farklı uygulamalarda farklı işlevlerde kullanılabilmekte ve geleneksel ayırma teknolojilerine alternatif oluşturmaktadır. Çoğu durumda oda sıcaklığında bile işletilebilmeleri, ekonomik olmaları, modüler bir yapıya sahip olmaları, kapasitelerinin kolaylıkla değiştirilebilmesi gibi önemli avantajları nedeniyle günümüzde geniş kullanım alanı bulmuştur.

2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNE GENEL BAKIŞ

Tekstil endüstrisi çeşitli hammaddelerin kullanılması ile tekstil ürünleri imal edilen tesisleri kapsayan endüstri dalı olarak nitelendirilmektedir. Tekstil endüstrisinde uygulanan işlemler doğal, sentetik ve yapay ipliklerin hazırlanması; dokuma, örme veya başka yöntemler aracılığıyla dokunmuş kumaş, örgü kumaş, halı gibi tekstil ürünleri elde edilmesi; iplik, elyaf, örgü kumaş ve dokunmuş kumaşa boya, baskı, apre gibi terbiye proseslerini içermektedir (Göknil ve diğ. 1984; Tunay, 1996).

Tekstil endüstrisinin temel hammaddesi elyafıdır. Kullanılan temel hammaddeler olan yün, pamuk, yapay-sentetik elyaf ve bunların karışımlarıyla başlayan üretim farklılıkları dokuma, örme, keçeleştirme ve benzeri işlemler aracılığıyla yarı ürünlerin oluşturulması sonucunda genişlemekte ve son işlemler olarak nitelendirilen mercerizasyon, ağartma, boyama ve apre gibi işlemler sırasında en fazla çeşitliliğe ulaşmaktadır. (Germirli ve diğ. 1990).

Tekstil sektöründe gerçekleştirilen faaliyetlerin çok önemli bir kısmını, giyim eşyası yapımında kullanılan kumaş oluşturmaktadır. Bununla birlikte, konutların iç döşemesinde kullanılan perde, battaniye, halı gibi kumaşlar (ev tekstili) ile endüstriyel kumaşlarda bulunmaktadır. Yine, dikiş iplikleri ile endüstriyel kumaşlar ve kablolar tekstil sektörü üretimi içinde sayılmaktadır. Konfeksiyon sektörü ise, genel olarak hazır ürün, dokumadan giyim eşyası ve örme giyim eşyası üretimini kapsamaktadır. Kısaca ifade etmek gerekirse, tekstil ve konfeksiyon sektörü iplik, ham bez boyama, terbiye, konfeksiyon üretimi aşamalarını içermektedir.

Çeşitli endüstri kolları arasında tekstil sanayi en çok su kullanılan alanlardan biridir. Açık istim tüketim birkaç ünite bir tarafa bırakılırsa günlük su tüketiminin tamamını proses suyu oluturur. Tekstil endüstrisinde, yapağı yıkama ve ipliklerin yıkanması, ağartma, boyama ve son ürünlerin yıkanması gibi işlemlerin başından sonuna kadar yüksek hacimlerde su kullanılmaktadır. 1 kg kumaş üretmek için 200 – 400 lt suya ihtiyaç vardır (Marcucci ve diğ., 2001). Tekstil endüstrisinin farklı kollarındaki farklı üretim yöntemleri ve farklı atıksu karakteristikleri hesaba katıldığında bunların deşarj limitlerinin oluşturulması ve en uygun arıtma yöntemlerinin seçilmesi başlı başına bir sorundur.

Fabrikalarda kullanılan sularda bulunması istenilen özellikler, suyun kullanılacağı yere, işleme göre değişir. Tekstil fabrikalarında kullanılan su kazan suyu ve işletme suyu

olarak iki grupta toplanır. Proseste kullanılan suyun belirli kalitede olması gerekir. Proses suyu ihtiyacı tekstil prosesinin türüne, materyalin ya da son ürünün tipine ve kullanılan makine ve tekniklerin tipine göre belirlenir (Özkan, 2007).

Tekstil ve Hazır Giyim/Konfeksiyon Endüstrisi, sağladığı istihdam imkânı, üretim sürecinde yarattığı katma değer ve uluslararası ticaretteki ağırlığı nedeniyle ekonomik kalkınma sürecinde önemli rol oynayan bir endüstri dalı olmuştur. Gelişmiş ülkelerin 18. Yüzyılda gerçekleştirdikleri sanayileşme sürecine damgasını vuran tekstil ve daha sonra hazır giyim endüstrisi, günümüzde de gelişmekte olan ülkelerin kalkınmalarında benzer bir rol oynamaktadır. Tekstil, gelişmiş pazar ekonomilerinde yaratılan katma değer sıralamalarında da, bu ülkelerin ileri teknoloji sektörlerinin ağırlığına rağmen, ilk sıralarda yer alır (www.vizyon2023.tubitak.gov.tr).

2.1. Üretim Prosesleri

Tekstil endüstrisindeki prosesler kuru prosesler ve yaş prosesler olarak iki ayrı ana başlık altında toplanabilmektedir (Tunay, 1996).

2.1.1. Kuru Prosesler

Su kullanımı gerektirmediğinden kirlenme açısından önem taşımamaktadır. İplik üretimi; elyaftan iplik çekme, eğirme, çekerek büzme, daha sonraki işlemler için hazırlık adımı olarak bobinlere aktarma ve bükmeyi kapsamaktadır. İnce ve uzun ürünlerin üretimi; örgü ve büküm kademelerinden meydana gelmektedir (Tunay, 1996).

2.1.2. Yaş Prosesler

Büyük ölçüde boyama ve apre işlemlerini içermektedir. Kuru proseslerden sonra uygulanmaktadır (Tunay, 1996). Yaş prosesler; pişirme, haşıllama, haşıl sökme, kasarılama, merserizasyon, apre - ikmal, karbonizasyon, dinklemedir.

2.1.2.1. Pişirme

Doğal ve sentetik malzemelerde bulunan istenmeyen maddelerin giderilmesi için uygulanır. İşlem sonunda malzemenin görünümü iyileşmektedir (Tunay, 1996). Yıkama, banyolarda uygulanabilir ve pamuğun yıkanmasında kaynama noktasına yakın, kahverengi ve yüksek sıcaklıktaki (genelde 90°C' nin üstünde) çözeltilerde sodyum hidroksit kullanılır (Woerner, 2002).

2.1.2.2. Haşılama

Son yıllarda doğal liflerin yanında yapay liflerin ve bunların birbiriyle karışımlarının öneminin artması, haşıl maddelerinin kullanılma alanını ve miktarını etkilemiştir (Özkan, 2007). Haşılama yapılarak pamuk elyaflarının üzerlerinin; nişasta, polivinil asetat, modifiye nişasta, sakız ve karboksimetil selüloz gibi maddeler kullanarak kaplanması sonucunda elyaflarına dokuma sırasında sağlamlık kazandırılır. Oluşan atıksuyun kirletici yükü yüksek olmasına rağmen atıksu miktarı azdır.

Gerilme kuvvetini ve pürüzsüzlüğü arttırmak için çözgüye uygulanan haşıl maddeleri; doğal kaynaklı haşıl maddeleri (nişasta ve türevleri, selüloz türevleri, yumurta akı haşıl maddeleri) ve tam yapay haşıl maddeleri (polivinil alkoller (PVA), polivinil asetat; poliakrilatlar) olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir.

2.1.2.3. Haşıl Sökme

Haşılama işleminden sonra kumaşa boyama, ağartma işlemlerinin yapılabilmesi için uygulanmaktadır. Haşılama sırasında kullanılan maddelerin büyük kısmı suda çözülemediği için, haşıl sökme işlemleri enzimler, yüzey aktif maddeler, asitler, alkaliler kullanılarak yapılır. Haşılama için kullanılan maddelere göre atıksu karakteri değişim göstermektedir (Tunay, 1996).

2.1.2.4. Kasarlama

Pamuk ve diğ er elyafların parlaklıklarının arttırılması için uygulanmaktadır. Bu işlem sonucunda yeşilimsi olan doğal renklerin giderilmesi de sağlanmaktadır (Tunay, 1996).

2.1.2.5. Merserizasyon

Kuma ın veya elyafln kuvvetli bir bazık    zelti ile ıslatılmasıdır. Selüloz bazlı elyaf, pamuk, viskon gibi malzemelere parlaklık kazandırmak için yapılmaktadır. Uygulama işlemi sırasında veya sonrasında olabilmektedir. Genellikle bu suların geri kazanılarak tekrar kullanılmaları s  z konusudur (Tunay, 1996).

2.1.2.6. Apre- kmal

Kuma a su geçirmezlik, buru mazlık, ateşe dayanıklılık, metal kaplama, saydamlık, çekmezlik gibi özelliklerin kazandırılması için uygulanan son işlemdir (Tunay, 1996).

2.1.2.7. Karbonizasyon

K  m rle tirme olarak da bilinen bu işlem kirli y n liflerinde bulunan bitkisel artıkların, yıkama ve diğ er işlemler sırasında giderilmeyen kısımlarının uzaklaştırılması için uygulanmaktadır (Tunay, 1996).

2.1.2.8. Dinkleme

Y n liflerin ke ele me özelliğinden yararlanarak kuma a istenilen görünüm ve formunun verilmesidir (Tunay, 1996).

2.1.2.9. Boyama

Elyaf, ipliğe ve kumaşa renk kazandırmak amacıyla yapılmaktadır. Boyama; sürekli boyama, yarı sürekli boyama veya kesikli sürekli boyama olarak değişik sürelerde uygulanmaktadır. Reaktif boya, indigo boya, kükürtlü boya gibi boya çeşitleri kullanılmaktadır. Kullanılan boya çeşidi, işlem sonucunda oluşan atıksu karakterini etkilemektedir (Tunay, 1996).

Boyar maddeler taşıdıkları ortam içinde çözelti halinde bulunur, eğer bu ortamda çözünmeyen renklendirici madde olursa bunlara “pigment” denir. Bunlar dokuma liflerinin renklendirilmesinde kullanılır.

Kimyasal yapılarına ve liflere uygulanış tiplerine göre tanımlanmış ve rapor edilmiş literatüre geçmiş yüzlerce boya vardır. Florasan beyazlatıcı yardımcı maddelere göre yapılan başka bir sınıflandırmada anyonik bileşikler (asit boyalara benzer olarak) (pamuklu, yünlü ve poliaminli iplikler), katyonik bileşikler (selüloz, poliaminler), çözülebilir grupları olmayan bileşikler (dispers boyalara benzer olarak; polyester, poliamid ve selüloz asetatlar) olmak üzere üçe ayrılmıştır. Boyalar çözünürlüklerine göre de sınıflandırılabilir: çözünür boyalar asit, renkleri sabit kılan (mordan), metal kompleks, direkt, bazal ve reaktif boyaları içerir; ve çözünmez boyalar azoik, sülfür, fıçı ve dispers boyaları içerir.

Rengin tekstil materyaline aktarılması üç değişik yöntemle olur. Bu yöntemler malzemenin banyoda kalış süresi ve banyo / mal oranına bağlı olarak isim almıştır. Bunlar;

- a – Çektirme yöntemi (diskontinü yöntem)
- b – Emdirme yöntemleri (kontinü yöntemler)
- c – Lif çekim eriğinde boyama yöntemidir.

Bu üç kategoriden en fazla kullanılan çektirme boyamadır. Emdirme boyama da sıklıkla kullanılır.

Genellikle lif, iplik ya da kumaş boyarmaddenin sulu çözeltisine batırılır. Bu olay çoğunlukla banyodaki boyarmaddenin istenilen rengi vermesi için tekstil materyali ile işleme sokulması yüksek sıcaklık altında yapılır (Özkan, 2007).

2.2. Tekstil Endüstrisinde Sınıflandırma

Tekstil endüstrisinde yer alan proses ve işlemler, işlenen elyaf cinsine bağlı olarak bazı farklılıklar göstermektedir. Tekstil endüstrisi kullanılan elyafın cinsine göre incelendiğinde pamuklu, yünlü ve sentetik olmak üzere başlıca üç ana gruba ayrılmaktadır (Tunay, 1996).

2.2.1. Pamuklu Tekstil

Pamuklu tekstil ürünleri ülkemiz ekonomisinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizin başta gelen dış satım ürünlerinden pamuklu dokuma ürünleri A.T. ülkelerinin her türlü kısıtlamalarına rağmen hala Avrupa’ da alıcı bulmaktadır. Bunda pamuğun ülkemizde bolca yetişmesinin ve işgücünün payı büyüktür (Birgül, 2006).

Pamuk elyafı tek hücreden oluşmuş olup, tam kurumuş pamuğun yüzde 90’ ını saf selüloz oluştururken, yüzde 9’ unu pektin, yağ ve tabi renk maddeleri ile albüminli maddeler oluşturur. Yüzde 1’ lik kısmını da kül veren Ca, Mg, K bileşikler kapsar. Pamuk elyafının uzunluğu 20-45 cm arasında değişirken, kalınlığı ise 10-15 mikron arasında değişir. Elyafın her santimetresinde 6-160 arası kıvrım bulunabilmektedir. Pamuk elyafının rengi açık krema kaşan beyaz olabileceğı gibi esmer sarı renge kadar artan tonlarda olabilir (Vardar ve Şar 1998).

Pamuk elyafı, iplik yapımı, dokumaya hazırlık ve ürünlerinin terbiyesi olarak üç aşamada işlenir. Terbiye işlemlerinde önemli miktarda su kullanımı vardır (Tunay, 1996).

2.2.2. Yünlü Tekstil

Bilinen çeşitli hayvansal lifler arasında en eski ve en bilineni yündür. Koyun postundan elde edilir ve yüksek oranda çimen ve hayvanın büyümesinde lifleri koruyan yün yağı ihtiva eder. Birçok durumda yün yüzde 30 lif, yüzde 70 yabancı madde içerir. Yabancı maddelerin yaklaşık yüzde 45’ini yağ oluşturmaktadır (Tunay, 1996).

Yünlü tekstil endüstrisinin hammaddesi olan koyun yünü, toz ve kum gibi maddeler içerebileceğinden üretime katılmadan önce ilk olarak sıcak suda yıkanarak yabancı maddeler yünden uzaklaştırılır. (Şengül 1996, Göknıl ve diğerleri 1984). Pamuklu tekstil

ile aynı aşamalarda gerçekleştirilen tekstil işlemlerinde ilk ve en önemli fark yünün yıkanmasıdır. Çok kirli yağlı atıksu oluşturan bu işlem ayrı bir altkategori oluşturur (Hasar, 2009).

2.2.3. Sentetik Tekstil

Bu tekstil endüstrisinin ham maddesi, çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucunda üretilmiş olan sentetik liflerdir (Akdeniz 2001). Sürekli iplik şeklindeki elyaflar yüzde 100 sentetik ürünlerin, tel şeklinde olan elyaflar ise sentetik elyaf karışımlarının veya sentetik ve doğal elyaf karışımlarının üretiminde kullanılır (Tunay, 1996).

2.3. Tekstil Endüstrisinin Çevresel Etkileri

Tekstil endüstrisi daima suyun yoğun olarak kullanıldığı bir sektör olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle esas çevresel endişe, boşaltılan su miktarı ve bunun taşıdığı yüklerle ilgili olmaktadır. Diğer önemli sorunlar ise hava emisyonları, enerji tüketimi, katı atıklar ve belirli işlemlerde önemli ölçüde sorun olabilen kokular olarak karşımıza çıkmaktadır.

Havaya emisyonlar genellikle kaynaklandıkları noktada toplanmaktadırlar. Çeşitli ülkelerde bu emisyonlar uzun sürelerden beri kontrol edildiklerinden dolayı, belirli işlemler sonucu havaya verilen emisyon değerleri ile ilgili yeterli tarihsel veri bulunmaktadır. Suya emisyonlarda ise, böyle bir durum söz konusu değildir. Farklı işlemlerden gelen farklı yükler içeren atıksu akımları nihai bir atıksu oluşturmak üzere birbirleriyle karıştırılmakta ve karakteristik yapısı;

- Terbiye edilen elyafın cinsi,
- İşlem gören ürünün cinsi,
- Uygulanan teknikler,
- Kullanılan kimyasal maddeler ve yardımcıların türleri

gibi faktörlerin birleşiminden oluşmaktadır. Ayrıca sektörde sezon değişimi ve moda nedeniyle yıllık üretimde, üretim programına bağlı olarak da günlük üretimde olan büyük değişiklikler, oluşan emisyonların standartlaştırılmasını ve karşılaştırılmasını güçleştirmektedir (Şenoğlu, 1996).

Tekstil endüstrisi atıksularını üretim türüne bağlı olarak karakterize edilmesinde kullanılan başlıca kirletici parametreleri KOİ, AKM, yağ ve gres, renk, toplam krom, fenoller, toplam sülfür, yüzey aktif maddeler, pH ve sıcaklık gibi parametrelerdir. Bu parametrelerin sayı ve önemlerinin, tesisten tesise ve belirli bir tesiste zamana bağlı olarak değiştiği göz ardı edilmemelidir (Tünay, 1988).

Tekstil endüstrisi atıksularında yapılan toksisite testlerinde değişik oranlarda toksisite değerlerinin çıktığı görülmektedir. Bazı fabrikaların atıksuları düşük konsantrasyonlarda bile yüksek toksisite gösterirken, bazılarının atıksuları yüksek toksisite göstermektedir (Nemerow 1971).

Navarro (2000) tarafından yapılan çalışmada, tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksuların toksisitesi belirlenmiştir. Çalışma sırasında 5 farklı tekstil kuruluşunun terbiye işlemlerinden alınan atıksu örnekleri kullanılmıştır. Çalışmaya göre en yüksek toksisiteye sebep olan aşamanın pişirme olduğu görülmüştür. Pişirme işleminden sonra en yüksek toksisiteye sebep olan proses ağartma prosesi olduğu görülmüştür. Bunların ardından sırası ile yıkama ve boyama proseslerinin geldiği görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmanın neticesinde, sözü geçen proses aşamalarından kaynaklan atıksularda en çok toksisiteye sebep olan maddelerin boyalar ve klorürler olduğu sonucuna varılmıştır.

Tekstil endüstrisinde genellikle sentetik ve pamuklu elyaflar kullanılarak boya ve baskı işlemleri bir arada gerçekleştirilir. Terbiye işlemleri, ön işlemler, boyama, baskı, yıkama ve bitim işlemlerinden oluşmaktadır. Tekstil proseslerinden çıkan atıksular, yüksek konsantrasyonlarda kirletici içeren toksik atıksulardır ve klorürlerin varlığı toksisiteyi artırıcı etki yapar. Ayrıca metallerin varlığı da yarattıkları toksisite nedeniyle çözünmüş oksijen tüketiminin azalmasına neden olur (Navarro 2000).

Tekstil endüstrisi atıksularının içerdiği organik ve inorganik kimyasal maddeler arıtılmadan verildikleri ortamda birçok probleme yol açarlar. Organik maddelerden biri olan boyalar, kimyasal ve biyolojik değişimler sırasında bulunduğu suyun oksijenini azaltırlar. Ortofosfatların alıcı ortama karışması ötrofikasyonu hızlandırır. Alglerin aşırı büyümesi, su yüzeyini tamamen kaplayarak ışık-fotosentez olayının gerçekleşmesini engellemektedir. Yıkama suyu atıksularının yüksek konsantrasyonlarda alkali oluşu nedeniyle alıcı ortamdaki çözünmüş oksijen çok çabuk kullanılır. Alıcı ortamın fiziksel özellikleri, renk ve kokusu değişir (Büyükdere, 2008).

Mikrokirleticiler, atıksularda düşük konsantrasyonlarda bulunsalar bile önemli toksik etki yaparlar, insan ve su yaşamını olumsuz etkilerler. Ayrıca birikerek ekolojik dengeyi değiştirir ve ciddi sorunlara yol açabilirler.

Belirli işlemlerin sistematik bir analizinin yapılması ideal bir yaklaşım olmakla beraber, yasal taleplerin belirli proseslerden ziyade nihai atıksulara önem vermeleri gibi pek çok nedenden dolayı da veri elde edilebilirliği çok yetersizdir (Anonim 2003c). Tüm endüstriyel atıklarda olduğu gibi tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıklar da uygun bir yönetim çerçevesinde kontrol ve denetim altına alınmalıdır. Bu uygulama çerçevesinde yöntem olarak uygun görülen en iyi yaklaşım üretim proseslerinin ve atıksularının sınıflandırılması ve bunların en uygun şekilde kategorizasyona tabi tutulmasıdır (Tünay, 1988).

2.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Özellikleri

Su kullanımının en çok olduğu endüstrilerden biri olan tekstil endüstrisinde, atıksular miktar ve bileşim yönünden çok değişkendirler. Bu atıkların birinci kaynağı liflerde mevcut olan doğal safsızlıklar, ikinci kaynak ise proseslerde kullanılan kimyasal maddelerdir. Tekstil atıksularında genel olarak tekstil proseslerinde kullanılan boyalar, taşıyıcılar, krom ve türevleri ve sülfür yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Tekstil boyamada çok dayanıklı boyalar kullanıldığından boyama sonunda oluşan atıksular biyolojik arıtmaya karşı oldukça dayanıklıdır. (Şengül, 1991).

Tekstil endüstrisi üretim proseslerinden genel olarak, yüksek hacim ve bileşim yönünden çeşitliliğe sahip, biyolojik olarak bozunması mümkün olmayan maddeler içeren, toksik boyar maddeler ve çeşitli kimyasallar (su geçirmezlik maddeleri, gres ve yağ, fikse maddeleri v.b.) açısından zengin bir atıksu çıkışı meydana gelmektedir (Arslan, 1995). Her alt kategoride işlem türleri, işlemler için kullanılan teknoloji ve diğer faktörlere bağlı olarak su kullanımı bazen geniş aralıklarda değişmektedir. Birim yükler dikkate alındığında az su kullanılan proseslerde atıksu miktarı genelde 10 m³/ton kumaş değerinin altındadır. Dokunmuş kumaş son işlemleri için bu değer 50-300 m³/ton kumaş arasında değişmektedir.

Tekstil atıksuları genellikle gri renkli veya boyamada kullanılan esas boyanın rengindedir. Tekstil atıksuyundaki en önemli kirleticiler, zor ayrışan organik maddeler, klorlu bileşikler, boya, deterjan, insektisid, pestisit, gres ve yağ, sülfid bileşikler,

solventler, ağır metaller ve inorganik tuzlar olup, atıksuda BOİ, toplam çözünmüş madde, alkalinite ve sıcaklık parametreleri yüksektir. (Göknil ve diğ., 1984; Turk ve Simonic 2005). Tekstil endüstrisi atıklarındaki kirleticiler ya çözünmüş ya da süspansiyon halindedir. Biyolojik oksijen ihtiyaçları oldukça yüksek ve sodyum hidroksit ihtiva ettiği için pH değeri 7'nin yukarisındadır (Göknil ve ark. 1984).

Tekstil atıksularında kirliliğe sebep olan prosesleri 4 ana gruba ayırabiliriz;

I. Ham materyalde bulunan safsızlıkları gidermek için yapılan prosesler

II. Renklendirme prosesleri (baskı ya da boyama ile mamulün renklendirilmesi)

III. Buruşmazlık, yanmazlık gibi özellikleri kazandırmak için uygulanan prosesler

IV. Lifte herhangi bir kimyasal madde ilavesi veya uzaklaştırılması yapılmaksızın, kimyasal veya fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi prosesleri (Birgül, 2006).

Atıksuyun miktar ve özelliklerini belirleyen temel faktörler aşağıda sıralanmıştır (Şen ve Demirer 2003).

- İşlenen elyafın cinsi,
- Tüm tekstil prosesini kapsayan temel işlemler,
- Proseslerde kullanılan kimyasal maddeler,
- Tesis içi kontrollerin uygulanma derecesi.

Su tüketiminin en çok olduğu üretim aşaması boyama işlemleridir. Üretim sonrasında oluşan çıkış suyunun hacim ve bileşimi düşünüldüğünde, tekstil endüstrisi atıksuyunun endüstri sektörleri içinde en çok kirleten atıksular arasında olduğu ortaya çıkmaktadır (Şen ve Demirer 2002, Arslan 1995). Atıksu içerisindeki boyalardan kaynaklanan renkler çıplak gözle rahatlıkla görülebildiğinden estetik açıdan da problem yaratmaktadır (Nigam ve ark. 2000). Boyalı atıksular yeteri oranda bertaraf edilmediğinde çevre için tehlikeli olmaktadır. Oldukça renkli olan bu sular alıcı su ortamlarına deşarj edildikleri zaman alıcı ortamın reoksijenasyon kapasitesini düşürmekte, güneş ışığının geçişini keserek su içerisindeki biyolojik yaşamın durmasına sebep olmaktadır (Nassar ve Magdy 1997). Tipik bir boyama prosesinde boyarmaddenin yüzde 50-100 arasında kumaşa tutunması sağlanır. Geriye kalan boyarmadde, boya banyosu atıksuyu olarak ya da diğer tekstil yıkama işlemlerinden gelen atıksularla birleştirilerek deşarj edilir (Hasan, 2001).

Ortalama büyüklükte bir pamuklu tekstil tesisi için, nişastalı atıklar toplam atıksu hacminin yüzde 16' sını, BOİ değerinin yüzde 5,3' ünü, toplam katıların yüzde 36' sını ve alkalinitenin yüzde 6' sını oluşturur (Kestioğlu, 1992).

2.4.1. Tekstil Endüstrisinde Altkategorizasyon

Üretim süreçleri sonunda oluşan atıksu kaynaklarını belirlemede kullanılan en önemli yöntemlerden biri altkategorizasyondur. Altkategorizasyonun amacı, aynı kategori içinde olduğu halde üretim farklılıkları olan veya aynı ürünün imalinde farklı proses ve işlemlerin kullanıldığı tesislerin atıksularında meydana gelecek farklılıkların ortaya konmasıdır. Buna göre tekstil endüstrisinde temel alt kategoriler 10 gruba ayrılır:

1. Yapağı yıkama,
2. Yün son işlemleri,
3. Dokunmuş kumaş son işlemleri,
4. Örgü kumaş son işlemleri,
5. Açık elyaf ve iplik son işlemleri,
6. Halı son işlemleri,
7. Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi,
8. Keçeleştirilmiş kumaş üretimi,
9. Az su kullanılan işlemler,
10. Koza işleme ve doğal ipek üretimidir (Germirli ve diğ., 1998).

Altkategorizasyon yapılırken, sadece atıksu kalitesi benzerliği gruplama için yeterli değildir. Gruplama yapılırken pek çok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Tekstil endüstrisinde altkategorizasyon için göz önüne alınabilecek başlıca faktörler; imalatla kullanılan prosesler, hammaddeler, ürün cinsleri, su kullanımı, atıksu özellikleri olarak sıralanabilir (Büyükdere, 2008).

2.5. Tekstil Endüstrisi Atıksuları Arıtım Yöntemleri

Tekstil endüstrisi büyük miktarlardaki kimyasal ve su tüketimi ile karakterize edilir ve günlük su tüketiminin büyük miktarını proses suyu oluşturur (Woerner, 2002). Bu proseste kullanılan suyun belirli kalitede olması gerekir. İşletme için su temini maliyeti önemli olmaktadır. Diğer yandan atıksuyun deşarjı da önemli bir problem yaratmakta, deşarj kriterlerine getirmek amacı ile çok büyük paralar harcanmakta, bu da ürüne ek bir maliyet getirmektedir. Tekstil atıksularının en azından birkaç kez çevrilerek proseste kullanılacak düzeyde arıtılması hem önemli bir maliyet azalması sağlayacak hem de su toplama havzalarının daha az kirlenmesine katkıda bulunacaktır. (Kiran, 2003).

Tekstil endüstrisine ait atıksuların kontrol altına alınması ve deşarj kalite limitlerine temel oluşturacak kirletici parametrelerin belirlenebilmesi için tekstil endüstrisi atıksularında bulunabilecek bütün kirletici parametreler teker teker incelenmelidir (Tunay, 1988). Parametrelerin seçiminde göz önünde tutulması gerekli faktörler:

- Seçilen kirletici parametrenin atıksu için karakteristik olması,
- Kirletici parametrelerin kaynağı kontrol açısından belli olması,
- Kirletici parametrelerin çevreye etkilerinin belirlenmesi,
- Kirletici parametrelerin belirli yöntemlerle arıtılabilir olması,
- Seçilen kirleticinin parametreler belirli duyarlılıkla ölçülebilmesi.

Tekstil endüstrisi atıksularının kontrolü amacıyla en uygun arıtma teknolojisine bağlı olarak deşarj kalite limitlerini oluşturacak parametreler belirlenirken, bu endüstri dalının birbirinden oldukça farklı üretimler gerçekleştirildiği, bu sebeple de atıksu karakteristiklerinin çok farklı olduğu ve geniş aralıkta değiştiği dikkate alınmalıdır (Büyükdere, 2008).

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler, genellikle tek tek değil; birbirlerinin ardı sıra uygulanmaktadır (Tunay, 1988). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılabilecek başlıca arıtma teknolojileri arasında ızgaradan geçirme, krom indirgeme, çökeltme-yüzdürme, dengeleme, nötralizasyon, emülsiyon kırma, kimyasal çöktürme, biyolojik arıtma, aktif karbon adsorpsiyonu ve kimyasal oksidasyon bulunmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında ileri arıtma teknikleri olarak renk ve çözünmüş madde giderimini sağlamak üzere ters osmoz, iyon değişimi gibi arıtma yöntemleri de uygulanmaktadır.

Tekstil endüstrisinde tesis içi kontrol da oldukça önem arz etmektedir. Bu kapsamda;

- Gazyağı, solvent vb. kullanılan yerlerde atıkların ayırımı
- Atıksu ayırımı (özellikle krom ve sülfür akımları ve yağlı atıksular)
- Su kullanımının azaltılması
- Arıtılabilirlik açısından avantajlı kimyasalların kullanımı
- Atıksu deşarjının programlanmasıyla ani debi ve yük boşaltımlarının engellenmesi
- Belirli proseslerde geri kazanma uygulanmasının yapılması
- İşletmede bakım-onarım ve kontrol uygulamaları önemlidir.

Arıtma uygulamaları üç aşamada ele alınabilir. Bunlar; ilk arıtma, ön arıtma ve son arıtmadır (Hasar, 2003). Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksulara uygulanan çeşitli arıtma yöntemleri, arıtma verimleriyle birlikte Tablo 2.1’ de özetlenmektedir (UNEP IE, 1994; Büyükdere, 2008).

Tablo 2.1. Tekstil endüstrisi atıksularına uygulanan çeşitli arıtma yöntemleri ve arıtma verimleri

PROSES	GİDERİM VERİMİ (%)				
	BOİ5	KOİ	AKM	Yağ ve Gres	Renk
Birincil Arıtma					
Izgara	0-5	-	5-20	-	-
Dengeleme	0-20	-	-	-	-
Nötralizasyon	-	-	-	-	-
Kimyasal Koagülasyon	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
İkincil Arıtma					
Konvansiyonel Aktif Çamur ve Çökeltme	70-95	50-70	85-95	0-15	20
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur ve Çökeltme	70-94	50-70	85-95	0-15	
Havalandırmalı Lagün ve Çökeltme	60-90	45-60	85-95	0-10	
Havalandırmalı Lagün	50-80	35-60	50-80	0-10	
Dolgu Kolon	40-70	20-40	-	-	
Üçüncül Arıtma					
Koagülasyon	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Karbon Adsorpsiyonu	25-40	25-60	25-40	-	80-90
Klorlama	0-5	0-5	-	0-5	0-5
Ozonlama	-	30-40	50-70	-	70-80
İleri Arıtma					
Ters Osmoz	95-99	90-95	95-98	-	-

2.6. Tekstil Endüstrisinde Arıtım ve Geri Kazanım Teknolojileri

2.6.1. Tesis İçi Atıksu Kontrolü

Tekstil endüstrisinde uygulanacak tesis içi atıksu kontrolü; suyun tekrar kullanımı, su kullanımının azaltılması, madde geri kazanımı ve diğer geri kazanım uygulamaları olmak üzere 4 ana gruba ayrılabilir (UNEP, 1994).

2.6.2. Suyun Tekrar Kullanımı

Tekstil endüstrisinde bazı durumlarda proses sularının birden fazla işlemde kullanılması ile arıtma sistemine girecek atıksu debisi azaltılabilmektedir. Tekstil endüstrisinde suyun tekrar kullanımı için yapılabilecek en yaygın uygulamalar, kirlenmemiş soğutma suyunun, sıcak su gerektiren proseslerde kullanılması ve bir prosesten çıkan suyun, farklı bir proseste kullanılmasıdır (Veldhuisen, 1994).

Tekstil işletmelerinde suyun tekrar kullanılması için uygulanması öngörülen kontrol adımları sıralanmıştır (UNEP, 1994).

- Değişik ıslak proseslerde ve çeşitli proses dışı amaçlar için kullanılan ortalama su hacimlerinin vardiya bazında tespiti,
- Su kullanan ana proseslerde istenilen ürün kalitesine ulaşmak için kullanılması gerekli su kalitelerinin belirlenmesi,
- 2. Adımda belirtilen prosesler için çıkış suyu kalitesinin örnekleme ile ya da uygun kütle dengeleri kurularak hesaplanması,
- İlk üç adımda elde edilen bilgiler doğrultusunda, tekrar kullanım için uygulama alternatiflerinin belirlenmesi,
- Tüm alternatiflerin kurulma, işletme ve onarım da dahil olmak üzere maliyetlerinin aşağıdaki notlar dikkate alınarak belirlenmesi,
- Su kullanımındaki azalma ve dolayısıyla su maliyetlerinin azalması, buradan kazanılacak suyun daha üretken amaçlar için kullanılabilir olması,
- Atıksu hacminin ve arıtma maliyetlerinin azalması,
- Çıkış suyu hacminin azalması sonucu dış konsantrasyonlarında artış ve buna bağlı olarak ön arıtma masraflarının artması,
- Ek boru, su depoları, pompa gibi ekipmanların, atıksuyun ilave arıtımının ve işletme maliyetlerinin getirdiği ekonomik yükür.

2.6.3. Su Kullanımının Azaltılması

Literatürde bu endüstri için gereksiz su tüketimlerinin kısıtlanması sonucu su kullanımında yüzde 10-30 arasında azalma gerçekleştirilebileceği kaydedilmektedir (Veldhuisen, 1994; Smith, 1988). Proseslerde kullanılan su miktarının düşürülmesi için uygulanabilecek yöntemlerden bir tanesi ters akımlı yıkama veya durulamadır (Smith,

1986). Haşıl sökme işleminde asetik asit yerine sülfürik asit kullanılması, haşıllamada ise nişasta yerine sentetik haşıllayıcılar kullanılması oluşacak atıksuyun organik madde içeriğinin azaltılmasına yardımcı olacaktır (Veldhuisen, 1994).

Proseslere dayalı su kullanımının azaltılması konusunda gözardı edilmemesi gereken nokta, bu uygulamalar sonucunda elde edilecek düşük debili, yüksek konsantrasyonlarda kirletici içeren atıksuların arıtımında karşılaşılabilecek güçlüklerdir. Dolayısıyla bu açıdan bir ön araştırmanın yapılarak sözkonusu tesis içi düzenlemenin fizibilitesine bakılmalıdır. Ayrıca su tüketiminin kısıtlanması sonucu ürün kalitesinde olumsuz yönde bir değişimin olmasına dikkat edilmelidir (Büyükdere, 2008).

Reaktif boyamada kesikli prosesler yerine sürekli veya yarı sürekli proseslerin uygulanarak tuz kullanımından kaçınılabılır (Elvers, 1995). Merserizasyon işleminde kostik yerine sıvı amonyak kullanımı ile hem yüksek düzeyde bazik atıksu oluşumu engellenmekte hem de amonyak gazının geri kazanımı ve tekrar kullanımı sağlanmaktadır (Smith, 1986; Smith, 1988; Routte, 1996).

2.6.4. Madde Geri Kazanımı

Madde geri kazanımı daha az kirletici deşarj edilmesi yönünden ve ekonomik açıdan yarar sağlar. Diğer yandan, boya banyolarının yeniden kullanımı, haşıl ve kostik geri kazanımı gibi uygulamalarla da enerji tasarrufu gerçekleştirilebilir (Smith, 1986).

Tekstil son işlemlerinde yoğun olarak gerçekleştirilen kesikli boyama operasyonlarında, boyama banyolarında su, boya, tampon çözeltiler (pH kontrolü için), tuz ıslatıcı, köpük kırıcı deterjan vs. gibi maddeler eklenir. Boyama prosesi sırasında ise sadece boya ve az miktarda diğer katkı maddeleri elyaf üzerine tutulur, geriye kalan tüm maddeler atıksuya geçerek daşarj edilir (Elvers, 1995).

Haşıllama işleminde en çok kullanılan madde nişastadır. Haşıllamayı izleyen adım olan haşıl sökme, enzim veya oksitleyiciler ile gerçekleştirildiğinde haşıllamada kullanılan nişasta ayrıştırıldığından geri kazanılamaz hale gelir (Smith, 1988).

2.6.5. Diğer Geri Kazanım Uygulamaları

Tesis içi kontrol uygulamalarının özel bir türü de pad-batch boyama işleminin kullanımıdır. Böylece, bir boyama işleminde tuz ve kimyasal madde kullanımının minimizasyonu sağlanarak maliyet düşürülür ve kirletici yükü azaltılmış olur (UNEP IE, 1994; Smith, 1988; Elvers, 1995).

Pad-batch makinalarda dokunmuş ve örgü kumaşlara reaktif boya uygulanabilir. Reaktif boyalar küp veya sülfür boyalarda olduğu gibi oksidasyon ve redüksiyon maddesi gerekmediğinden ve pad-batch boyamada köpük kırıcı gibi kimyasal maddeler kullanılmadığından sözkonusu boyama uygulamaları sonucunda KOİ yükünde yüzde 80, enerji ve su kullanımında ise yüzde 80-90 oranında azalma sağlanmaktadır (Veldhuisen, 1994; EPA, 1997).

Tekstil endüstrisinde pamuklu karışımlarının merserizasyonunda kullanılan konsantre sodyum hidroksit çözeltisi membran teknolojileri ve buharlaştırma yöntemlerini uygulayarak, merserizasyon prosesi atıksularından kostik soda olarak yüzde 98 oranında geri kazanılabilir (UNEP, 1994; Elvers, 1995; Büyükdere; 2008).

2.7. Atıksuların İleri Arıtımı

Klasik arıtma sistemleri çıkışında arıtılmış atıksuda kalan AKM, çözünmüş madde, organik maddeler vb. gibi kirleticilerin de arıtımı ilave arıtma sistemlerini gerektirmekte olup bu sistemlere ileri arıtma sistemleri denmektedir.

Çevre kirliliğini oluşturan en büyük potansiyel endüstrilerdir. Endüstriyel üretim esnasında ve sonrasında çevre kirliliğine neden olan değişik özellikte atıklar oluşmaktadır. Endüstriyel gelişme ve üretime paralel olarak, oluşacak atıkların en aza indirilmesi için yeni teknolojilere ve ileri arıtım tekniklerine başvurulması gerekmektedir. Endüstriyel atıksular da endüstride soğutma suyu, hatta proses suyu olarak yeniden kullanılmaktadır. Yeniden kullanılabilir atıksu yüzdesi ileri arıtma teknolojileri kullanılarak yüzde 80-85 gibi yüksek değerlere çıkartılabilmektedir (Kaleli, 2006).

Ülkemizde endüstriyel atıksuların yeniden kullanımı kağıt ve tekstil gibi çok su tüketen endüstri kollarında atıksuların geri devrettirilmesi şeklinde olmaktadır. Özellikle İstanbul ve çevresindeki tesislerde yeterli suyun bulunmaması ve atıksu ücretlerindeki hızlı artışlar, endüstriyel atıksuların yeniden kullanımını teşvik etmektedir. Bu yüzden bazı

fabrikalar, bir kısım atıksularını arıtarak yeniden kullanmaya başlamıştır. Yeniden kullanılan atıksu oranını arttırmak amacıyla varolan arıtma tesislerinin geliştirildiği, genişletildiği, ya da atıksularını önceden kanala deşarj eden tesislerin de atıksularını arıtarak yeniden kullanmayı planladıkları görülmektedir.

Endüstriyel atıksular genellikle farklı bölümlerden gelen proses suları olup kirlilik yükleri oldukça farklıdır. Bu bakımdan atıksuları ayırıp, tasfiye ederek ileri arıtma teknolojisi gerekmeksizin bir miktar atıksuyun geri kazanılıp yeniden kullanılması mümkün olur. Bunu sağlamak için daha az kirlilik yüküne sahip atıksular, basit arıtma sistemlerinde arıtılıp yüksek kalitede su gerektirmeyen proses kısımlarında yeniden kullanılabilir. Bu durumda geri kazanım oranı düşük olmaktadır. Geri kazanılan atıksular, temiz sular ile birleştirilerek prosese verildiklerinden mineral madde veya tuzluluk birikmesi de bir sorun oluşturmayabilir (Kaleli, 2006).

Suların ileri arıtımında kullanılan teknolojilerden bazıları:

- Membran Prosesler
- İyon Değiştirici Prosesler
- Adsorpsiyon Prosesler
- Ozonlama
- UV/Ozon/H₂O₂ Kombinasyonları
- Fenton Yöntemi
- Azot ve Fosfor Giderim Teknolojileri

Tekstil endüstrisi atıksularında kullanılan arıtma teknolojilerinin değerlendirilmesi Tablo 2.2' de verilmiştir (Koyuncu, 2001).

Tablo 2.2. Tekstil endüstrisi atıksularında kullanılan arıtma teknolojilerinin değerlendirilmesi

Proses	Aşama	Mevcut Kullanım	Performans	Sınırlama
Fenton oksidasyonu	Ön arıtma	Güney Afrika’ da birçok tam ölçekli uygulama	Tamamen renk giderimi, düşük ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti	Çamur oluşumu,
Elektroliz	Ön arıtma	Pilot ölçekli	Tamamen renk giderimi, ucuz	Köpüklenme, elektrodun kullanım ömrü
Flotasyon	Ön arıtma	Laboratuvar ölçekli	Yüzde 90’ dan fazla renk, yüzde 40 KOİ giderimi, ucuz	-
Membran prosesler (MF, UF, NF, RO)	Temel veya ileri arıtma	Güney Afrika’ da yaygın kullanım	Yüksek performans, su, tuz geri kazanımı	Konsantre akımın uzaklaştırılması
Biyolojik Arıtma -Aktif çamur -Kesikli anaerobik/aerobik -Fixed bed	Temel arıtma	-Yaygın kullanım -Kullanımı artmakta -Çin’ de tam ölçekli uygulamaları mevcut	-KOİ ve azot giderimi -Daha iyi KOİ, renk giderimi -Daha iyi KOİ, renk giderimi	-Yüksek inert KOİ, azot, renk -Yüksek inert KOİ, renk -
Koagülasyon Flokülasyon	Ön, temel ve ileri arıtma	Yaygın kullanım	Tamamen renk giderimi, su geri kazanımı	Her zaman etkili değil, çamur problemi mevcut
Ozonlama	İleri arıtma	Tam ölçekli uygulamaları mevcut	Tamamen renk giderimi, su geri kazanımı	Pahalı, aldehitler oluşuyor
Adsorbsiyon (Karbon,kil,biokütle)	Ön ve ileri arıtma	Laboratuvar ve tam ölçekli uygulamalar	Yeni malzemeler etkili, ucuz	Rejenerasyon maliyeti
Fotokataliz	İleri arıtma	Pilot ölçekli	Renk giderimi	Sadece son arıtma

2.7.1. Atıksuların İleri Arıtılmasının Nedenleri

Endüstrilerde işletmelerin gerek üretim tipi, gerekse de üretimde kullanılan teknoloji, kimyasal maddeler ve su miktarı değişkenlik göstermektedir. Üretimde kullanılan su miktarına bağlı olarak da kirlilik yüklerinin değişim aralığı artmaktadır. Tüm endüstrilere her zaman önerildiği gibi kullanılan su miktarının ve kimyasal maddelerin azaltılması yani optimizasyonu, kaynakta kirliliğin kontrol altına alınması ve suların proseste tekrar

kullanılabilecek düzeyde arıtılması çevre kirliliğinin kontrol altına alınmasında en ideal durumdur. Ancak bu ideal durumun gerçekleşmesi endüstrinin bu konudaki bilincine bağlıdır (Gonder, 2004).

Atıksuda bulunan bileşiklerin bilimsel olarak tespiti, genişleyen bilgi ağına ulaşım ve çevre izleme çalışmaları, arıtılmış atıksuyun deşarj limitlerinin daha sıkı ve sınırlayıcı olmasına yol açmıştır. Birçok yerde deşarj limitleri ikinci kademe arıtım sistemlerinde arıtılamayan organik maddenin, (askıda katının, besi maddelerinin (N ve P) ve öncelikli kirleticiler) arıtımını gerektirebilir. Dünyada kullanma suyunun sınırlı olduğu yerlerde arıtılmış atıksuyun tekrar kullanımı giderek önem kazanmaktadır (web.deu.edu.tr).

Endüstriyel atıksu arıtımı konusunda son yıllarda ülkemizde çok büyük aşamalar kaydedilmiştir. Bütün bu gelişmelere rağmen endüstriyel atıksu kirliliği kontrolünün olması gereken seviyede olduğunu söylemek mümkün değildir. Sanayinin atıksu deşarj standartlarının sağlayamaması durumunda ileri atıksu arıtımını uygulaması gerekmektedir. Belediyelerde çevre bilincinin gelişmesinin bir sonucu olarak giderek daha çok sayıda belediye sınırları içerisindeki sanayiciden atıksu standardını sağlamasını talep etmektedir.

Son yıllarda deşarj standartlarının daraltılması ve su kaynaklarının kalitesinin bozulmasıyla suların tekrar kullanılma ihtiyacının ortaya çıkması, ileri arıtma tekniklerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Suyun geri kazanımı veya tekrar kullanımı, atıksuların bertaraf edilmesini kolaylaştırmaktadır. Ülkemizde henüz klasikleşmiş ikincil arıtmanın bile yaygınlaşmadığı göz önüne alındığında, ileri arıtma yöntemlerini uygulamanın gereksiz ya da lüks olduğu düşünülebilir. Ancak bir arıtma tesisi kurulurken belli bir hedef gerçekleştirilecekse ve bu hedef ikincil arıtma ile sağlanamıyorsa, ileri arıtma yöntemlerinin kullanılması zorunlu olacaktır. Böylece dünyada var olan su rezervleri hem temiz tutulmuş olacak hem de gelecek nesillere saklanabilecektir.

2.8. Atıksuyun Yeniden Kullanım Nedenleri

Atıksuyun arıtılarak yeniden kullanılması Dünya’ da yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Geri kazanılan su, su teminini kolaylaştıran ve temiz su kaynaklarından bağımsız bir kaynak olarak görülebilir. Atıksuyun arıtılmasıyla doğadaki su döngüsü kısaltılarak su kaynakları korunmuş ve su ihtiyacı karşılanmış olur. Bu, bütünleşmiş atıksu yönetiminin ilk adımlarını oluşturmaktadır (Wintgens ve diğ., 2004). Geri kazanılan atıksu tarım, endüstri ve evsel alanlarda kullanılabildiği için alternatif bir su kaynağı olarak

bilinmektedir. Atıksuyun geri kazanımının planlanması ve uygulanabilmesi için atıksuyun gereken seviyede arıtılması gerekmektedir. Konuyla ilgili mevcut atıksu arıtma tesislerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gerekliliği önem kazanmaktadır (Sınmaz, 2007).

Yeniden kullanımda, ilk kullanımdaki kadar iyi su kalitesine ihtiyaç duyulmuyorsa veya atıksuya ulaşmış olan maddelerin ikinci kullanımda herhangi bir zararı yoksa, arıtılmış su daha ileri işlemlere ihtiyaç duyulmadan tekrar kullanılabilir. Doğal suların kullanıma hazırlanması sırasında uygulanan yöntemlere benzer şekilde, atıksuların tekrar kullanılacağı yerlere göre çeşitli yöntemler seçilerek, atıksular temizlenirler (Bornef, 1969). Tekrar kullanılacak olan atıksu için gerekli olan kalite, tekrar kullanım amacına bağlıdır. Şehir suyu, tarımsal sulama suyu, banyo suyu ve gıda endüstrisinde kullanılacak su için oldukça yüksek su kalitesi gereklidir (Bornef, 1969).

Son yıllarda kullanım alanı giderek artan ve özellikle endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımı konusunda yaygınlaşan membran teknolojisi, atıksu geri kazanımı ve arıtılmasında kullanılan ileri arıtma ve geri kazanım, yeniden kullanım alternatiflerinden biridir (Büyükdere, 2008). Membran prosesleri ile atıksuların geri kazanılması özellikle tekstil, metal, boya, gıda endüstrisi gibi çok miktarda su kullanılan endüstriler için büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde, kirletici yükleri çok yüksek olan bu proses atıksularının arıtılması da oldukça problemli olmaktadır. Tekstil endüstrisinde arıtma tesisine giden atıksuyun yükünün azaltılması bazı kimyasal maddelerin geri kazanılması nedeniyle ekonomik bir işletme çözümü de oluşturacaktır (Büyükdere, 2008).

2.9. Dünyada Tekstil Endüstrisinin Durumu

Tekstil sanayi insanlığın var oluşuyla başlayan, hemen hemen insanlıkla yaşıt, eski ve köklü bir sanayi dalıdır. Dünya tekstil sanayi; özellikle son 15-20 yıl içinde önemli yapısal değişimlere maruz kalmış, gittikçe artan ve yayılan otomasyon tekstil sanayisinde, köklü değişimler meydana getirmiştir. Sanayileşmiş ülkelerde gelişen otomasyonla rekabet şansı daha da artmıştır. Bu alanda göze çarpıcı en önemli gelişme; sanayileşmiş ülkelerde birçok tekstil işletmesinin kapanması ve işçi sayısı hızla azalması şeklinde olmuştur. yüzde 50-70 oranlarında işçi sayısında azalmalar tespit edilmiştir. Artık sanayileşmiş ülkeler klasik emek yoğun tekstil sanayi yapısını bir kenara bırakmış işçiliğin en az, hızın ve üretimin yüksek olduğu pahalı makinelerle yönelmiştir. Tekstil sanayicileri için güçlü ve güvenilir bir destek olacak tekstil makineleri imalat sanayine daha da ağırlık verilmeye başlanmış ve

tekstil sanayi yavaş yavaş gelişmekte olan ülkelere bırakılmıştır. Sanayileşmiş ülkeler, rekabet şansını sürekli artıracak, daha zengin bir kaynağa yönelmiş ve tekstil sanayilerini yavaş yavaş gelişmekte olan ülkelere bırakırken bir yandan da onları makine, araç, gereç aksesuar bakımından bağımlı hale getirmeyi başarmıştır. İşte bu bağımlılık gelişmiş ülkelerin elinde bulundurduğu en değerli kozdur.

Dünya tekstil endüstrisi; bugün bazı sorunlarla karşı karşıyadır. Bu sorunların başında doğal lif kaynağının sınırlı olması gelmektedir. Suni ve sentetik liflerin geliştirilmesi ve büyük miktarlarda üretiminin gerçekleştirilmesi soruna çözüm getirmiş ancak kullanımında görülen sakıncalar ve 1970' li yıllardaki petrol bunalımı doğal liflere dönüşe yol açmıştır.

Dünya tekstil endüstrisinde asıl sorun tekstil ticaret ve yatırım alanında kendini göstermektedir. Günümüzden on yıl öncesine göre..bugün daha kısıtlı bir pazar olduğunu; görmekteyiz. Bunda Çin, Tayvan, Güney Kore gibi Füzelerin tekstil dışsatımını geliştirmeleri, ağırlıklı rol oynamıştır (www.tekstilbank.org).

Pamuk üretim ve tüketiminin ülkelere göre dağılımı incelendiğinde Çin, ABD ve Hindistan'ın en Bbüyük üreticiler olduğu görülmektedir. üretimleri fazla olmakla beraber, bunlar içinde en önemli ihracatçı ABD'dir. Zira, diğer üretici ülkeler, tekstil ve konfeksiyon sektörünün gösterdiği gelişmeye paralel olarak, pamuğun ülke içindeki kullanımını artırmışlardır. Hindistan, Pakistan bu açıdan belirgin bir gelişme yaşamıştır.

2.10. Türkiye’de Tekstil Endüstrisinin Durumu

Günümüzde Türkiye, hızlı bir endüstrileşme sürecine girmiştir. Aşırı nüfus artışı ve ekonomik nedenlerle kırsal alandan kentlere göç olayı ve bu olayın neden olduğu hızlı ve çarpık kentleşme olgusu da bir gerçektir. Gerek endüstrileşme gerekse hızlı kentleşme ile birlikte gelen çevre sorunları, ülkemizde 1960' lı yılların sonlarından başlayarak göz ardı edilemeyecek boyutlara ulaşmıştır (Öztan, 1985).

Tekstil sektörü halen ülkemizin en önemli sektörlerinden birisidir. Türkiye’de tekstil endüstrisinin geçmişi Cumhuriyet’ in ilk yıllarına kadar ulaşmaktadır. Daha çok iç tüketime yönelik üretim yapan tekstil sektörü giderek, pamuk ihracatının yanında, pamuk ipliği ihracatını arttırarak katma değeri yükseltmiş ve 1970’li yılların sonunda Türkiye, Avrupa Birliği ülkelerinin pamuk ipliği sağlayıcısı haline gelmiştir. 1980 yılında 131 milyon dolar olan tekstil ve hazır giyim ihracatı, bugün 10 milyar dolar düzeyine çıkarak

en çok ihracat yapan sektör olma konumunu sürdürmektedir. Halen toplam ihracat içindeki payı yüzde 30' lar dolayındadır. Türkiye, iplik ve dokuma sektörlerinde dünya ölçeğinde en büyük kapasiteye sahip ilk on ülke içerisinde. Bugün tekstil ve hazır giyim sektörünün Türk imalat sanayi içindeki payı yüzde 20 dolayındadır ve yaklaşık 2 milyon kişi istihdam etmektedir. Türkiye'nin diğer ülkeler ile rekabet edebilmesi için, kalitenin ve teknolojinin yüksek tutulması gerekmektedir. Türkiye üretim teknolojileri açısından Avrupa ve dünya standartlarını yakalamış olup, gerek hammadde kaynakları, gerek insan gücü, gerekse teknolojiyi kullanabilmesi açısından, dünya tekstil ve hazır giyim piyasasında bugün bulunduğu konumdan daha ileri bir konuma ulaşabilme potansiyeline sahiptir (Kınacı ve diğ. 2006).

Türkiye'de ürün kalitesi ve üretim teknolojisi çağdaş dünya standartlarında olup, üretiminin yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ü on yaşından daha genç makine ve teçhizatla gerçekleştirilmektedir. Üretim kapasitesi açısından Türkiye, kurulu kapasite iş sayısı itibarıyla dünya'da altıncı, rotor sayısında ise dördüncü sıradadır ve iş sayısında dünya kapasitesinin yüzde 3.4'üne, rotor sayısında ise yüzde 5.5'ine sahiptir. Avrupa Birliği'nde kurulu pamuk tipi kısa elyaf kapasitesinin yaklaşık yarısı Türkiye'dedir. Türkiye, tekstilde Avrupa'nın birinci, dünya'nın ondördüncü; hazır giyim ürünlerinde de Avrupa'nın ikinci, dünyanın yedinci büyük tedarikçisidir. Sektördeki beklentiler, artık bu sektör ürünlerinin ülke için bir marka olması, bir imaj yaratmasıdır (http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/teknolojiongorusu/paneller/ra_porozet/tekstil.pdf).

Türkiye'nin pamuk ithalatı; 1996 yılında 302, 1997 yılında 633, 1998 yılında 608 milyon dolar olmuştur. 1999 yılında Asya krizinin etkisiyle azalan pamuk ithalatı 354 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. 2000 yılında ise dünya pamuk ithalatında Türkiye, Endonezya'dan sonra ikinci sırada yer alarak 681 milyon dolarlık ithalat gerçekleştirilmiştir (ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/tekstil/kanoglun/rekabet.pdf).

Yerli sanayimiz için, sektördeki sıkıntılardan kaynaklanan önemli bir tehlike de, yerli sanayicilerin yurtdışına kaçmalarıdır. Krizlerden kaynaklanan nedenlerle Tekstil ve Konfeksiyon sektörü, ülkemizi terk etmeye, yerli sanayicimiz başka ülkelere kaymaya başlamıştır. Özellikle Balkan ülkeleri ve Orta Asya'ya. Bu Tekstil ve Konfeksiyon sektörü için çok ciddi bir sıkıntı işaretidir. Dünyanın küçülmesi, uluslararası pazarların yerel pazarlara oranla çekim hızının yükselmesi, Türkiye' nin stratejik sektörü olan Tekstil ve Konfeksiyonu da bu pazarlara yoğun olarak kaydırmıştır. Görüldüğü üzere;

küreselleşmeyle birlikte açılan pazarlar, fırsatlar ve imkanlar getirdiği gibi risk ve krizleri de bünyesinde taşımaktadır.

Ülkemizde imalat proseslerine, kullanılan hammaddelere, son ürünlere, su kullanımına ve atık karakteristiklerindeki benzerliklere dayanılarak yapılan alt kategorizasyonlara ait kirlilik karakteristik değerleri Tablo 2.3’ de verilmiştir.

Tablo 2.3. Türkiye’de genel olarak elde edilen atıksu karakteristik değerleri (Göknıl, 1984).

Parametre(mg/L)	KOI	AKM	Yağ ve Gres	Cr	Fenol	Sülfür
Proses						
Yün Yıkama	9000	4000	3000	-	-	-
Keçeleştirilmiş Kumaş Üretimi	1200	200	-	-	-	1
Örgü Kumaş Son İşlemleri	1000	300	53	0,5	0,24	0,2
Stok ve İplik Son İşlemleri	1200	40	100	5,0	-	2,0
Dokunmuş Kumaş Son İşlemleri	1200	300	14	0,04	0,04	3,0
Halı Son İşlemleri	2000	100	30	0,005	0,001	0,002
Dokusuz Kumaş Son İşlemleri	3850	80	-	-	-	-
Jean Yıkama İşlemi*	1000	300	-	-	-	-

3. MEMBRAN PROSESLER

Alıcı ortam üzerinde olumsuzluklar meydana getiren atıksuların deşarj standartlarını sağlayabilmesi için; biyolojik arıtma, adsorpsiyon, flotasyon, filtrasyon, ters osmoz ve membran biyoreaktörleri, havalandırmalı kimyasal oksidasyon, buharlaştırma, yumaklaştırma ve yakma gibi çeşitli arıtma teknolojileri uygulanmaktadır (Hasar, 2001).

Membran teknolojisi yaklaşık 40 yıldır özellikle deniz suyu ve yeraltı suyu arıtımında kullanılmaktadır. Endüstriyel alandaki hızlı gelişmelere paralel olarak membran tekniği de gelişerek deniz ve yeraltı suyu arıtımının yanında, atıksuların arıtılmasında, saf ve yumuşak su üretiminde, endüstriyel su hazırlanmasında ve bunun gibi pek çok alanda kullanılmaktadırlar (Yalçın, 1998 ve Bilstad, 1997). Membran proseslerin endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımından, yer altı ve deniz suyundan içme suyu elde edilmesine, proses suyu hazırlamadan hammadde geri kazanımına kadar yaygın bir kullanım alanı mevcuttur (Tchobanoglous, 2003).

Membran; iki fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin secici bir şekilde taşınmasını sağlayan ince ve geçirgen bir tabaka olarak ifade edilir. Membranların sayesinde sağlanan secici kütle transferi; konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir (Büyükdere, 2008).

Membran prosesler; ileri atıksu arıtmanın, atıksuyun geri kazanımının ve yeniden kullanımının ana elementidir. Geri kazanılan atıksu, dünyada yeraltı suyunun zenginleştirilmesi, kullanma suyu, endüstride proses suyu olarak kullanılmaktadır (Wintgens ve diğ. 2004). Atıksuların ileri arıtılması amacıyla membran teknolojileri diğer arıtma proseslerine tercih edilmektedir. Bunun en önemli nedenleri; membran proseslerinin diğer ayırma teknikleriyle karşılaştırıldığında düşük enerji ihtiyacı gerektirmeleri yani düşük maliyettir (Kaya ve Barlas, 2003). Membran sistemlerinin diğer kirlilik kontrol sistemlerine göre en önemli avantajlarından birisi de sistem içinde geri devir yapılmasıdır. Membran tesisi ile hem işletmede kullanılan temiz su hem de atılan atıksu miktarı oldukça azalmaktadır. Bu da endüstriyel kirlenme kontrolünde ve su kaynaklarının korunmasında, dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde değerlendirildiğinde, hem ekonomik hem de ekolojik açıdan çok önemli kazançlar sağlamaktadır (Baburşah ve diğ. 2004).

Membran ayırma süreçleri ileri arıtmada önemli bir rol oynarlar. Elektrodializ ve ters osmoz süreçleri tuzlu sudan tuzun uzaklaştırılmasında kullanılırlar. Ultrafiltrasyon diğer bir üçüncül arıtım yöntemidir. Bir membran ayırdığı fazlar arasında moleküler ya da iyonik türlerin akışına bir engel oluşturur. Bu kuru bir katı, bir jel ya da immobilize olmuş bir sıvıdır. Bir ayırıcı olarak kullanılabilmesi için, bir membranın bazı molekülleri diğerlerinden daha hızlı geçirmesi gerekir. Membran; bazı moleküller için yüksek geçirgenliğe, bazı moleküller için ise düşük geçirgenliğe sahiptir.

Membran proseslerin temel kullanım alanları :

- Katı partiküllerin ayrılması,
- Atıksu akımından bazı maddelerin geri kazanılması,
- Çözeltinin konsantre edilmesi ve
- Kirlilik yüküne sahip atıksuların arıtılması

olarak sıralanabilmektedir (Bilsad, 1997; Koyuncu, 1997).

İdeal bir membranın, kimyasal ve mikrobiyolojik etkilere karşı dayanıklı olması, uzun çalışma sürelerinde arıtma verimi ve mekanik kararlılığının değişmemesi gerektiği bilinmektedir (Wintgens ve diğ. 2005). Membran proseslerin kimyasal ilavesi gerektirmemesi de ekonomik ve ekolojik yararlar sağlamaktadır (Adin ve diğ., 1998; Alanso ve diğ., 2002). Proseste en önemli kısıtlayıcı faktör ise maliyettir. Membran prosesler istenen su kalitesi ve maliyet açısından bu durum için verilebilecek en güzel örneklerden biridir (Sınmaz, 2007).

Membranlar genel olarak;

1. Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partikül filtrasyonu,
 2. Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayrımı,
 3. Sadece iyonik türlerin ayrımı,
 4. Sulardan veya diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayrımı,
 5. Konsantre çözelti elde etmek
- gibi amaçlar için kullanılır (Kural, 2000; Yalçın, 1998; Bilstad, 1997).

Membran prosesler geleneksel arıtma teknolojilerine alternatif oluşturmakta ve birçok avantajı sebebiyle son yıllarda dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır (Tchobanoglous, 2003).

Membran proseslerin avantajları;

- Kesiksiz ve otomatik işletme sağlayan sürekli prosesler olmaları,
- Ne faz ne de sıcaklık değişimlerinden etkilenmesi,
- Az enerji kullanımı,
- Belirli bir boyut sınırlandırılması olmaması,
- Modüler olarak tasarımının yapılabilmesi,
- Kirleticinin formu ve kimyası üzerinde etki yapmaması,
- Kimyasal katkı ihtiyacının olmaması,
- Çok az yer ihtiyacının olması,
- Çok yüksek konsantrasyonlarda uygulanabilmesi,
- Taşınabilir olması,
- Herhangi bir inşaat gerektirmemesi ve
- Maliyetinin gün geçtikçe daha da aşağılara çekilmesi

sayılabilir (Hasar, 2003).

Membran proseslerin dezavantajları;

- Konvansiyonel sistemlere göre daha kompleks olması,
- İşletim sırasında zamanla membranın tıkanması ve arıtılmış su çekiminin (akı) azalması,
- Tıkanmış membranı temizlemek için kullanılan basınçlı hava/su (backpulse) ve kimyasallarla (sitrik asit, sodyum hipoklorit vb.) maliyetin artması,
- Kimyasallar için az hacimlerde de olsa biriktirme amacıyla depolama tanklarının gerekmesi (Judd,2002).

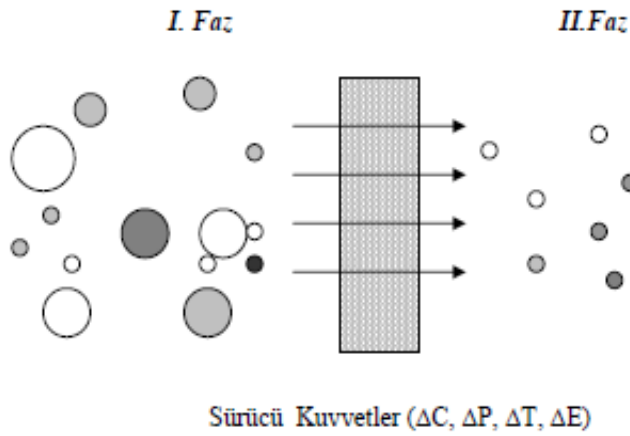
3.1. Membranların Ayırma Mekanizmaları

Membran filtrasyonda, doğada bir yarı geçirgen membrandan basınç farkı nedeniyle molekül taşınımında gerçekleşip duran fiziksel prensipten yararlanır. Burada moleküller veya partiküller; büyüklükleri, ağırlıkları ya da yapıları nedeniyle membranda tutulurlar. Membran; por büyüklüğü, porların yüzeyde dağılımı, membran yüzeyinde m^2 başına porların sayısı, membran yükü ve kimyasal yapısı ile tanımlanır (Kosutic ve diğ., 2006).

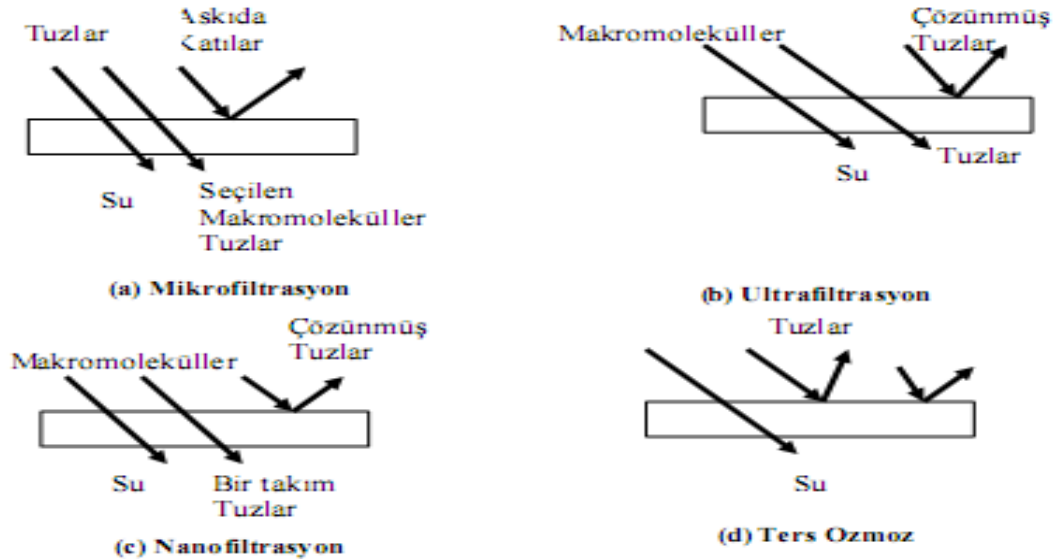
Membranlar, karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması amacı ile kullanılır. Membran proseslerde ayırma olayı iki ana grupta toplanır. Birincisi, çözünmüş maddelerin

ayırımı ikincisi tutulmak istenen partiküler maddelerin ayrılmasıdır. Membran belirli türlerin hareketini kısıtlayan, metal, anorganik veya organik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir. Bu membranlar, gaz ayırımı, katı/sıvı ve sıvı/sıvı ayırımı gibi amaçlar için kullanılır (Özkan, 2007).

Şekil 3.1. ve Şekil 3.2’ de membranın ayırma işleminin şematik gösterimleri verilmiştir (Koyuncu, 2001).



Şekil 3.1. Bir membranın ayırma işleminin şematik gösterimi

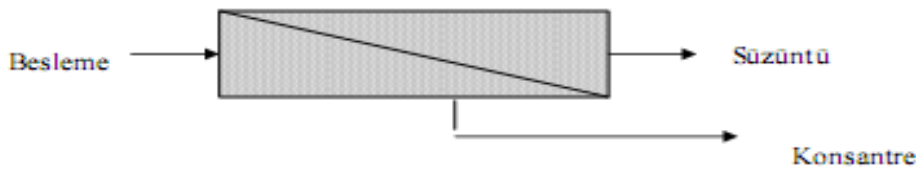


Şekil 3.2. MF, UF, NO, RO membranlarının ayırma işleminin şematik gösterimi

Membranlarda ayırma işleminde, sürücü kuvvetlerin etkisiyle besleme akımı iki ayrı akıma ayrılır. I. Faz besleme, II. Faz ise süzüntü fazı olarak adlandırılmaktadır. Ayırma işlemi, membranın I. Fazdaki bir bileşeni, öteki bileşen veya bileşenlerden daha kolay bir şekilde diğer tarafa geçmesi ile gerçekleşmektedir.

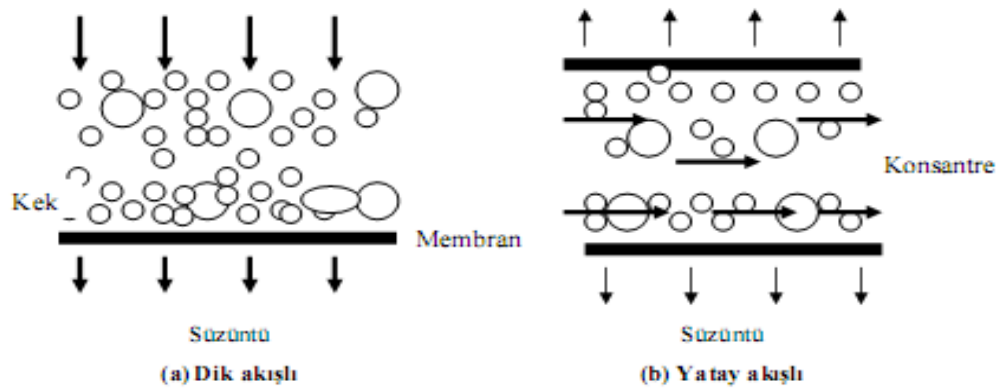
Membrandan geçen akım iki kısma ayrılır bunlar, membrandan geçen ve membrandan geçemeyen akımdır. Membrandan geçen akım “süzüntü”, geçemeyen akım ise “konsantre” akım olarak adlandırılmaktadır. Konsantre akım, membrandan geçemeyen maddeleri taşımakta ve membran yüzeyinden uzaklaştırmaktadır. Bunların şematik gösterimi Şekil 2.2.’de görülmektedir. Konsantre akımın ve süzüntü akımın karakteristiği, membranın tipine, membran malzemesine ve membranın üretim amacına bağlı olmaktadır (Koyuncu 1997).

Şekil 3.3’ de membran proseslerde giriş ve çıkış akımları görülmektedir.



Şekil 3.3. Membran proseslerde giriş ve çıkış akımları

Membran proseslerin iki tür çalışma prensipleri vardır. Birincisi, membrana basıncın dik olarak uygulandığı (dik akışlı) filtrasyon, ikincisi basıncın yatay olarak uygulandığı (yatay akışlı) filtrasyon olarak bilinmektedir. Şekil 3.4’ te dik ve yatay akışlı membran filtrasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Dik akışlı ve yatay akışlı membran filtrasyonu (Koyuncu, 1997).

Membranlar sürücü kuvvetlerine göre

1. Basınç (ΔP)
2. Konsantrasyon (ΔC)
3. Elektriksel potansiyel (ΔE)
4. Sıcaklık farklılığı (ΔT)

olmak üzere dört ana grupta toplanır. Membranların sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılması Tablo 3.1' de verilmiştir (Koyuncu, 2001).

Tablo 3.1. Membran proseslerinin sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılması

Membran Prosesler	Faz I	FazII	SürücüKuvvet
Mikrofiltrasyon (MF)	Sıvı	Sıvı	ΔP
Ultrafiltrasyon (UF)	Sıvı	Sıvı	ΔP
Nanofiltrasyon (NF)	Sıvı	Sıvı	ΔP
Ters osmoz (RO)	Sıvı	Sıvı	ΔP
Gaz Ayırma	Gaz	Gaz	ΔP
Dializ	Sıvı	Sıvı	ΔC
Osmoz	Sıvı	Sıvı	ΔC
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	ΔP
Elektrodializ	Sıvı	Sıvı	ΔE
Termo-osmoz	Sıvı	Sıvı	$\Delta T/\Delta P$
Membran distilasyonu	Sıvı	Sıvı	$\Delta T/\Delta P$

3.1.1. Membran Performansı

Membranların performansı, akı ve giderme verimi veya seçicilik olarak adlandırılan terimler ile ifade edilmektedir. İdeal bir membranda, yüksek seçicilik veya giderme verimi ile yüksek akı veya geçirimsilik istenir (Özkan, 2007).

3.1.1.1. Akı

Birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. Ortalama süzüntü akısı membran performansını göstermek için en yaygın kullanılan parametredir (Chen ve diğ. 2004). Membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç ile doğru, viskozite ile ters orantılıdır (Wang ve diğ., 2001). İyi işletilen membran sistemlerinde makul ve stabil akı ve mümkün olduğu kadar düşük enerji tüketimi olmalıdır. Bu amaçlara

ulaşabilmek için proses sırasıyla ürün akısı, basınç ve sıcaklıkla optimize edilmelidir (Özkan, 2007).

Membrandan geçen akımın miktarı, Darcy kanununa göre,

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m} \quad (3.1)$$

ile tanımlanmaktadır. Burada;

J : Akı

ΔP : Membrandaki basınç

μ : Akışkanın viskozitesi

R_m : Membranın hidrolik direnci

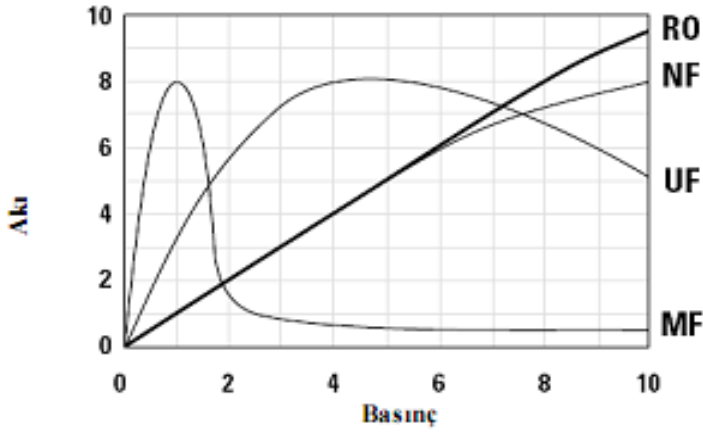
olarak tanımlanmaktadır.

Büyük moleküllerin ve koloidlerin osmotik basıncı çok düşüktür. Dolayısıyla, büyük moleküllerin ve koloidlerin tutulduğu mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlarında, osmotik basınç ihmal edilmektedir. Tablo 3.2’ de ters osmoz (RO), nanofiltrasyon (NF), ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) membranları için, tahmini olarak membran direnç ve basınç farklılığı değerleri verilmiştir (Hasar, 2003).

Tablo 3.2. Membran direnç ve basınç farklılığı değerleri (Wiesner ve Aptel, 1996).

Membran Türü	Membran Direnci (m^{-1})	Basınç Farklılığı (ΔP) (bar)
Ters Osmoz	10^{10}	8-80,0
Nanofiltrasyon	10^8	3,5-10,0
Ultrafiltrasyon	10^7	0,5-7,7
Mikrofiltrasyon	10^6	0,3-3,0

Basıncın akı üzerine etkisi Şekil 3.5’ te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Basıncın fonksiyonu olarak akı değişimi (Wagner, 2001).

RO sistemleri için genel kural olarak net sürücü basınç (Net Driving Pressure – NDP) iki katına çıkarıldığında akı da iki katına çıkar. NF sistemleri de benzerdir, fakat akı ile net sürücü basınç arasındaki ilişki RO kadar doğrusal değildir. UF sistemlerinde ise besleme basıncı birkaç barın üzerinde arttırıldığında akı azalır. İşletme basıncı seçimi açısından en zor membran prosesi MF’ dur. Yaklaşık 0,5 atm’ nin üzerinde akı azalır. Bir genelleme yapılırsa; RO ve NF sistemlerinde süzüntü akısını optimize etmek için basınç bir değişken olarak kullanılabilirken, UF ve MF’ de basınç süzüntü akısını çok etkin biçimde belirlemez (Özkan, 2007).

3.1.1.2. Giderme verimi

Membran tarafından alıkoyulan kısmın ölçüsüdür. Membranın giderme verimi R ile ifade edilmektedir. R birimsiz bir büyüklüktür. 0 ile 1 arasında değişir. 0 bütün çözünmüş maddelerin membrandan geçtiğini, 1 ise membranın hiçbir madde geçişine izin vermediğini gösterir (Song ve diğ., 2006).

İki çeşit giderme veriminden bahsedilebilir. Bunlar, gözlenen giderme verimi ($R_{gözlenen}$) ve gerçek giderme verimi ($R_{gerçek}$)’dir. Gözlenen giderme verimi, elde edilen süzüntü akımı konsantrasyonu ile besleme akımı konsantrasyonu arasındaki giderme verimini ifade etmektedir ve denklem (3.2) ile ifade edilmektedir (Hasar, 2003).

$$R_{gözlenen} = \frac{C_f - C_p}{C_f} = 1 - \frac{C_p}{C_f} \quad (3.2)$$

Gerçek giderme verimi, elde edilen süzüntü akımı konsantrasyonu ile çözeltinin membran yüzeyindeki konsantrasyonundan yola çıkılarak hesaplanan giderme verimini ifade etmektedir ve denklem (3.3) ile hesaplanabilir.

$$R_{gerçek}(\%) = \frac{C_m - C_p}{C_m} = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (3.3)$$

Burada,

C_p : Süzüntü akımı konsantrasyonu

C_f : Besleme suyu konsantrasyonu

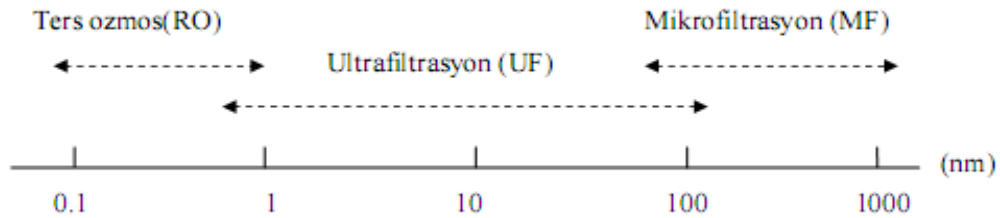
C_m : Membran yüzeyindeki konsantrasyon

3.2. Su ve Atıksu Arıtımında Membran Teknolojileri

En genel olarak uygulanan membran prosesler; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz, elektrodializ, gaz ayırma, dializ, osmoz, pervoparasyon, ters-osmoz ve membran distilasyonudur. Membran proseslerin en çok kullanılanları basınç uygulamalı olanlarıdır. Bunlar, boşluk büyüklüklerine bağlı olarak;

1. Ters Osmoz (RO)
2. Nanofiltrasyon (NF)
3. Ultrafiltrasyon (UF)
4. Mikrofiltrasyon (MF)

Bu membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre (Şekil 3.6) ayırt edilirler (Tchobanoglous ve diğ. 2003; Yalcın 1998; Fried, 2003).



Şekil 3.6. Membran prosesleri ve por büyüklükleri (Bilstad, 1997).

3.2.1. Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon 0,1 - 10 µm arasındaki partikülleri tutmak amacıyla kullanılır (Tangsubkul ve diğ., 2006). Konvansiyonel filtrasyon sistemlerine nazaran sudaki daha küçük boyuttaki partiküllerin tutulmasını sağlayan membran ünitesidir. Mikrofiltrasyon üniteleri ince ızgaralardan sonra ana arıtma prosesi olarak kullanılmalarının yanında ters osmoz veya nanofiltrasyondan önce ön arıtma ünitesi olarak da uygulanabilmektedir (Tchobanoglous ve diğ., 2003; Yalcın 1998; Fried, 2003). MF membranları Şekil 3.7’ de görüldüğü gibidir.

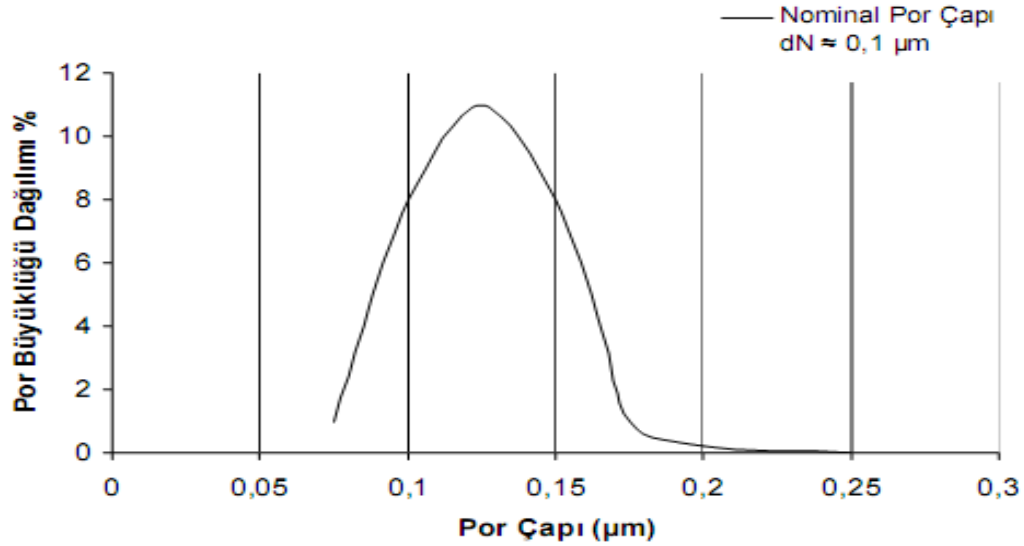


Şekil 3.7. Mikrofiltrasyon Membranları

Mikrofiltrasyonda, akım mebran yüzeyine paralel olarak uygulanır ve membrandan geçemeyen konsantre kısım, membran üzerinde birikir. Zamanla membran yüzeyinde direnç artar. Membran filtrasyonu, ekonomik olmayan bi duruma geldiğinde, membran temizlenmeli veya yenilenmelidir. Membran yüzeyinde katı kek tabakası oluşumu, yatay akış kullanılarak azaltılabilmektedir. Ayrıca MF’ de işletme sırasında konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmanın etkisini azaltmak için, vorteksli akımlar, titreşimler, elektriksel alanlar kullanılmaktadır (Tchobanoglous, 2003; Fried, 2003).

Mikrofiltrasyon membranlarının üretimi için daha çok PP (polipropilen), PTFE (politetrafloretilen), polikarbonat malzeme kullanılır. Ayrıca birkaç yıldan beri anorganik (seramik, alüminyum, çelik, elyafla güçlendirilmiş karbon) membranlar da kullanılmaya başlanmış bulunmaktadır. Anorganik malzeme öncelikle yüksek mekanik özellikler, yüksek termik ve kimyasal dayanıklılık istendiğinde tercih nedeni olmaktadır. Selülozasetat membranlar 2 - 7,5 pH deerleri arasında ve 15°C’ye kadar, PA membranlar ise 4 - 11 pH değerleri arasında kullanılmaktadırlar (Barlas, 2002).

Mikrofiltrasyon membranları “Nominal Por Çap” ile karakterize edilirler. Nominal Por Çapı, por büyüklüğü dağılımında en çok sayıda bulunan por büyüklüğüdür. Şekil 3.8’ de 0,1 μm nominal por çapına sahip, kullanımı yaygın bir mikrofiltrasyon membranının por dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.8. MF membranlarında por büyüklüğü dağılımı (Rautenbach, 1997).

Ön arıtım için klasik arıtım yerine MF kullanılması hem daha ekonomik hem de daha iyi kalitede çıkış suyu sağlamaktadır (Lazarova ve diğ. 2003). Son yıllarda su geri kazanımı konusu ağırlık kazandığından, MF membranlarının en yaygın uygulama alanı NF ve RO membranları öncesinde ön arıtma amacıyla kullanımıdır (Koyuncu, 2001). Ayrıca MF membranları endüstride sterilizasyon, meyve suları, şarap ve bira hammaddelerinin ayrımı, saf su üretimi, fermantasyon, yağ-su karışımlarının arıtımı için de kullanılmaktadır (Zaidi, 1992).

İyi bir çıkış suyu kalitesi vermese de NF için iyi bir ön arıtma ya da çok aşamalı bir MF sisteminde çıkış suyu kalitesini arttırmak için kullanılabildiği ve MF’nin tekstil atıksuyunu ön arıtmada daha realistik yöntem olduğu görülmüştür. MF membranı yüzde 40 oranında renk ve bulanıklık giderebilmesine rağmen, yüksek miktarda çözünmüş tuz bulundurabilmektedir (Fersi ve diğ., 2005).

3.2.2. Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon basınçla yürüyen bir ayırma prosesidir. UF membranları ile, MF membranları tarafından tutulan maddelere ilaveten boyutları 10^{-3} ile 10^{-1} μm arasında değişen virüsler, hümkik asitler, yüksek moleküler ağırlıklı proteinler ve organik maddeler sudan ayrılabilir. Genelde UF membran tarafından geçirilmeyen maddeler şekerleri, biomolekülleri, polimerleri ve kolloidal partikülleri ihtiva ederler (Tchobanoglous ve diğ., 2003; Yalcın 1998; Fried, 2003). UF membranları Şekil 3.9’ da verilmiştir.



Sekil 3.9. Ultrafiltrasyon Membranları

Ultrafiltrasyon membranları tekstil endüstrisinde haşıl maddelerinin ve indigo boyar maddelerinin geri kazanımı, kağıt endüstrisinde ağartma atıksularının konsantre edilmesi, metal endüstrisinde yağ emülsiyonlarının konsantre edilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Barlas, 2002).

3.2.3. Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon (NF) membranları daha düşük basınç değerlerinde işletilebilmelerine rağmen iyon giderimini sağlayabilmeleri ile düşük yatırım maliyetleri açısından ters osmoz membranlarına üstünlük sağlanmaktadır (Tchobanoglous ve diğ., 2003; Yalcın 1998; Fried, 2003). Nanofiltrasyon membranlarının önemli ve farklı bir özellikleri iyon seçici olmalarıdır. Bir değerlikli iyonlar membrandan büyük oranda geçerler (Van der Bruggen ve diğ., 2001). NF membranları Şekil 3.10’ da verilmiştir.



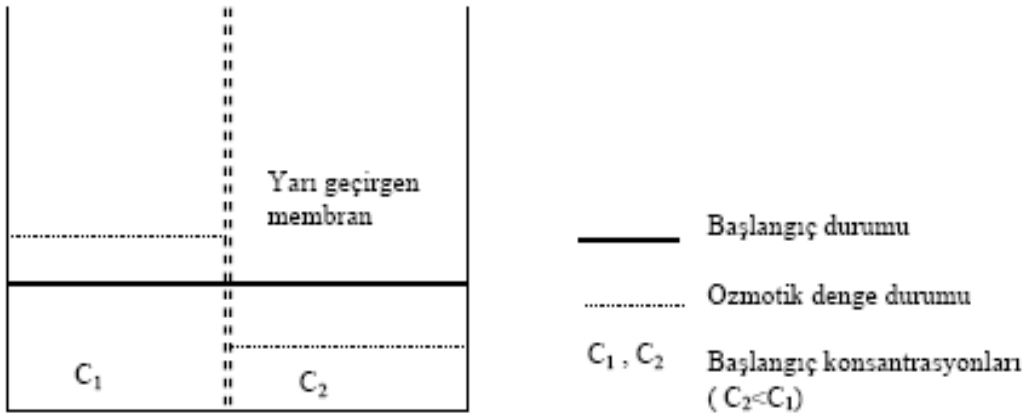
Sekil 3.10. Nanofiltrasyon Membranları

Nanofiltrasyon membranlarının ters osmoz sistemleri ile karşılaştırılması şöyledir;

- NF membranları, RO membranları gibi çoğunlukla asimetrik şekilde üretilmektedir.
- RO'dan farklı olarak yüksek NaCl konsantrasyonlarında ve düşük basınçlarda bile yüksek akı sağlanabilmektedir.
- NaCl için tutma oranları geniş aralıklarda değişebilmektedir. Fakat RO membranlarına göre oldukça düşüktür (Pervov ve diğ., 2000).

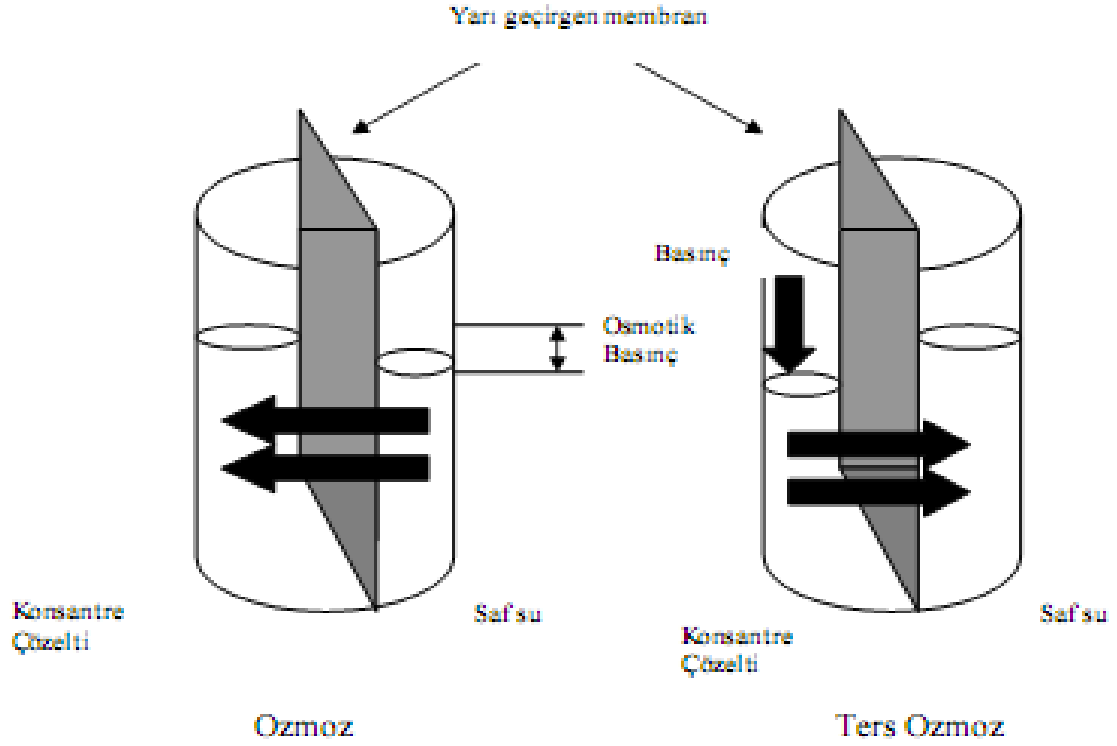
3.2.4. Ters Osmoz

Farklı tuz konsantrasyonlarındaki iki çözeltinin, ideal durumda sadece çözücüyü (su) geçiren fakat çözünmüş maddeleri geçirmeyen “yarı geçirgen” bir membran ile ayrılması durumunda, çözücü (su) her iki çözeltinin konsantrasyonunu eşitlemek için membrandan geçmeye başlar. Membrandan geçen su, konsantrasyonu yüksek tarafın seyrelmesine ve konsantrasyonu düşük tarafın derişik hale gelmesine neden olur. Aynı zamanda su seviyeleri değişir ve seyrelen tarafta su yüksekliği artarken, konsantrasyonu artan tarafta düşer (Şekil 3.11). Bu durumda oluşan hidrostatik basınç ile daha fazla seyrelme engellenir. Bu dinamik denge durumunda görülen basınç farkı, çözeltinin saf çözücüye karşı ozmotik basıncına (ya da iki farklı konsantrasyondaki çözeltilerin ozmotik basınç farklarına) karşılık gelir (Kaleli, 2006).



Şekil 3.11. Osmoz prensibi

Membran sistemleri içinde en yaygın kullanım alanına sahip olan RO sistemleridir. (Madaeni, 1999). Ters osmoz, konsantre çözeltiye çözeltinin osmotik basıncından daha yüksek basınç uygulanmasıyla ortaya çıkan kütle transfer olayıdır (Kural, 2000). Ters osmoz membranları osmotik basınç prensibinden hareketle geliştirilmiştir. Hücre zarı dışında bulunan yüksek miktarda su; zarın iki tarafındaki yoğunluğu ve basıncı eşitlemeye çalışır. Basınç, osmotik basıncı büyük olan konsantre solusyona uygulandığı zaman suyun geçişi tersine döner ve ters osmoz basıncı uygulanmış olur. Proseste membrana uygulanan basınç, faz değiştiren su miktarının yüksekliğine eşdeğerde osmotik basıncın ters yönde uygulanmasına eşit olmaktadır (Tchobanoglous ve diğ., 2003; Baker, 2004). Ters osmoz membranlarının çalışma aralığı 0,1 ile 1 nm arasında olup, RO membranları ile, membran prosesleri içerisinde en ileri ve en yüksek giderme verimlerinde iyon ve katyonları, tüm çözünmüş maddeleri ve metal iyonlarını sudan giderilebilmektedir (Tchobanoglous ve diğ., 2003; Baker, 2004). Şekil 3.12’ de osmoz ve ters osmoz görülmektedir



Şekil 3.12. Osmoz ve ters osmoz sistemlerinin şematik gösterimi (Scott, 1995).

RO tekniği filtre tekniğinden farklıdır. Bir filtrede su filtre yüzeyine dik olarak hareket eder ve sudan ayrılması istenen katılar filtre yüzeyinde kalır, suyun yüzde 100'ü süzülür. Oysa RO tekniğinde su RO membranı yüzeyine paralel olarak hareket eder, membranın iki tarafındaki basınç farkı ile mineralli suyun bir kısmı mineralleri terk ederek ve saf olarak membranın diğer tarafına geçer. Mineralli sular RO membranı boyunca hareket ederken su miktarı gittikçe azalır, ancak kalan suyun mineral miktarı gittikçe artar. Kalan su, sudan ayrılması istenen mineraller ile beraber RO cihazını terk eder. RO tekniğinde, suyun içindeki mineral miktarına göre bu atılan suyun oranı hesaplanır. “Mineral Filtresi” olarak tanımlanan RO’ da filtrasyon mertebesi bir mikronun binde biri altındadır (0,001 mikron altında). Teorik olarak, minerallerin membrandan diğer tarafa geçmemesi gerekir, ancak tatbikatta çok az bir miktar mineral saf su ile beraber membranı aşar. “Mineral kaçağı” olarak adlandırılan bu olayın miktarı ham suyun içindeki minerallerin türüne ve miktarına, kullanılan RO membranı türüne, RO cihazının işletme basıncına, atıksu oranına ve RO cihazının tasarımına göre değişir. Örneğin, deniz suyunu iyileştiren RO cihazları suyun içindeki çözünmüş minerallerin yüzde 99’unu ayırır (yani yüzde 1 kadar mineral iyi su tarafına kaçar), deniz suyundan iyi su elde edilirken ham

suyun yüzde 60 kadarı atık olarak atılır. Oysa 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlikteki bir kuyu suyundan kazan besı suyu üreten bir RO cihazının yüzde 3 kadar mineral kaçırmasına müsade edilir, bu işlem sırasında ham suyun yüzde 20 kadarı atıksu olarak atılır. Normal ters osmoz membranlarında kaçak yüzde 5-10, geliştirilmiş ters osmoz membranlarında ise yüzde 1 civarındadır. Membran kalınlığının kaçak miktarı üzerinde herhangi bir etkisi yoktur (Özkan, 2007).

Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’ te TO membranları verilmiştir.



Şekil 3.13. Ters osmoz membranı



Şekil 3.14. Farklı çaplardaki ters osmoz membranı

Ters osmoz membranları en küçük gözenek çapına sahip olduklarından, tıkanma olasılıkları daha yüksektir. Bu yüzden ters osmoz işlemi öncesi iyi bir ön arıtma yapılması gerekmektedir. Ters osmoz ile suda bulunan tüm çözülmüş maddelerin giderilmesi hedeflendiği için, RO ile arıtılacak sularda en önemli parametre şüphesiz iletkenlik ve

TÇM değeridir. Bu değerler bize arıtılacak ham su hakkında net bilgiler vermektedir. RO ile elde edilen su kalitesi, membran tipi, işletme basıncı, pH, ham su karakteristiği ve sıcaklık gibi pek çok etkene bağlıdır. Genelde yüksek pH'da verim artar (Tchobanoglous, 2003; Baker, 2004).

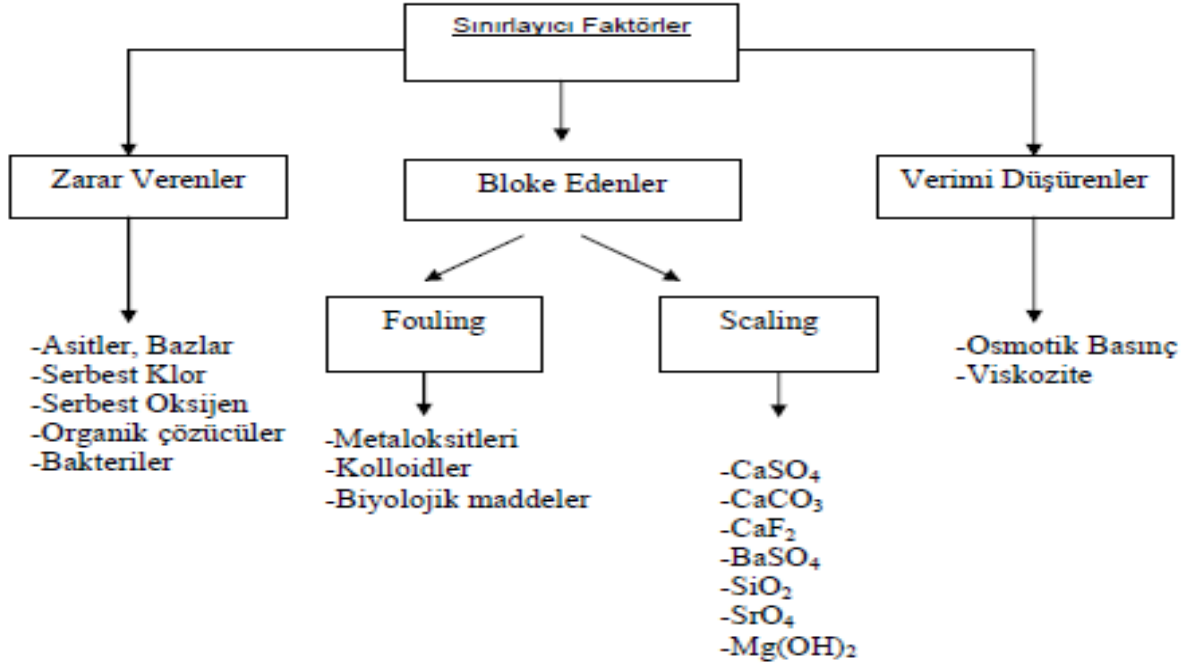
Ters osmoz prosesinde, membran malzemesinin seçimi önemlidir. Yaygın olarak kullanılan ters osmoz membranları, asimetrik veya kompozit yapıda olmaktadır. ideal ters osmoz membranlarının, kimyasal ve biyolojik etkilere dayanıklı, mekanik kararlılığı yüksek ve uzun çalışma sürelerine dayanıklı olması gerekmektedir. Membran teknolojisindeki ilerlemeler sonucunda, yüksek sıcaklık, geniş pH aralıklarına ve yüksek klor değerlerine dayanıklı membranlar geliştirilmektedir (Yalçın, 1998).

RO membranları atıksu arıtma tesisi çıkış suyundaki toplam organik karbonu NF yüzde 65-80, RO yüzde 85-99 oranında gidermektedir. Ters osmoz sistemleri nötral bazlı kirleticilerin, çözünmüş metal ve patojenlerin gideriminde kullanıldığı bilinen etkili bir yöntemdir (Adham ve diğ., 1998; Gauwbergen ve diğ., 1999). Ters osmoz suda çözünmüş olarak bulunan bütün iyonları (bikarbonat, sülfat, klorür, bakır, nitrat, kalsiyum, magnezyum vb.) yüzde 99'a varan oranlarda arıtarak suyun iletkenliğini düşürür (Özkan, 2007).

Tekstil endüstrisinde boyama, apre gibi ürüne son halini verecek işlemlerde yüksek su kalitesi gerekli olduğundan, en küçük por çapına sahip olan RO membranların en iyi ayırmayı yapacağından, yüksek su kalitesi eldesinde kullanılması mümkün olmaktadır. RO membranları kullanılırken, sistemi besleyecek atıksuların karakterizasyonunun çıkarılması, fizikokimyasal arıtım ile çözünmüş organik karbon ve renk gideriminin sağlanması ve bunun için jar testle koagülasyon/flokülasyon işlemlerinde kullanılacak uygun dozajın belirlenmesi ve gerekiyorsa RO'dan önce daha kaba bir filtrasyon (MF ya da UF) yapılması gerekmektedir (Bes-Pia ve diğ., 2002).

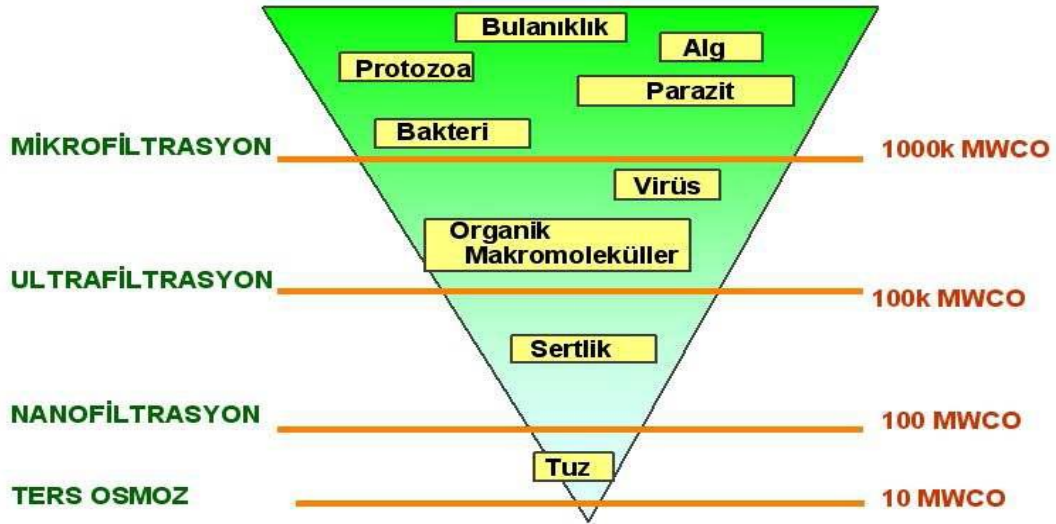
3.2.4.1. Ters Osmoz Prosesini Sınırlayan Faktörler

Ters osmoz prosesi bazı koşullarda olumsuz etkilenmektedir. Ters osmoz prosesini sınırlayan faktörler Şekil 3.15' te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Ters osmoz prosesini sınırlayan faktörler

Şekil 3.16.'da membran teknolojilerin tutma ve ayırma aralıkları görülmektedir.



Şekil 3.16. Membranların tutma ve ayırma aralıkları

3.3. Membran Karakteristikleri

Membran tipi belirlenirken düşünülmesi gereken birçok değişken vardır. Bunlar, sırasıyla aşağıda ele alınmıştır.

3.3.1. Kimyasal Uygunluk

Membran polimerleri kimyasal olarak çözeltiye uygun ve dayanıklı olmalıdır. Çözelti içindeki kimyasal maddelere göre, membranda performans düşüklüğü meydana gelir. Bazı membranlar kloro karşı dayanıksızdır. Bu nedenle bu tip membranların kullanımında besleme suyunda klor olmamasına dikkat edilmelidir. Suyun pH' sı da belli aralıklarda olmalıdır.

3.3.2. Sıcaklığa Dayanıklılık

Sıcaklık, plastik malzemenin performansını etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Özellikle yüksek endüstriyel ayırma proseslerinde, kullanılacak malzemeye dikkat edilmelidir. 0 °C'den 82 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda membran teknolojisi uygulanabilmektedir. Sıcaklığa en hassas olan membranlar ters osmoz membranlarıdır.

Sıcaklık, hem su akımını hem de osmotik basıncı etkiler. Geçirgenlik katsayısı, sıcaklık ile artar. Sıcaklıktaki her 1 °C'lik artış ile, membranın akı değeri, yüzde 3 artar. Sıcaklığa bağlı düzeltme,

$$J_T = J_{25} \cdot \left[0.03 \right]^{T-25} \quad (3.4)$$

ifadesi ile yapılmaktadır (Hasar, 2003).

3.3.3. Basınca Dayanıklılık

Her membran türü için farklı basınçlar uygulanmaktadır. En düşük basınç mikrofiltasyonda (<2 bar); ultrafiltasyonda (1-8 bar), nanofiltasyonda (10-30 bar), ters osmozda (10-100 bar) basınç uygulanmaktadır. Ters osmozda basıncın artmasıyla akı da

artar, süzüntü suyunun konsantrasyonu ise azalır. Normalden yüksek basınç, membranların yapısını bozar.

3.3.4. pH' ya Dayanıklılık

Asitlik ve bazikliğin bir belirtisi olan pH, membranın ömrü açısından önemlidir. Genelde kullanılan pH aralığı 2-8 dir. Selüloz asetat membranları pH' a karşı çok hassastırlar ve kullanılan pH aralığı 4-6' dır. Yüksek pH' larda kullanım alanı sınırlıdır (Barlas, 2002).

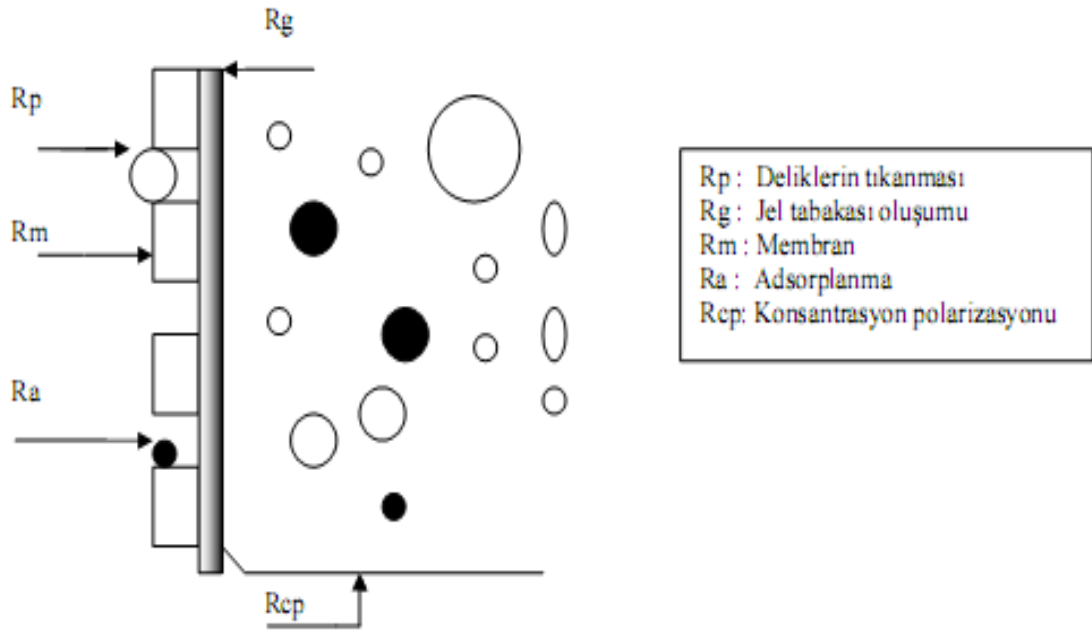
3.3.5. Mekanik Kararlılık ve Ekonomik Özellikler

Yüksek basınçların kullanıldığı membranların mekanik dayanıklılığının da yüksek olması gerekir. Genel olarak membranlar yüksek geçirgenlik, iyi seçicilik, kararlı işletme özelliğine sahip olmalı ve düşük maliyet gerektirmelidir. Ekonomik özellikler de membran seçiminde önemlidir.

3.4. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Tıkanma

Polarizasyon ve tıkanma, membran sisteminin ideal durumunda bir düşüş meydana getiren durumdur. Meydana gelen düşüş akıdaki azalma ile ortaya çıkarmaktadır. Özellikle makromoleküller ve partikül maddeler, polarizasyon ve tıkanmaya sebep olurlar. Akıda düşüş meydana getiren polarizasyon ve tıkanma, membran yüzeyinde ilave bir bariyer oluşturarak, membran direncini arttırırlar (Mulder, 1996).

Şekil 3.17' de Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri (Mulder, 1996).

Tıkanma; filtrasyon biçiminden, çapraz akış hızı ve basınç gibi hidrodinamik koşullarından etkilenir. Ayrıca tıkanma, membran özelliklerine (por boyutu, yükü ve pürüzsüzlüğü) ve besleme suyu kimyasına da (pH, iyonik güç, iki değerlikli katyon konsantrasyonu vb.) bağlıdır (Kim ve di., 2006). Besleme suyunun pH' ı ve iyonik bileşimi kirlenici ve membran arasında ve kirlenici ve kirlilik tabakası arasında kimyasal etkileşimleri etkiler (Costa ve di., 2006). Yüklü membranlarda pH'ın alkali değerlere artırılmasıyla membran yüzeyi daha hidrofilik olacağından tıkanma eğilimi azalabilir (Mantari ve di., 2006).

Tıkanma ile membran yüzeyinde istenmeyen birikintiler oluşur. Membranlarda tıkanma, besleme suyunda bulunan kolloidlerin, çözünmüş maddelerin, ve süspans maddelerin membran yüzeyinde birikerek, adsorpsiyon gibi etkilerle membranın gözeneklerini kapatmasına neden olur. Membran proseslerde tıkanma; giriş suyunun ön arıtmaya tabi tutulması, membranın geri yıkanması ve kimyasal madde ile temizlenmesi ile kontrol edilebilir (Tchobanoglous, 2003).

Kirlenici membran tıkanması, membran sistemlerin ekonomik olmasını kısıtlayan ana faktördür ve membranda hidrolik direnç oluşmasına sebep olur.

Membranda tıkanma genel olarak;

- Besleme akımı içindeki maddelerin zamanla membran yüzeyinde birikmesi,
- Besleme akımı içindeki maddelerin kimyasal özelliklerinden dolayı bileşik oluşturması ve çökmesi,
- Membran yüzeyinde biyolojik aktivasyon ve bakteriyel oluşumu,
- Besleme akımı içinde membran yüzeyi ile fiziksel ya da kimyasal tepkimeye girerek membrana zarar vermesi ile oluşur (Tchobanoglous, 2003).

Atıksuda membran tıkanmasının sebepleri Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Atıksuda membran tıkanmasının sebepleri (Tchobanoglous, 2003).

Tıkanma Çeşidi	Sebepleri	Açıklamalar
Kek/Biyofilm Oluşumu	Metal oksitler, organik ve inorganik kolloidler, bakteri ve mikroorganizmalar, konsantrasyon polarizasyonu	Ön arıtma (yada RO öncesi MF) ile biyofilm oluşumu kontrol edilebilir.
Çökme	Kalsiyum sülfat, Kalsiyum karbonat, Kalsiyum florur, Baryum sülfat, silikat	Asit ve antiskalant ile tuz içeriğini düşürülerek çökme engellenebilir.
Membranın Zarar Görmesi	Asit, Baz, Yüksek-düşük pH değerleri, Serbest Klor, Bakteri, Serbest Oksijen	Ön arıtma (Kimyasal arıtma, pH dengeleme) ile membranın zarar görmesi engellenebilir.

Membran proseslerde göz önüne alınması gereken ön arıtma ihtiyacı, temizleme, işletme şartları, maliyet ve performansı etkileyen önemli bir tasarım ve işletme parametresidir.

Ters osmozda ön arıtma ihtiyacı sistem tasarımında önemli rol oynar. Tıkanmış bir membranı temizlemek oldukça güçtür. Membranın tıkanmasını önlemek için besleme suyu sisteme verilmeden önce ön arıtmadan geçirilerek suda bulunan askıda katıların ve koloidlerin, ayrılması gerekir. Böylece ön arıtma ile membranın ömrü arttırılarak, tıkanma süresi geciktirilebilir.

Yapılacak ön arıtmanın amaçları aşağıda sıralanmaktadır (Yalçın, 1998):

- Membranın çalışma süresini uzatmak
- Membranın tıkanmasını önlemek
- Sistemin performansını arttırmak
- Sistemin bakım ve onarım maliyetini azaltmak.

Membranlar seçici geçirgen yapıya sahip olduklarından, besleme çözeltisi içindeki maddelerin (tuzların) membrandan geçişini engellerken, çözücü formundaki suyun

membranın öbür tarafına geçmesine izin verirler. Böylece membranın bir tarafında yüksek konsantrasyonlu, diğer tarafında ise (süzüntü kısmı) çok düşük konsantrasyonlu akımlar oluşur. Membran prosese verilen besleme akımı devam ettikçe membran tarafından tutulan maddeler, membran yüzeyinde birikerek yüksek konsantrasyon artışına sebep olurlar. Bu olay, membran yüzeyindeki tuzların konsantrasyonunun aşırı artışı anlamına gelen “konsantrasyon polarizasyonu” olarak adlandırılır (Slater ve di., 1985). Konsantrasyon polarizasyonu, iyi bir karışım oluşturarak azaltılabilmektedir. Bunu sağlamak için, besleme kanalında membran yatay akış hızı artırılarak türbülanslı akım oluşturulması gerekir.

Konsantrasyon polarizasyonunun oluşturduğu en büyük sorun, membranda tıkanmaya neden olmasıdır. Bundan en çok etkilenen proses ultrafiltrasyon prosesidir (Mulder, 1996).

Konsantrasyon polarizasyonunun etkileri:

- 1- Membran yüzeyinde osmotik basıncın artması ve akının azalması
 - 2- Membran yüzeyindeki konsantrasyon artışıyla membran deliklerinin tıkanması ve böylece akı miktarının azalması
 - 3- Membran arıtma veriminin değişmesi ve
 - 4- Membran kirlenmesi
- olarak sıralanabilir (Yalçın, 1998).

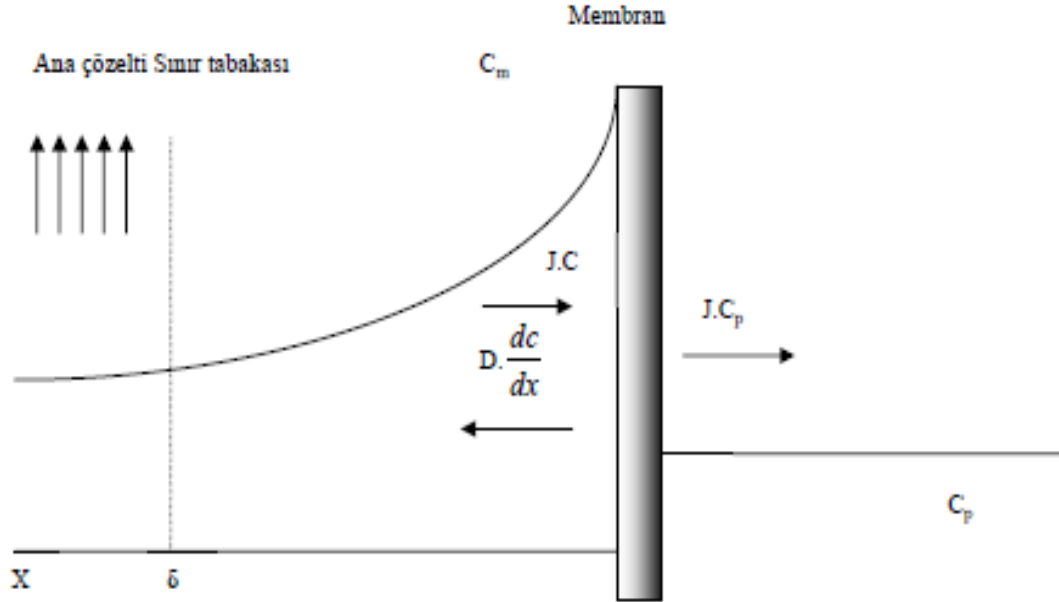
Konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak ve kütle transferini arttırmak için çeşitli metotlar denenmiştir. Tablo 3.4’ te membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak için çeşitli metotlar verilmiştir (Hasar, 2003).

Tablo 3.4. Membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak için uygulanan metotlar

Metot	Etki
İyi bir ön arıtma	Su kalitesi iyileştikten konsantrasyon polarizasyonu etkisi azalır.
Yatay hızın artırılması	Konsantrasyon polarizasyonunun etkisi azalır.
Türbülans etkenleri oluşturmak	Basınç azalması yüksek olabilir.
Akım kararsızlıkları	Şaşırtıcılar ile akım oluşturmak
Aşırı ses dalgaları	Aşırı ses dalgaları membran yüzeyinde kavitasyona sebep olur. Kompleks modül tasarımı meydana getirir.
Elektriksel yük	Elektrik alanları, makro molekül yüklerini etkiler
Kimyasal metotlar	Membran yüzeyinde yük değişiklikleri meydana getirir

Membran yüzeyinde biriken tuzların konsantrasyonu zamanla artmaya başlayınca bir süre sonra membran yüzeyindeki konsantrasyon değeri besleme akımındaki konsantrasyon

değerinden yüksek olmaya başlar ve membran yüzeyindeki konsantrasyon birikmesi geri difüze olmaya başlar. Durum daha kararlı hal alır ve iki yöndeki difüzyon birbirine eşitlenir. Böylece, membran yüzeyinde oluşan konsantrasyon profili, sınır tabakası içinde gözlemlenir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Membran yüzeyinde konsantrasyon profili (Mulder, 1996).

Membran δ kadar mesafede, konsantrasyonu C_b olan tam karışımli akım vardır. Sınır tabakası oluşumu membrana doğru yaklaştıkça gözlenmektedir. Sınır tabakası içinde konsantrasyon tam karışımli olarak aktığı C_b konsantrasyon değerinden, maksimum C_m konsantrasyon değerine çıkmaktadır. Bu tabaka içindeki akışkanın yükü $J \cdot C$ ile belirtilmektedir. Çözelti içindeki maddelerin tamamı membran ile tarafından tutulamadığından membrandan geçen akışkanın yükü $J \cdot C_p$ ile belirtilmektedir. Membran yüzeyinde oluşan birikme, geriye doğru difüzyon akımının oluşmasına sebep olmaktadır (Yalçın, 1998).

Kararlı durumda, membrandaki kütle denklemi,

$$J \cdot C + D \cdot \frac{dC}{dx} = J \cdot C_p \quad (3.5)$$

ile belirtilmektedir.

Sınır şartlarında,

$$x = 0 \longrightarrow C = C_m$$

$$x = \delta \longrightarrow C = C_b$$

olmaktadır. İntegrasyon sonucunda,

$$J(C_p - C) = D \frac{dC}{dx} \quad (3.6)$$

$$\int_0^\infty J \cdot dx = D \cdot \int_{C_b}^{C_m} \frac{dC}{C_p - C} \quad (3.7)$$

$$\frac{C_m - C_p}{C_b - C_p} = e^{\frac{J\delta}{D}} \quad (3.8)$$

bağıntısı elde edilmektedir. Burada, difüzyon katsayısı (D) ile, sınır tabakası kalınlığı (δ), arasındaki oran, kütle transfer katsayısı (k) ile belirtilmektedir. Burada k,

$$k = \frac{D}{\delta} \quad (3.9)$$

ile ifade edilmektedir. Gerçek giderme verimi ($R_{\text{gerçek}}$);

$$R_g = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (3.10)$$

$$\frac{C_m}{C_b} = \frac{\exp\left(\frac{J}{k}\right)}{R_g + \left(1 - R_g\right) \exp\left(\frac{J}{k}\right)} \quad (3.11)$$

formülü ortaya çıkmaktadır (Yalçın, 1998). C_m ve C_b sırasıyla, membran yüzeyinin ve besleme çözeltisinin konsantrasyonlarıdır. C_m/C_b oranı konsantrasyon polarizasyonu modülü olarak adlandırılmaktadır. Bu oran akı ile artmaktadır. Bu sırada, geri dönüş oranı (R) artmakta ve kütle transfer katsayısı (k) azalmaktadır. Yüksek k değerleri, konsantrasyon polarizasyonunun düşük olduğunu göstermektedir (Yalçın, 1998).

Çözelti içindeki bütün maddeler membran tarafından tutulduğu durumda (ideal durum, $R = 1$ ve $C_p = 0$) denklem,

$$\frac{C_m}{C_b} = \exp\left(\frac{J}{k}\right) \quad (3.12)$$

halini almaktadır. Bu durum kararlı durumu ifade etmektedir. Burada, C_m / C_b oranı, sınır tabakası kalınlığı ve akı ile birlikte eksponansiyel olarak artmakta ve artan çözünümlü madde difüzyonu ile azalmaktadır. Bu durum ise yüksek geçirgenliğe sahip membranlarda polarizasyonun daha zor meydana geldiğini göstermektedir. Konsantrasyon polarizasyonunun etkisini, membran yatay hızı artırılarak azaltılabilmektedir (Yalçın, 1998).

3.5. Membranların Yıkama

Membranda oluşan performans azalmasına bağlı olarak membranlar belli periyotlarda bakıma alınırlar. Ön arıtma metotları tıkanmayı azaltsa da membranın temizlenmesi devamlı suretle uygulanmaktadır. Yıkama sıklığı membran tesisinin performansına bağlı olarak değişmektedir. Yıkama türünün seçimi modül konfigürasyonuna, membran tipine, kimyasal direncine ve kirleticinin türüne bağlı olarak değişmektedir (Özkan, 2007).

3.5.1. Hidrolik Yıkama

Temiz su ile yıkama iki şekilde olmaktadır. Membranın akış yönü ile aynı yönde bir yıkama yapılması (hızlı yıkama) ya da süzüntü kısmından besleme tarafına doğru membranın akış yönünün tersi doğrultusunda bir yıkama yapılması (ters yıkama) şeklinde olabilir. (Marcucci ve diğ., 2001).

Bu işlemle tıkanan membran temizlenmeye çalışılır. Esas amaç, membran yüzeylerine gevşek olarak tutunmuş materyallerin uzaklaştırılmasıdır. Geri yıkama prosesinde önce yıkanacak modüldeki arıtım durdurulur sonra basınçla bu sefer dıştan içe doğru membranlara içten dışa doğru saniyeler mertebesinde (yaklaşık 10-20 sn) kademeli olarak su basılır. Burada kullanılan su ayrı tanklarda bu amaç için biriktirilen sistem süzüntü suyudur (Zenon Env. Inc., 2002). Dolayısıyla, birinci temizleme metodu olan bu geri yıkamada her 10-15 dakikada bir üretim durdurulup, toplam yaklaşık 1 dakikalık bir geri yıkama ile zaman kaybı olur. Her üretici firmanın kendine özgü geri yıkama metodu olsa da ana hatlarıyla metotlar birbirine benzerdir.

3.5.2. Kimyasal Yıkama

En çok uygulanan yıkama çeşididir. Çok değişik kimyasallar kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon ve ters osmoz sistemlerinde meydana gelen kirlenmeyi temizlemek için kimyasal madde kullanma gereği ortaya çıkmaktadır (Özkan, 2007). Kimyasal yıkama sonrası membranın iyon giderim verimi düşebilmektedir (Wintgens ve diğ., 2004).

Membranların optimum temizlenmesi, temizleyici maddelerin membran kirleticilerine ve membran uygunluğuna bağlılık gösterir. Bu nedenle kirliliğin bileşiminin bilinmesi büyük önem taşır. (Ang ve diğ., 2006). Mikroorganizmalar ile kirlenme (biofouling) durumunda dezenfektanlar kullanılmalıdır. Tıkanma koşullarında uzun süre işletmeden sonra membran temizliği ile düzelme daha az etkili olmaktadır (Lu ve diğ., 2006). Yüksek basınçlı sistemlerde kimyasal yıkama ihtiyacı daha sıktır (Tangsubkul ve diğ., 2006).

Hidrolik yıkamanın yanı sıra tıkanma derecesinin arttığı durumlarda kimyasal yıkama ikinci temizleme metodu olarak kullanılabilir. Genellikle yaklaşık 15 günde bir kimyasalların eklendiği süzüntü suyu ile geri yıkama yapılır. Sitrik asit (pH düşürüp tortuları çözmek için) ve sodyum hipoklorit (organik veya mikrobiyolojik filmleri parçalamak için) bu amaç için kullanılmaktadır. Bu temizlik yine otomatik olarak gerçekleştirilip, birinci tur geri yıkamaya göre daha uzun sürede uygulanmaktadır. Geri yıkama, yaklaşık 30 saniyelik, 5-10 periyot uygulanır ve membranlar bu periyotlar arasında 1-2 dakika dinlendirilir. Kullanılan dozlar yaklaşık 250 mg/l klor ve 2,000 mg/l sitrik asit şeklindedir. Bu temizleme periyodu boyunca temizlenen membran modülü 30-45 dakika servis dışı kalır (Zenon Env. Inc., 2002).

Kimyasal temizleme metodu da yetersiz kalırsa üçüncü tür temizleme metodu uygulanır. Bu uygulamada membran tankı servis dışına alınıp tank boşaltılır, membranlar ikinci temizlemede uygulanan kimyasal dozlardan daha yüksek dozlar içeren sitrik asitli ve sodyum hipokloritli basınçlı süzüntü suyu ile yıkanır, daha sonra tank bu yüksek dozlu kimyasalları içeren süzüntü suyu ile doldurulup membranlar batık halde 5 saat civarı bekletilir. Bekleme sonunda düşük pH' lı bu temizleme suyunu nötralize etmek için sodyum hidroksit tanka basılır, tank boşaltılır ve bu su nihai bertaraf için atılır, veya tesis girişine geri gönderilir. Bu en yoğun temizleme metodudur ve prosese ve atıksu karakterine bağlı olarak yılda birkaç kez tekrarlanabilir. Küçük tesislerde, membranları

kendi tankında bu kimyasallara batırmak yerine, membran kasetleri tankın üzerindeki hareketli vinç ile kaldırılıp, ayrı bir küçük bir tanka konulup, burada bu kimyasallara temizleme yapılabilir (Zenon Env. Inc., 2002). Ancak büyük tesislerde bu işlem işletme ve personel açısından pratik olmayıp orjinal tankta temizleme işleminin gerçekleştirilmesi daha uygundur (Yiğit, 2007).

3.6. Tekstil Endüstrisinde Membran Teknoloji Uygulamaları

Son yirmi yılda geliştirilen membran prosesleri sayesinde kötü kalite suların güvenilir, emniyetli ve ekonomik olarak kullanımının mümkün olduğu kanıtlanmıştır. Membran proseslerinin belli başlı kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir:

- Atıksuların arıtılmasında,
- Saf su ve yumuşak su üretiminde,
- Gıda ve ilaç sanayi prosesleri ayırma işleminde,
- Yeraltı suyunun tuzlu su geçişini önlemek üzere tekrar yüklenmesi (Ernst, 1999),
- Dolaylı içilebilir su olarak, (içilebilir su kalitesine getirilmiş suyun rezervuarlara alınması, burada bir süre bekletilmesi ve tekrar arıtım için şebekeye geri verilmesi),
- Doğrudan içilebilir su olarak,
- İyon değiştirme, sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayrımında,
- Sulardan veya diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayrımında (Yalçın, 1998; Bilstad, 1997),
- Atıksu akımından bazı maddelerin geri kazanılmasında,
- Sulama suyu olarak, (arıtılmış sudaki mineral seviyesine göre MF sonrası RO da gerekebilir),
- Buhar kazanı ve buhar jeneratörü besleme suyu arıtımında,
- Gıda sektöründe ham madde geri kazanımı ve üretimi, proteinlerin konsantre edilmesinde,
- Nükleer endüstrisinde,
- Elektro daldırma lak kaplama yönteminin atıksu arıtımı ile birleştirilerek optimizasyonunda (otomotiv sanayi, alet üretimi, ambalaj sanayi gibi proseslerde başarıyla uygulanmaktadır),
- Endüstriyel su hazırlanmasında.

Organik ve inorganik kirliliği yüksek düzenli çöp depo sızıntı sularının arıtımında; metal üretiminden kaynaklanan ve çözünür yağ içeren atıksuların arıtımında; metal işleme yıkama sularında çözücü-su, ve ya-su karışımlarının arıtımında da membran prosesleri kullanılır. Tekstil endüstrisindeki ıslak prosesler boya, deterjan ve askıda katı yönünde çok yüksek kalitede ve miktarda su gerektirir. Atıksu arıtma tesisi çıkışının dearj standartlarını sağlaması için konvansiyonel fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma tesisleri kullanılır. Arıtılmış su çıkışını üretim prosesine geri döndürebilmek için ise konvansiyonel arıtma tesislerine ilave olarak daha ileri arıtım gerekmektedir. Aktif çamur çıkışının UF ve RO proseslerinden geçirildikten sonra tekstil endüstrisinin tüm ıslak proseslerinde kullanılabileceği belirtilmektedir (Ciardelli, 2000).

Soya işlemedeki atıksular için kapalı sistemler; tatlı sıvıların konsantrasyonu; bitki ve meyve sularının konsantrasyonu; şarap üretiminde üzüm suyunun konsantrasyonu; patates nişastası üretiminde atıksuların muamele edilmesi; kahveden ekstrakte edilen sınının konsantrasyonu; alkol üretiminde distilasyondan kalan maddenin muamele edilmesi ve fermentasyon suyunun muamele edilmesinde membran yöntemler kullanılarak gıda sektöründe ilerlemeler kaydedilmiştir.

Tekstil boyahanesi için proses suyu üretiminde de membran prosesler kullanılmaktadır. Genellikle yumuşatılmış su kullanan tekstil boyahanelerinde yılın 12 ayı ürün kalitesinde standardı yakalamak zordur. Çünkü kuyu veya baraj sularının kimyasal nitelikleri yıl içinde çok değişkendir. Membran ile elde edilen işletme suyunun sabit kalitesi değişken kalitedeki su kaynaklarının arıtımı için bir çözüm olarak düşünülebilir (Madaeni, 1999).

Membran filtrasyon prosesleri; sadece yüksek giderme verimi değil aynı zamanda da yüksek kalitede suyun ve diğer değerli yan ürünlerin geri kazanımına da olanak sağlamaktadır. Tekstil işlemlerinde membran sistemlerinin tercih edilmesinin en büyük nedeni; mevcut alanın sınırlı olduğu noktasal kaynaklardaki arıtımın ilk yatırım ve işletme maliyetlerini minimize etmesi olarak ifade edilebilir. Membran sistemleri seçilirken;

- Arıtılacak suyun kullanım ihtiyacına en uygun membran,
- İlk yatırım ile işletme maliyetlerini dengeleyecek olan membran,
- Konfigürasyonu kurulacak membran sisteminin üretim prosesine entegrasyonu

gibi hususlar dikkate alınmalıdır (Büyükdere, 2008).

4. MATERYAL VE METOD

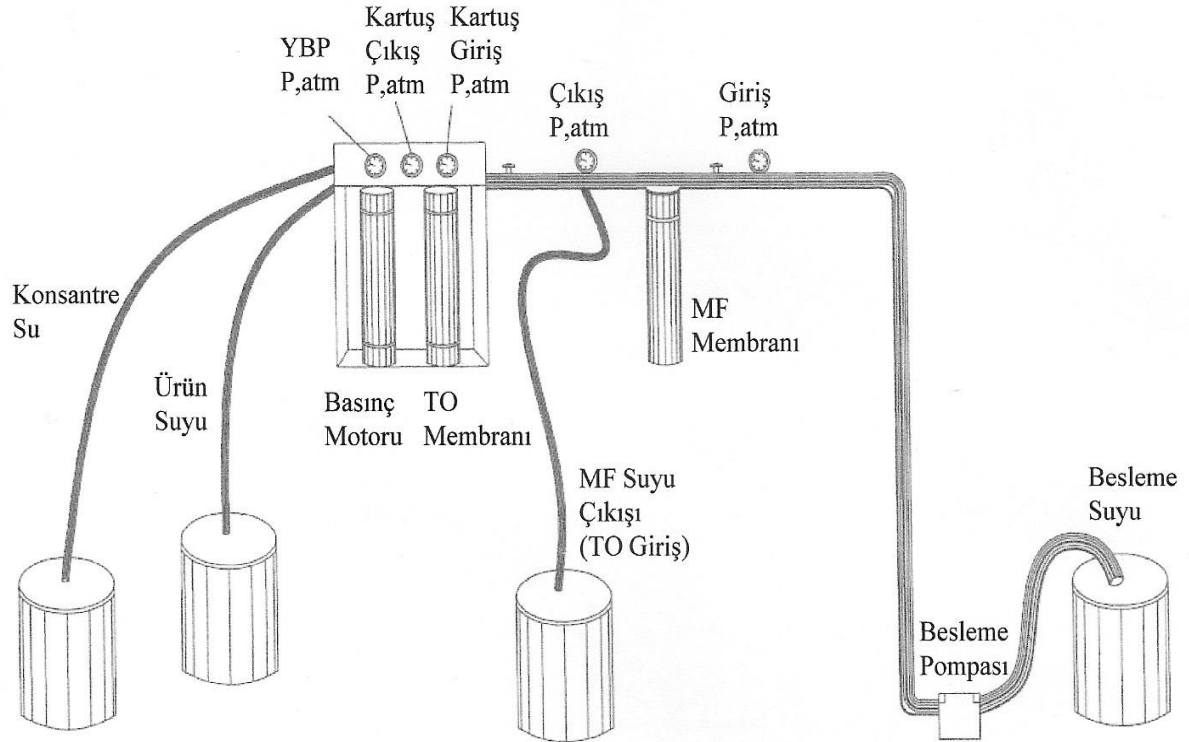
4.1. Tesis Bilgileri

GAP Tekstil (Çalık Denim), Güneydoğu Tekstil adı ile faaliyet gösteren bir tekstil fabrikasıdır. Tekstil konusunda yıllardan beri faaliyet gösteren firma, kot pantolon ve jeans giyim ürünleri üzerinde üretim yapmaktadır.

GAP Güneydoğu Tekstil; Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi, 2. Cadde üzerinde 364.803 m²’ lik bir alanda kurulmuştur. Toplam 284 adet tezgâhla üretim gerçekleştirmektedir. Şirketin, İstanbul merkez ofisinde 62, Malatya’da 1395, yurtdışı şube ve iştiraklerinde 7 olmak üzere toplam 1464 çalışanı bulunmaktadır.

4.2. Deneysel Düzenek

Çalışma esnasında kullanılan sistemin şematik gösterimi Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1. Arıtım sistemi şeması

Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi sistemde besleme pompası, giriş ve çıkış basınç göstergeleri, basınç motoru, MF ve TO reaktör kartuşları bulunmaktadır. Atıksu pompa vasıtasıyla MF membranına beslenmiş ve giriş-çıkış basınçları MF membranının giriş ve çıkışında bulunan basınç göstergelerinden kaydedilmiştir. MF ünitesinden çıkan atıksu ön arıtmadan geçmiş olarak TO membranına gönderilmiş, bu sırada yine giriş ve çıkış basınçları ve YBP (yüksek basınç pompası) basınçları kaydedilmiştir. Deney döngüleri sırasında belli zaman aralıklarında alınan numunelerde ve döngü sonlarında alınan numuneler üzerinde analizler yapılmıştır. TO ünitesinden geçen atıksu çıkışta ürün ve konsantre suyu olarak ayrı kaplarda tutulmuş, deney sonlarında ürün ve konsantre sularının hacimleri ayrı ayrı ölçülmüş, böylece atıksuyun geri kazanım yüzdeleri belirlenmiştir. Sistemin fotoğrafı Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2. MF ve TO üniteleri

Kullanılan mikrofiltrasyon (MF) membranı, 20 inch’ lik (508 mm’ lik) kartuş filtredir (Purtrex ©). Gözenek genişliği 1 μm olup, 1m² etki alanına sahiptir. yüzde 100 polipropilen yapıdan oluşan MF membranı, TO öncesi ön arıtma ünitesi olarak kullanılmıştır. Şekil 4.3’ te MF ünitesi ve giriş-çıkış basınç göstergeleri görülmektedir.



Şekil 4.3. MF membranı ve giriş-çıkış basınç göstergeleri

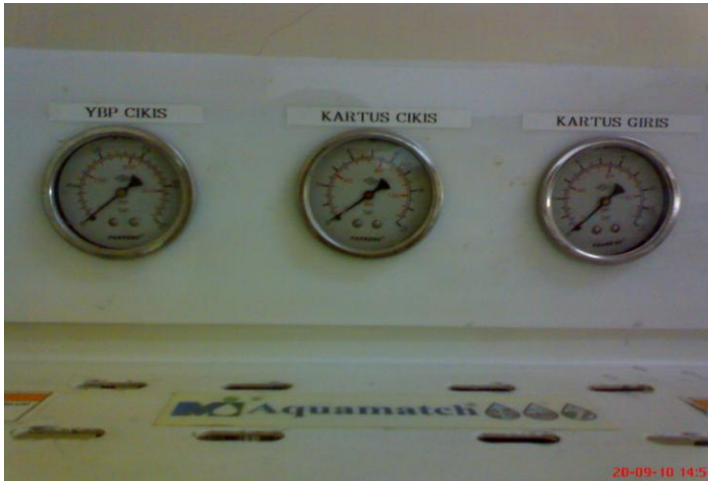
MF membranından ön arıtmadan geçen atıksular, asıl giderimin sağlandığı TO membranına gönderilmiştir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ te TO membranı, Şekil 4.6’ da giriş, çıkış ve YBP (yüksek basınç pompası) basınç göstergeleri verilmiştir.



Şekil 4.4. TO membranı



Şekil 4.5. TO membranı, basınç motoru ve basınç göstergeleri



Şekil 4.6. YBP, giriş ve çıkış basınç göstergeleri

Kullanılan TO membranı, atıksuyun ileri arıtımında ve yüksek kalitede su eldesinde kullanılan ve son yıllarda kullanım alanı yaygınlaşan CSM (Customer Satisfaction Membranes) RE 4021-TE model membrandır. Poliamid materyalinden yapılan TO membranının membran tipi zayıf filmdir. Poliamid membranlar, hidrofilik membran polimerlerinin diğer bir grubudur. Aromatik poliamidler, selüloz esterlere göre, daha iyi termal ve kimyasal yapıda olduklarından dolayı, selüloz diasetat'dan sonra en çok kullanılan ikinci polimerlerdir. Selüloz asetat membranlara göre pH aralığı daha fazladır (3-12). Bunun yanında kloro karşı olan dayanımı daha düşüktür (0.6-8 ppm). Bu nedenle

eğer arıtılacak atıksu klor ihtiva ediyorsa, atıtım öncesi atıksudan klor giderilmelidir. Poliamidler bir çok kompozit membranlarda üst tabaka malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kullanılan TO membran özellikleri Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. TO membranının özellikleri

Model Adı	Akış Hızı (m ³ /gün)	Tuz Rejection % ' si	Etki Alanı (m ²)	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Test Şartları
4021-TE	3.8	99.5	3.3	102	533	21*BW Standart

21*BW Standart test şartları: NaCl 2 mg/lit, Basınç 225 psig, Sıcaklık 25 °C, pH 6.5-7

TO membranında 5 membran yüzeyi iç içe sarılmış ve bir silindir şeklini almıştır. Bu 5 membran tabakasını birbirinden ayıran ince tabakalar vardır. Her bir membran tabakası alt ve üst olmak üzere iki yüzeyden oluşur ve bu iki yüzeyi ayıran ince bir ayırma tabakası vardır. Membrandan geçen arıtılmış su, bir membran tabakasının iki yüzeyi arasında toplanır ve çıkışta diğer diğer 4 membran tabakasından gelen ürün suları ile birleşerek ince bir boruyla çıkışta toplanır. Membran tabakasından geçemeyen kısım ise konsantredir. Her tabakadan gelen konsantre su birleşerek ürün suyunda olduğu gibi bir boru vasıtasıyla çıkışta alınır. Şekil 4.7; TO' ya giriş suyunu (MF çıkış suyu) ve TO' tan çıkan ürün suyunu göstermektedir.



Şekil 4.7. TO girişindeki (MF çıkışındaki) atıksu ve TO çıkışındaki ürün suyu

4.3. Çalışmanın Yöntemi

Membran modülü membran reaktörü içine yerleştirilmiştir. Kullanılmamış yeni membran içerisinde membranın bozulmasını önleyen kimyasallar bulunduğundan deneysel çalışmalara başlanılmadan önce yaklaşık 1 saat saf su ile yıkanmıştır. Bu yıkama, 15 dakika yıkama, 5 dakika dinlendirme şeklinde yapılmak suretiyle tamamlanmıştır.

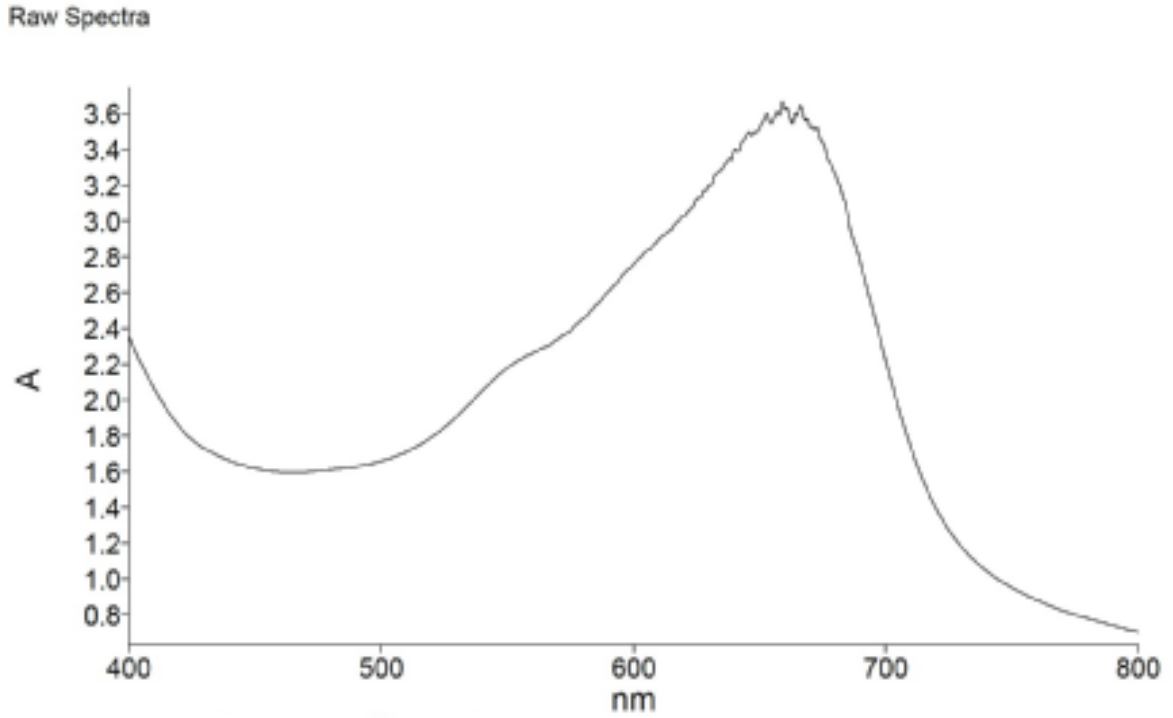
Atıksular, GAP Tekstil Fabrikası (Malatya) kot yıkama (haşıl yıkama) ünitesinden alınmıştır. Kot kumaşının ipliği indigo boya veya sülfür boyalarla boyanmış pamuk ipliğidir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kot yıkama suyu Blue-Blue Denim (indigo boyalı çözümlerden dokunan bu kumaş mavi boya ile boyanıp atkısı da mavi olur) kumaşının yıkama ünitesinden geçtikten geçmesiyle elde edilmiş ve arıtıma tabi tutulmuştur.

Kot yıkama işlemi, yıkama makinelerinde haşıl maddelerini (haşıl, dokuma tezgahlarında dokuma esnasında aşınmaya karşı korunma ve iplikten kılların azaltılması için ipliğe verilen kimyasallara verilen addır), yağları kumaş yüzeyinden uzaklaştırmak için yapılan bir operasyondur. Bu yıkamada kumaş kırılmamalıdır. Yıkama, dikimi yapılmış konfeksiyon ürünlerine uygulanır. Yıkamada amaç; ürüne farklı renk, efekt ve tuşe kazandırarak, ürünün rahat kullanım ve satılabilme özelliklerini arttırmaktır. Yıkamada bu yöntemlerden en çok kullanılan haşıl sökücü enzimlerdir (alfa amilaz). Deneylerde kullanılan yıkama suyunda, haşıl yıkama esnasında haşıl sökücü enzimler ve dispergatör kimyasalı kullanılmıştır. Dispergatör; yıkama esnasında sökülen indigonun tekrar kumaşa yapışmasını önleyen kimyasaldır. Yıkama ünitesinden çıkan suyun sıcaklığı 60 °C' dir. Su oda sıcaklığına gelince arıtıma tabi tutulmuştur.

GAP Tekstil kot yıkama ünitesinden gelen atıksu, 0.5 mm' lik tel elekten geçirilerek katı taneciklerin (taş, kum, iplik vs.) sisteme girişi önlenmiştir. Suyun üniform olmasını sağlamak amacıyla reaktör çalıştırılmadan önce atıksu karıştırılmıştır. Tel elekten geçen atıksulardaki belirli boyuttaki kirleticilerin giderimini arttırmak için ön arıtma olarak MF membranları kullanılmış, TO membranının yükünün azaltılması amaçlanmıştır. TO reaktörü farklı işletme basınçlarında çalıştırılarak (10, 11, 12 atm), basınca göre kirletici giderimleri ve atıksuyun geri dönüşüm oranları belirlenmiştir.

Giriş ve çıkış akımlarından alınan numunelere; pH, iletkenlik, renk, TKM ve KOİ analizleri yapılmıştır. Renk analizlerinde absorbanslara bağlı olarak değerlendirme yapılmıştır. Farklı dalga boylarında kot yıkama atıksuyunun absorbansları izlenerek,

maksimum pikin oluştuğu dalga boyu belirlenmiştir. şekil 4.8’ de g r ld ğu gibi maksimum pik 660 nm dalga boyunda meydana gelmiş ve çalışmalar bu dalga boyu kullanılarak s rd r lm ştir. Diğer parametrelerin analizleri ise Standart Metodlar’ a göre yapılmıştır.



şekil 4.8. Kot yıkama atıksuyu için farklı dalga boylarındaki absorbans değerleri

D1, D2 ve D3 deneylerinde kullanılan TO membranı (1. Membran) D3 deneyi bittikten sonra değiştirilmiş ve temiz TO membranı (2. Membran) sisteme yerleştirilmiştir. Deneyler bu membran kullanılarak s rd r lm ştir. D10 deneyi esnasında tıkanan TO membranı kimyasal yıkamaya tabi tutulmuş, yıkama sonrasında temizlenen membran (2. Membran) ile D11 ve D12 deneyleri tamamlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda, besleme suyu sisteme verilmeden önce saf su ile akılar  l lm ş, çalışma esnasında da akılar izlenilmiştir. Farklı serilerde deneyisel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu serilerin numaralandırıldığu deneyisel çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Deney No 1 (D1): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 10 atm olmak üzere TO membranına (1. Membran) beslenmiştir.

Deney No 2 (D2): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 12 atm olmak üzere TO membranına (1. Membran) beslenmiştir.

Deney No 3 (D3): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 11 atm olmak üzere TO membranına (1. Membran) beslenmiştir.

Deney No 4 (D4): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 12 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran) beslenmiştir.

Deney No 5 (D5): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 11 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran) beslenmiştir.

Deney No 6 (D6): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 10 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran) beslenmiştir.

Deney No 7 (D7): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 11.9 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran) beslenmiştir (Deney no 7' den itibaren pompanın maksimum basınç gücü 11.9' a düşmüş, maksimum ürün suyunun (yüzde 100) elde edildiği bu basınçta deneyler sürdürülmüştür).

Deney No 8 (D8): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 11.9 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran) beslenmiştir.

Deney No 9 (D9): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 11.9 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran) beslenmiştir.

Deney No 10 (D10): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 11.9 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran) beslenmiştir.

Deney No 11 (D11): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 12 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran-kimyasal yıkama sonrası) beslenmiştir.

Deney No 12 (D12): Tel elekten ardından ön arıtım olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama atıksuyu, sürücü basıncı 12 atm olmak üzere TO membranına (2. Membran-kimyasal yıkama sonrası) beslenmiştir.

5. BULGULAR

5.1. Deney No 1 (D1)

5.1.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (ipilik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzöldükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 3 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 7'54" dir.

Tablo 5.1, atıksu MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbands, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

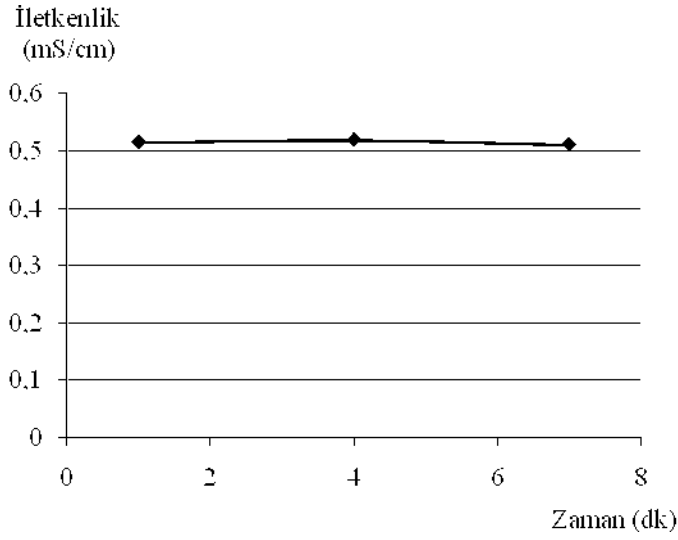
Tablo 5.1. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	7,58	0,525	1,828	1,000	1100
1.dk	7,54	0,515	1,664	0,900	1000
4.dk	7,56	0,519	1,684	0,933	1000
7.dk	7,54	0,511	1,666	0,900	1050
MF çıkışı	7,54	0,517	1,681	0,933	1000

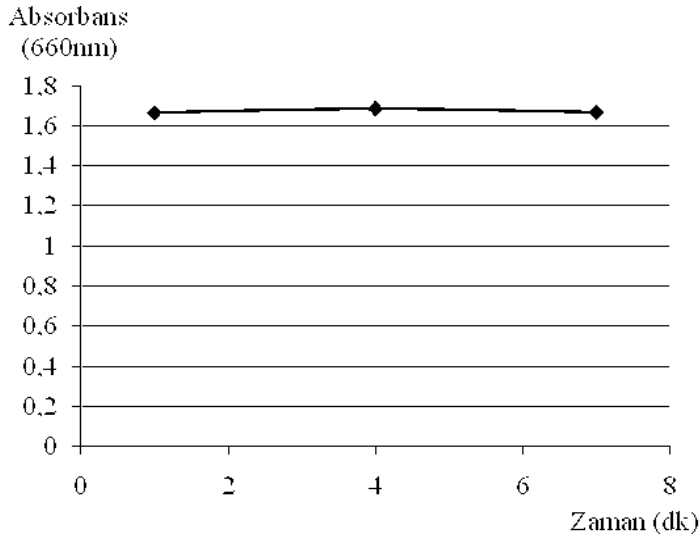
1., 4. ve 7. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde iletkenlik giderme verimleri yüzde 1-3 arasında; absorbandsa bağlı renk giderim verimleri yüzde 4-10; KOİ giderim verimleri yüzde 8-10; TKM giderim verimleri ise yüzde 6-10 arasında olmuştur.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kaptan toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanıncaya kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim verimi yaklaşık yüzde 1.5, absorbandsa bağlı renk giderim verimi yüzde 8 civarında olurken; KOİ giderim veriminin yüzde 9 ve TKM giderim veriminin yaklaşık yüzde 7 olduğu görülmüştür.

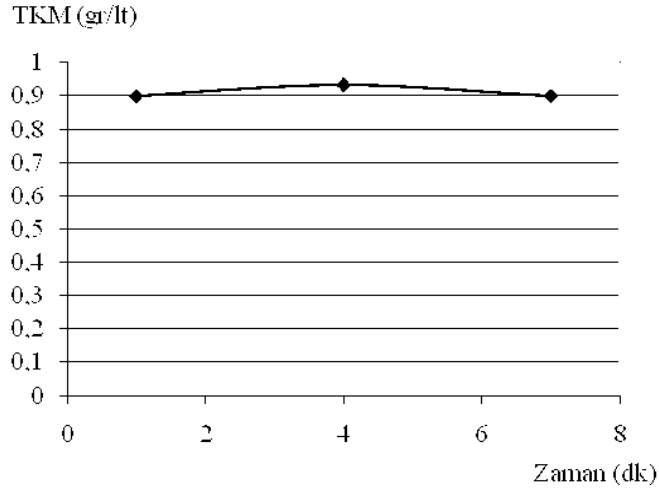
Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



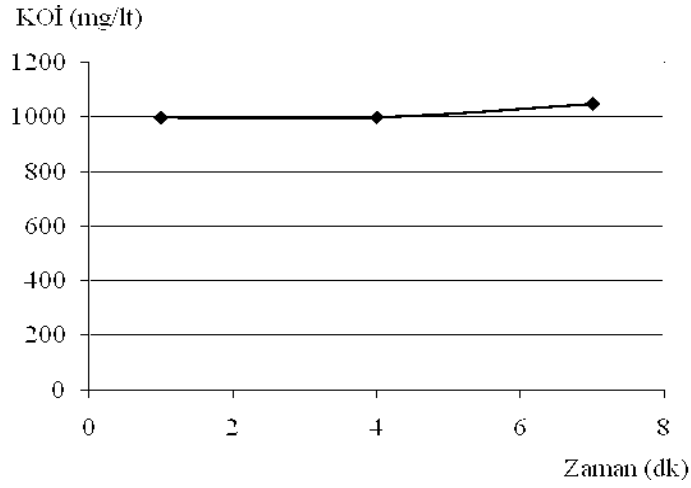
Şekil 5.1. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.2. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

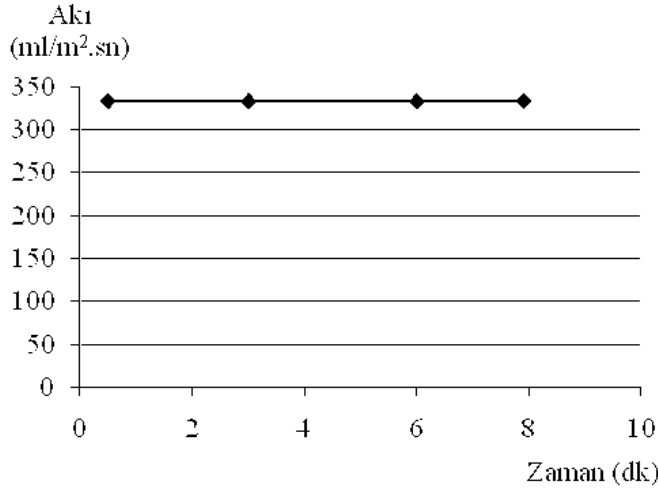


Şekil 5.3. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.4. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi

Akı, çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup akı değeri $333 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur. Akının zamana bağlı değişimi Şekil 5.5' te verilmiştir.



Şekil 5.5. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

1., 3. ve 5. dakikalarda pompa giriş basıncının 0,7 atm, çıkış basıncının 0,6 atm olduğu kaydedilmiştir.

5.1.2. TO Deneyleri

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen besleme suyu (kot yıkama suyu) TO membranına verilmeden önce membran 10 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için 10.82 ml/m².sn, konsantre için ise 45.46 ml/m².sn olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, MF ünitesinde olduğu gibi yine belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. Ürün ve konsantre suyu ayrı kaplarda toplanmış, TO ünitesi durdurulduktan sonra ürün ve konsantre suyunun hacimleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak ürün suyunun miktarı belirlenmiş, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Besleme suyu olarak sisteme verilen atıksu (TO' ya giriş-1), çıkışta konsantre (K1) ve ürün suyu (Ü1) olarak ayrı kaplarda biriktirilmiştir. İlk döngüde toplanan konsantre su (K1), tekrar besleme suyu olarak TO ünitesine verilmiş (TO' ya giriş-2) bu döngüde çıkan

konsantre de (K2) yine TO ünitesine beslenmiştir (TO' ya giriş-3). Son döngüdeki konsantre ise (K3) sistemde tekrar kullanılmamış 10 atm' deki döngü tamamlanmıştır.

5.1.2.1. TO' ya Giriş – 1

MF filtresinden geçirilen su, TO membranına verilmiş, ürün suyu (çıkış suyu) ve konsantre sudan (K1) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 6'35" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, KOİ ve TKM deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.2 ve Tablo 5.3' te verilmiştir.

Tablo 5.2. Ürün suyunun (Ü1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

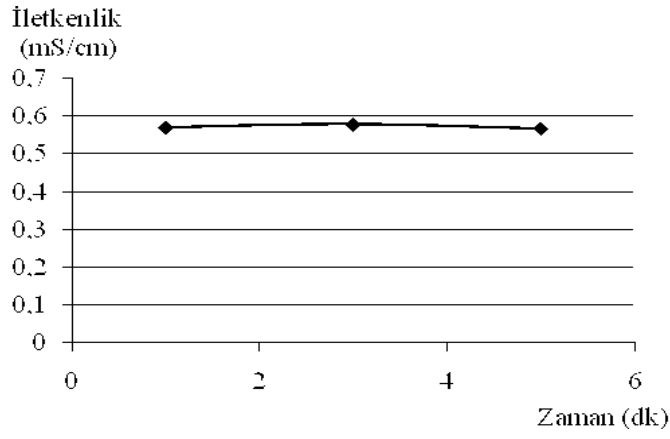
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1. dk	7,56	0,0015	0	0	0
3. dk	7,55	0,0020	0	0	0
5. dk	7,55	0,0014	0	0	0
Ü1	7,55	0,0019	0	0	0

1. 3. ve 5. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 99' un üzerinde olurken, TKM, KOİ ve absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

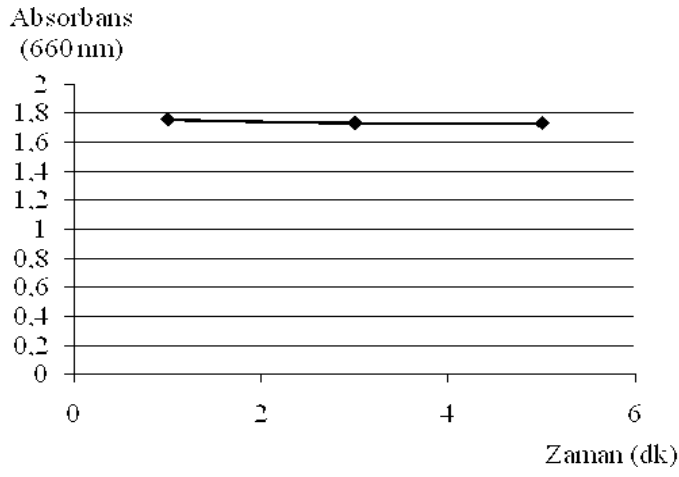
Tablo 5.3. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkışı	7,54	0,517	1,681	0,933	1000
1. dk	7,54	0,570	1,755	0,960	1200
3. dk	7,56	0,578	1,732	0,960	1150
5. dk	7,55	0,567	1,730	0,930	1200
Konsantre 1 (K1)	7,56	0,560	1,782	0,950	1200

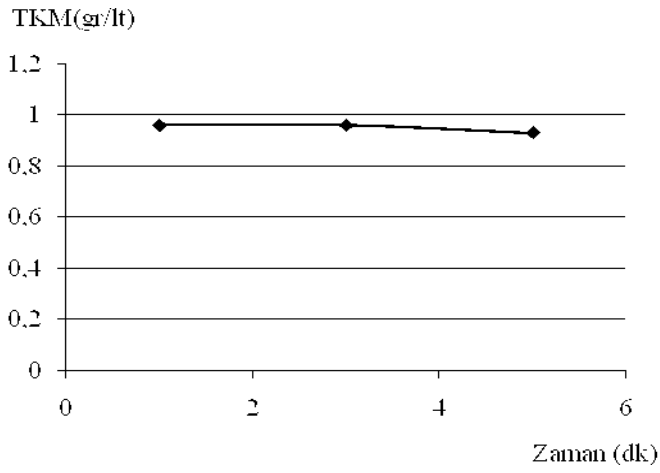
Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9; ilk döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



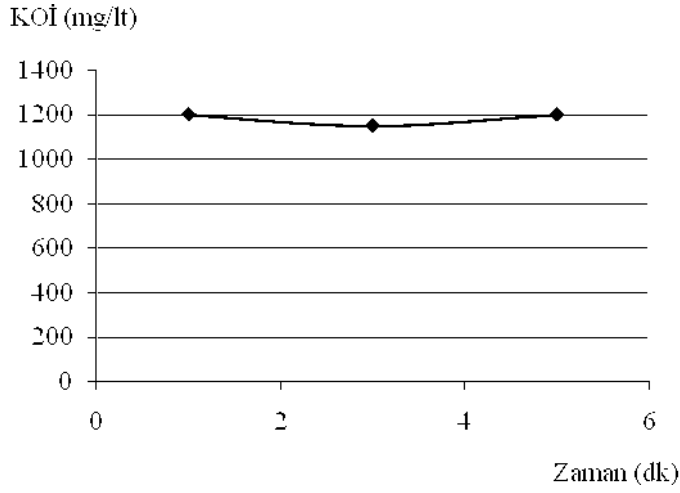
Şekil 5.6. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.7. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbansın zamana göre değişimi

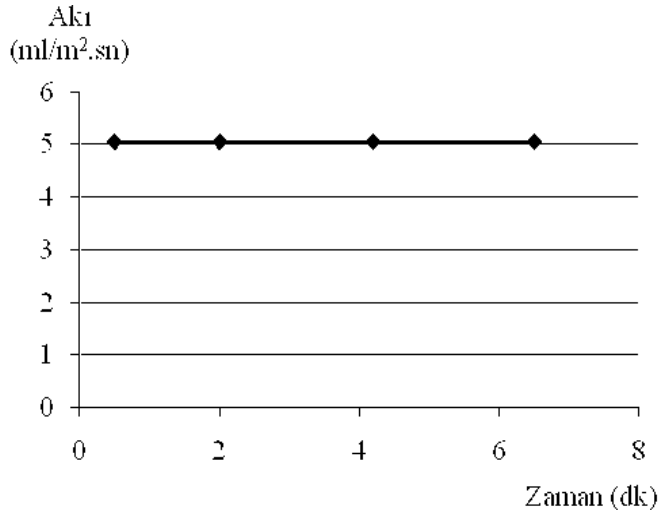


Şekil 5.8. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi

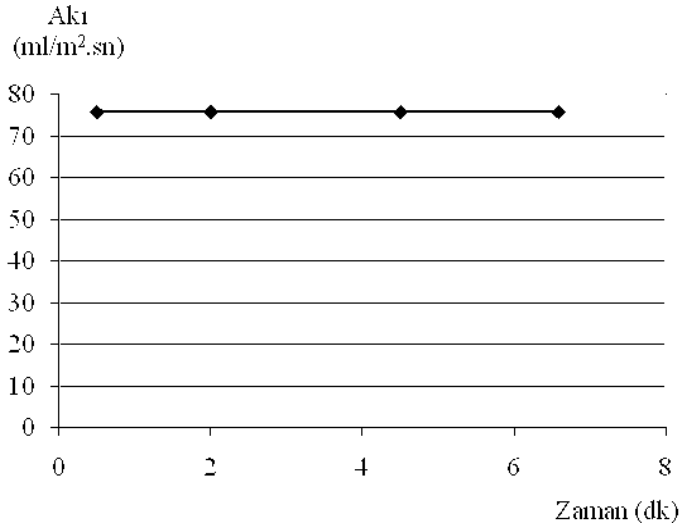


Şekil 5.9. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akısı 6'35" boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri 5.05 ml/m².sn ve 75.76 ml/m².sn'dir. Ürün ve konsantre suyu akısının zamana bağlı değişimini gösteren grafikler Şekil 5.10 ve Şekil 5.11' de verilmiştir.



Şekil 5.10. TO ünitesinde, ilk döngüde Ü1 (Ürün 1) akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.11. TO ünitesinde, ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi

1., 3. ve 5. dakikalarda pompa basınçları girişte 1.2 atm, çıkışta 0.7 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 10 atm olan TO membran basıncı ise 4,5. dakikada 9.9 atm' ye düşmüş 6. dakikada tekrar 10 atm' ye çıkmıştır.

10 atm' de gerçekleştirilen ilk döngüde 6.82 litre ürün suyu, 87.45 litre konsantre su elde edilmiş olup, yüzde 7.23' lük geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.1.2.2. TO' ya Giriş – 2 (Konsantre-1 döngüsü)

İlk döngüde çıkan konsantre su (K1), TO membranına beslenmiş, ürün ve konsantre suyundan (K2) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 5'50" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbens, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.4 ve Tablo 5.5' te verilmiştir.

Tablo 5.4. Ürün suyunun (Ü2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi

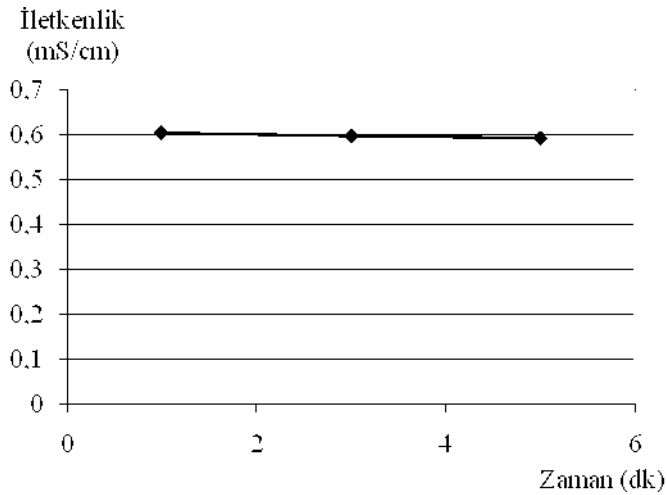
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1. dk	7,56	0,0038	0	0	0
3. dk	7,55	0,0024	0	0	0
5. dk	7,56	0,0015	0	0	0
Ü2	7,55	0,0025	0	0	0

1. 3. ve 5. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 99' un üzerinde olurken, TKM, KOİ ve absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

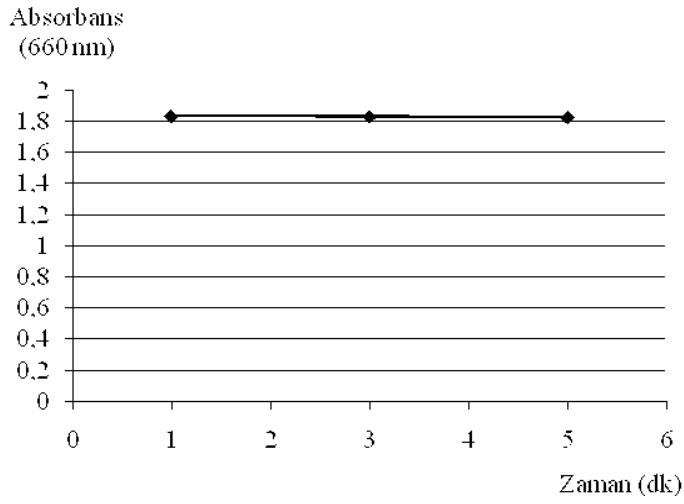
Tablo 5.5. Konsantre suyunun (K2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Konsantre 1 (K1)	7,56	0,56	1,782	0,95	1200
1.dk	7,55	0,605	1,832	1,03	1200
3.dk	7,54	0,598	1,829	1,1	1200
5.dk	7,53	0,593	1,824	1,1	1300
Konsantre 2 (K2)	7,54	0,582	1,838	1,1	1300

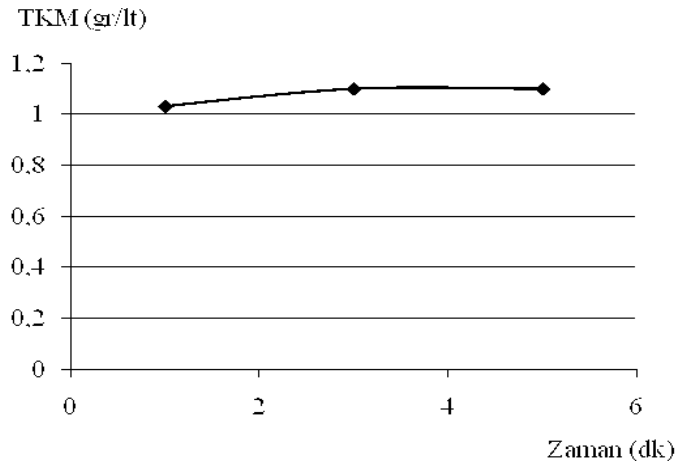
Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15; ikinci döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



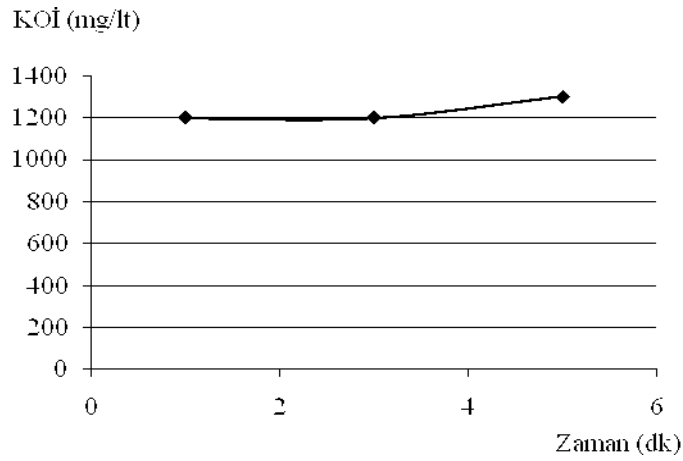
Şekil 5.12. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.13. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi

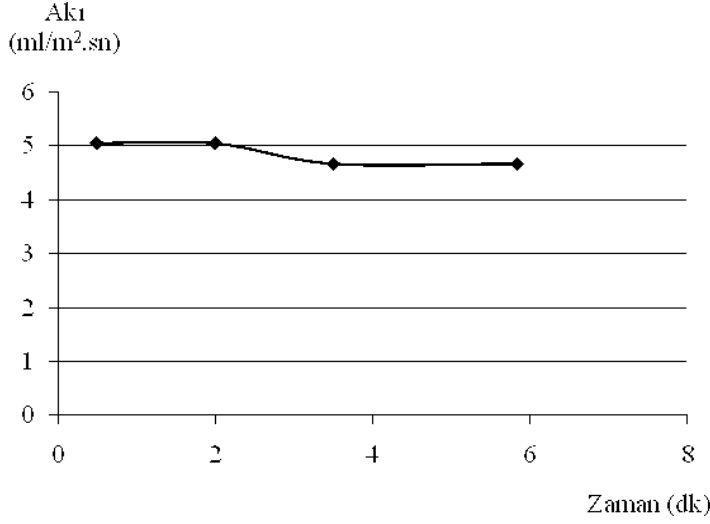


Şekil 5.14. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi

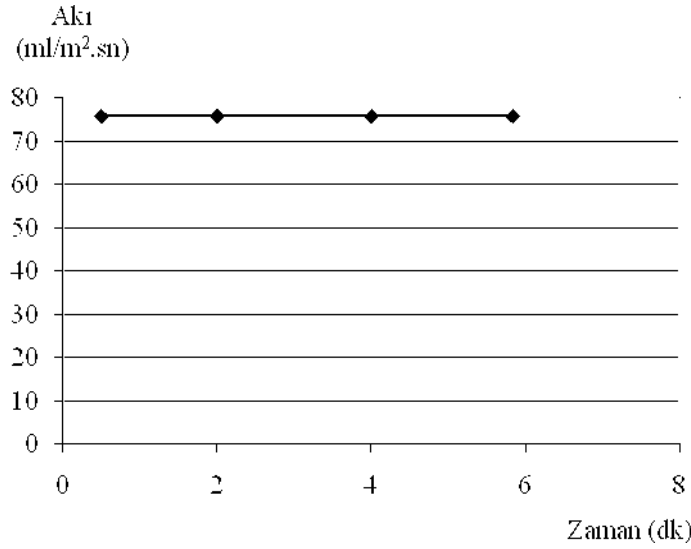


Şekil 5.15. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOI' nin zamana göre değişimi

Konsantre akısı $75.76 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ ' de sabit kalırken, ürün suyu akısı başlangıçta $5.05 \text{ ml/m}^2/\text{sn}$ olmuş, 4. dakikada $4.66 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ ye düşmüştür. Ürün ve konsantre suyu akısının zamana bağlı değişimi Şekil 5.16 ve Şekil 5.17' de verilmiştir.



Şekil 5.16. TO ünitesinde, ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.17. TO ünitesinde, ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi

1. ve 2. dakikalarda pompa basınçları girişte 1,1 atm, çıkışta 0,7 atm; 4. ve 5. dakikalarda girişte 1,0 atm, çıkışta 0,6 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 10 atm olan TO membran basıncı ise 5,5. dakikada 9,9 atm' ye düşmüş 5'50" de ikinci döngü tamamlanmıştır.

10 atm’ de gerçekleştirilen K1’ in arıtıldığı ikinci döngüde 5,17 litre ürün suyu, 74,85 litre konsantre su elde edilmiş olup, yüzde 6.46’ lık geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.1.2.3. TO’ ya Giriş – 3 (Konsantre-2 Döngüsü)

İkinci döngüde çıkan konsantre su (K2), TO membranına beslenmiş, ürün suyu (çıkış suyu) ve konsantre sudan (K3) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 5'05" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbens, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.6 ve Tablo 5.7’ de verilmiştir.

Tablo 5.6. Ürün suyunun (Ü3’ ün) özelliklerinin zamanla değişimi

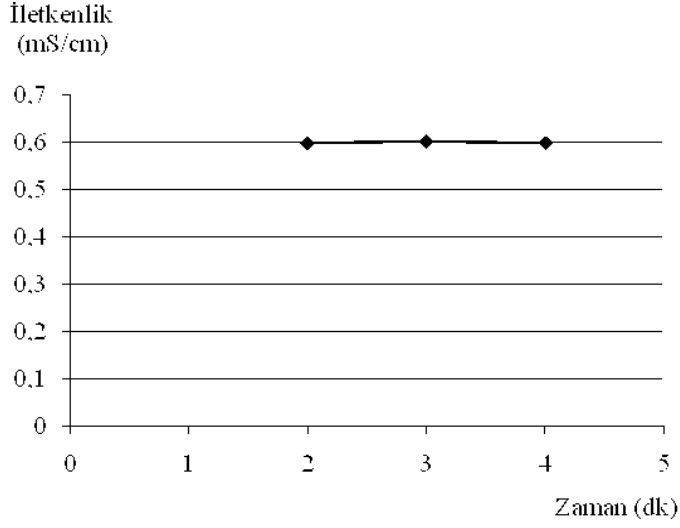
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/l)	KOİ (mg/l)
2.dk	7,54	0,0027	0	0,03	0
3.dk	7,53	0,0027	0	0,02	0
4.dk	7,53	0,0014	0	0,03	0
Ü3	7,55	0,018	0	0,02	0

2., 3. ve 4. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 99’ un üzerinde olurken, TKM giderim verimi yüzde 97-98, KOİ ve absorbansa bağlı renk giderim verimleri ise yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

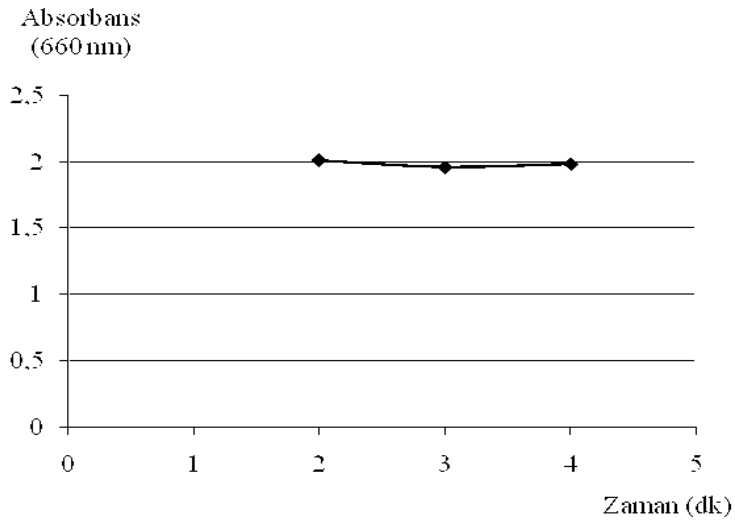
Tablo 5.7. Konsantre suyunun (K3’ ün) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/l)	KOİ (mg/l)
Konsantre 2	7,54	0,572	1,838	1,1	1300
2.dk	7,53	0,598	2,013	1,20	1350
3.dk	7,54	0,601	1,957	1,23	1400
4.dk	7,53	0,598	1,983	1,23	1400
Konsantre 3	7,53	0,594	1,953	1,23	1400

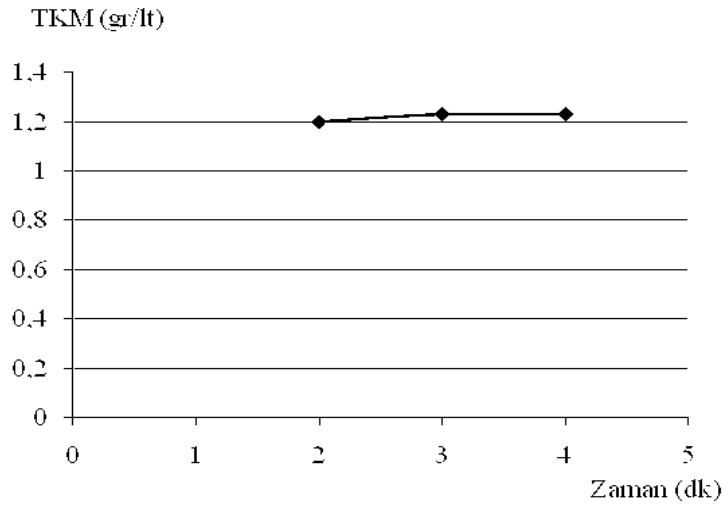
Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21; üçüncü döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



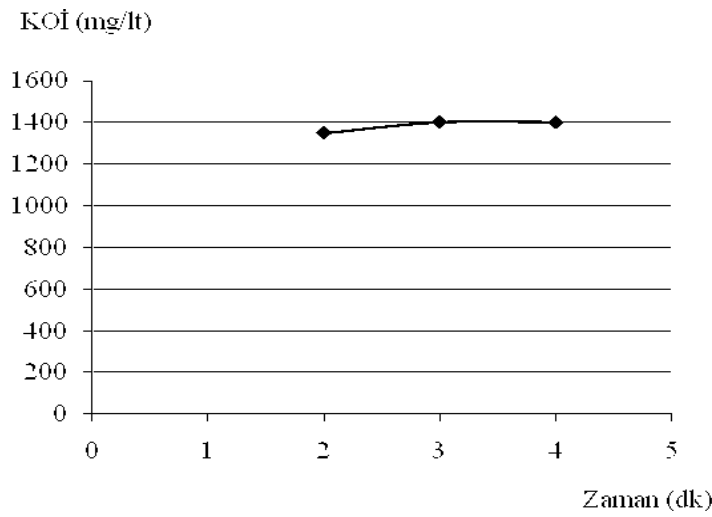
Şekil 5.18. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.19. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) absorbansın zamana göre değişimi

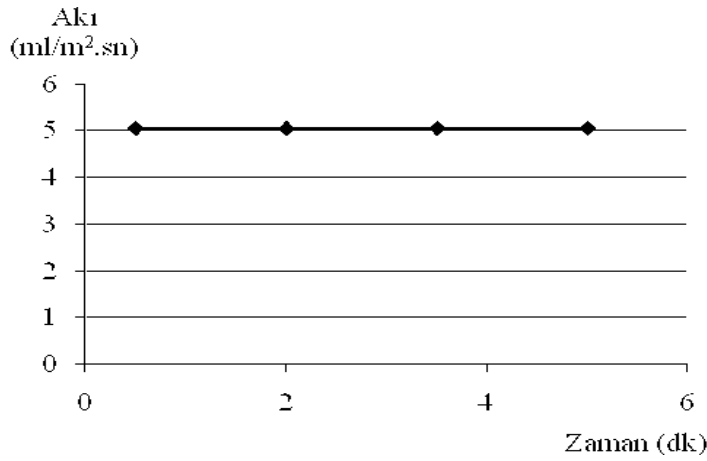


Şekil 5.20. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) TKM' nin zamana göre değişimi

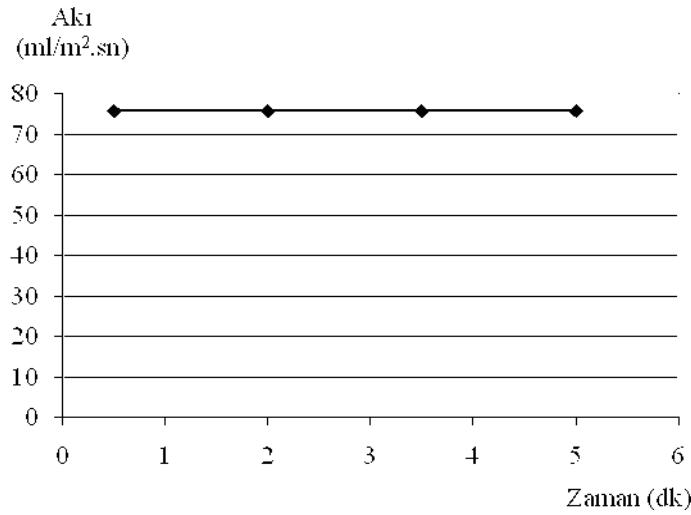


Şekil 5.21. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akısı 5'05" boyunca sabit kalmış olup, sırasıyla akı değerleri 5.05 ml/m².sn ve 75.76 ml/m².sn' dir. Ürün ve konsantre suyu akısının zamana bağlı değişimi Şekil 3.22 ve Şekil 3.23' te verilmiştir.



Şekil 5.22. TO ünitesinde, üçüncü döngüde Ü3 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.23. TO ünitesinde, üçüncü döngüde K3 akısının zamana bağlı değişimi

1. 2. ve 3. dakikalarda pompa basınçları girişte 1.1 atm, çıkışta 0.7 atm; 4. dakikada girişte 1.1 atm, çıkışta 0.65 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 10 atm olan TO membran basıncı ise 4. dakikada 9.9 atm' ye düşmüş 5'05" de son döngü tamamlanmıştır.

10 atm' de gerçekleştirilen K2' in artırıldığı üçüncü döngüde 4,6 litre ürün suyu, 65,1 litre konsantre su elde edilmiş bu son döngüde yüzde 6.60 ürün suyu elde edilmiştir.

5.2. Deney No 2 (D2)

5.2.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzildikten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 1 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 5' dir.

Tablo 5.8, atıksu MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, KOİ ve TKM değerlerini vermektedir.

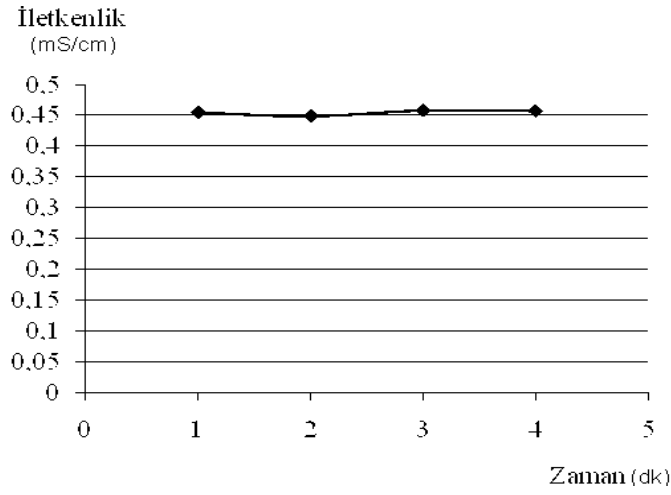
Tablo 5.8. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/l)	KOİ (mg/l)
Ham su	7,55	0,462	1,848	0,930	1100
1. dk	7,55	0,455	1,645	0,833	1000
2. dk	7,54	0,449	1,653	0,866	1050
3. dk	7,54	0,458	1,645	0,833	1000
4. dk	7,55	0,457	1,652	0,866	1000
MF çıkış	7,55	0,456	1,736	0,866	1000

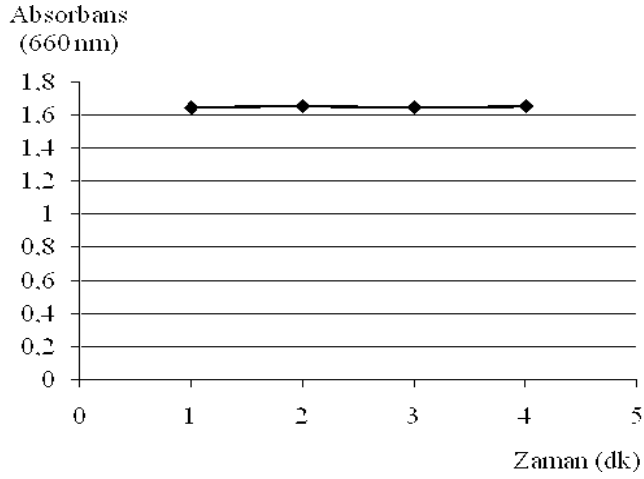
1., 2., 3. ve 4. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde iletkenlik giderim verimleri yüzde 0.8-2.5; absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 10-11; TKM giderim verimleri yüzde 6-11; KOİ giderim verimleri ise yüzde 4-9 arasında olmuştur.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim verimi yüzde 1.3, absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 6 civarında olurken; TKM giderim veriminin yüzde 7; KOİ giderim veriminin yüzde 9 olduğu görülmüştür.

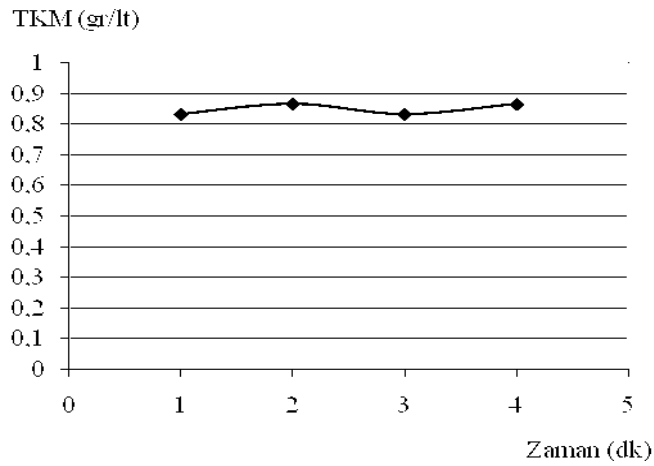
Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



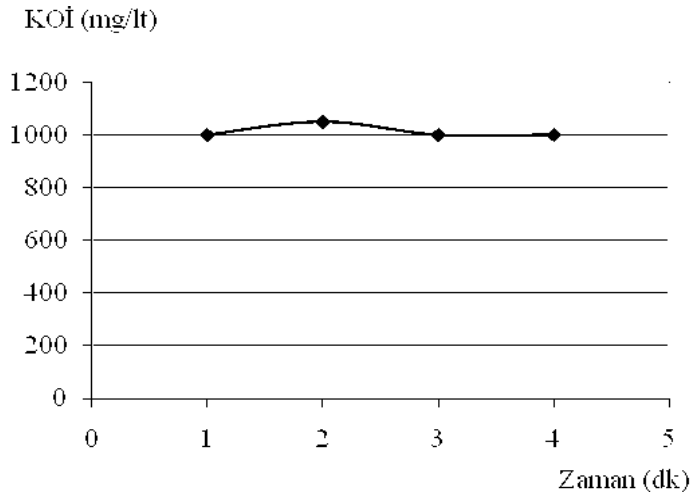
Şekil 5.24. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.25. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

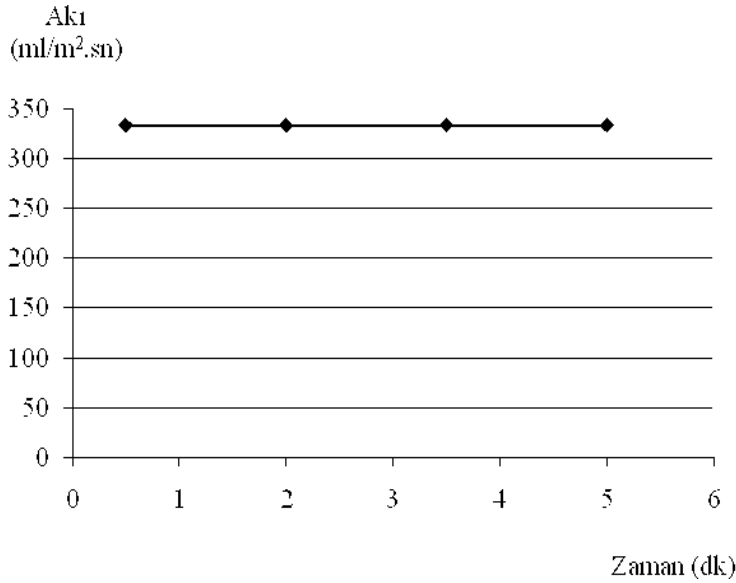


Şekil 5.26. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.27. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi

Akı, çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup akı değeri $333 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur. Akının zamanla değişimi Şekil 5.28' de verilmiştir.



Şekil 5.28. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

1. ve 2. dakikalarda pompa giriş basıncı 0,8 atm çıkış basıncı 0,6 atm, 3. dakikada pompa giriş basıncı 0,8 atm çıkış basıncı 0,55 atm, 4. dakikada pompa giriş basıncı 0,8 atm çıkış basıncı 0,51 atm, 5. dakikada pompa giriş basıncı 0,8 atm çıkış basıncı 0,49 atm olarak kaydedilmiştir.

5.2.2. TO Deneyleri

Deney no 1' de 10 atm de yapılan çalışmalar sonucu atıksuyun geri dönüşüm yüzdesinin yetersiz olduğu görülmüş, deney no 2' de basınç 12 atm' ye yükseltilerek çalışmalar sürdürülmüştür.

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen besleme suyu (kot yıkama suyu) TO membranına verilmeden önce membran 12 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için $8.81 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$, konsantre için ise $5.21 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, MF ünitesinde olduğu gibi yine belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. Ürün ve konsantre suyu ayrı kaplarda toplanmış, TO ünitesi durdurulduktan sonra ürün ve konsantre suyunun hacimleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak ürün suyunun miktarı belirlenmiş, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Besleme suyu olarak sisteme verilen atıksu (TO' ya giriş), çıkışta konsantre (K) ve ürün suyu (Ü) olarak ayrı kaplarda toplanmıştır. Bir döngüde suyun tekrar kullanım oranının ciddi derecede yüksek olması nedeniyle konsantrenin tekrar arıtımına gerek duyulmamış, tek döngüde döngüde 12 atm basınçta yürütülen deney tamamlanmıştır.

5.2.2.1. TO' ya Giriş

Ön arıtım olarak MF filtresinden geçirilen su, 12 atm basınçta TO membranına verilmiş, ürün (Ü) ve konsantre suyundan (K) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 66' da TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.9 ve Tablo 5.10' da verilmiştir.

Tablo 5.9. Ürün suyunun (Ü' nün) özelliklerinin zamanla değişimi

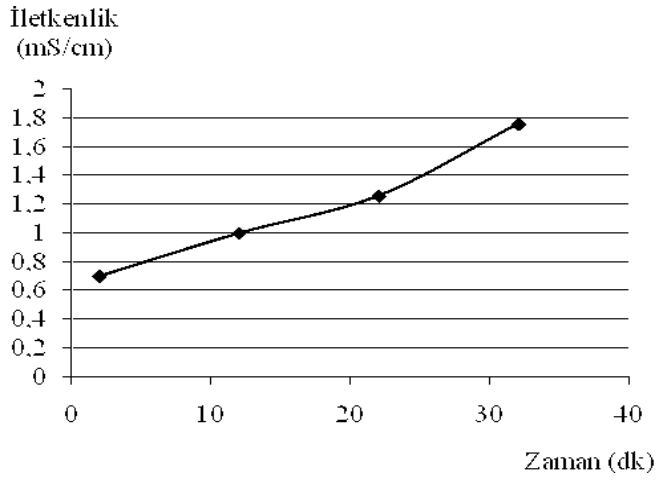
Parametre Numune	pH	İletkenlik (660 nm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
2.dk	7,58	0,002	0	0	0
12.dk	7,58	0,0044	0	0	0
22.dk	7,57	0,0062	0	0	0
32.dk	7,57	0,0072	0	0	0
42.dk	7,58	0,0102	0	0,030	0
52.dk	7,57	0,0120	0	0,033	0
62.dk	7,58	0,0136	0	0,030	0
Ü	7,58	0,0073	0	0,010	0

10' ar dakika aralıklarla alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimlerinin zamanla biraz azaldığı görülmüş yüzde 97-99 arasında değişmiştir. Absorbansa bağlı renk giderim verimleri ve KOİ giderim verimleri yüzde 100 olurken, TKM giderim verimleri yüzde 96-100 arasında gerçekleşmiştir.

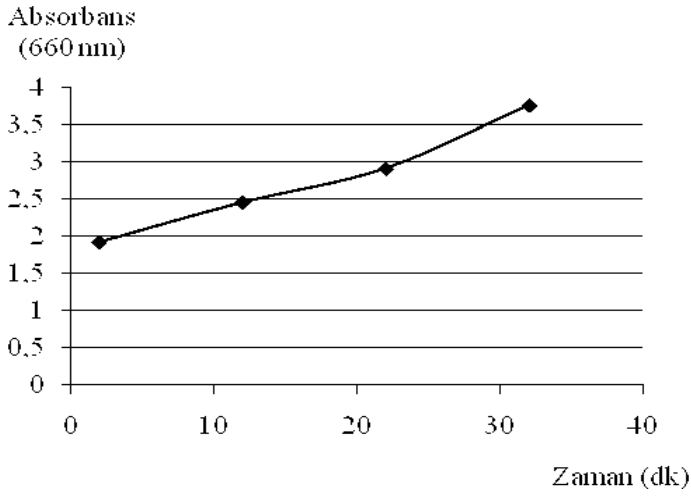
Tablo 5.10. Konsantre suyunun (K' nın) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkışı	7,55	0,456	1,736	0,866	1000
2.dk	7,56	0,701	1,927	1,3	1450
12.dk	7,56	0,999	2,458	1,4	1550
22.dk	7,57	1,258	2,914	1,52	1750
32.dk	7,57	1,757	3,760	3,53	3950
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Konsantre	7,57	1,026	2,1	1,87	2150

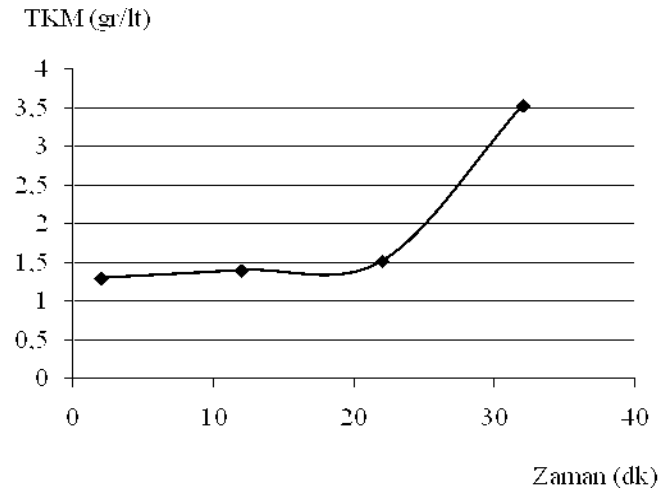
Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32; üçüncü döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



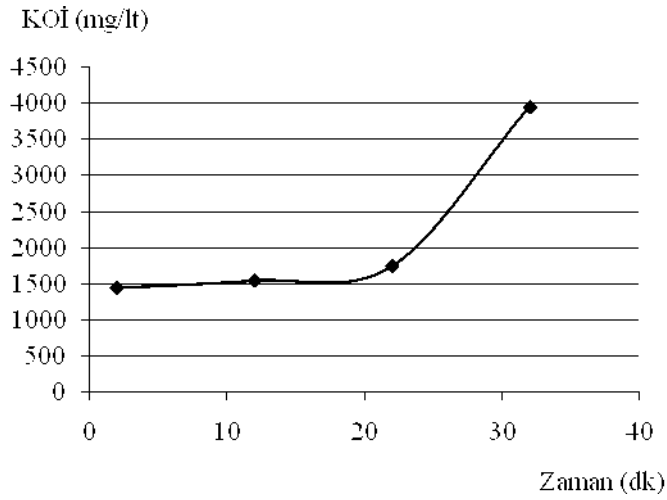
Şekil 5.29. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.30. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) absorbansın zamana göre değişimi

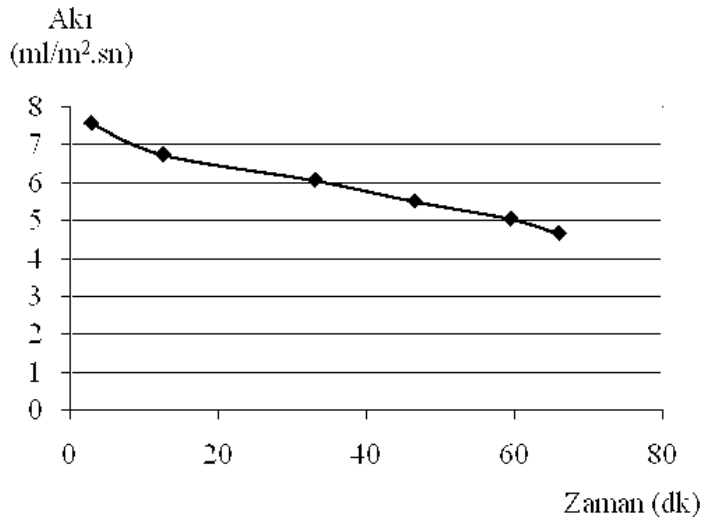


Şekil 5.31. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) TKM' nin zamana göre değişimi

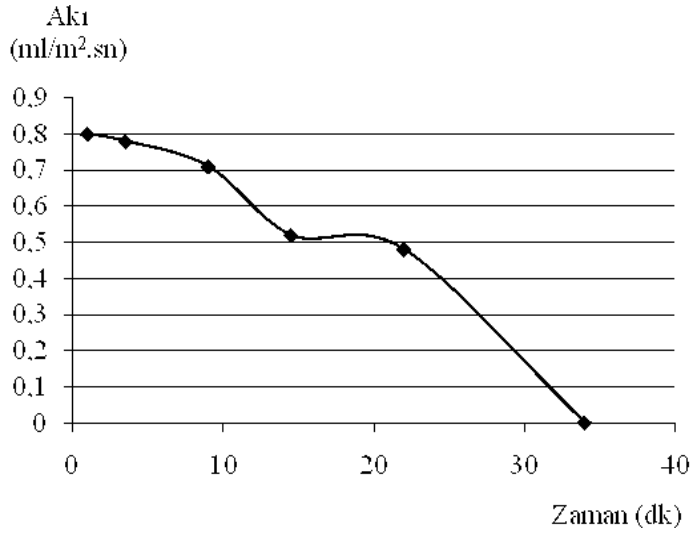


Şekil 5.32. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akısının zamanla azaldığı görülmüştür. Konsantre akısı zamanla kek oluşumuna bağlı olarak azalarak 34. dakikada sıfır olmuş, bu dakikadan sonra besleme suyunun tamamı çıkışta ürün suyu olarak alınmış, geri dönüşüm yüzdesi hızla artmaya başlamıştır. Ürün ve konsantre suyu akılarının zamana bağlı değişimi Şekil 5.33 ve Şekil 5.34' te verilmiştir.



Şekil 5.33. TO ünitesinde, Ü akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.34. TO ünitesinde, K akısının zamana bağlı değişimi

1. dakikada pompa basıncı girişte 1.7 atm, çıkışta 1.4 atm; 5. dakikada girişte 1.6 atm, çıkışta 1.4 atm, 30. dakikada girişte 1.5 atm, çıkışta 1.2 atm; 46. dakikada girişte 1.45 atm, çıkışta 1.15 atm, 52. dakikada girişte 1.41 atm, çıkışta 1.1 atm; 61. dakikada girişte 1.4 atm, çıkışta 1.1 atm, 64. dakikada girişte 1.25 atm, çıkışta 1.1 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 12 atm olan TO membran basıncı ise 36. dakikada 11.9 atm' ye düşmüş, bu basınçta deney tamamlanmıştır.

12 atm' de gerçekleştirilen tek döngüyle tamamlanan deney no 2' de 72.77 litre ürün suyu, 4.01 litre konsantre su elde edilmiş, yüzde 94.77 geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.3. Deney No 3 (D3)

5.3.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzildükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 2 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 5'16" dir.

Tablo 5.11, MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

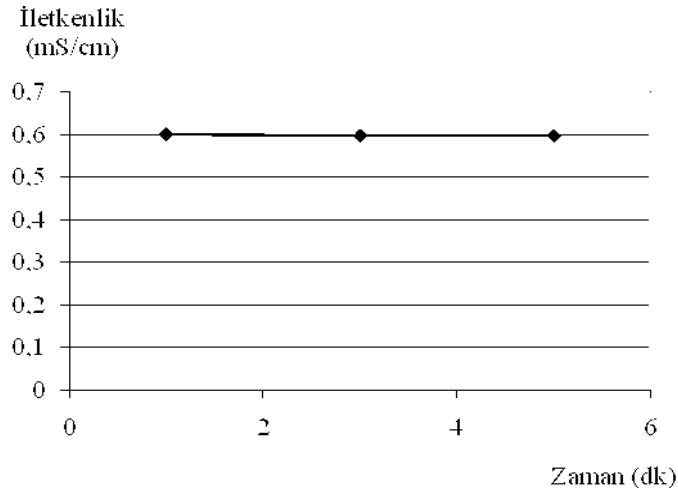
Tablo 5.11. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	7,37	0,607	1,843	0,953	1100
1.dk	7,37	0,602	1,704	0,900	1050
3.dk	7,37	0,598	1,626	0,900	1000
5.dk	7,37	0,598	1,657	0,867	1050
MF çıkış	7,37	0,598	1,646	0,900	1000

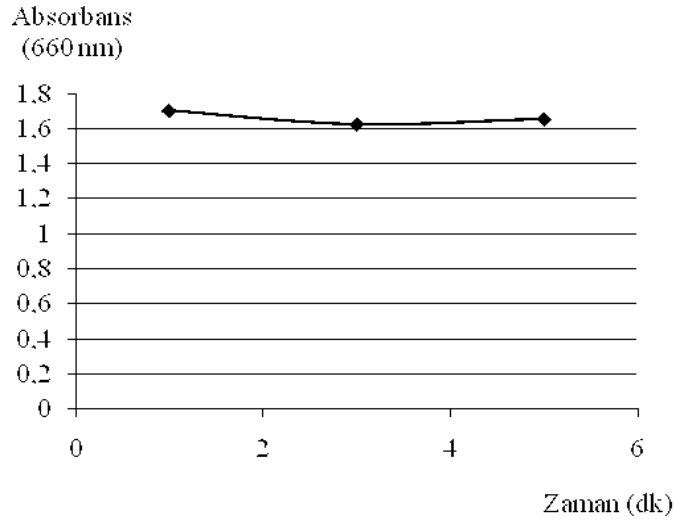
1. 3. ve 5. dakikalarda alınan numunelerdeki iletkenlik giderme verimleri yüzde 0.8-1.5 arasında; absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 7-12; TKM giderim verimleri yüzde 5-10; KOİ giderim verimleri ise yüzde 4-10 arasında gerçekleşmiştir.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim verimi yüzde 1.5, absorbansa bağlı renk giderim verimi yaklaşık yüzde 11 olurken; TKM giderim veriminin yüzde 6; KOİ giderim veriminin ise yüzde 9 civarında olduğu görülmüştür.

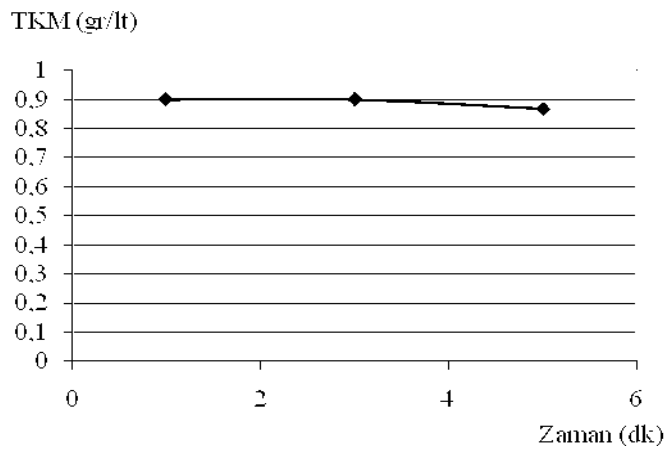
Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



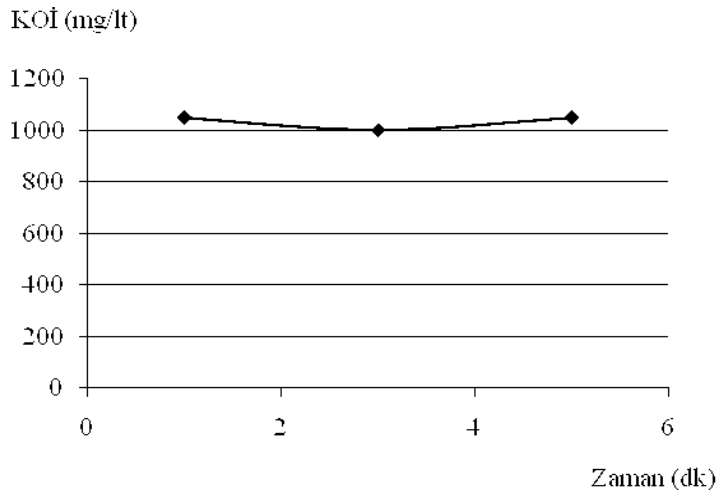
Şekil 5.35. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.36. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

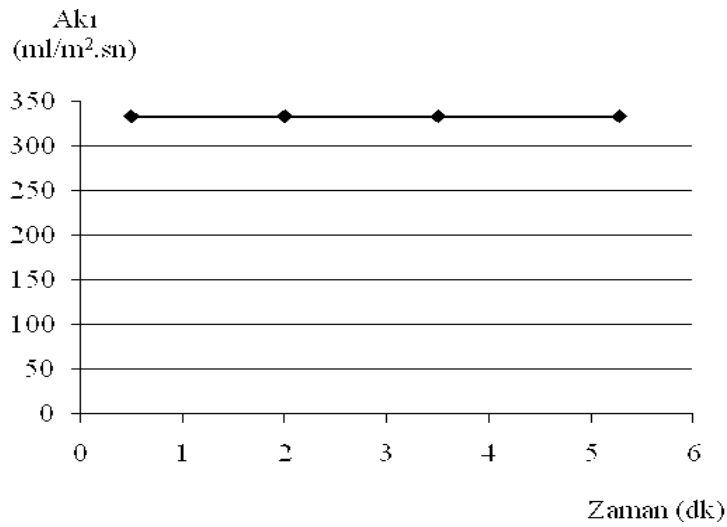


Şekil 5.37. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.38. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi

Ak₁, çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup akı değeri 333 ml/m².sn olmuştur. Akının zamana bağlı değişimi Şekil 5.39' da verilmiştir.



Şekil 5.39. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

Pompa giriş basıncı 1. dakikada girişte 0.8 atm, çıkışta 0.5 atm; 2. dakikada girişte 0.81 atm çıkışta 0.41 atm; 3. dakikada girişte 0,91 atm, çıkışta 0.35 atm; 4. dakikada girişte 1.0 atm çıkışta 0.28 atm; 5. dakikada girişte 1.1 atm çıkışta 0.1 atm olarak kaydedilmiştir.

5.3.2. TO Deneyleri

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama suyu TO membranına verilmeden önce membran 11 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için $4.77 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$, konsantre için ise $18.87 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. Ürün ve konsantre suyu ayrı kaplarda toplanmış, TO ünitesi durdurulduktan sonra ürün ve konsantre suyunun hacimleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak ürün suyunun miktarı belirlenmiş, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Besleme suyu olarak sisteme verilen su (TO' ya giriş-1), çıkışta konsantre (K1) ve ürün suyu (Ü1) olarak ayrı kaplarda biriktirilmiştir. İlk döngüde toplanan konsantre su (K1), tekrar besleme suyu olarak TO ünitesine verilmiş (TO' ya giriş-2) bu döngüde çıkan konsantre de (K2) yine TO ünitesine besleme suyu olarak verilmiştir (TO' ya giriş-3). Son döngüdeki konsantre (K3) ise sistemde tekrar kullanılmamış 11 atm' deki döngü tamamlanmıştır.

5.3.2.1. TO' ya Giriş – 1 (Ham su döngüsü)

MF filtresinden geçirilen atıksu, TO membranına verilmiş, ürün (çıkış suyu) ve konsantre suyundan (K1) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 7'35" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 3.12 ve Tablo 3.13' te verilmiştir.

Tablo 5.12. Ürün suyunun (Ü1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

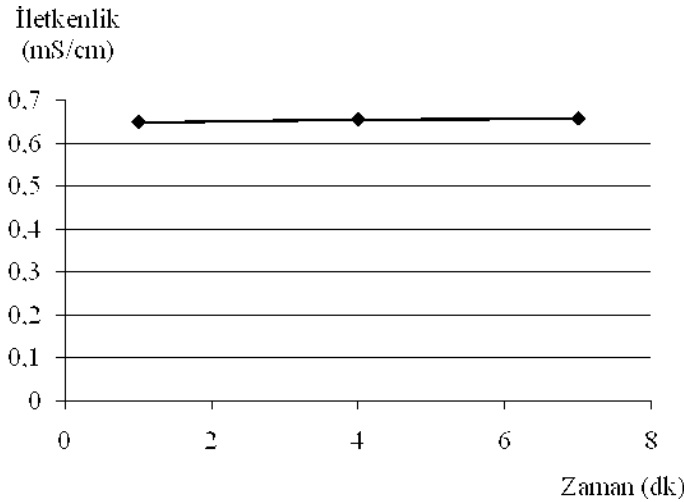
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	7,44	0,0105	0,003	0	0
4.dk	7,43	0,0117	0,002	0	0
7.dk	7,42	0,0126	0,003	0	0
Ü1	7,43	0,0117	0,003	0	0

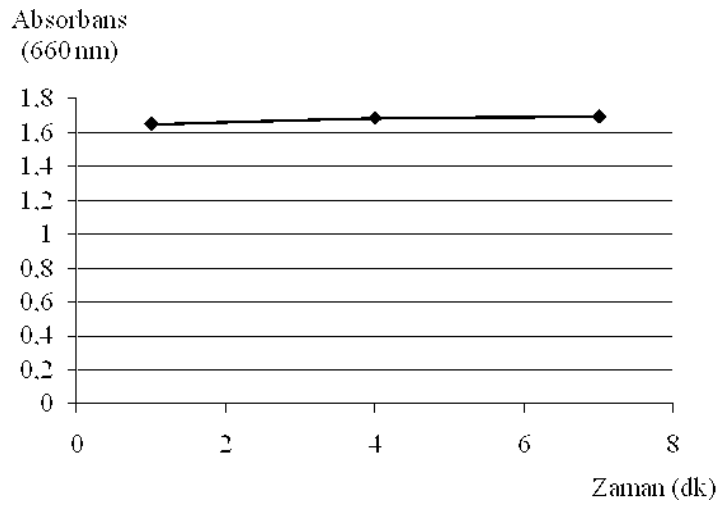
1. 4. ve 7. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 98 oranında olurken, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yaklaşık yüzde 100, KOİ ve TKM giderim verimleri de yüzde 100 oranında gerçekleşmiştir.

Tablo 5.13. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

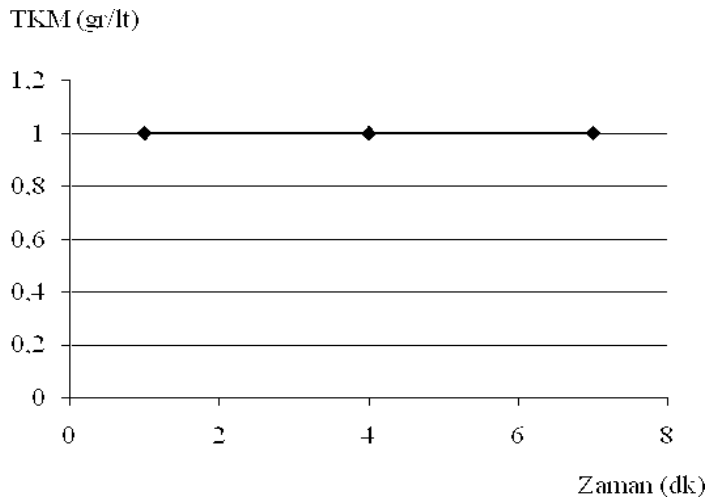
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkışı	7,37	0,598	1,646	0,9	1000
1.dk	7,36	0,649	1,652	1,0	1200
4.dk	7,36	0,655	1,686	1,0	1200
7.dk	7,35	0,657	1,695	1,0	1250
Konsantre 1 (K1)	7,35	0,651	1,705	1	1250

Şekil 5.40, Şekil 5.41, Şekil 5.42, Şekil 5.43; ilk döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.

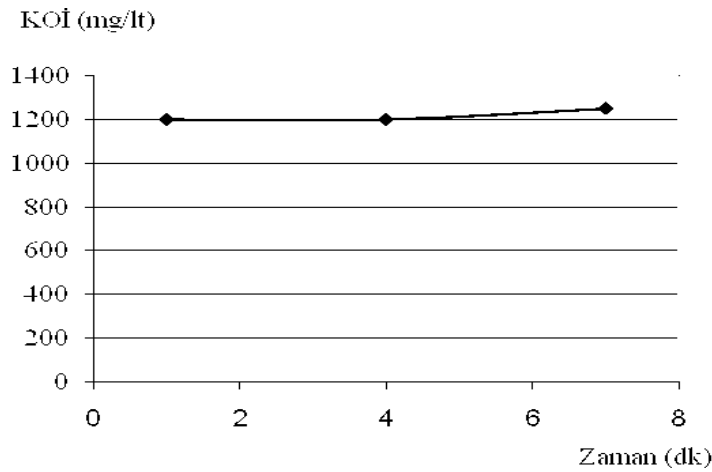
**Şekil 5.40.** TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.41. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi

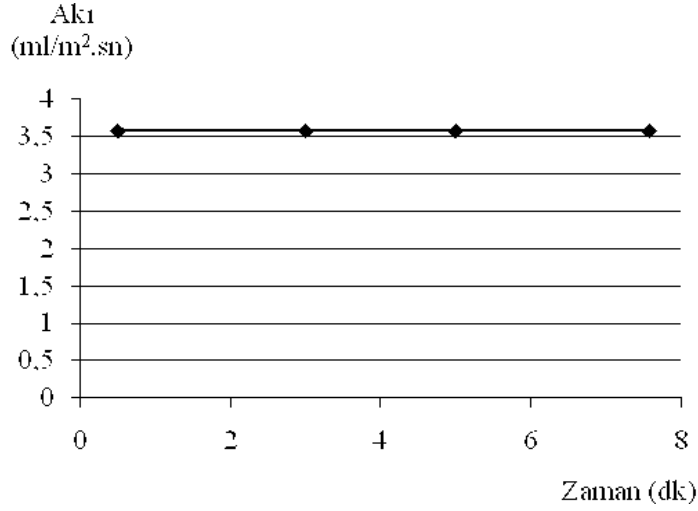


Şekil 5.42. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi

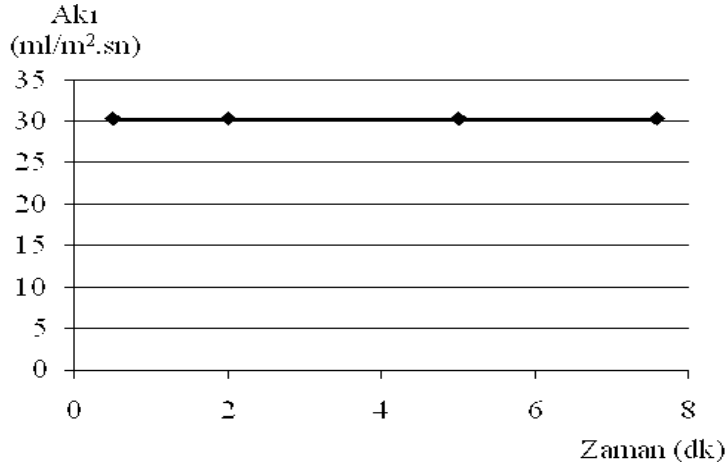


Şekil 5.43. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akısı 7'35" boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri 3.57 ml/m².sn ve 30.3 ml/m².sn olmuştur. Akı değerleri Şekil 5.44 ve Şekil 5.45' te verilmiştir.



Şekil 5.44. TO ünitesinde, ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.45. TO ünitesinde, ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1 dakikada girişte 1.35 atm, çıkışta 1.0 atm; 3. dakikada girişte 1.3 atm, çıkışta 1.0 atm, 4. dakikada girişte 1.29 atm, çıkışta 0.9 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 11 atm olan TO membran basıncı ise 4. dakikada 10.9 atm' ye düşmüş 6. dakikada tekrar yükselerek 11.0 atm olmuştur. 7'35" de ilk döngü tamamlanmıştır.

11 atm’ de gerçekleştirilen ilk döngüde 5.65 litre ürün suyu, 49.35 litre konsantre su (K1) elde edilmiş, yüzde 10.27 ürün suyu elde edilmiştir. K1 tekrar TO sistemine verilmek üzere 2. döngüde kullanılmıştır.

5.3.2.2. TO’ ya Giriş – 2 (Konsantre-1 döngüsü)

İlk döngüde çıkan konsantre su (K1), TO membranına verilmiş, ürün (çıkış suyu) ve konsantre suyundan (K2) eş zamanlı numuneler alınmış, akıllar ve basınçlar izlenmiştir. 6'23" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.14 ve Tablo 5.15’ te verilmiştir.

Tablo 5.14. Ürün suyunun (Ü2’ nin) özelliklerinin zamanla değişimi

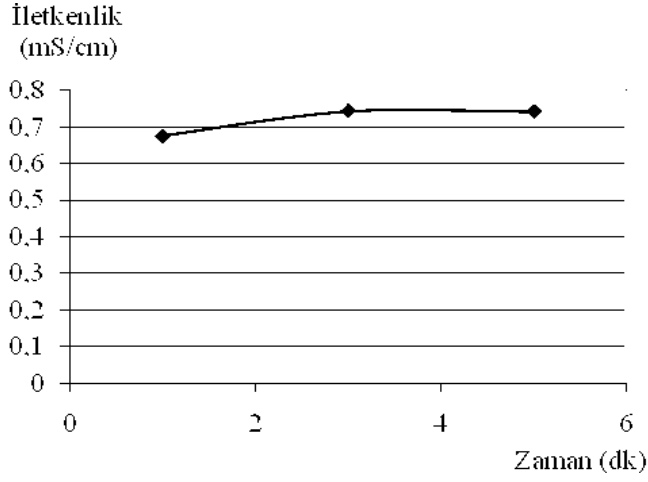
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	7,41	0,0132	0	0	0
3.dk	7,38	0,0120	0,0001	0	0
5.dk	7,38	0,0126	0,0001	0	0
Ü	7,39	0,0128	0	0	0

1. 3. ve 5. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 98 oranında olurken, TKM ve KOİ giderim verimleri yüzde 100, absorbansa bağlı renk giderim verimi de neredeyse yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

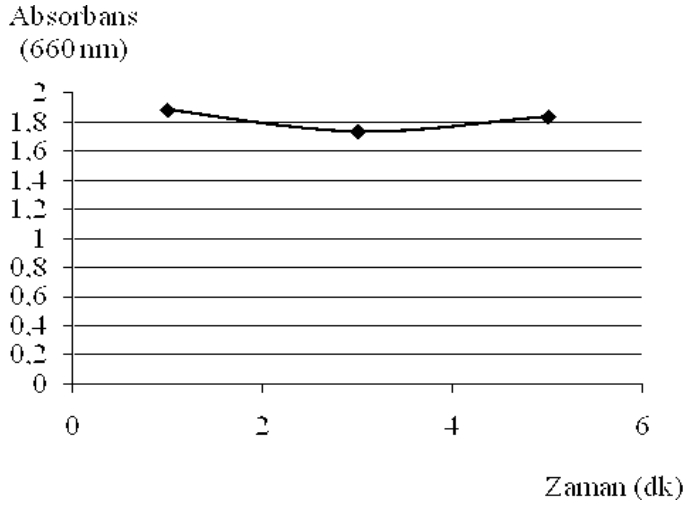
Tablo 5.15. Konsantre suyunun (K2’ nin) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Konsantre 1 (K1)	7,35	0,651	1,705	1	1250
1.dk	7,35	0,675	1,882	1,133	1350
3.dk	7,36	0,743	1,736	1,1	1300
5.dk	7,36	0,742	1,837	1,133	1350
Konsantre 2 (K2)	7,36	0,737	1,82	1,133	1350

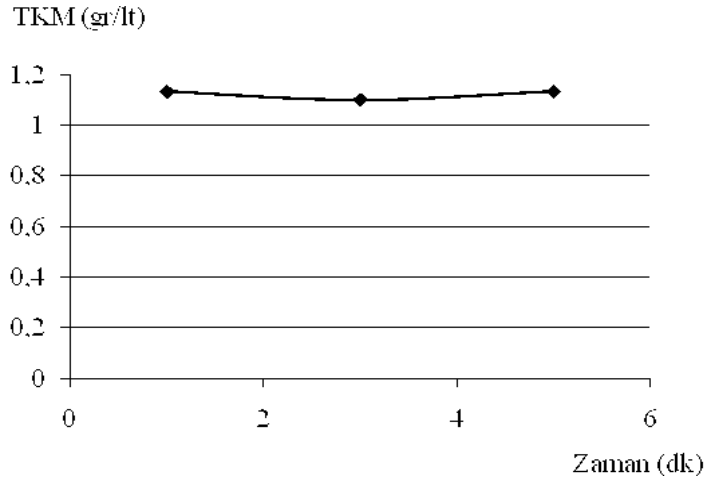
Şekil 5.46, Şekil 5.47, Şekil 5.48, Şekil 5.49; ikinci döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



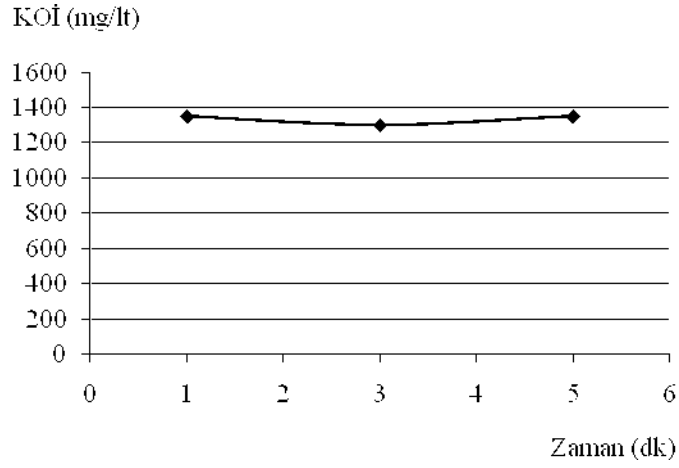
Şekil 5.46. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.47. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi

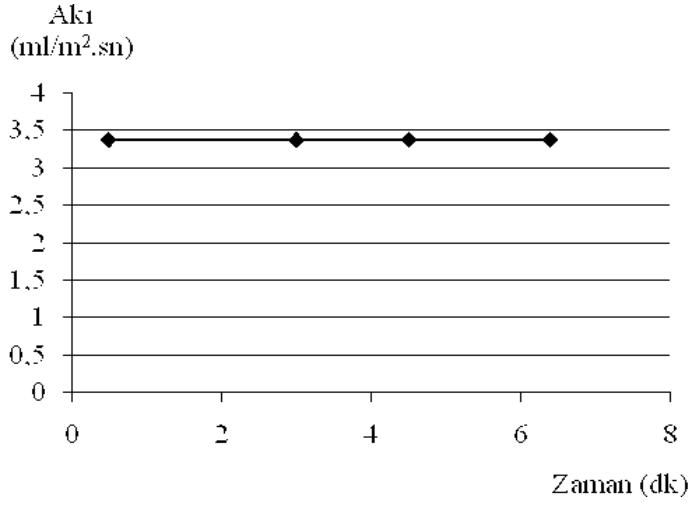


Şekil 5.48. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi

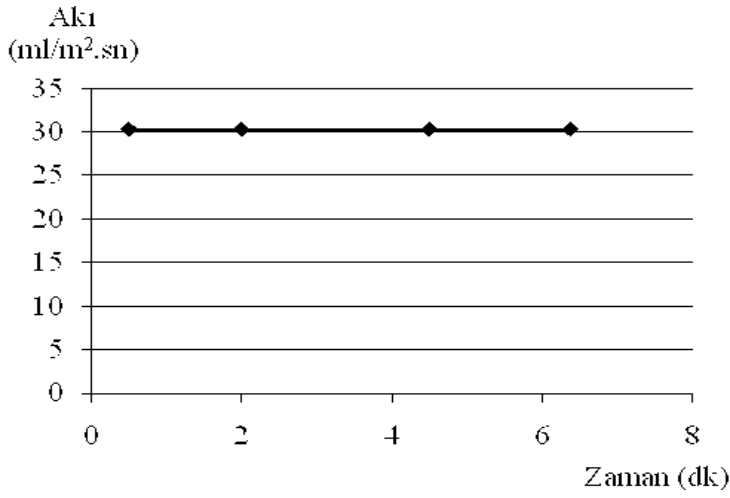


Şekil 5.49. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi

Konsantre akısı ve ürün suyu akısı 6"23" boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri 3.37 ml/m².sn ve 30.30 ml/m².sn olmuştur. Akının zamana bağlı değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.50 ve Şekil 5.51' de verilmiştir.



Şekil 5.50. TO ünitesinde, ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.51. TO ünitesinde, ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi

1. dakikada pompa giriş basıncı 1,4 atm, çıkış basıncı 1 atm; 3. dakikada giriş basıncı 1,35 atm, çıkış basıncı 1 atm, 5. dakikada giriş basıncı 1,32 atm, çıkış basıncı 1 atm olarak kaydedilmiştir. TO membran basıncı ise 10.9 atm' de sabit kalmıştır. 6'23" de ikinci döngü tamamlanmıştır.

10.9 atm' de gerçekleştirilen K1' in artırıldığı ikinci döngüde 4.42 litre ürün suyu, 37.55 litre konsantre su (K2) elde edilmiş, yüzde 10.53 ürün suyu elde edilmiştir. K2 tekrar TO sistemine verilmek üzere 3. döngüde kullanılmıştır.

5.3.2.3. TO' ya Giriş – 3 (Konsantre-2 döngüsü)

11.9 atm de gerçekleştirilen ikinci döngüde çıkan konsantre su (K2), TO membranına verilmiş, ürün (çıkış suyu) ve konsantre suyundan (K3) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 4'40" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.16 ve Tablo 5.17' de verilmiştir.

Tablo 5.16. Ürün suyunun (Ü3' ün) özelliklerinin zamanla değişimi

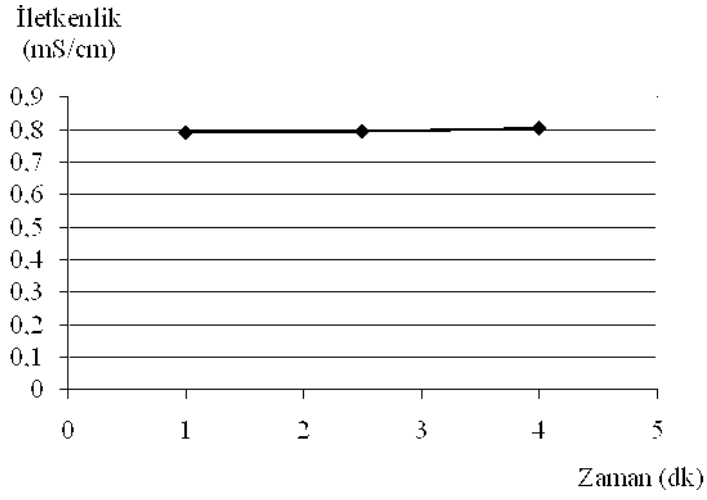
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	7,37	0,0120	0,0005	0	0
2,5.dk	7,38	0,0127	0	0	0
4.dk	7,37	0,0124	0,0001	0	0
Ü	7,37	0,0125	0	0	0

1.5 dakika aralıklarla alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 98 oranında olurken; absorbansa bağlı renk giderim verimleri, TKM ve KOİ giderim verimleri yüzde 100 oranında gerçekleşmiştir.

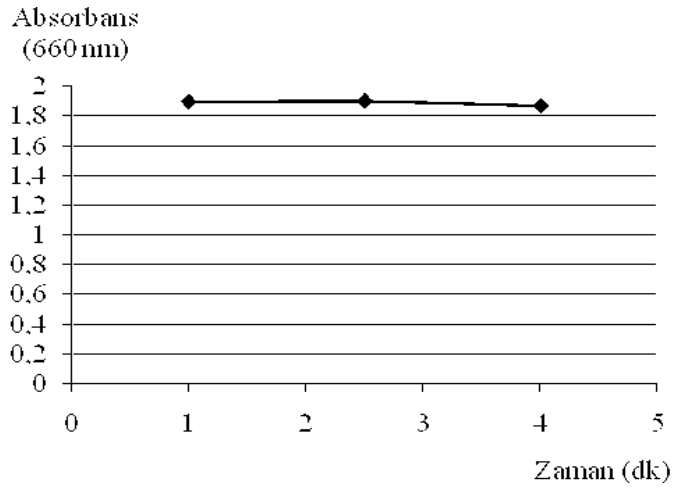
Tablo 5.17. Konsantre suyunun (K3' ün) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Konsante 2 (K2)	7,36	0,737	1,82	1,133	1350
1.dk	7,37	0,793	1,896	1,167	1450
2,5.dk	7,38	0,796	1,902	1,167	1500
4.dk	7,37	0,806	1,868	1,167	1550
Konsantre 3 (K3)	7,38	0,789	1,992	1,167	1500

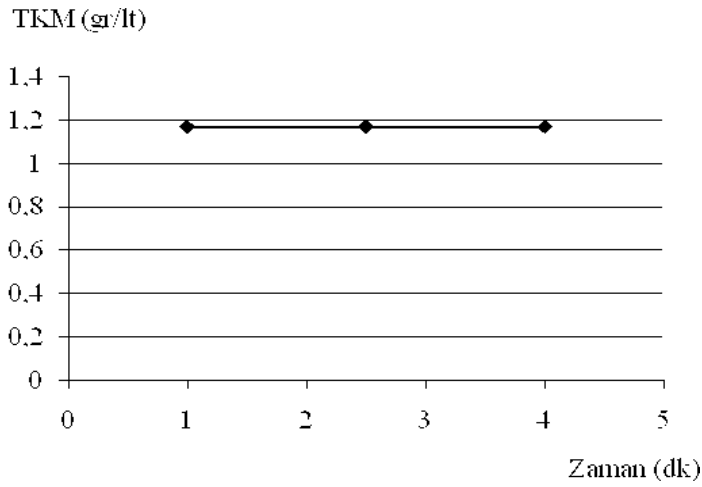
Şekil 5.52, Şekil 5.53, Şekil 5.54, Şekil 5.55; üçüncü döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



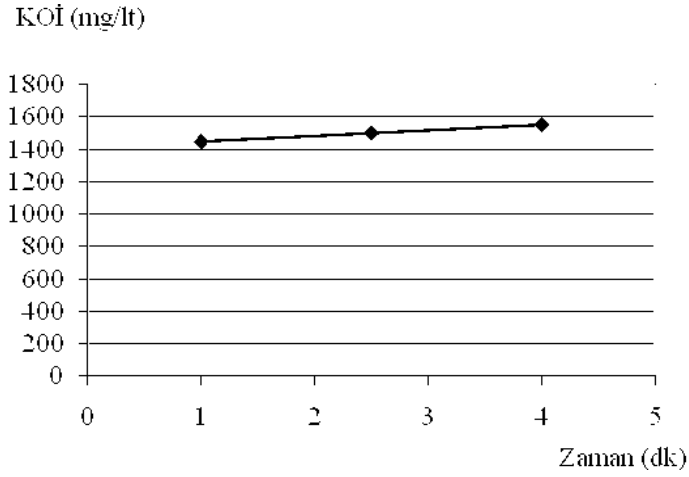
Şekil 5.52. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.53. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi

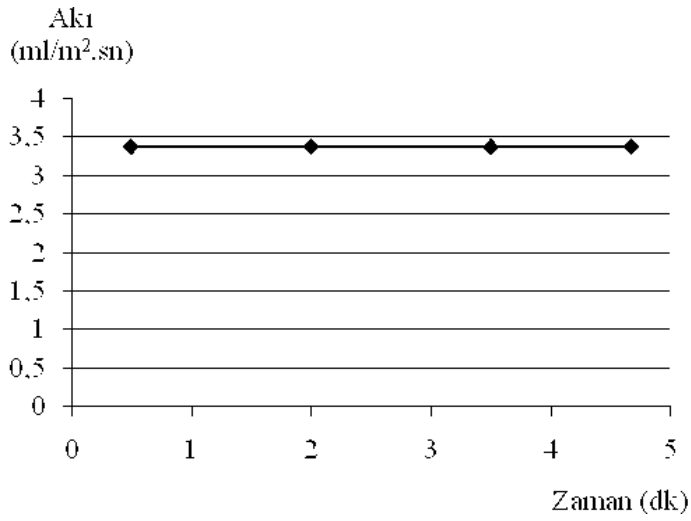


Şekil 5.54. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi

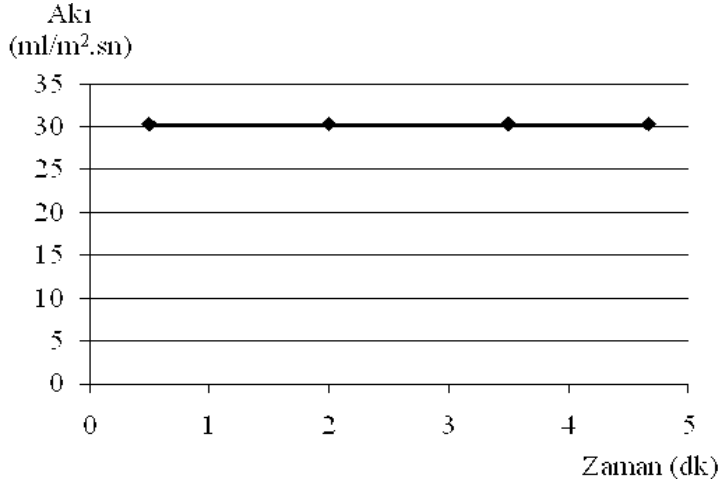


Şekil 5.55. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi

Konsantre ve ürün suyu akısı 4'40" boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri 3.37 ml/m².sn ve 30.30 ml/m².sn olmuştur. Akının zamana bağlı değişimini gösteren grafikler Şekil 5.56 ve Şekil 5.57' de verilmiştir.



Şekil 5.56. TO ünitesinde, üçüncü döngüde Ü3 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.57. TO ünitesinde, üçüncü döngüde K3 akısının zamana bağlı değişimi

1. dakikada pompa giriş basıncı 1.45 atm, çıkış basıncı 1.1 atm; 2. dakikada giriş basıncı 1.4 atm, çıkış basıncı 1 atm, 3. dakikada giriş basıncı 1,35 atm, çıkış basıncı 1 atm, 4. dakikada giriş basıncı 1,1 atm, çıkış basıncı 1 atm olarak kaydedilmiştir. TO membran basıncı ise 10.9 atm’ de sabit kalmıştır. 4'40" de son döngü tamamlanmıştır.

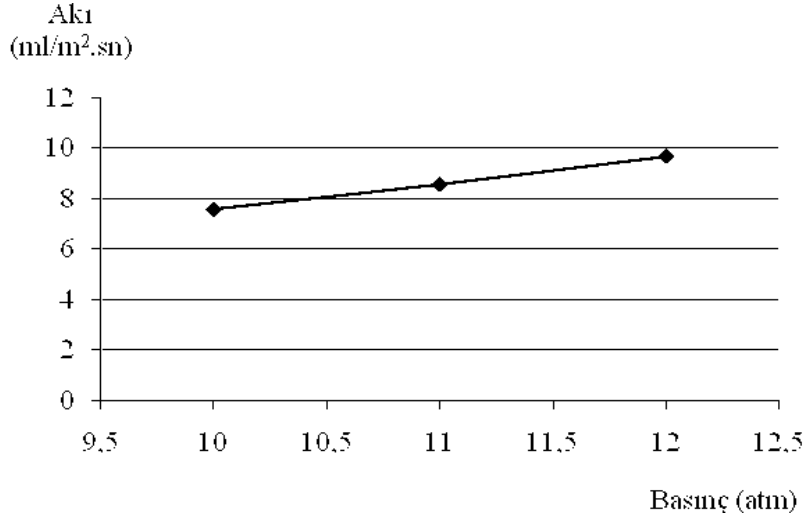
10.9 atm’ de gerçekleştirilen K2’ nin arıtıldığı üçüncü döngüde 3.25 litre ürün suyu, 29.85 litre konsantre su (K3) elde edilmiş olup yüzde 9.82 geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.4. Yeni TO Membranı ile Saf Suyla Yapılan Akı Ölçümleri

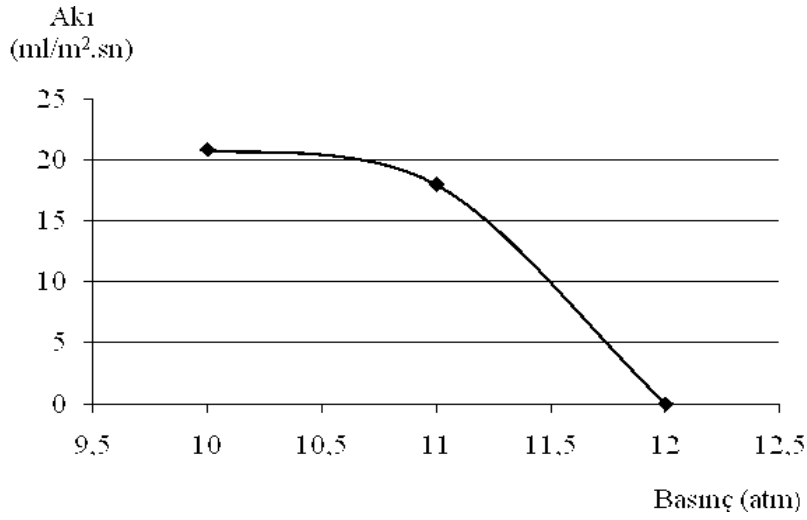
Deney no 3 tamamlandıktan sonra tekrar atıksu ile çalışmaya başlamadan önce MF ve TO membranları değiştirilmiş, farklı sürücü basınçlarında saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu ile çalışmaya başlanmıştır.

Saf su ile yapılan akı ölçümlerine göre; 10 atm basınçta ürün suyu akısı 7.56 ml/m².sn, konsantre suyu akısı 20.83 ml/m².sn; 11 atm basınçta ürün suyu akısı 8.55 ml/m².sn, konsantre suyu akısı 18.00 ml/m².sn; 12 atm basınçta ürün suyu akısı 9.66 ml/m².sn, konsantre suyu akısı ise 0 olmuştur.

Farklı sürücü basınçlarında ürün suyu akısının değişimi Şekil 5.58’ de, konsantre suyu akısının değişimi Şekil 5.59’ da verilmiştir.



Şekil 5.58. Farklı sürücü basınçlarında ürün suyu akısının değişimi



Şekil 5.59. Farklı sürücü basınçlarında konsantre suyu akısının değişimi

5.5. Deney No 4 (D4)

5.5.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzöldükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 1 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 2'41" dir.

Tablo 5.18, atıksuyun MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

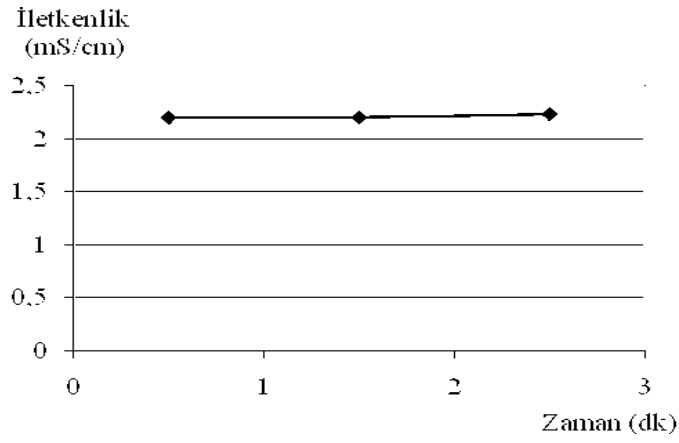
Tablo 5.18. MF membranı çıkışında alınan anlık numunelerdeki suyun özellikleri

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	5,98	2,27	4,905	5,43	5350
0,5.dk	5,96	2,20	4,378	5,10	5050
1,5.dk	5,97	2,20	4,296	5,03	5050
2,5.dk	5,97	2,23	4,325	5,03	5050
MF çıkış	5,97	2,23	4,381	5,03	5050

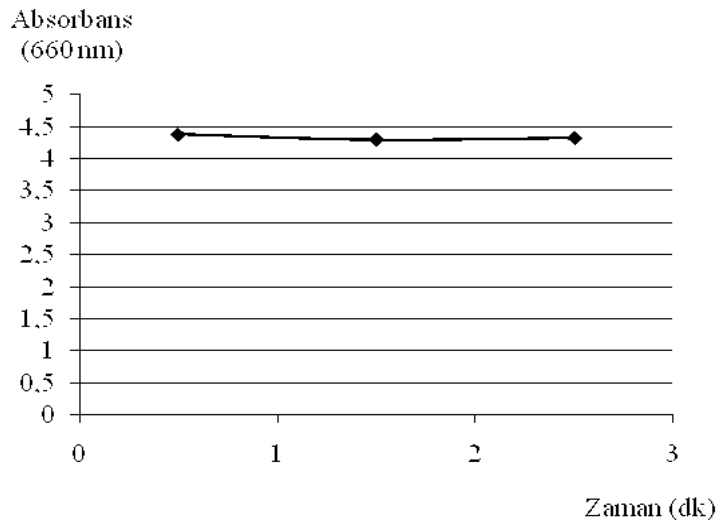
Alınan anlık numunelerde yapılan deneylerde iletkenlik giderme verimleri yüzde 1-3; absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 10-13; TKM giderim verimleri yüzde 6-8; KOİ giderim verimleri ise yüzde 5-6 arasında olmuştur.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görölmüştür. İletkenlik giderim verimi yaklaşık yüzde 2, absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 11 olurken; TKM giderim veriminin yüzde 7; KOİ giderim veriminin yüzde 6 civarında gerçekleştiği görölmüştür.

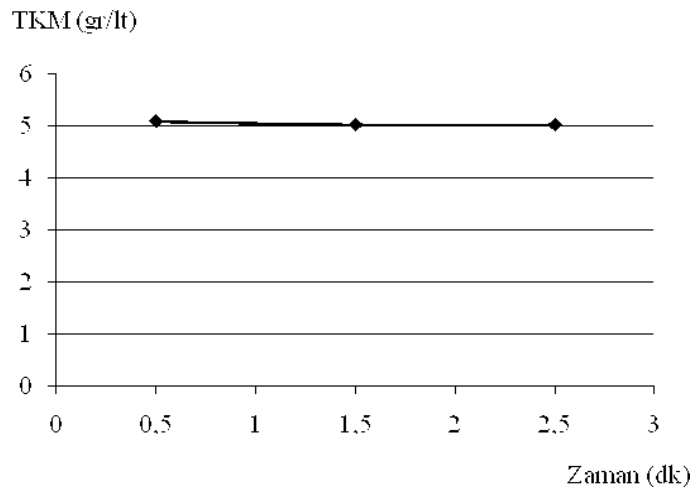
Şekil 5.60, Şekil 5.61, Şekil 5.62, Şekil 5.63; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



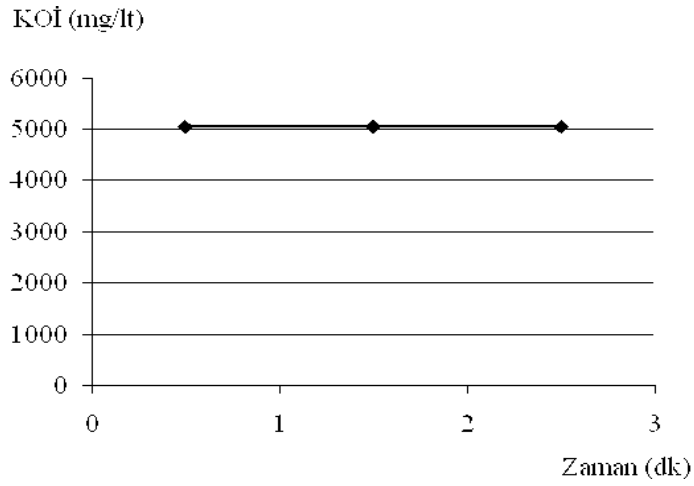
Şekil 5.60. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.61. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi

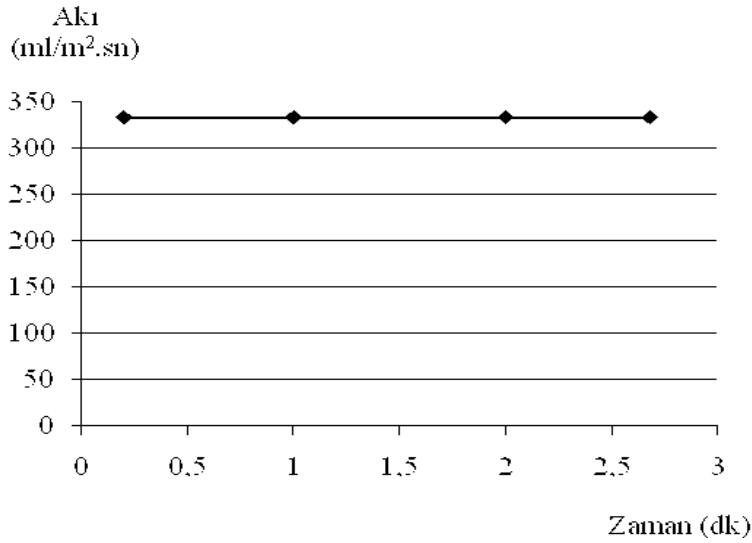


Şekil 5.62. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.63. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi

Akı, çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup akı değeri $333 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur. Akının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5.64' te verilmiştir.



Şekil 5.64. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

1. dakikada pompa giriş basıncı $0,75 \text{ atm}$, çıkış basıncı 0.54 atm ; 1'20" de giriş basıncı 0.8 atm çıkış basıncı 0.45 atm ; 1'20" de giriş basıncı $0,8 \text{ atm}$, çıkış basıncı 0.41 atm olduğu gözlenmiştir. Besleme suyu sisteme verildiği süre içerisinde giriş ve çıkış basınçları izlenmiş, akı kontrol edilmiş, 2'41" de sistem durdurulmuştur.

5.5.2. TO Deneyleri

Deney no 4' te TO deneylerine başlarken yeni TO membranı kullanılmıştır.

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama suyu TO membranına verilmeden önce membran 12 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra atıksu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için $6.73 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$, konsantre için ise $72 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, MF ünitesinde olduğu gibi yine belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. Ürün ve konsantre suyu ayrı kaplarda toplanmış, TO ünitesi durdurulduktan sonra ürün ve konsantre suyunun hacimleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak ürün suyunun miktarı belirlenmiş, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Besleme suyu olarak sisteme verilen atıksu (TO' ya giriş), çıkışta konsantre (K) ve ürün suyu (Ü) olarak ayrı kaplarda toplanmıştır. Bir döngüde suyun tekrar kullanım oranının ciddi derecede yüksek olması nedeniyle konsantrenin tekrar arıtımına gerek duyulmamış, tek döngüde döngüde 12 atm basınçta yürütülen deney tamamlanmıştır.

5.5.2.1. TO' ya Giriş

MF filtresinden geçirilen atıksu, 12 atm basınçta TO membranına verilmiş, ürün ve konsantre suyundan (K) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 47' da TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.19 ve Tablo 5.20' de verilmiştir.

Tablo 5.19. Ürün suyunun (Ü) özelliklerinin zamanla değişimi

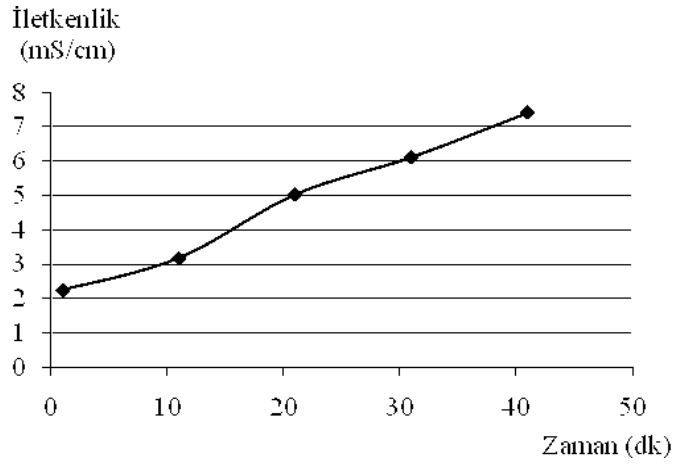
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	5,97	0,0253	0,017	0	0
11.dk	5,96	0,0562	0,015	0	0
21.dk	5,92	0,0937	0,019	0	0
31.dk	5,98	0,1275	0,016	0	0
41.dk	5,96	0,1691	0,030	0	0
Ü	5,95	0,0813	0,017	0	0

10' ar dakika aralıklarla alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimleri zamanla azalmış ve yüzde 92-99 arasında değişmiştir. Absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 99' un üzerinde; KOİ ve TKM giderim verimleri yüzde 100 oranında gerçekleşmiştir.

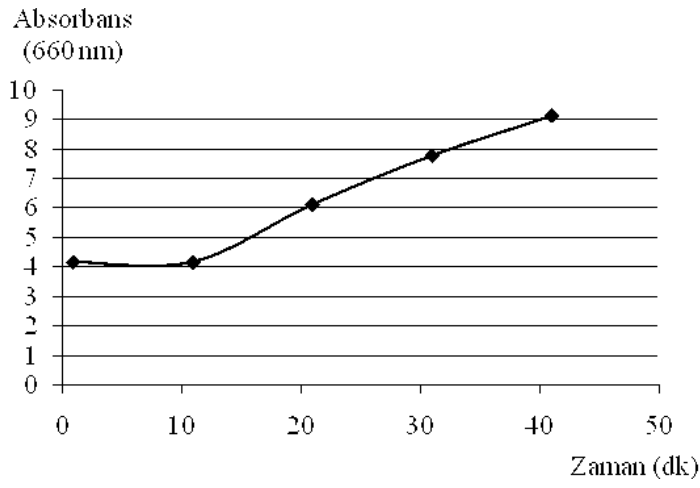
Tablo 5.20. Konsantre suyunun (K) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,97	2,23	4,181	5,03	5050
1.dk	5,97	2,24	4,180	5,13	5100
11.dk	5,96	3,17	4,171	7,23	5900
21.dk	5,98	5,03	6,123	8,33	7550
31.dk	5,99	6,12	7,783	13,23	10500
41.dk	5,96	7,42	9,128	18,767	24500
Konsantre	5,98	4,87	7,182	11	12200

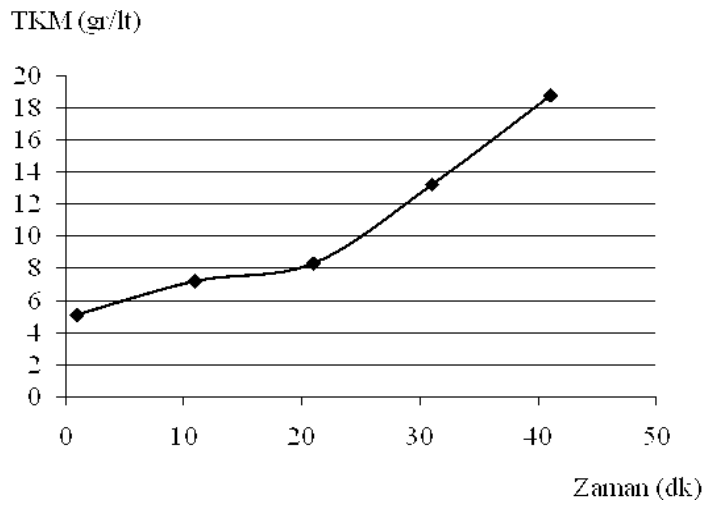
Şekil 5.65, Şekil 5.66, Şekil 5.67, Şekil 5.68; TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



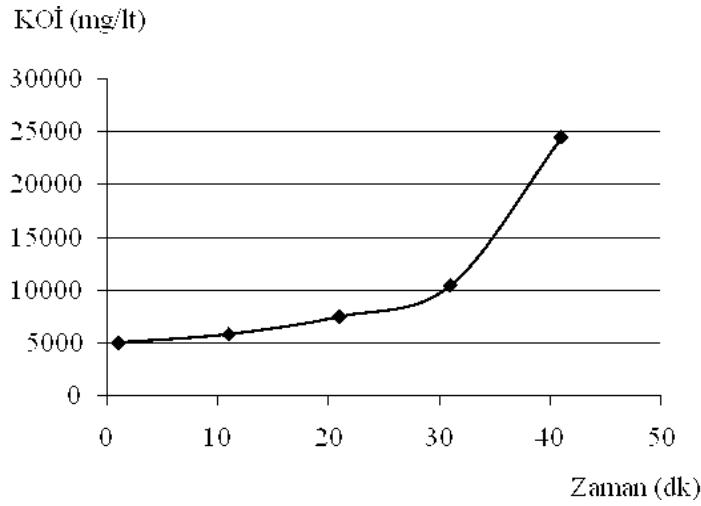
Şekil 5.65. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.66. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) absorbansın zamana göre değişimi

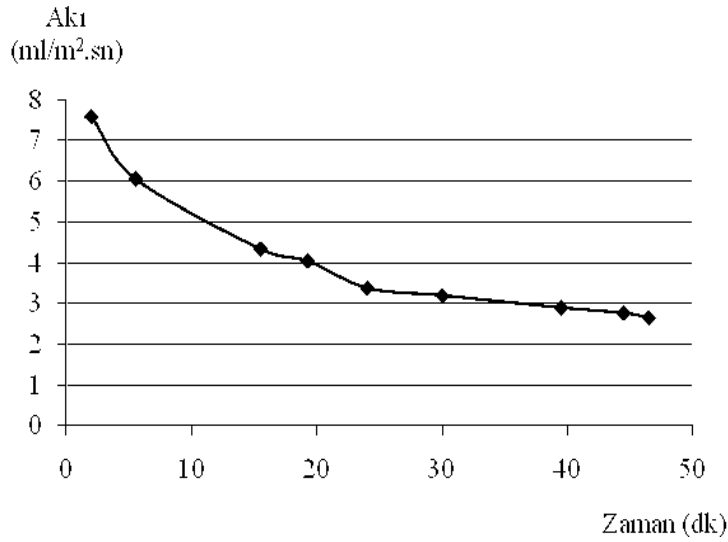


Şekil 5.67. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) TKM' nin zamana göre değişimi

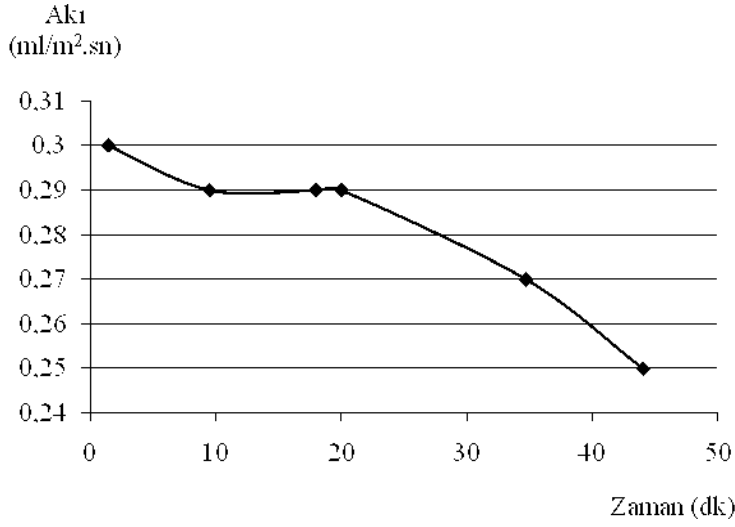


Şekil 5.68. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akısının membran yüzeyindeki kek oluşumuna bağlı olarak zamanla azaldığı görülmüştür. Ürün ve konsantre suyu akılarının zamana bağlı değişimi Şekil 5.69 ve Şekil 5.70' te verilmiştir.



Şekil 5.69. TO ünitesinde Ü akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.70. TO ünitesinde K akısının zamana bağlı değişimi

1. dakikada pompa basıncı girişte 1,6 atm, çıkışta 1.35 atm; 2. dakikada girişte 1,55 atm, çıkışta 1.3 atm, 14. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.2 atm; 19. dakikada girişte 1,45 atm, çıkışta 1.2 atm, 21. dakikada girişte 1,48 atm, çıkışta 1.2 atm; 26. dakikada girişte 1,45 atm, çıkışta 1.2 atm, 34. dakikada girişte 1,48 atm, çıkışta 1.2 atm; 40 dakikada girişte 1,45 atm, çıkışta 1.2 atm, 42. dakikada girişte 1,49 atm, çıkışta 1.2 atm olarak kaydedilmiştir.

Başlangıçta 12 atm olan TO membran basıncı ise 47. dakikada 11.9 atm' ye düşmüş, bu basınçta deney tamamlanmıştır.

12 atm' de gerçekleştirilen, tek döngüyle tamamlanan deney no 2' de 36.75 litre ürün suyu, 2.51 litre konsantre su elde edilmiş olup yüzde 93.6 geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.6. Deney No 5 (D5)

5.6.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzildükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 2 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 5'10" dir.

Tablo 5.21, MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

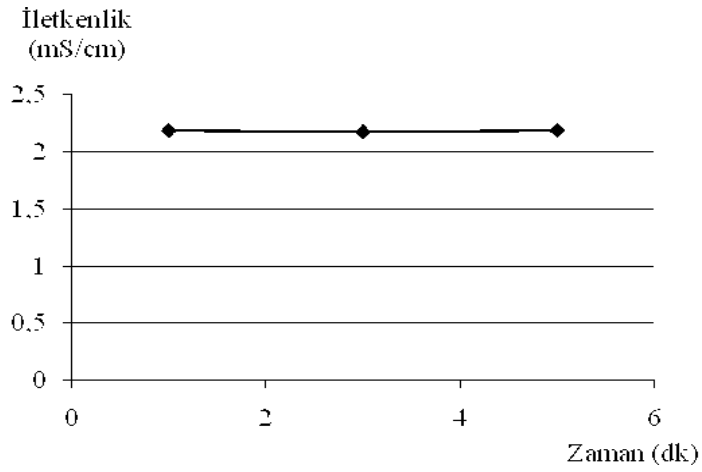
Tablo 5.21. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	5,94	2,22	4,198	5,767	5300
1.dk	5,94	2,19	3,771	5,370	5000
3.dk	5,92	2,18	3,947	5,500	5000
5.dk	5,94	2,19	3,747	5,500	5000
MF çıkış	5,94	2,18	3,880	5,500	5000

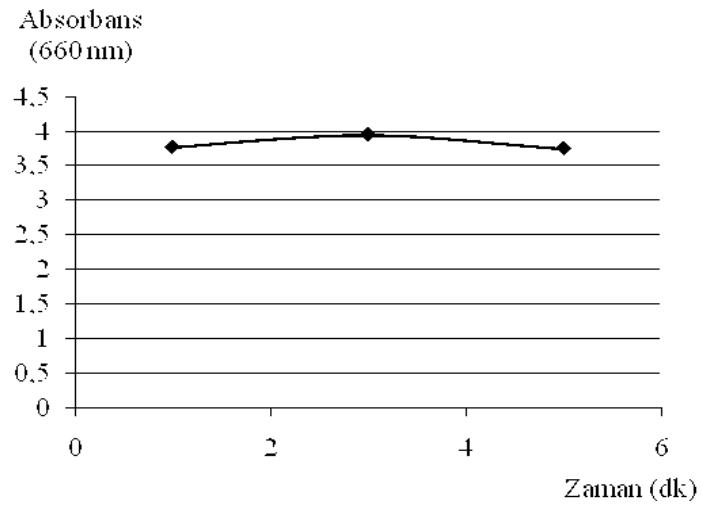
1., 3. ve 5. dakikalarda alınan numunelerdeki iletkenlik giderme verimleri yüzde 1-2; absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 6-11; TKM giderim verimleri yüzde 4-7; KOİ giderim verimleri ise yaklaşık yüzde 6 olmuştur.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim verimi yaklaşık yüzde 2, absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 8 civarında olurken; TKM giderim veriminin yüzde 5, KOİ giderim veriminin ise yüzde 6 civarında olduğu görülmüştür.

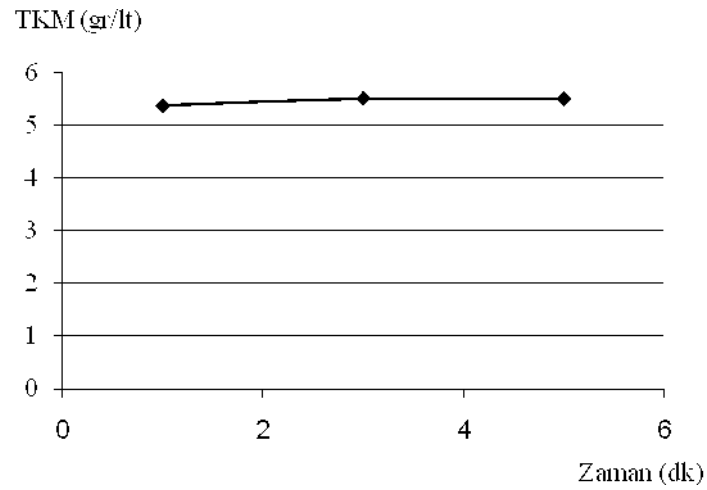
Şekil 5.71, Şekil 5.72, Şekil 5.73, Şekil 5.74; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



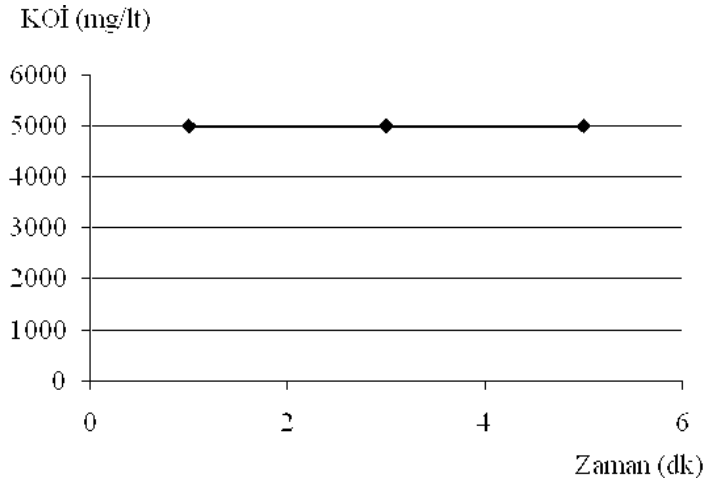
Şekil 5.71. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.72. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

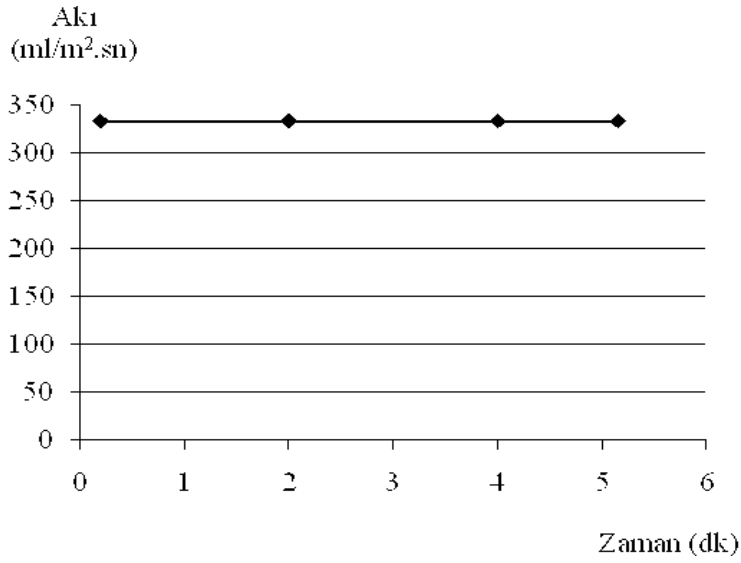


Şekil 5.73. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.74. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi

Akı, çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup akı değeri $333 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur. Akının zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 5.75' te verilmiştir.



Şekil 5.75. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

Pompa basıncı 1. dakikada girişte 0.7 atm, çıkışta 0.6 atm; 3. dakikada girişte 0.7 atm çıkışta 0.56 atm; 5. dakikada girişte 0,7 atm, çıkışta 0.55 atm olarak kaydedilmiştir.

5.6.2. TO Deneyleri

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama suyu TO membranına verilmeden önce membran 11 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için $6.91 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$, konsantre için ise $36.66 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. Ürün ve konsantre suyu ayrı kaplarda toplanmış, TO ünitesi durdurulduktan sonra ürün ve konsantre suyunun hacimleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak ürün suyunun miktarı belirlenmiş, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Besleme suyu olarak sisteme verilen su (TO' ya giriş-1), çıkışta konsantre (K1) ve ürün suyu (Ü1) olarak ayrı kaplarda biriktirilmiştir. İlk döngüde toplanan konsantre su (K1), tekrar besleme suyu olarak TO ünitesine verilmiş (TO' ya giriş-2) bu döngüde çıkan konsantre de (K2) yine TO ünitesine besleme suyu olarak verilmiştir (TO' ya giriş-3). Son döngüdeki konsantre (K3) ise sistemde tekrar kullanılmamış 11 atm' deki deney 3 döngüde tamamlanmıştır.

5.6.2.1. TO' ya Giriş – 1 (Ham su döngüsü)

MF filtresinden geçirilen atıksu, TO membranına verilmiş, ürün (çıkış suyu) ve konsantre suyundan (K1) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 10'20" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.22 ve Tablo 5.23' te verilmiştir.

Tablo 5.22. Ürün suyunun (Ü1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

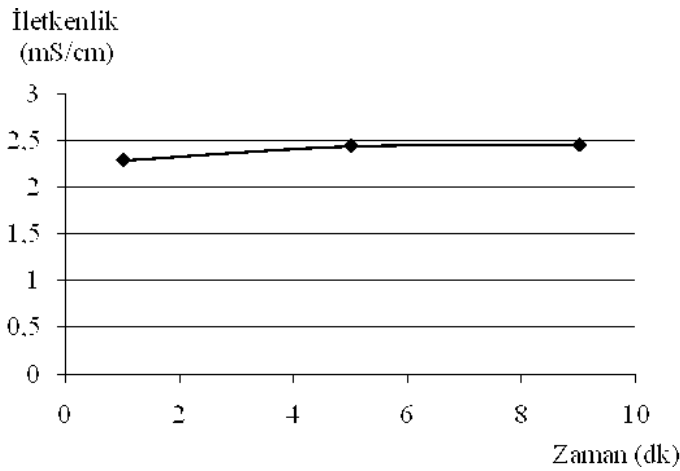
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	5,92	0,0233	0,015	0,03	0
5.dk	5,92	0,0234	0,015	0	0
9.dk	5,92	0,0235	0,014	0,02	0
Ü1	5,92	0,0234	0,015	0	0

1. 5. ve 9. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 99; absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 99' un üzerinde olurken; TKM ve KOİ giderim verimleri yüzde 100 oranında gerçekleşmiştir.

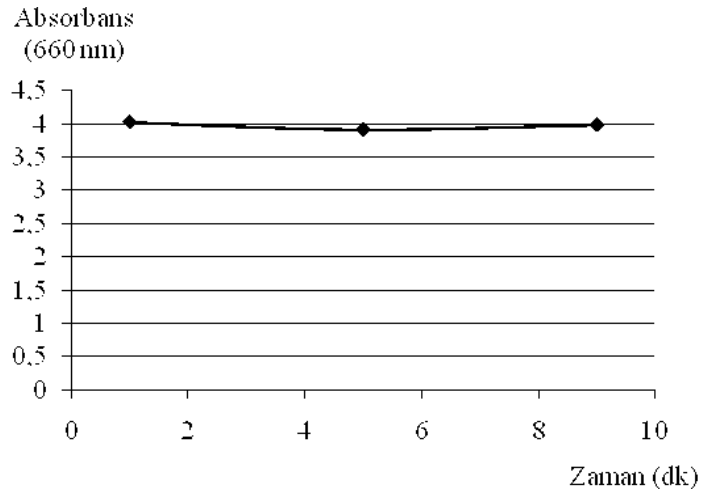
Tablo 5.23. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,94	2,18	3,88	5,5	5000
1.dk	5,94	2,29	4,026	5,6	5500
5.dk	5,93	2,44	3,912	5,6	5500
9.dk	5,93	2,45	3,985	5,84	5500
Konsantre 1 (K1)	5,94	2,46	4,327	5,83	5500

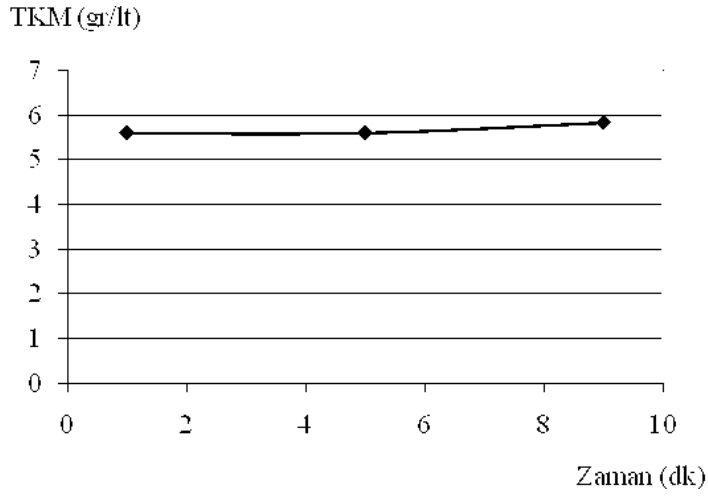
Şekil 5.76, Şekil 5.77, Şekil 5.78, Şekil 5.79; TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



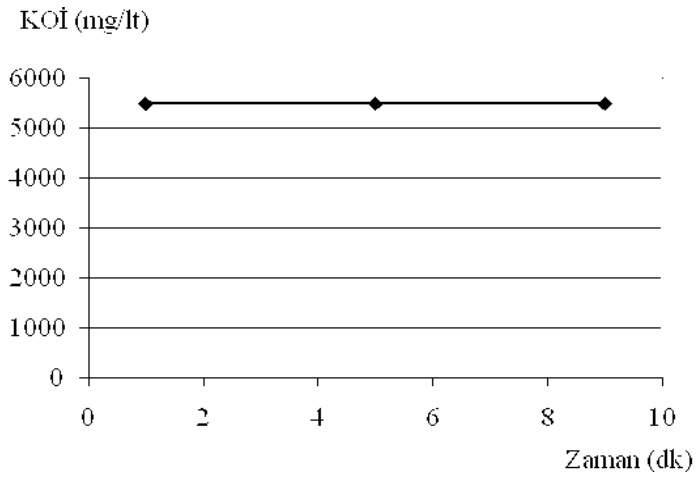
Şekil 5.76. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.77. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbansın zamana göre değişimi

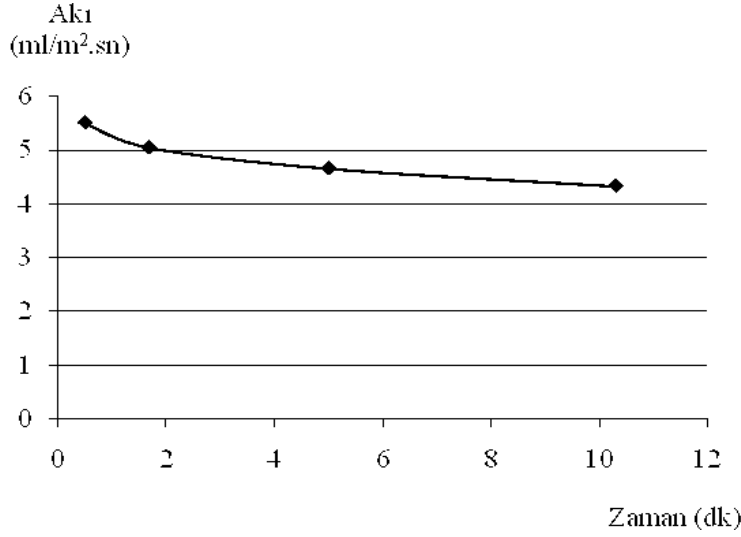


Şekil 5.78. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi

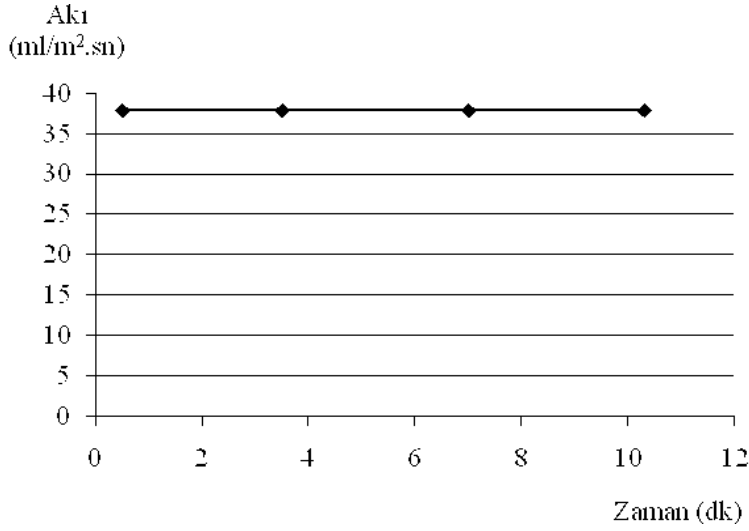


Şekil 5.79. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün suyu akısı zamanla azalırken, konsantre suyu akısı $37.88 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ ' de sabit kalmıştır. Ürün ve konsantre suyu akısının zamana bağlı değişimleri Şekil 5.80 ve Şekil 5.81' de verilmiştir.



Şekil 5.80. TO ünitesinde ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.81. TO ünitesinde ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi

1. dakikada pompa basıncı girişte 1.4 atm, çıkışta 1.1 atm; 2. dakikada girişte 1.35 atm, çıkışta 1.1 atm, 3. dakikada girişte 1,3 atm, çıkışta 1.1 atm; 5. dakikada girişte 1,29 atm, çıkışta 1.0 atm, 10. dakikada girişte 1.25 atm, çıkışta 1.0 atm olarak kaydedilmiştir. TO membran basıncı deney boyunca 11 atm' de sabit kalmıştır.

11 atm’ de gerçekleştirilen ilk döngüde 10.1 litre ürün suyu, 74.45 litre konsantre su (K1) elde edilmiş, yüzde 11.94 ürün suyu elde edilmiştir. K1 tekrar TO sistemine verilmek üzere 2. döngüde kullanılmıştır.

5.6.2.2. TO’ ya Giriş – 2 (Konsantre-1 döngüsü)

İlk döngüde çıkan konsantre su (K1), besleme suyu olarak TO membranına verilmiş, ürün suyu (çıkış suyu) ve konsantre sudan (K2) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 8’ da TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.24 ve Tablo 5.25’ te verilmiştir.

Tablo 5.24. Ürün suyunun (Ü2’nin) özelliklerinin zamanla değişimi

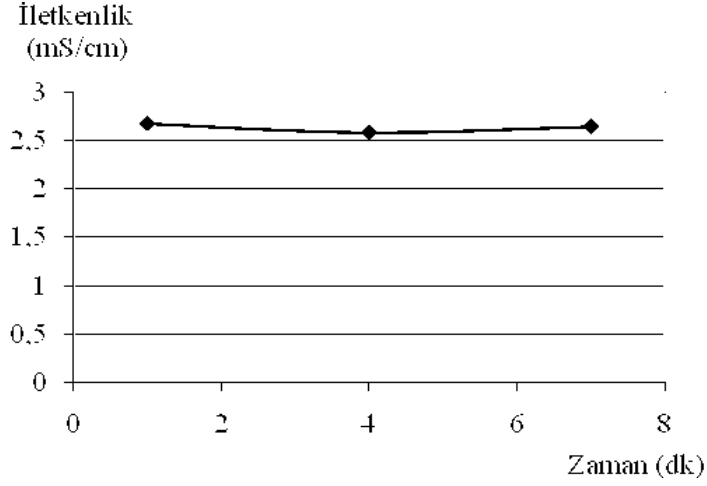
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	5,93	0,0293	0,017	0	0
4.dk	5,93	0,0251	0,015	0,03	0
7.dk	5,94	0,0283	0,015	0	0
Ü2	5,93	0,0279	0,015	0	0

1. 4. ve 7. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 98’ in üzerinde; absorbansa bağlı renk giderim verimleri ve TKM giderim verimleri yaklaşık yüzde 100; KOİ giderim verimleri de yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

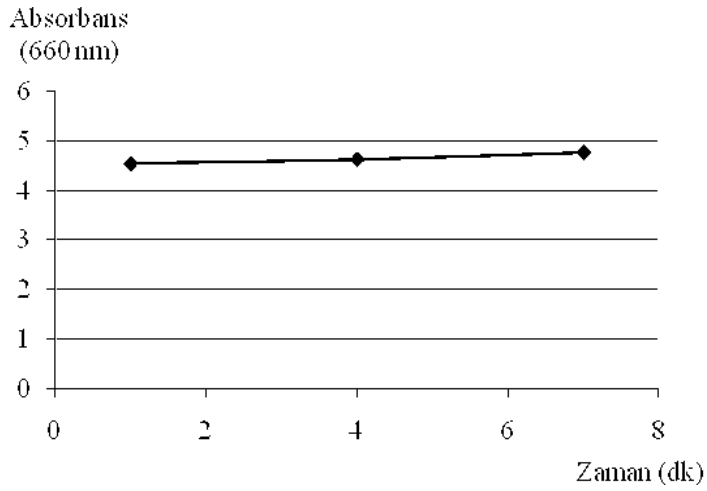
Tablo 5.25. Konsantre suyunun (K2’ nin) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
K1	5,94	2,46	4,327	5,83	5500
1.dk	5,92	2,68	4,549	4,025	5700
4.dk	5,93	2,59	4,625	4,167	5750
7.dk	5,92	2,65	4,765	6,425	6150
K2	5,93	2,68	4,725	6,367	6100

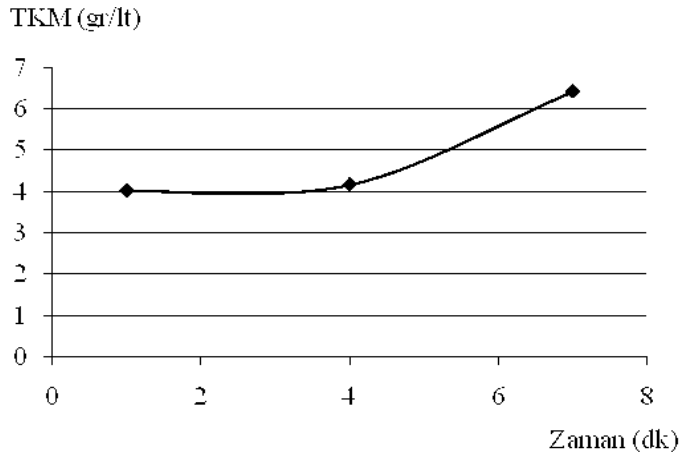
Şekil 5.82, Şekil 5.83, Şekil 5.84, Şekil 5.85; TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



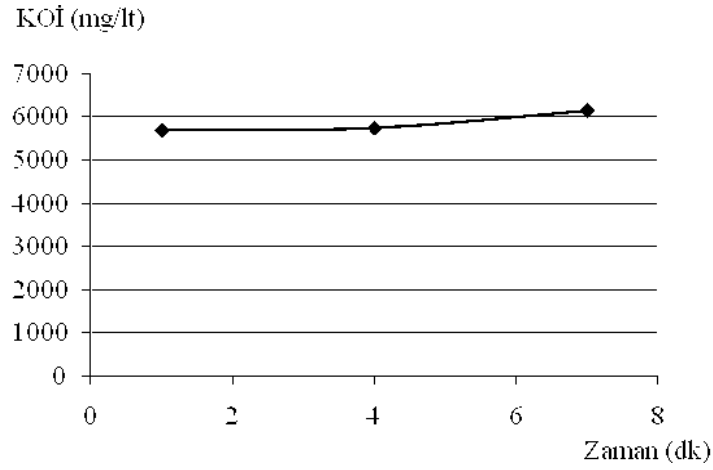
Şekil 5.82. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.83. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi

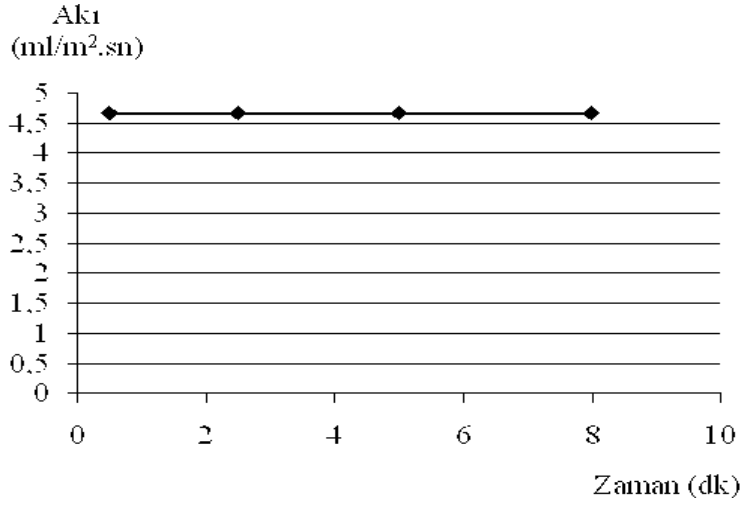


Şekil 5.84. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi

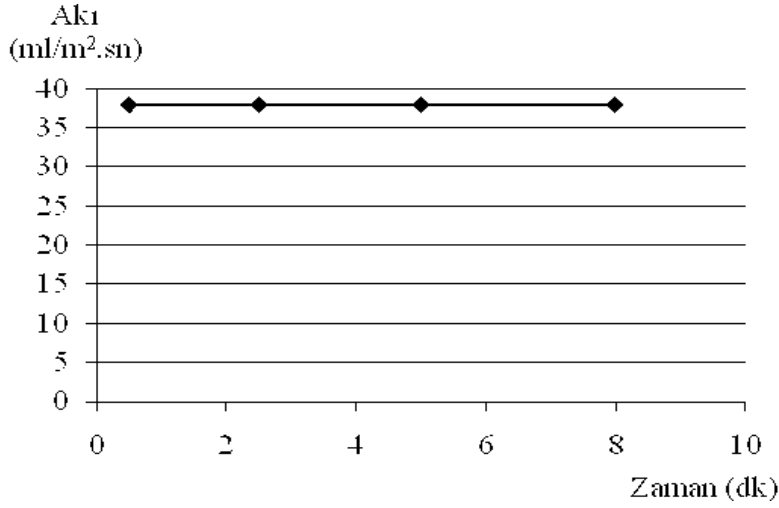


Şekil 5.85. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akısı 8' boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri 4.66 ml/m².sn ve 37.88 ml/m².sn olmuştur. Şekil 5.86 ve Şekil 5.87' de akının zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 5.86. TO ünitesinde ikinci döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.87. TO ünitesinde ikinci döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basıncı 1. dakikada girişte 1.4 atm, çıkışta 1.1 atm; 3. dakikada girişte 1.30 atm, çıkışta 1.1 atm, 6. dakikada girişte 1,29 atm, çıkışta 1.0 atm; 7. dakikada girişte 1,25 atm, çıkışta 1.0 atm olarak kaydedilmiştir. TO membran basıncı deney boyunca 11 atm’ de sabit kalmıştır.

11 atm’ de gerçekleştirilen ikinci döngüde 7.30 litre ürün suyu, 57.75 litre konsantre su (K1) elde edilmiş, atıksuyun geri dönüşün oranı yüzde 11.22 olmuştur. K2 tekrar TO sistemine verilmek üzere 3. döngüde kullanılmıştır.

5.6.2.3. TO' ya Giriş – 3 (Konsantre-2 döngüsü)

İkinci döngüde çıkan konsantre su (K2), besleme suyu olarak TO membranına verilmiş, ürün suyu (çıkış suyu) ve konsantre sudan (K3) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 5'57" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.26 ve Tablo 5.27' de verilmiştir.

Tablo 5.26. Ürün suyunun (Ü3'ün) özelliklerinin zamanla değişimi

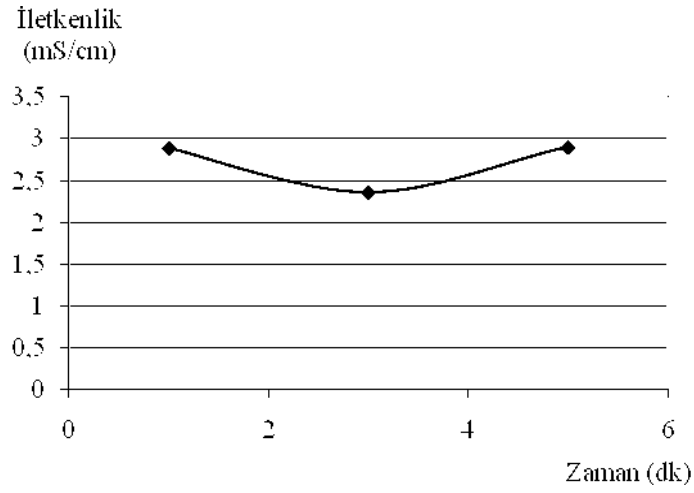
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	5,94	0,0326	0,018	0,01	0
3.dk	5,92	0,0300	0,016	0,01	0
5.dk	5,92	0,0300	0,014	0	0
Ü3	5,94	0,0303	0,015	0	0

1. 3. ve 5. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 98' in üzerinde, absorbansa bağlı renk giderim verimleri ve TKM giderim verimleri yaklaşık yüzde 100, KOİ giderim verimleri de yüzde 100 oranında gerçekleşmiştir.

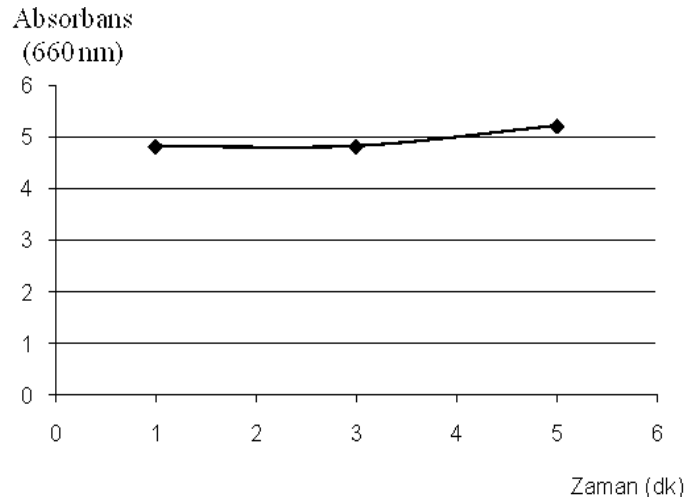
Tablo 5.27. Konsantre suyunun (K3' ün) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
K2	5,93	2,68	4,725	6,367	6100
1.dk	5,93	2,89	4,827	6,410	6500
3.dk	5,92	2,36	4,824	6,790	6600
5.dk	5,92	2,90	5,216	6,025	6600
K3	5,93	2,81	4,998	7,067	6500

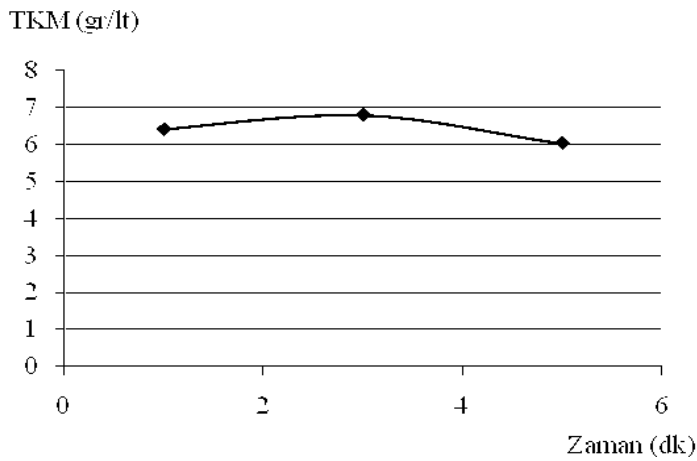
Şekil 5.88, Şekil 5.89, Şekil 5.90, Şekil 5.91; TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



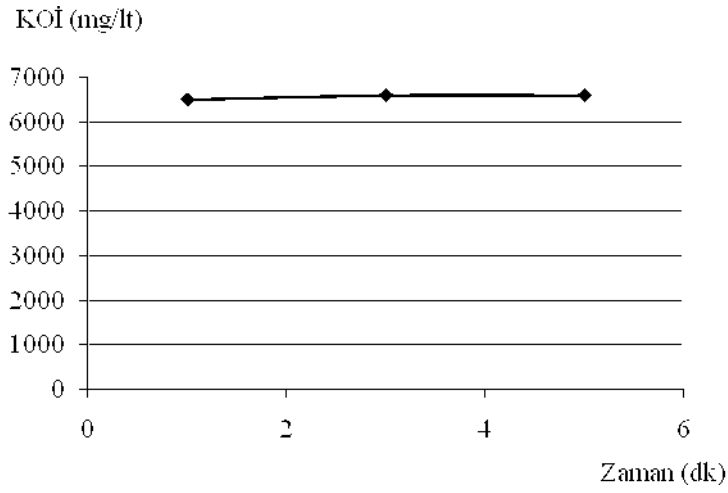
Şekil 5.88. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.89. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) absorbansın zamana göre değişimi

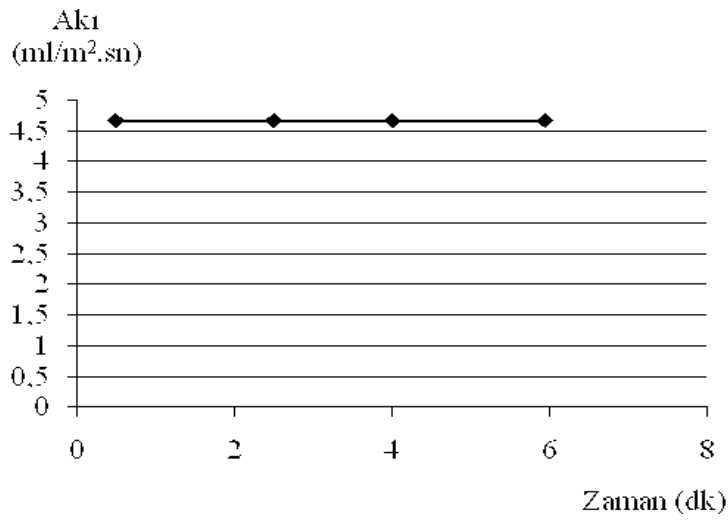


Şekil 5.90. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) TKM' nin zamana göre değişimi

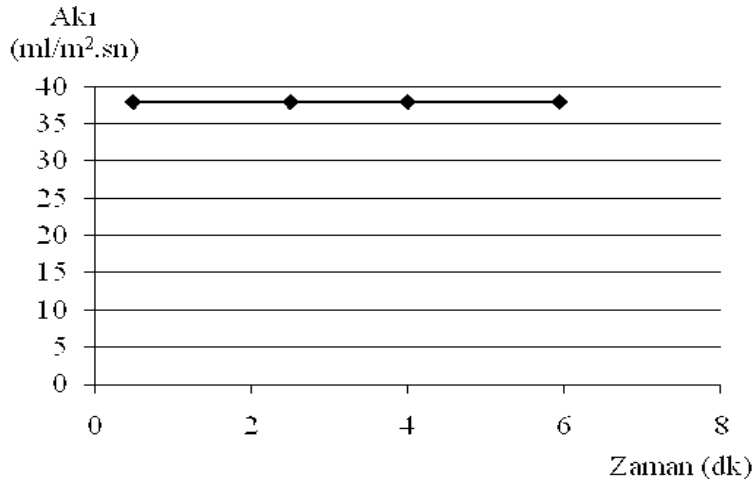


Şekil 5.91. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akıları 5'57" boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri 4.66 ml/m².sn ve 37.88 ml/m².sn olmuştur. Şekil 5.92 ve Şekil 5.93' te ürün ve konsantre suyu akılarının grafiklerle gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.92. TO ünitesinde üçüncü döngüde Ü3 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.93. TO ünitesinde üçüncü döngüde K3 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1. dakikada girişte 1.4 atm, çıkışta 1.1 atm; 2. dakikada girişte 1.31 atm, çıkışta 1.1 atm, 3. dakikada girişte 1.30 atm, çıkışta 1.0 atm; 4. dakikada girişte 1.29 atm, çıkışta 1.0 atm, 5. dakikada girişte 1.25 atm, çıkışta 1.0 atm olarak kaydedilmiştir. TO membran basıncı deney boyunca 11 atm’ de sabit kalmıştır.

11 atm’ de gerçekleştirilen son döngüde 5.5 litre ürün suyu, 41.95 litre konsantre su elde edilmiş, atıksuyun geri dönüşün oranı yüzde 11.59 olmuştur. Konsantre su (K3) tekrar sistemde kullanılmamış olup, 11 atm’ deki deney 3 döngüde tamamlanmıştır.

5.7. Deney No 6 (D6)

5.7.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzildükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 1.5 dakika aralıklarla numuneler alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 4'10" dir.

Tablo 5.28, atıksu MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

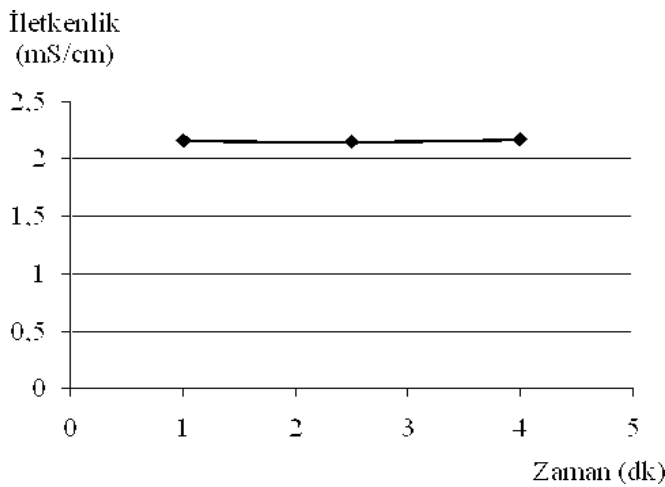
Tablo 5.28. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/l)	KOİ (mg/l)
Ham su	5,62	2,20	4,410	4.10	5250
1.dk	5,63	2,16	4,026	3.98	5050
2,5.dk	5,63	2,15	4,026	3,91	5000
4.dk	5,62	2,17	4,085	4,00	5000
MF çıkış	5,63	2,15	4,072	3,93	5000

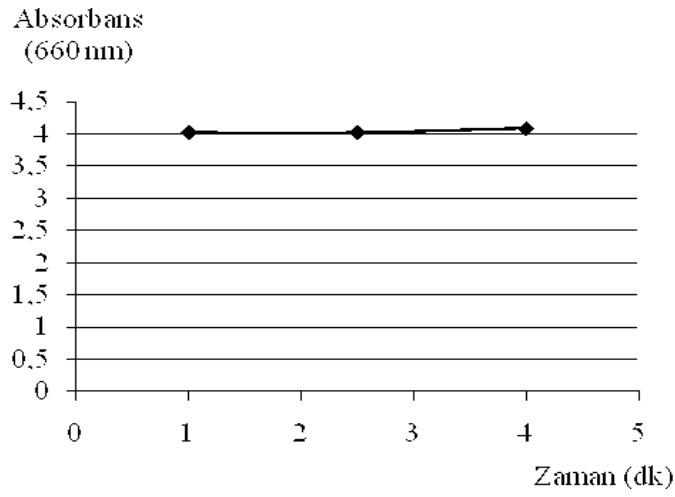
1. 2. ve 3. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde iletkenlik giderme verimleri sırayla yüzde 1-3, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 6-9, TKM giderim verimleri yüzde 2-5, KOİ giderim verimleri yüzde 3-5 arasında gerçekleşmiştir.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim verimi yüzde 2, absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 8 civarında olurken; TKM giderim veriminin yaklaşık yüzde 4 ve KOİ giderim veriminin ise yüzde 5 civarında olduğu görülmüştür.

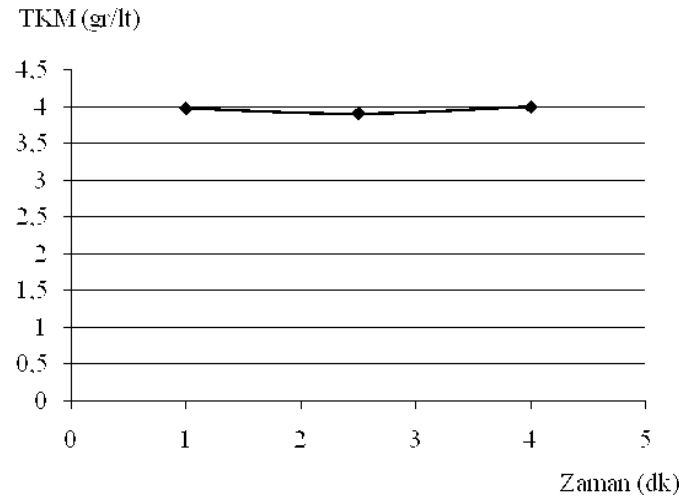
Şekil 5.94, Şekil 5.95, Şekil 5.96, Şekil 5.97; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



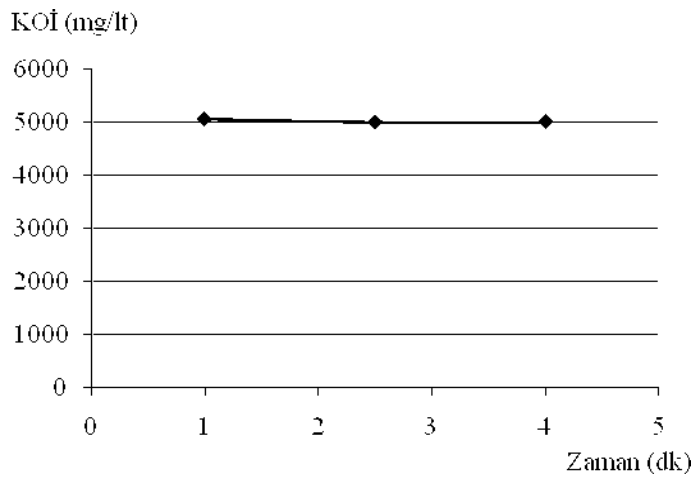
Şekil 5.94. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.95. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

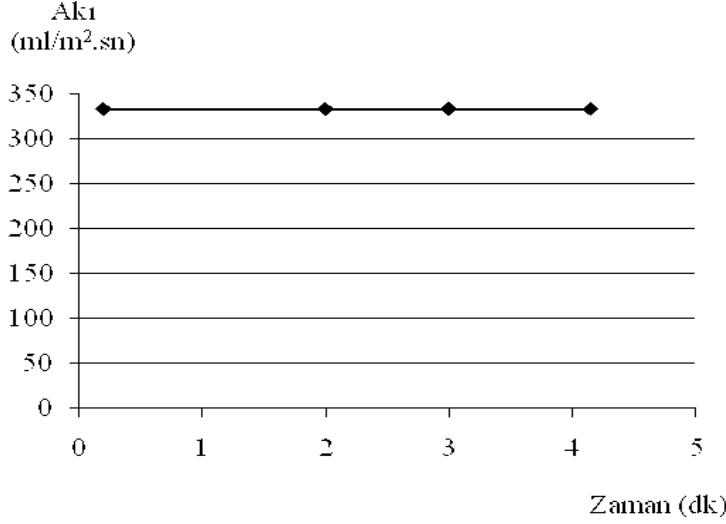


Şekil 5.96. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.97. MF çıkışında atıksudaki KOI' nin zamana göre değişimi

Akı, çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup akı değeri 333 ml/m².sn olmuştur. Akının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5.98’ de verilmiştir.



Şekil 5.98. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

Pompa giriş basıncının 1. dakikada girişte 0.65 atm, çıkışta 0.6 atm; 3. dakikada girişte 0.61 atm çıkışta 0.59 atm; 4. dakikada girişte 0,6 atm, çıkışta 0.57 atm olduğu gözlenmiştir.

5.7.2. TO Deneyleri

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen besleme suyu (kot yıkama suyu) TO membranına verilmeden önce membran 10 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için 7.58 ml/m².sn, konsantre için ise 20.83 ml/m².sn olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, MF ünitesinde olduğu gibi yine belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. Ürün ve konsantre suyu ayrı kaplarda toplanmış, TO ünitesi durdurulduktan sonra ürün ve konsantre suyunun hacimleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak ürün suyunun miktarı belirlenmiş, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Besleme suyu olarak sisteme verilen atıksu (TO' ya giriş-1), çıkışta konsantre (K1) ve ürün suyu (Ü1) olarak ayrı kaplarda biriktirilmiştir. İlk döngüde toplanan konsantre su (K1), tekrar besleme suyu olarak TO ünitesine verilmiş (TO' ya giriş-2) bu döngüde çıkan konsantre de (K2) yine TO ünitesine beslenmiştir (TO' ya giriş-3). Son döngüdeki konsantre ise (K3) sistemde tekrar kullanılmamış 10 atm' deki döngü tamamlanmıştır. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için 36 ml/m².sn, konsantre için ise 150 ml/m².sn olmuştur.

5.7.2.1. TO' ya Giriş – 1 (Ham su döngüsü)

MF filtresinden geçirilen su, TO membranına verilmiş, ürün suyu (çıkış suyu) ve konsantre sudan (K1) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 3'39" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.29 ve Tablo 5.30' da verilmiştir.

Tablo 5.29. Ürün suyunun (Ü1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

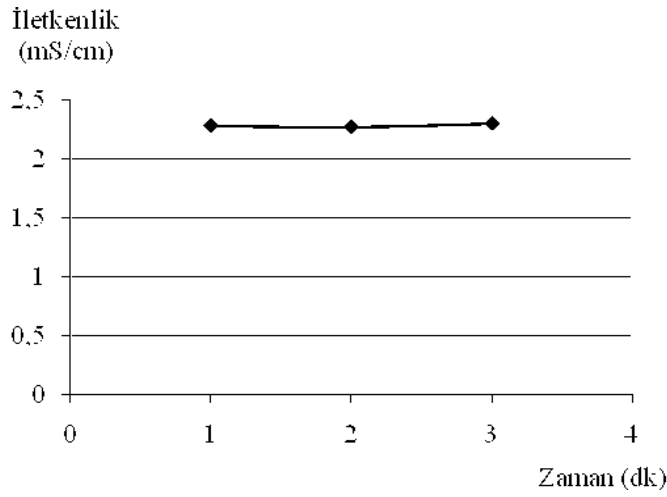
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/ lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	5,63	0,0165	0,001	0	0
2.dk	5,64	0,0164	0,003	0	0
3.dk	5,62	0,0189	0,002	0	0
Ü1	5,63	0,0171	0,003	0	0

1., 2. ve 3. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimleri yüzde 99' un üzerinde olurken; TKM, KOİ ve absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

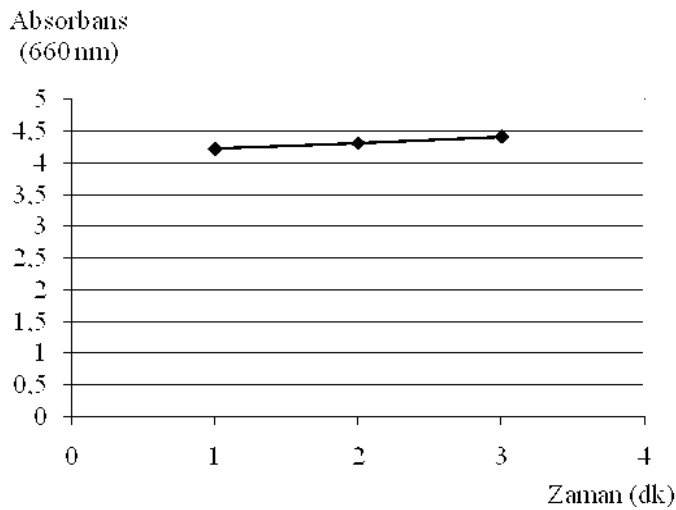
Tablo 5.30. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,63	2,12	4,072	3,930	5000
1.dk	5,64	2,28	4,223	3,950	5400
2.dk	5,64	2,27	4,313	4,219	5350
3.dk	5,62	2,30	4,417	4,000	5350
K1	5,63	2,28	4,315	4,167	5400

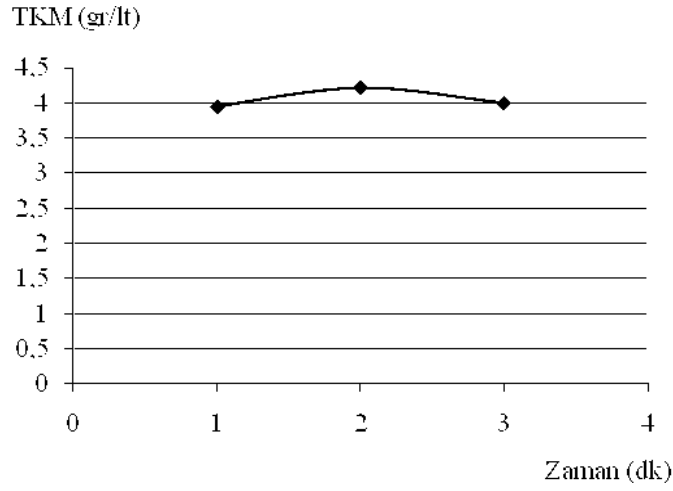
Şekil 5.99, Şekil 5.100, Şekil 5.101, Şekil 5.102; TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



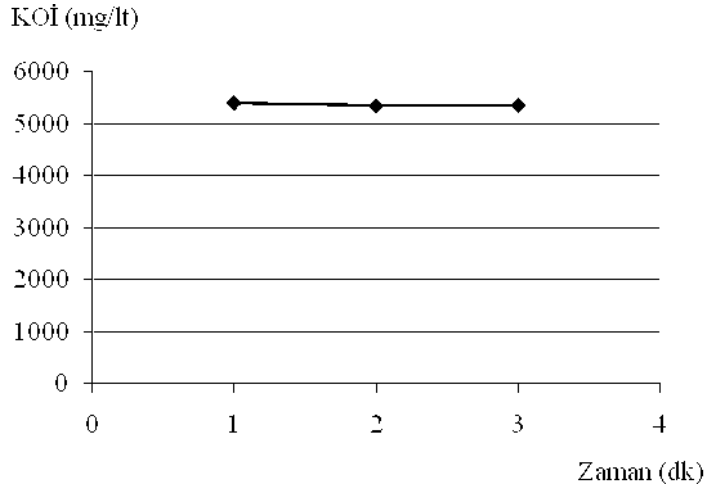
Şekil 5.99. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.100. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbansın zamana göre değişimi

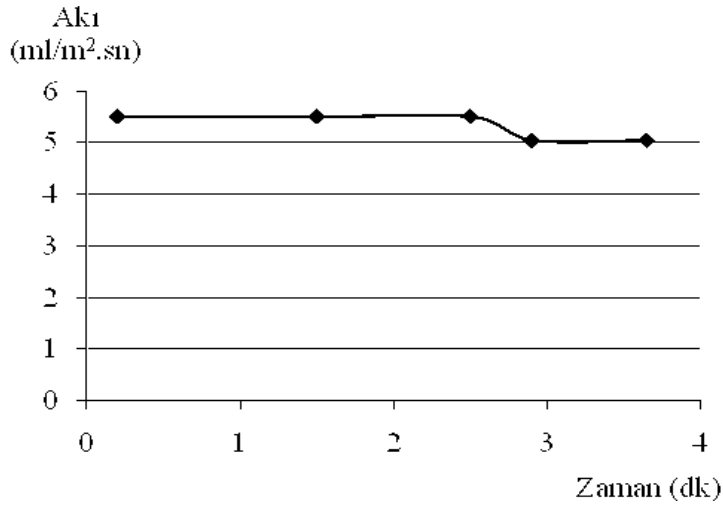


Şekil 5.101. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi

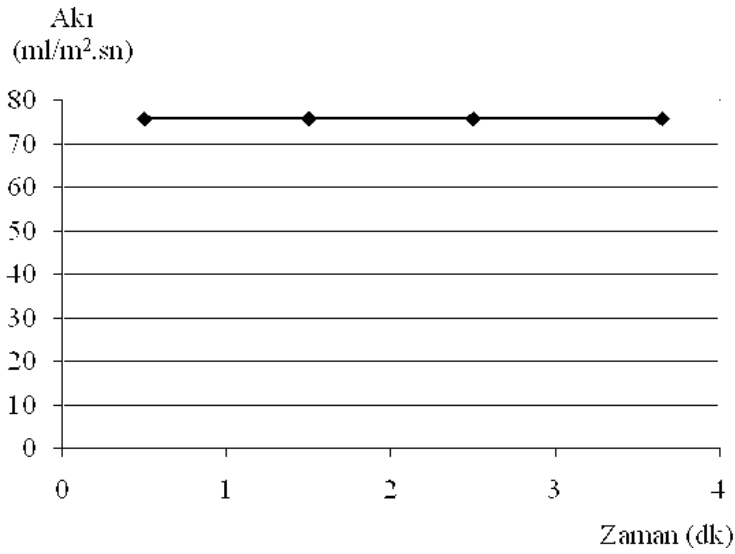


Şekil 5.102. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün suyu akısı $5.51 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ iken 2.5 dakika sonra azalarak $5.05 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ ' ye düşmüş, konsantre akısı ise $75.76 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ ' de sabit kalmıştır. Şekil 5.103, ürünsuyu akısının; Şekil 5.104, konsantre suyu akısının zamanla değişimini göstermektedir.



Şekil 5.103. TO ünitesinde ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.104. TO ünitesinde ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 3'39" lik deney periyodu sırasında girişte 1.1 atm, çıkışta 1.0 atm olarak kaydedilmiştir. TO membran basıncı da değişmeyerek 10 atm' de sabit kalmıştır.

10 atm' de gerçekleştirilen ilk döngüde 3.6 litre ürün suyu, 46.2 litre konsantre su (K1) elde edilmiş olup, yüzde 7.27 ürün suyu elde edilmiştir. K1 tekrar TO sistemine beslenmek üzere 2. döngüde kullanılmıştır.

5.7.2.2. TO' ya Giriş – 2 (Konsantre-1 döngüsü)

İlk döngüde çıkan konsantre su (K1), TO membranına beslenmiş, ürün suyu (çıkış suyu) ve konsantre sudan (K2) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 2'33" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.31 ve Tablo 5.32' de verilmiştir.

Tablo 5.31. Ürün suyunun (Ü2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi

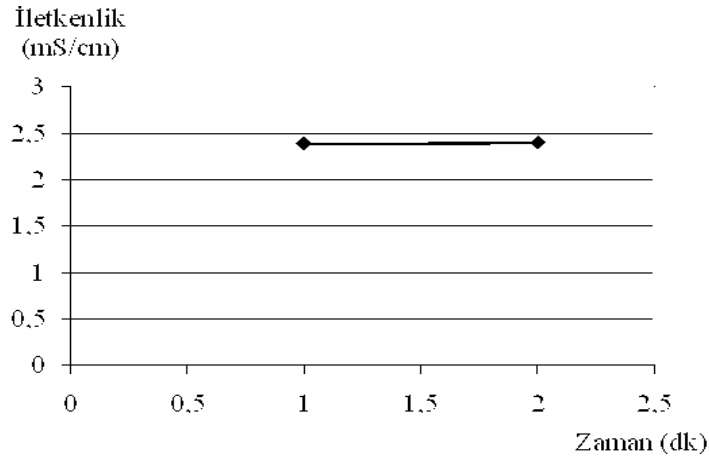
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	5,63	0,0158	0,004	0	0
2.dk	5,63	0,0163	0,004	0	0
Ü2	5,63	0,0159	0,004	0	0

1. ve 2. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 99 üzerinde; TKM, KOİ ve absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

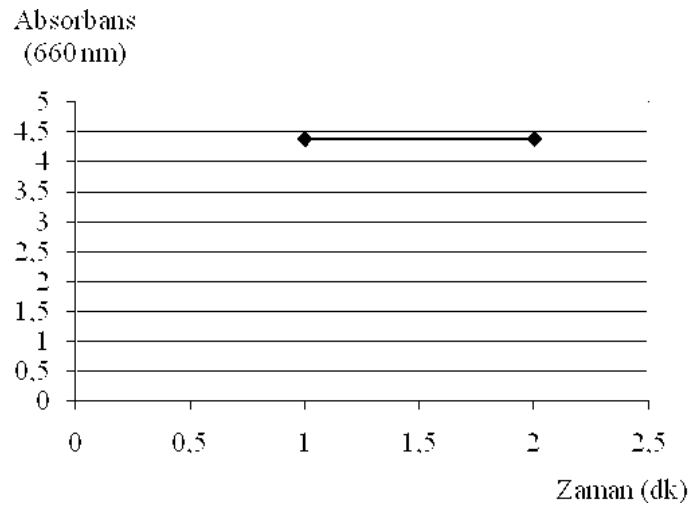
Tablo 5.32. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
K1	5,63	2,28	4,315	4,167	5400
1.dk	5,63	2,39	4,384	4,290	5600
2.dk	5,62	2,40	4,383	4,390	5600
K2	5,64	2,41	4,483	4,370	5600

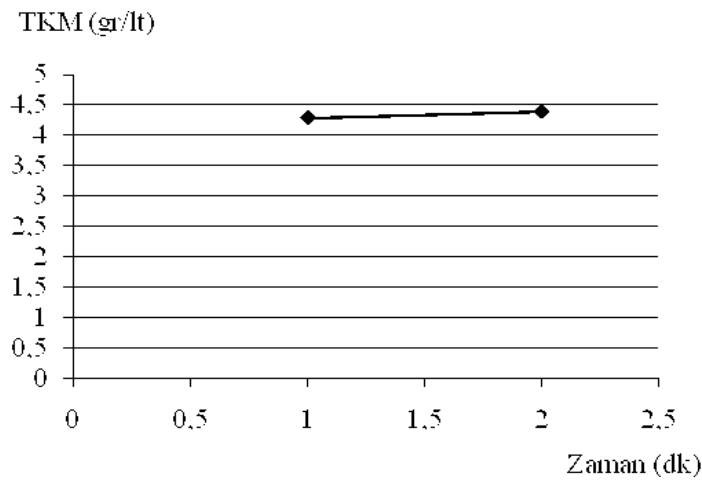
Şekil 5.105, Şekil 5.106, Şekil 5.107, Şekil 5.108; TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



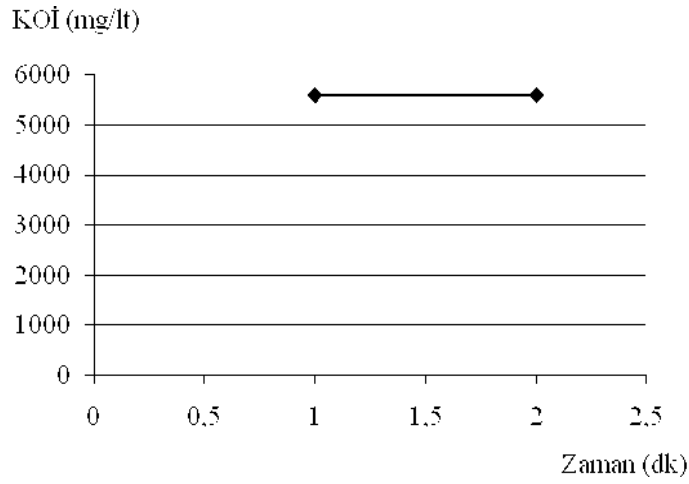
Şekil 5.105. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.106. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi

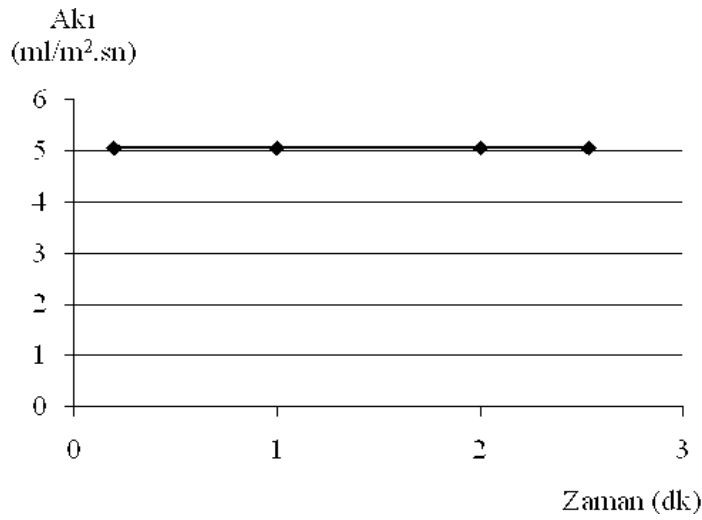


Şekil 5.107. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi

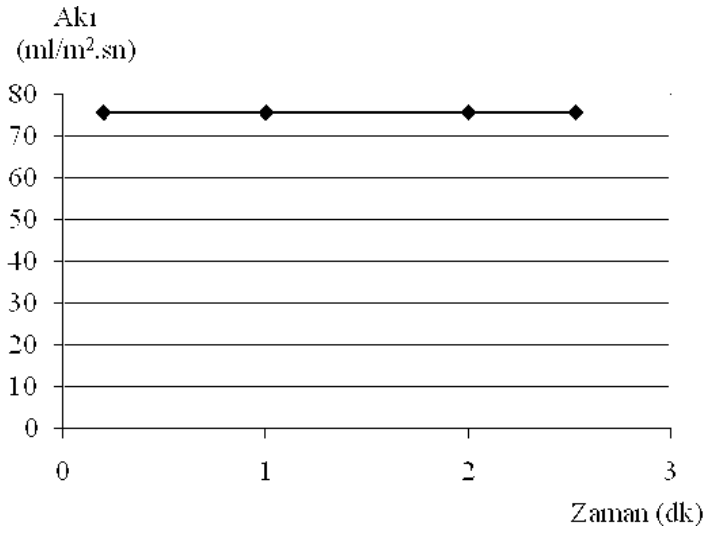


Şekil 5.108. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOI' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akısı 2'33" boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri 5.05 ml/m².sn ve 75.76 ml/m².sn olmuştur. Şekil 5.109 ve Şekil 5.110, ürün ve konsantre suyu akılarının değişimini göstermektedir.



Şekil 5.109. TO ünitesinde ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.110. TO ünitesinde ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları deney başlangıcında girişte 1,2 atm, çıkışta 0.7 atm iken; 1. dakikada girişte 1.1 atm, çıkışta 0.8 atm, 2. dakikada girişte 1.0 atm, çıkışta 1.0 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 10 atm olan TO membran basıncında ise değişim gözlenmemiş, 2'33" de ikinci döngü tamamlanmıştır.

10 atm' de gerçekleştirilen ikinci döngüde 2.23 litre ürün suyu, 29.57 litre konsantre su (K2) elde edilmiş, yüzde 7.00 geri dönüşüm sağlanmıştır. K2 son kez TO sistemine beslenmek üzere 3. döngüde kullanılmıştır.

5.7.2.3. TO' ya Giriş-3 (Konsantre-2 döngüsü)

İkinci döngüde çıkan konsantre su (K2), TO membranına beslenmiş, ürün suyu (çıkış suyu) ve konsantre sudan (K3) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 1'15" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.33 ve Tablo 5.34' te verilmiştir.

Tablo 5.33. Ürün suyunun (Ü3' nin) özelliklerinin zamanla değişimi

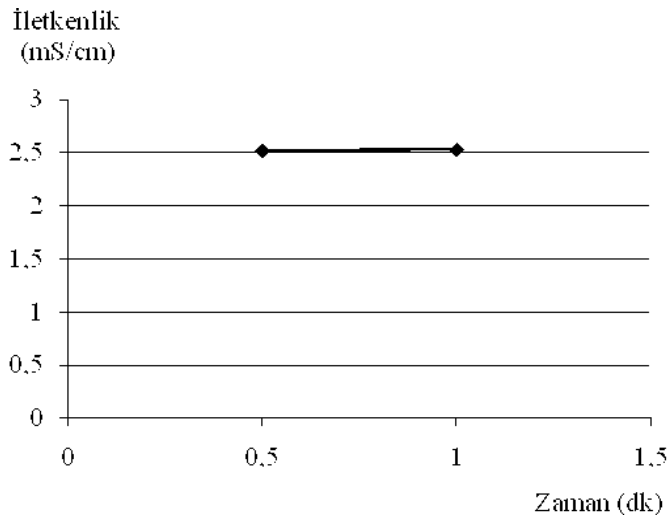
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
0,5.dk	5,64	0,0187	0,011	0	0
1,0.dk	5,63	0,0193	0,010	0	0
Ü3	5,63	0,0192	0,011	0	0

Alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 99 üzerinde olurken, TKM, KOİ ve absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

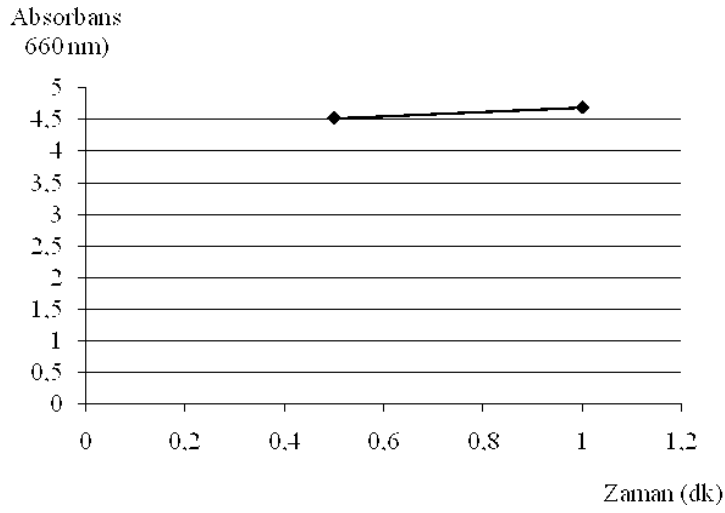
Tablo 5.34. Konsantre suyunun (K3' ün) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
K1	5,64	2,41	4,483	4,370	5600
0,5.dk	5,64	2,52	4,527	4,411	5750
1,0.dk	5,62	2,53	4,689	4,419	5800
K2	5,63	2,51	4,681	4,433	5700

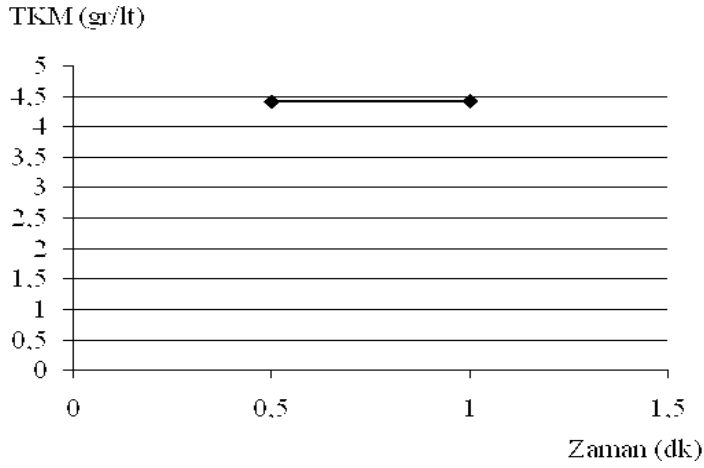
Şekil 5.111, Şekil 5.112, Şekil 5.113, Şekil 5.114; TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



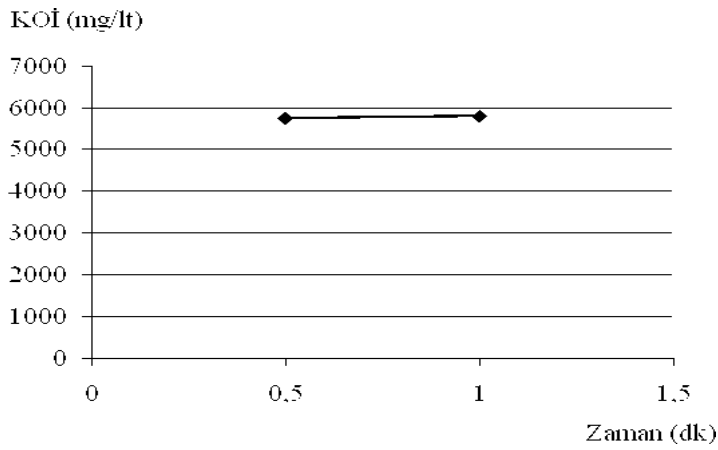
Şekil 5.111. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.112. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) absorbansın zamana göre değişimi

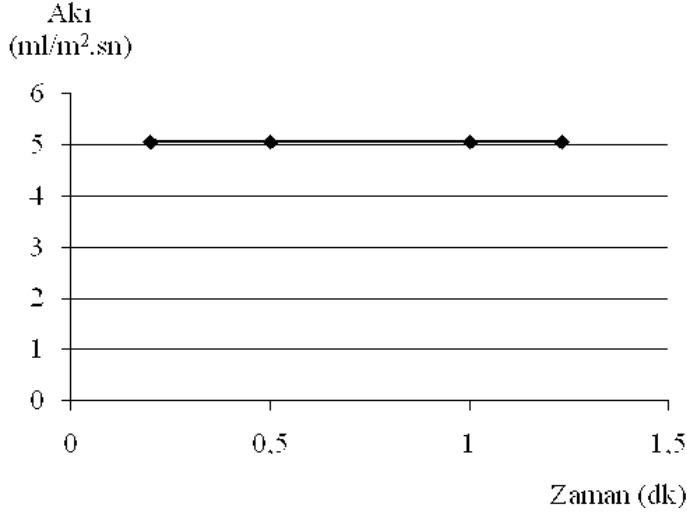


Şekil 5.113. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) TKM' nin zamana göre değişimi

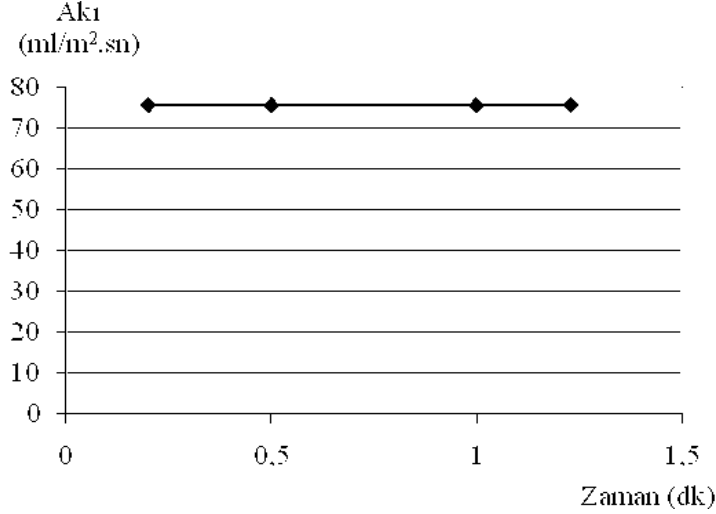


Şekil 5.114. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K3) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akıları 1'15" boyunca sabit kalmış olup, akı değerleri sırasıyla 5.05 ml/m².sn ve 75.76 ml/m².sn olmuştur. Şekil 3.115 ve Şekil 3.116 ürün ve konsantre suyu akılarının değişimini göstermektedir.



Şekil 5.115. TO ünitesinde ikinci döngüde Ü3 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.116. TO ünitesinde ikinci döngüde K3 akısının zamana bağlı değişimi

Başlangıçta pompa basınçları girişte 1.1 atm, çıkışta 1.1 atm iken; 1. dakikada girişte 1.0 atm, çıkışta 0.8 atm olarak kaydedilmiştir. 10 atm olan TO membran basıncında ise değişim gözlenmemiş, 1'15" de son döngü tamamlanmıştır.

10 atm' de gerçekleştirilen üçüncü döngüde 1.3 litre ürün suyu, 18.1 litre konsantre su (K3) elde edilmiş, yüzde 6.7 geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.8. Deney No 7 (D7)

5.8.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzildükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 2 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 5'20" dır.

Tablo 5.35, atıksu MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

Tablo 5.35. MF membranı çıkışında alınan anlık numunelerdeki suyun özellikleri

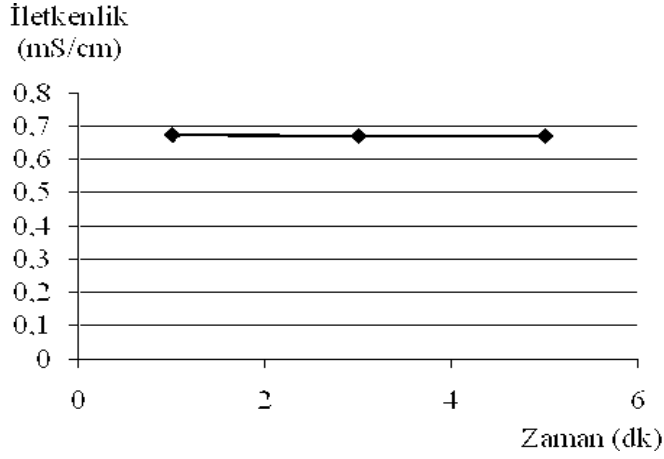
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	5,1	0,685	3,451	1,887	2400
1.dk	5,09	0,673	3,189	1,833	2320
3.dk	5,09	0,670	3,191	1,833	2310
5.dk	5,08	0,669	3,185	1,733	2300
MF çıkış	5,10	0,673	3,190	1,733	2300

1., 3. ve 5. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimleri yüzde 1-3, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 7-8, TKM giderim verimleri yüzde 3-9, KOİ giderim verimleri ise yüzde 3-5 aralığında olmuştur.

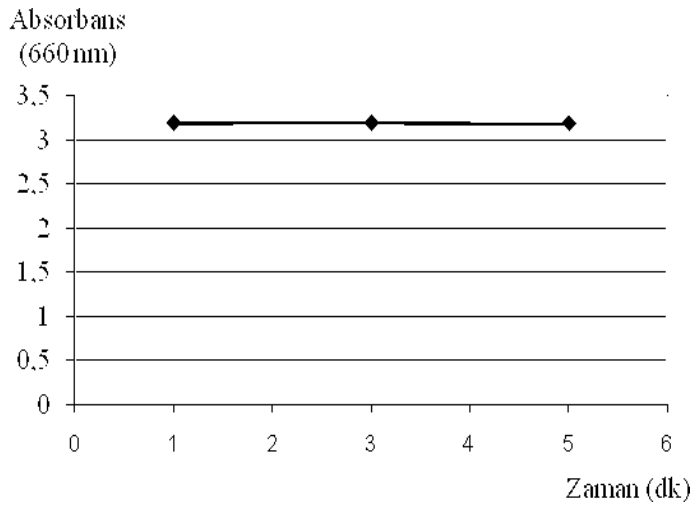
MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kaptan toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim verimi yüzde 2, absorbansa bağlı renk giderim

verimi yüzde 8 civarında olurken; TKM giderim veriminin yüzde 8 ve KOİ giderim veriminin ise yüzde 4 olduğu belirlenmiştir.

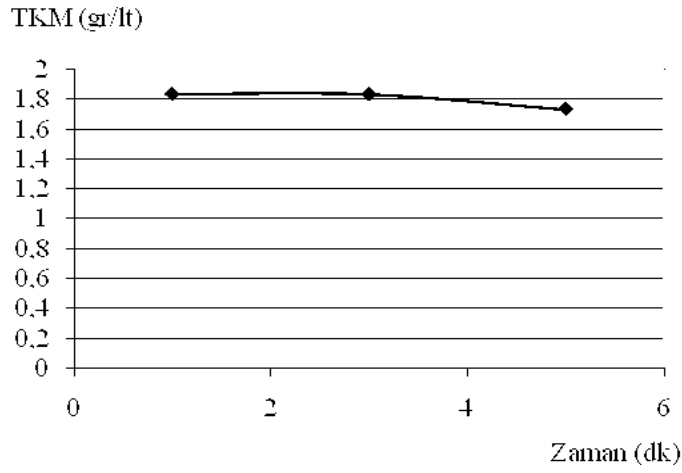
Şekil 5.117, Şekil 5.118, Şekil 5.119, Şekil 5.120; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



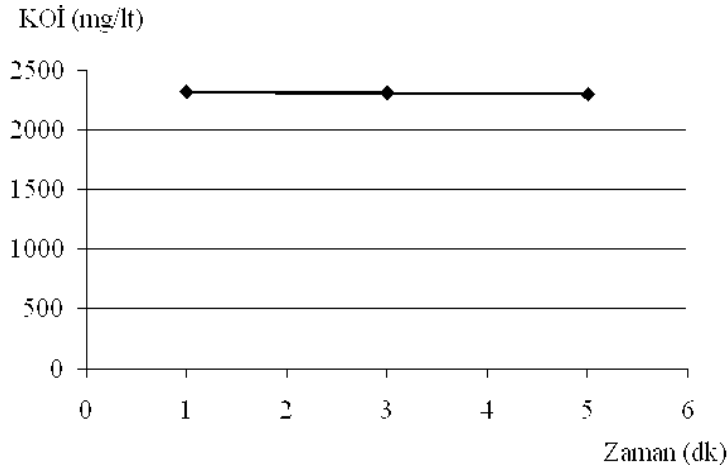
Şekil 5.117. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.118. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

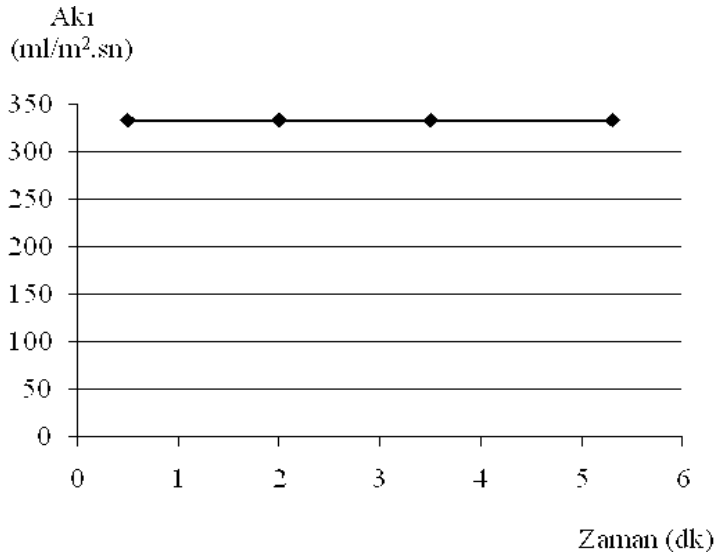


Şekil 5.119. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.120. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi

Akı, 5'20" lik çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup, akı değeri 333 ml/m².sn olmuştur. Akının zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 5.121' de verilmiştir.



Şekil 5.121. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

Pompa basıncı 1. dakikada girişte 0.65 atm, çıkışta 0.59 atm; 5. dakikada girişte 0.64 atm çıkışta 0.59 atm olarak kaydedilmiştir.

5.8.2. TO Deneyleri

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen besleme suyu (kot yıkama suyu) TO membranına verilmeden önce membran 11.9 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değeri ürün suyu için 3.43 ml/m².sn, konsantre için ise 0 olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, MF ünitesinde olduğu gibi yine belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. 11.9 atm’ de konsantre akısı sıfır olup, hiç konsantre çıkışı gözlenmemiştir. Besleme suyu çıkışta tamamen ürün suyu olarak alınmış, yüzde 100 geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.8.2.1. TO' ya Giriş

Ön arıtım olarak MF filtresinden geçirilen su, 11.9 atm basınçta TO membranına verilmiş, ürün suyundan belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 124' da TO ünitesi durdurulmuştur.

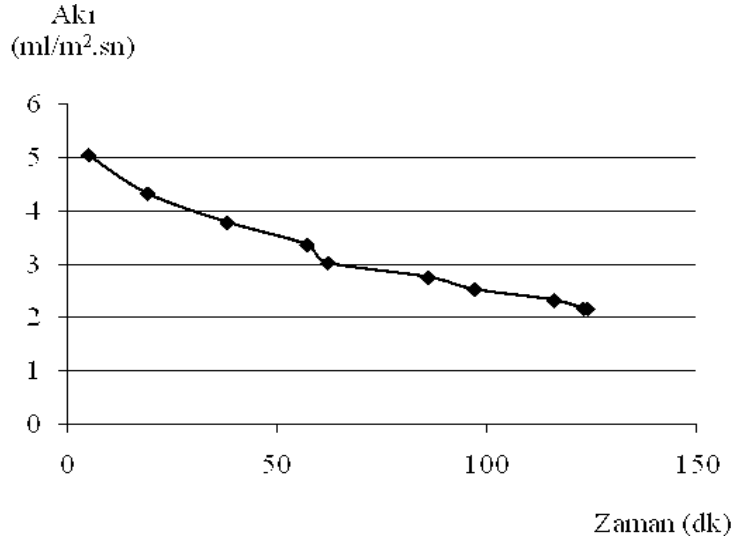
Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.36' da verilmiştir.

Tablo 5.36. Ürün suyunun (Ü' nün) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,10	0,6730	3,190	1,773	2300
3.dk	5,12	0,0145	0,002	0	0
18.dk	5,11	0,0287	0,008	0	0
33.dk	50,9	0,0441	0,007	0	0
48 .dk	5,12	0,0621	0,006	0	0
63.dk	5,13	0,0883	0,008	0	0
78.dk	5,11	0,1105	0,018	0	0
93.dk	5,11	0,1376	0,014	0	0
108.dk	5,09	0,1731	0,018	0,033	0
123.dk	2,12	0,1890	0,019	0,033	0
Ü	5,11	0,0768	0,008	0	0

15 dakika aralıklarla alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimleri zamanla azalmış, yüzde 74-98 arasında gerçekleşmiştir. Absorbansa bağlı renk giderim verimleri yaklaşık yüzde 100, TKM giderim verimleri yüzde 98-100 arasında olurken KOİ giderim verimleri de yüzde 100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Ürün suyu akısının membran yüzeyinde kek oluşumuna bağlı olarak zamanla azaldığı görülmüş olup akının zamanla değişimi Şekil 5.122' de görülmektedir. Konsantre akısı sofort olup, deney süresince hiç konsantre çıkışı olmamıştır.



Şekil 5.122. TO ünitesinde $\bar{U}$ akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçlarını 1. dakikada girişte 1.5 atm, çıkışta 1.3 atm olurken 4. dakikada girişte 1.5 atm, çıkışta 1.2 atm olmuş olarak devam etmiş, 122. dakikada girişte 1.4 atm, çıkışta 1.15 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 11.9 atm olan TO membran basıncı değişmemiş, deney aynı basınçta tamamlanmıştır.

11.9 atm’ de gerçekleştirilen ve tek döngüyle tamamlanan deney no 7’ de 80.28 litre ürün suyu elde edilmiş, yüzde 100 geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.9. Deney No 8 (D8)

5.9.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzildükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 1 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 4'10" dır.

Tablo 5.37, atıksu MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

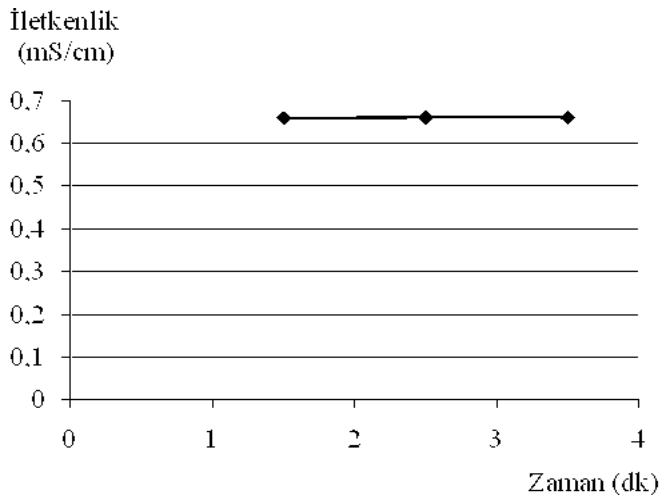
Tablo 5.37. MF membranı çıkışında alınan anlık numunelerdeki suyun özellikleri

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	5,16	0,670	3,449	2,000	2450
1,5.dk	5,17	0,660	3,221	1,900	2300
2,5.dk	5,16	0,661	3,159	1,933	2310
3,5.dk	5,16	0,661	3,177	1,900	2310
MF çıkış	5,17	0,660	3,189	1,906	2310

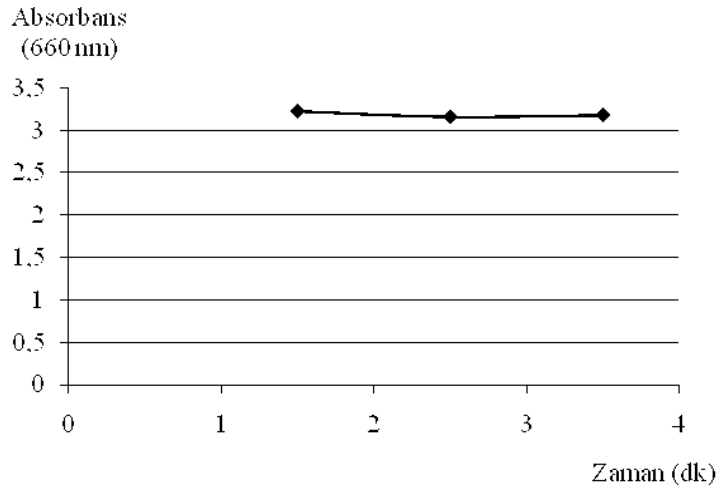
1., 2. ve 3. numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimleri yüzde 1-2, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 6-9, TKM giderim verimleri yüzde 3-6, KOİ giderim verimleri ise yüzde 5-7 arasında gerçekleşmiştir.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, iletkenlik giderim verimi yüzde 2, absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 8 civarında olup; TKM giderim veriminin yaklaşık yüzde 5 ve KOİ giderim veriminin ise yüzde 6 civarında gerçekleştiği görülmüştür.

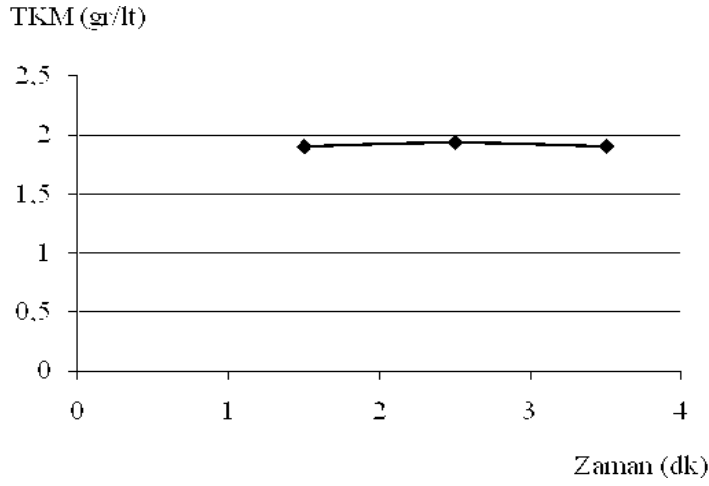
Şekil 5.123, Şekil 5.124, Şekil 5.125, Şekil 5.126; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



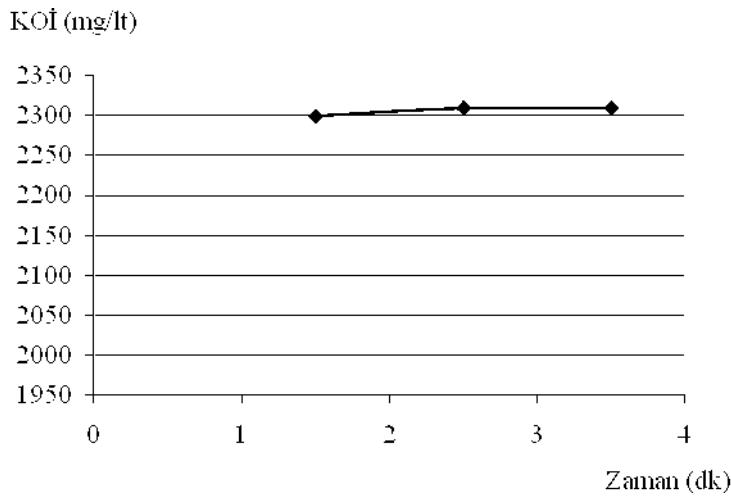
Şekil 5.123. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.124. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

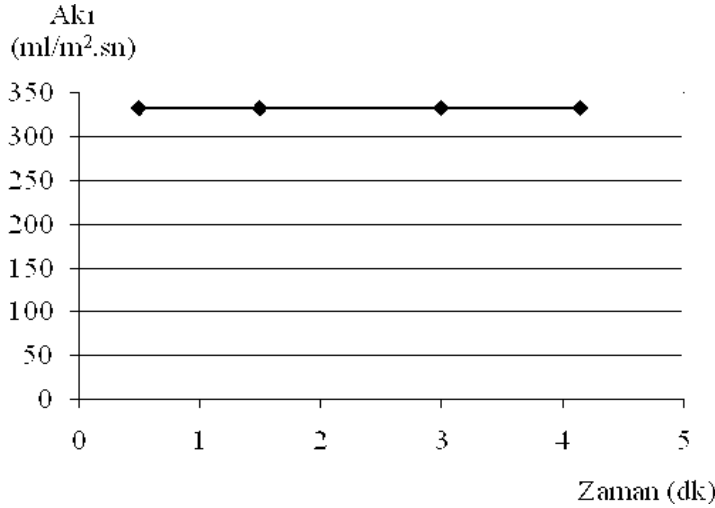


Şekil 5.125. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.126. MF çıkışında atıksudaki KOI' nin zamana göre değişimi

Akı, 4'10" lik çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup, akı değeri 333 ml/m².sn olmuştur. Akının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5.127' de verilmiştir.



Şekil 5.127. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

Pompa basıncı 1. dakikada girişte 0.62 atm, çıkışta 0.59 atm; 4. dakikada girişte 0.65atm çıkışta 0.6 atm olarak kaydedilmiştir.

5.9.2. TO Deneyleri

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen besleme suyu (kot yıkama suyu) TO membranına verilmeden önce membran 11.9 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için 3.05 ml/m².sn, konsantre için ise 0 olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, MF ünitesinde olduğu gibi yine belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. 11.9 atm' de konsantre akısı sıfır olup, hiç konsantre çıkışı gözlenmemiştir. Besleme suyu çıkışta tamamen ürün suyu olarak alınmış, yüzde 100 oranında geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.9.2.1. TO' ya Giriş

Ön arıtım olarak MF filtresinden geçirilen su, 11.9 atm basınçta TO membranına verilmiş, ürün suyundan belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 126' da TO ünitesi durdurulmuştur.

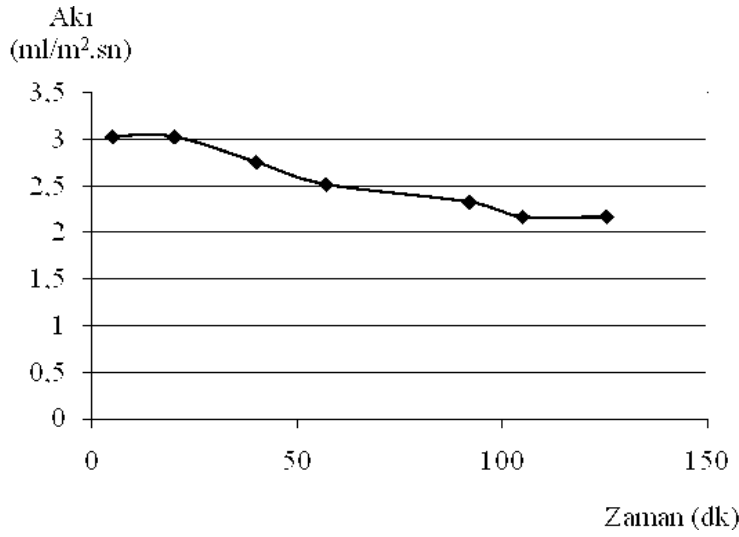
Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.38' de verilmiştir.

Tablo 5.38. Ürün suyunun (Ü' nün) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,17	0,660	3,189	1,906	2310
3.dk	5,18	0,042	0	0	0
18.dk	5,16	0,068	0	0	0
33.dk	5,17	0,095	0	0	0
48.dk	5,17	0,127	0	0,120	0
63.dk	5,19	0,162	0	0,330	0
78.dk	5,19	0,191	0,010	0,330	70
93.dk	5,18	0,207	0,010	0,330	70
108.dk	5,17	0,244	0,002	0,400	90
123.dk	5,18	0,279	0,002	0,500	140
Ü	5,16	0,133	0,005	0,330	40

15 dakika aralıklarla alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimlerinin zamanla azaldığı görülmüş, yüzde 60-94 aralığında değişmiştir. Absorbansa bağlı renk giderim verimleri yaklaşık yüzde 100 oranında; TKM giderim verimleri de zamanla azalarak yüzde 73-100 arasında gerçekleşmiştir. Zamanla azaldığı gözlenen KOİ giderim verimleri de yüzde 94-100 arasında değişmiştir.

Ürün suyu akısının membran yüzeyinde kek oluşumuna bağlı olarak zamanla azaldığı görülmüş olup akının zamanla değişimi Şekil 5.128' de verilmiştir. Konsantre akısı sıfırdır.



Şekil 5.128. TO ünitesinde $\bar{U}$ akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1. dakikada girişte 1,6 atm, çıkışta 1.3 atm; 9. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.2 atm; 19. dakikada girişte 1,4 atm, çıkışta 1.15 atm; 22. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.2 atm; 46. dakikada girişte 1,4 atm, çıkışta 1.1 atm; 94. dakikada girişte 1,4 atm, çıkışta 1.2 atm; 115. dakikada girişte 1,4 atm, çıkışta 1.1 atm; 122. dakikada girişte 1,49 atm, çıkışta 1.2 atm; 125. dakikada girişte 1,45 atm, çıkışta 1.2 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 11.9 atm olan TO membran basıncı, 19. dakikada 11.8 atm' ye, 36. dakikada 11.7 atm' ye, 47. dakikada 11.6 atm' ye, 94. dakikada 11.4 atm' ye, 115. dakikada ise 11.5 atm' ye düşmüş, deney 11.5 atm' de tamamlanmıştır.

11.9 atm' de gerçekleştirilen ve tek döngüyle tamamlanan deney no 8' de 68.1 litre ürün suyu elde edilmiş, atıksu yüzde 100 oranında geri kazanılmıştır.

5.10. Deney No 9 (D9)

5.10.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzöldükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 1 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 4'50" dır.

Tablo 5.39, atıksu MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

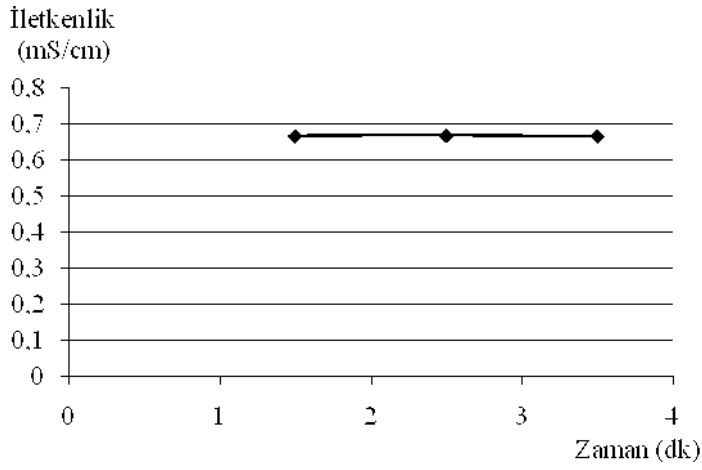
Tablo 5.39. MF membranı çıkışında alınan anlık numunelerdeki suyun özellikleri

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	5,29	0,679	3,458	2,10	2600
1,5.dk	5,30	0,668	3,256	1,99	2450
2,5.dk	5,29	0,669	3,246	1,99	2460
3,5.dk	5,29	0,667	3,241	2,00	2460
MF çıkış	5,29	0,669	3,249	2,00	2460

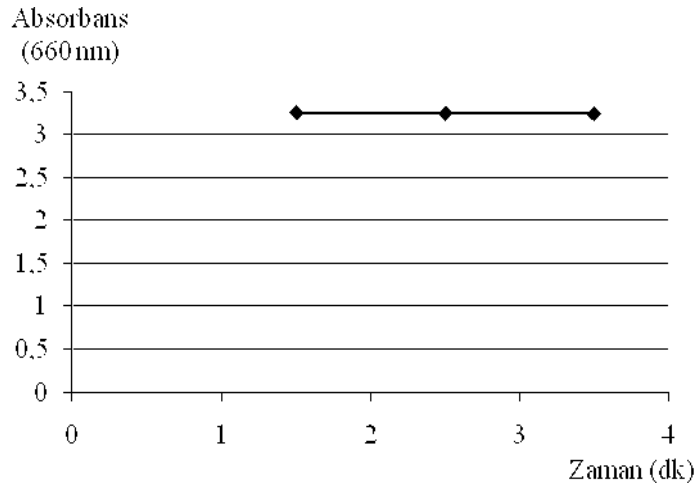
1., 2. ve 3. numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimleri yüzde 1-2, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 5-7, TKM giderim verimleri yüzde 4-6, KOİ giderim verimleriyse yüzde 5-6 arasında gerçekleşmiştir.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kaptan toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim veriminin yaklaşık yüzde 2, absorbansa bağlı renk giderim veriminin yüzde 6 olduğu gözlenmiştir; TKM ve KOİ giderim verimlerinin de yaklaşık yüzde 5 olduğu belirlenmiştir.

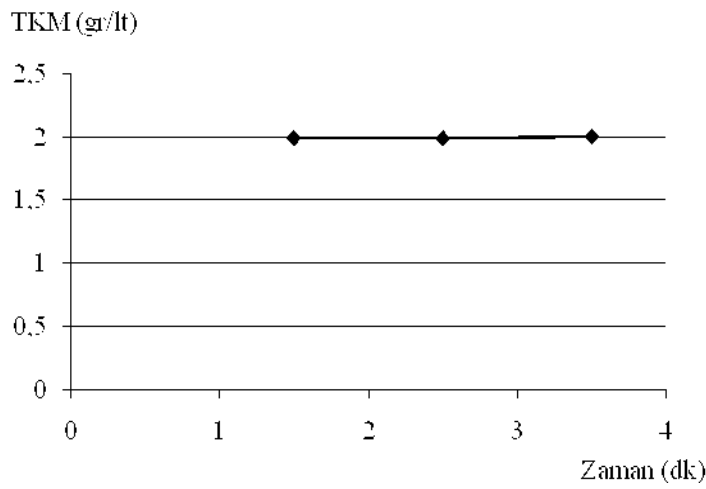
Şekil 5.129, Şekil 5.130, Şekil 5.131, Şekil 5.132; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ'nin değişimini göstermektedir.



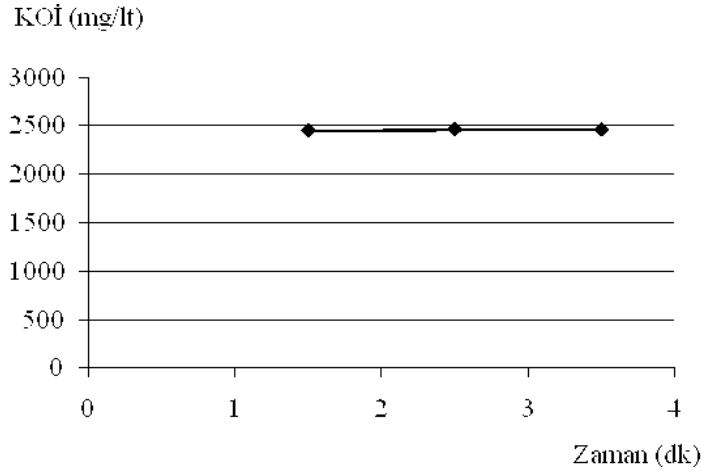
Şekil 5.129. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.130. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

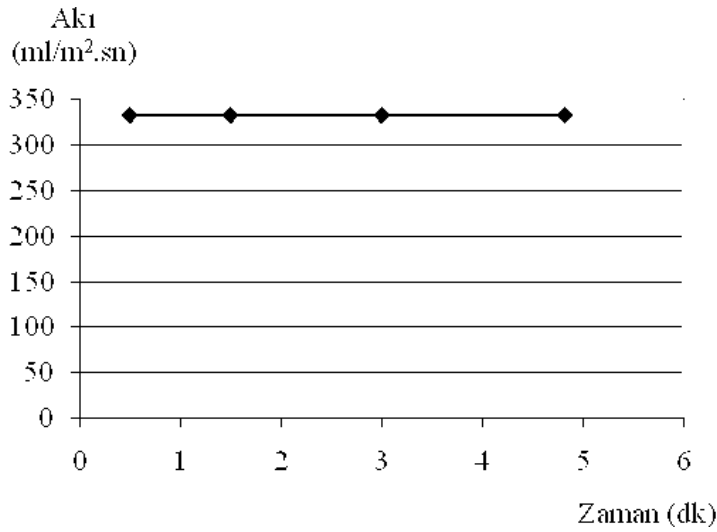


Şekil 5.131. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.132. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi

Akı, 4'50" lik çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup, akı değeri 333 ml/m².sn olmuştur. Akının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5.133' te verilmiştir.



Şekil 5.133. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

Pompa giriş basıncı 1. dakikada girişte 0.65 atm, çıkışta 0.59 atm; 2. dakikada girişte 0.66 atm çıkışta 0.59 atm; 4. dakikada girişte 0.64 atm, çıkışta 0.59 atm olarak kaydedilmiştir.

5.10.2. TO Deneyleri

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen besleme suyu (kot yıkama suyu) TO membranına verilmeden önce membran 11.9 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için 2.08 ml/m².sn, konsantre için ise 0 olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, MF ünitesinde olduğu gibi yine belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. 11.9 atm' de konsantre akısı sıfır olup, hiç konsantre çıkışı gözlenmemiştir. Besleme suyu çıkışta tamamen ürün suyu olarak alınmış, yüzde 100 oranında geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.10.2.1. TO' ya Giriş

Ön arıtım olarak MF filtresinden geçirilen su, 11.9 atm basınçta TO membranına verilmiş, ürün suyundan belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 154' da TO ünitesi durdurulmuştur.

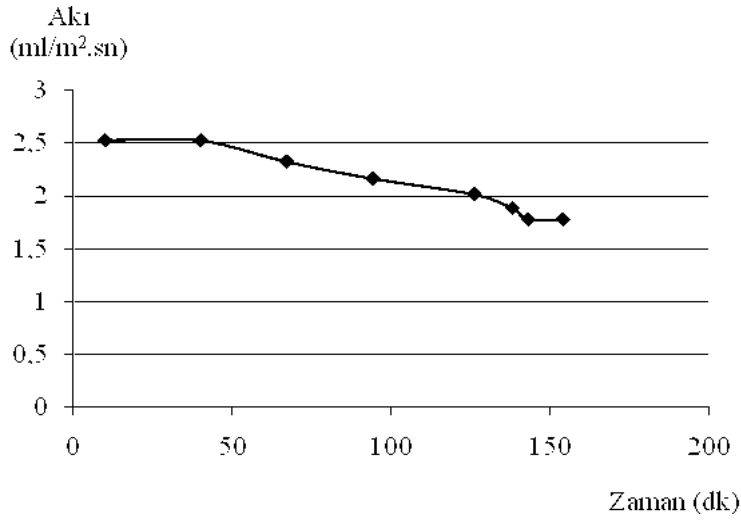
Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.40' da verilmiştir.

Tablo 5.40. Ürün suyunun (Ü' nün) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,29	0,669	3,249	2,000	2460
3.dk	5,31	0,110	0	0	30
18. dk	5,34	0,171	0	0,033	70
33. dk	5,29	0,200	0	0,033	110
48. dk	5,32	0,276	0	0,067	145
63. dk	5,32	0,292	0	0,067	145
78. dk	5,28	0,305	0	0,078	160
93. dk	5,33	0,324	0	0,093	210
108. dk	5,34	0,341	0	0,100	230
123. dk	5,30	0,354	0	0,167	250
138. dk	5,32	0,367	0	0,210	300
153. dk	5,32	0,381	0	0,233	345
Ü	5,30	0,248	0	0,072	155

15 dakika aralıklarla alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimleri zamanla ciddi şekilde azalmış olup, yüzde 40-85 arasında değişmiş; absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 100 olmuş; TKM giderim verimleri yüzde 87-100; KOİ giderim verimleri ise yüzde 85-99 aralığında gerçekleşmiştir.

Ürün suyu akısı, membran yüzeyinde kek oluşumuna bağlı olarak zamanla azalmıştır. Akının zamana bağlı değişimi Şekil 5.134' te görülmektedir. Konsantre akısı sıfır olup, hiç konsantre çıkışı olmamıştır.



Şekil 5.134. TO ünitesinde Ü akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1. dakikada girişte 1,6 atm, çıkışta 1.4 atm; 2. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.3 atm; 8. dakikada girişte 1,45 atm, çıkışta 1.25 atm; 30. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.2 atm; 80. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.25 atm; 110. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.2 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 11.9 atm olan TO membran basıncı, 22. dakikada 11.8 atm' ye, 65. dakikada 11.7 atm' ye düşmüş, 80. dakikada tekrar 11.8 atm' ye yükselmiş, 140. dakikada 11.7 atm, 148. dakikada ise 11.5 atm olmuştur.

11.9 atm' de gerçekleştirilen ve tek döngüyle tamamlanan deney no 9' da 66.02 litre ürün suyu elde edilmiş, atıksu yüzde 100 oranında geri kazanılmıştır.

5.11. Deney No 10 (D10)

5.11.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzöldükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 1 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 2'34" dir.

Tablo 5.41, atıksu MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

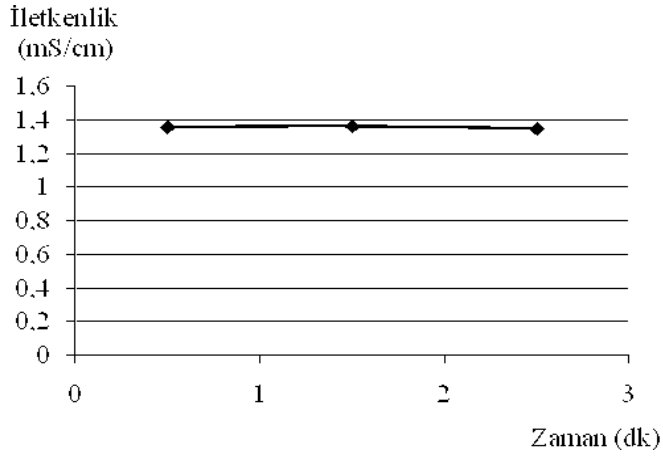
Tablo 5.41. MF membranı çıkışında alınan anlık numunelerdeki suyun özellikleri

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	5,52	1,388	4,101	2,400	3700
0,5.dk	5,50	1,359	3,801	2,233	3500
1,5.dk	5,50	1,365	3,826	2,267	3500
2,5.dk	5,50	1,349	3,856	2,267	3500
MF çıkış	5,53	1,356	3,828	2,267	3500

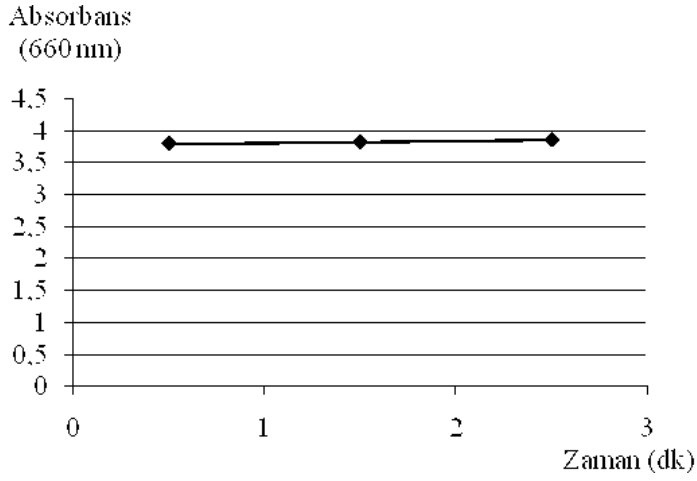
1 dakika aralıklarla alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre; iletkenlik giderme verimleri yüzde 1-3, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 6-8, TKM giderim verimleri yüzde 5-8 aralığında; KOİ giderim verimleri de yaklaşık yüzde 5 olmuştur.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu gözlenmiştir. İletkenlik giderim verimi yüzde 2, absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 7 civarında olmuş; TKM giderim veriminin yaklaşık yüzde 6; KOİ giderim veriminin de yüzde 5 olduğu görülmüştür.

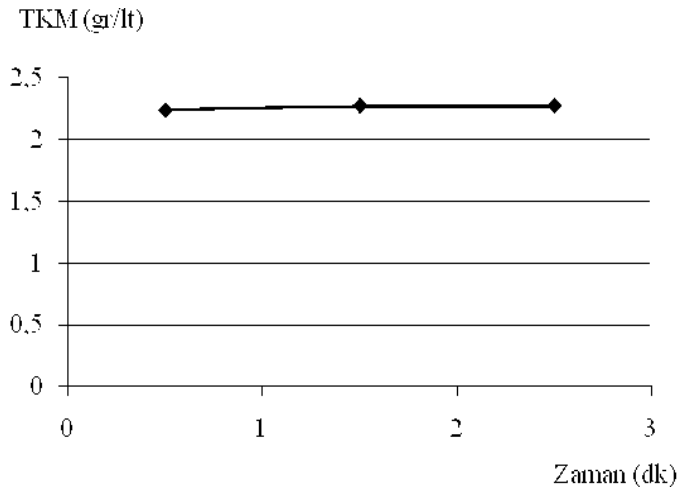
Şekil 5.135, Şekil 5.136, Şekil 5.137, Şekil 5.138; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



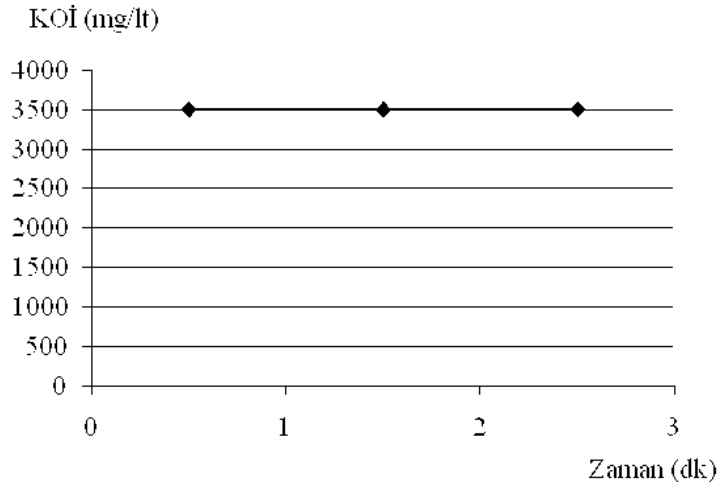
Şekil 5.135. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.136. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

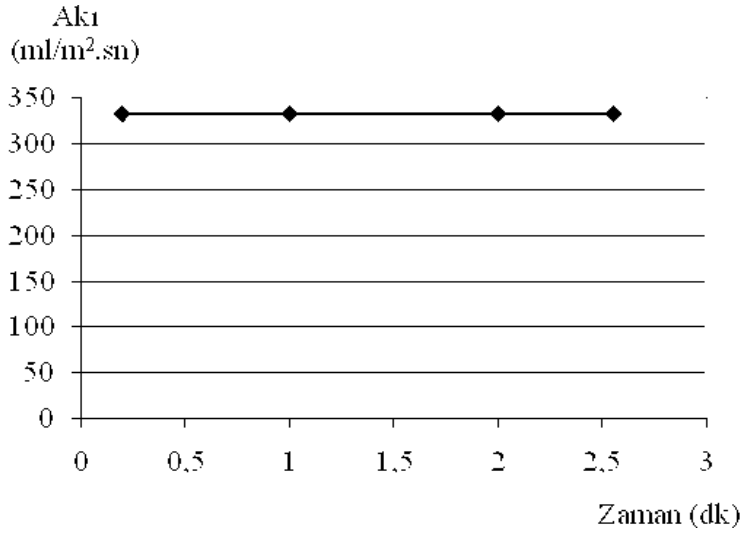


Şekil 5.137. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.138. MF çıkışında atıksudaki KOİ' nin zamana göre değişimi

Akı, 2'34" lik çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup, akı değeri $333 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur. Akının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5.139' da verilmiştir.



Şekil 5.139. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

Pompa giriş basınçlarını 1. dakikada girişte 0.65 atm, çıkışta 0.59 atm; 2. dakikada girişte 0.66 atm çıkışta 0.59 atm; 4. dakikada girişte 0.64 atm, çıkışta 0.59 atm olarak kaydedilmiştir.

5.11.2. TO Deneyleri

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen besleme suyu (kot yıkama suyu) TO membranına verilmeden önce membran 11.9 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için 1.47 ml/m².sn, konsantre için ise 0 olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, MF ünitesinde olduğu gibi yine belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. 11.9 atm’ de konsantre akısı sıfır olup, hiç konsantre çıkışı gözlenmemiştir. Besleme suyu çıkışta tamamen ürün suyu olarak alınmış, yüzde 100 oranında geri dönüşüm sağlanmıştır.

5.11.2.1. TO’ ya Giriş

Ön arıtım olarak MF filtresinden geçirilen su, 11.9 atm basınçta TO membranına verilmiş, ürün suyundan belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 136' da TO ünitesi durdurulmuştur.

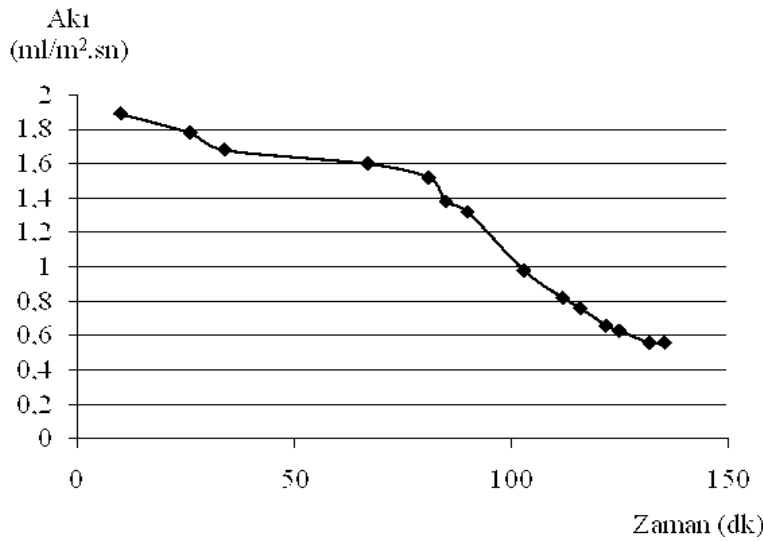
Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.42’ de verilmiştir.

Tablo 5.42. Ürün suyunun (Ü’ nün) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,53	1,356	3,828	2,267	3500
3.dk	5,52	0,069	0,002	0,133	120
18. dk	5,54	0,196	0,005	0,167	300
33. dk	5,54	0,300	0,004	0,198	345
48. dk	5,51	0,438	0,007	0,395	475
63. dk	5,53	0,511	0,008	0,395	595
78. dk	5,51	0,596	0,008	0,460	750
93. dk	5,53	0,785	0,010	0,629	800
108. dk	5,53	0,909	0,015	0,887	825
123. dk	5,53	1,115	0,019	0,967	995
Ü	5,54	0,465	0,007	0,395	500

15 dakika aralıklarla alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderim verimleri zamanla ciddi oranda azalarak, yüzde 17-95 arasında değişmiştir. Absorbansa bağlı renk giderim verimleri her numunede yaklaşık yüzde 100 olurken, TKM giderim verimleri yüzde 57-95, KOİ giderim verimleri ise yüzde 71-97 aralığında gerçekleşmiştir.

Ürün suyu akısı, membran yüzeyinde kek oluşumuna bağlı olarak zamanla ciddi şekilde azaldığı görülmüştür. Membran yüzeyindeki kek oluşumu artmış ve zamanla akı sıfıra yaklaşmıştır. Bu, membranın tıklandığını göstermektedir. Alet, 136. Dakikada durdurulmuş ve döngü sonlandırılmıştır. Konsantre akısı döngü süresince sıfır olup, hiç konsantre çıkışı olmamıştır. Ürün suyu akısının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5.140' da verilmiştir.



Şekil 5.140. TO ünitesinde Ü akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1. dakikada girişte 1,6 atm, çıkışta 1.3 atm; 9. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.25 atm; 15. dakikada girişte 1,45 atm, çıkışta 1.2 atm; 22. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.2 atm; 64. dakikada girişte 1,45 atm, çıkışta 1.1 atm; 88. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.25 atm; 97. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.2 atm; 124. dakikada girişte 1,4 atm, çıkışta 1.2 atm; 130. dakikada girişte 1,5 atm, çıkışta 1.25 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 11.9 atm olan TO membran basıncı, 11. dakikada 11.8 atm, 19. dakikada 11.7 atm, 30. dakikada 11.6 atm, 55. dakikada 11.5 atm, 62. dakikada 11.4 atm,

68. dakikada 11.3 atm, 77. dakikada 11.2 atm, 84. dakikada 11.3 atm, 87. dakikada 11.4 atm, 97. dakikada 11.3 atm, 120. dakikada 11.2 atm olarak kaydedilmiştir.

11.9 atm’ de gerçekleştirilen ve tek döngüyle tamamlanan deney no 10’ da 38.08 litre ürün suyu elde edilmiş, atıksu yüzde 100 oranında geri kazanılmıştır.

5.12. Membranın Yıkaması

Membran yüzeyinde oluşan kek tabakasının zamanla birikmesi sonucu membran verimi düşmüş, akı ciddi şekilde azalarak sıfır olmuş ve membran tıkanmıştır. Membran, tekrar kullanılabilme amacıyla yıkamaya tabi tutulmuştur. Yapılan yıkama işlemi kimyasal yıkamadır. Önce alkali, ardından da asidik yıkamaya tabii tutularak membranın temizlenmesi ve yeniden kullanımı sağlanmıştır. Kimyasal yıkamadan sonra tekrar kullanılabilir hale gelen membran, saf sudan da geçirildikten sonra atıksu ile deneylere devam edilmiştir.

5.12.1. Alkali Yıkama

pH 12 olmak üzere yüzde 2’ lik NaOH çözeltisi hazırlanarak yıkamaya başlanmış ve konsantre musluğundan temiz su gelinceye kadar alet çalıştırılmıştır. Konsantre musluğundan tamamen temiz su gelene kadar çıkan konsantre kısım tekrar dönderilmemek üzere atılmıştır. Konsantre musluğundan temiz su gelmeye başladıktan sonra konsantre ve ürün musluğundan çıkan su yıkamada kullanılmak üzere bidonda toplanmıştır. Bu işlem 15 dakika dinlendirme ve 15 dakika yıkama yapılmak suretiyle 2 saat tekrarlanmıştır. 2 saatin sonunda saf su ile yıkamaya geçilmiş, yine dinlendirme yapılarak pH normale dönünceye kadar saf su ile yıkamaya devam edilmiştir. Alkali yıkama esnasında basınç, pH ve sıcaklık değişimleri Tablo 5.43’ te verilmiştir.

Tablo 5.43. Alkali yıkama sırasında zamanla basınç, pH ve sıcaklık değişimi

Alkali Yıkama	Başlangıç	45 dk	60 dk	75 dk	90 dk	105 dk	120 dk	Son
Basınç, atm	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
pH	12,0	11,9	11,7	11,6	11,5	11,5	11,5	11,5
Sıcaklık, °C	35	34,9	34,7	34,5	34,4	34,4	34,4	34,4

5.12.2. Asidik Yıkama

pH 3 olmak üzere yüzde 1' lik HCl çözeltisi hazırlanarak yıkamaya başlanmıştır. Yıkama, 15 dakika yıkama 15 dakika dinlendirme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yıkama esnasında konsantrenin rengi izlenmiştir (Yeşil renk oluşumu biyolojik kirlenmeyi gösterir. Böyle durumlarda bu su atılmalı, yıkamada kullanılmamalıdır.). Yıkama esnasında herhangi bir biyolojik kirlenmeyle karşılaşılmamış, 2 saat süreyle 15 dakika yıkama 15 dakika dinlendirme yapılmak suretiyle asidik yıkama yapılmıştır. 2 saatin sonunda alkali yıkamada yapıldığı gibi dinlendirme yapılarak saf su ile yıkamaya geçilmiş, pH normale dönünceye kadar membran yıkanmıştır. Asidik yıkamanın sonunda pH'nın da normale dönmesiyle kimyasal yıkama sona ermiştir. Atıksu ile çalışmaya başlamadan önce saf su ile akılara bakılıp, daha sonra saf su ile çalışmaya başlanmıştır. Asidik yıkama esnasında basınç, pH ve sıcaklık değişimleri Tablo 5.44' te verilmiştir.

Tablo 5.44. Asidik yıkama sırasında zamanla basınç, pH ve sıcaklık değişimi

Asidik Yıkama	Başlangıç	45 dk	60 dk	75 dk	90 dk	105 dk	120 dk	Son
Basınç, atm	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8	2,8
pH	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2
Sıcaklık, °C	35	34,7	34,7	34,6	34,5	34,4	34,5	34,5

5.13. Deney No 11 (D11)

5.13.1. MF Deneyleri

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzildikten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 1 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 4'10" dir.

Tablo 5.45, MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

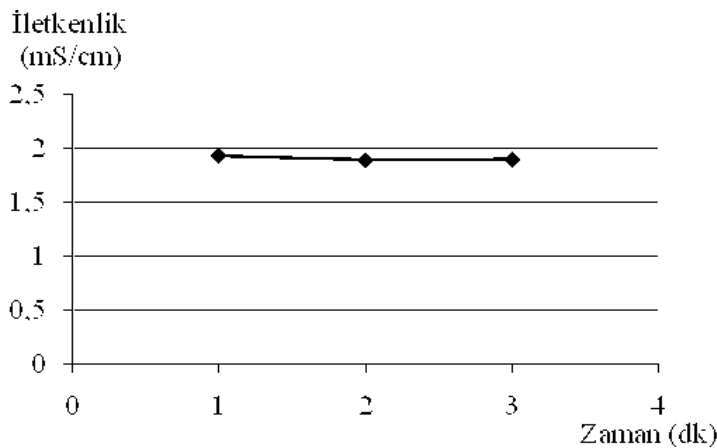
Tablo 5.45. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	5,68	1,937	2,509	3,264	3600
1.dk	5,66	1,930	2,264	3,000	3400
2.dk	5,65	1,890	2,280	3,000	3400
3.dk	5,67	1,893	2,266	2,933	3400
MF çıkış	5,68	1,895	2,273	3,000	3400

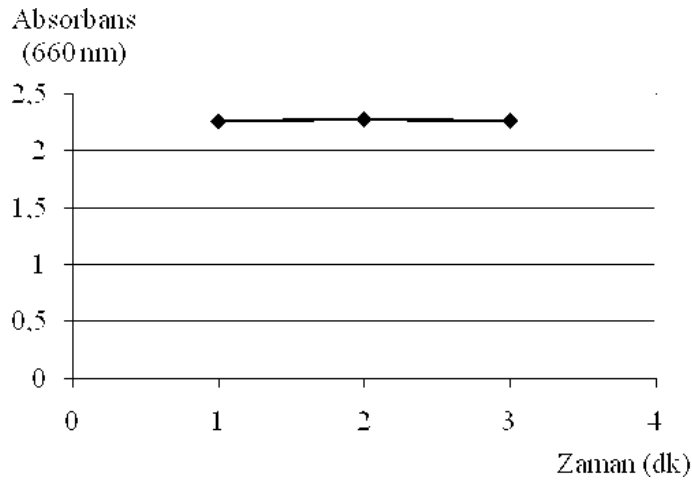
1., 2. ve 3. dakikalarda alınan numunelerdeki iletkenlik giderme verimleri sırasıyla yüzde 0.3-3, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 9-10, TKM giderim verimleri yüzde 8-11 arasında; KOİ giderim verimleri ise yaklaşık yüzde 6 olmuştur.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim verimi yüzde 2, absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 9 civarında olurken; TKM giderim veriminin yüzde 8; KOİ giderim veriminin ise yaklaşık yüzde 6 olduğu görülmüştür.

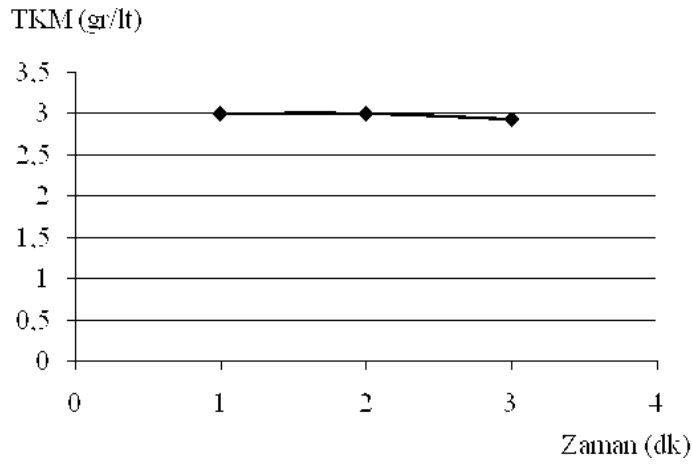
Şekil 5.141, Şekil 5.142, Şekil 5.143, Şekil 5.144; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



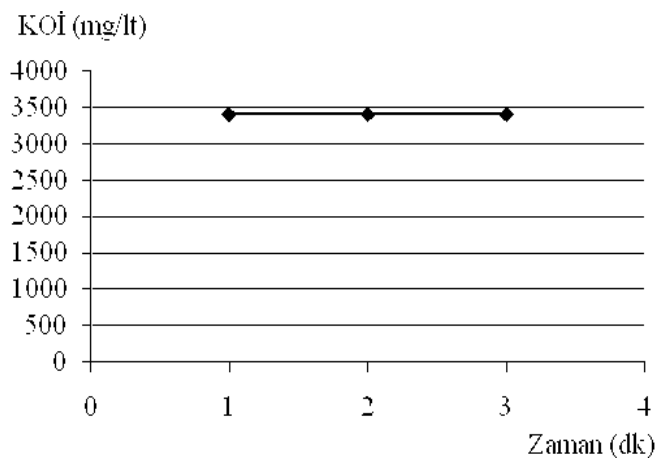
Şekil 5.141. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.142. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



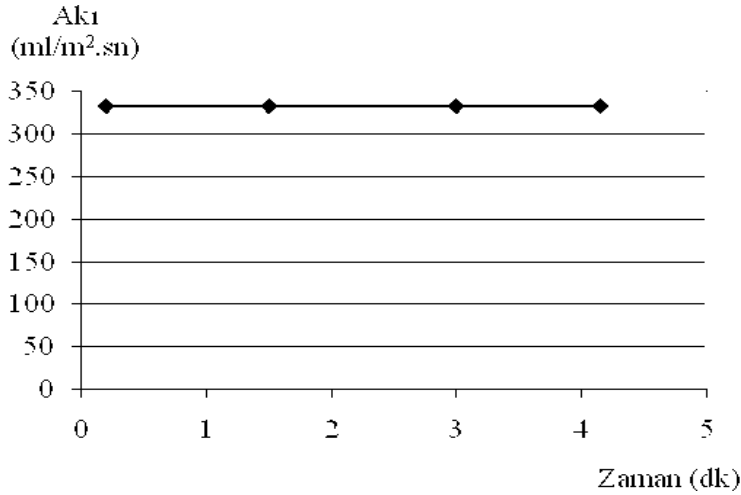
Şekil 5.143. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.144. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi

Pompa giriş basıncı 1. dakikada girişte 0.65 atm, çıkışta 0.6 atm; 2. dakikada girişte 0.61 atm çıkışta 0.58 atm olarak kaydedilmiştir.

Akı, çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup akı değeri 333 ml/m².sn olmuştur. Akının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5.145' te verilmiştir.



Şekil 5.145. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

5.13.2. TO DENEYLERİ

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama suyu, tıkanan TO membranının kimyasal yıkama sonrası kullanılmaya hazır hale gelmesinden sonra 12 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için 3.79 ml/m².sn, konsantre için ise 37.88 ml/m².sn olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. Ürün ve konsantre suyu ayrı kaplarda toplanmış, TO ünitesi durdurulduktan sonra ürün ve konsantre suyunun hacimleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak ürün suyunun miktarı belirlenmiş, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi hesaplanmıştır

Besleme suyu olarak sisteme verilen su (TO' ya giriş-1), çıkışta konsantre (K1) ve ürün suyu (Ü1) olarak ayrı kaplarda biriktirilmiştir. İlk döngüde toplanan konsantre su (K1), tekrar besleme suyu olarak TO ünitesine verilmiş (TO' ya giriş-2) bu döngüde çıkan konsantre (K2) ise sistemde tekrar kullanılmamış 12 atm' deki deney 2 döngüde tamamlanmıştır.

5.13.2.1. TO' ya giriş-1 (Ham su döngüsü)

MF filtresinden geçirilen atıksu, TO membranına verilmiş, ürün (çıkış suyu) ve konsantre suyundan (K1) eş zamanlı numuneler alınmış, akıllar ve basınçlar izlenmiştir. 9'25" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbens, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.46 ve Tablo 5.47' de verilmiştir.

Tablo 5.46. Ürün suyunun (Ü1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

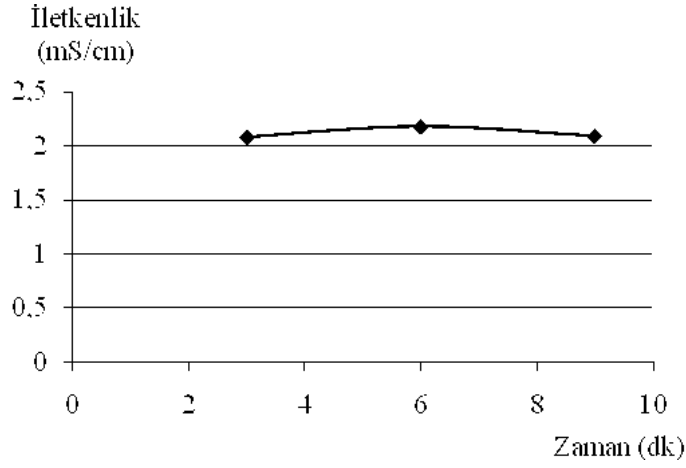
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
3.dk	5,68	0,0236	0,008	0,033	60
6.dk	5,61	0,0317	0,009	0,033	50
9.dk	5,62	0,0298	0,009	0,033	50
Ü1	5,61	0,0271	0,009	0,033	50

3., 6. ve 9. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 98, TKM ve absorbensa bağlı renk giderim verimleri yaklaşık yüzde 100, KOİ giderim verimleri ise yüzde 98' in üzerinde gerçekleşmiştir.

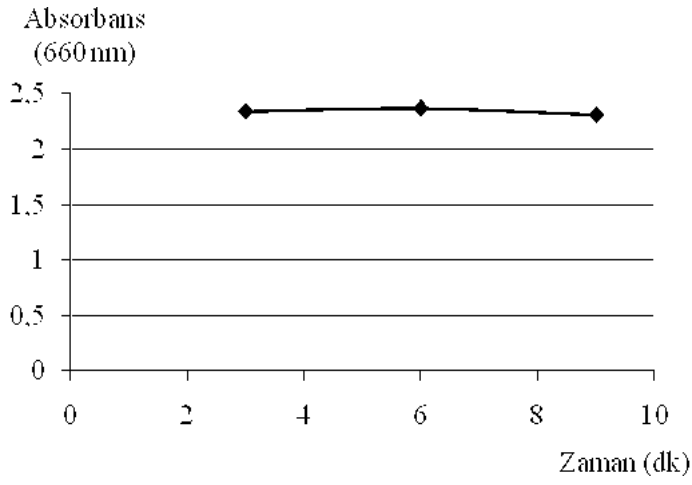
Tablo 5.47. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,68	1,895	2,273	3,00	3400
3.dk	5,64	2,080	2,342	3,35	3500
6.dk	5,61	2,180	2,371	3,35	3500
9.dk	5,59	2,090	2,311	3,34	3600
K1	5,68	2,140	2,324	3,33	3600

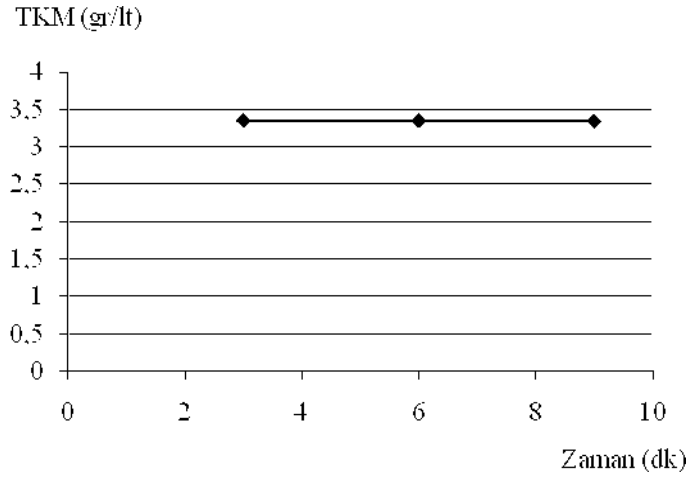
Şekil 5.146, Şekil 5.147, Şekil 5.148, Şekil 5.149; ilk döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



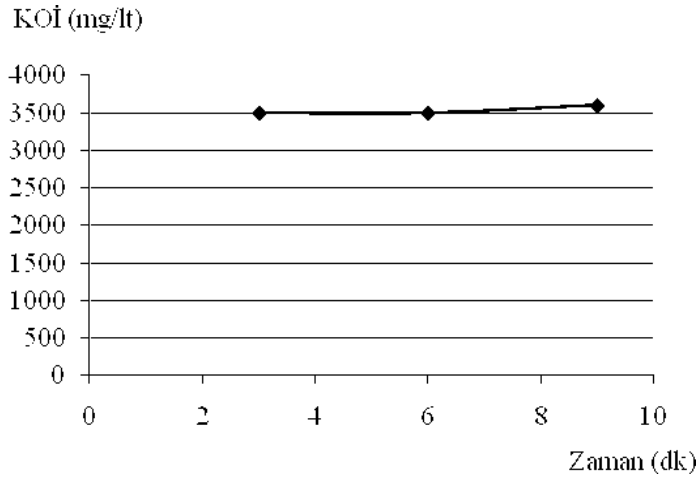
Şekil 5.146. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.147. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbansın zamana göre değişimi

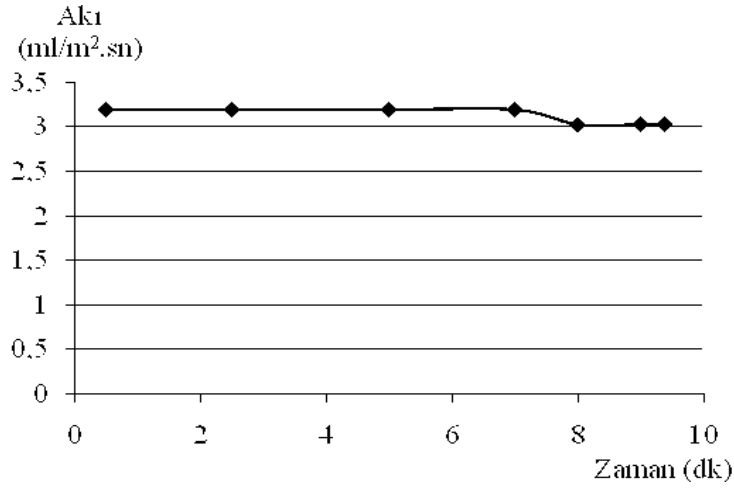


Şekil 5.148. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi

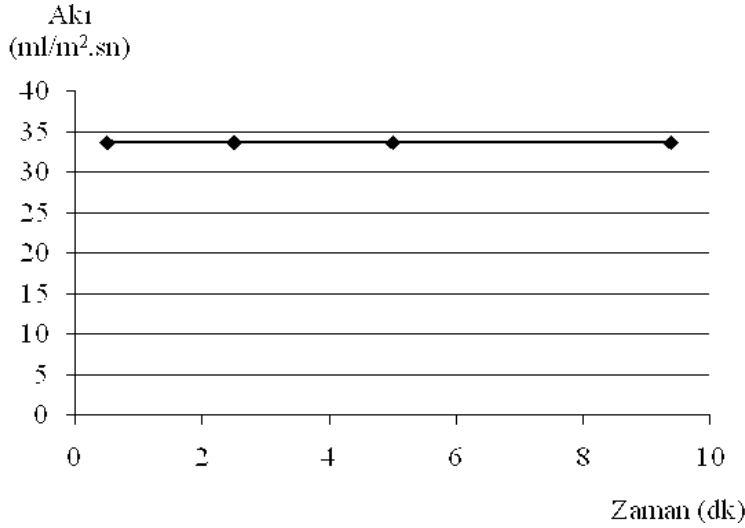


Şekil 5.149. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi

Konsantre suyu akısı 9'25" boyunca $33.67 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ ' de sabit kalmış, ürün suyu akısı ise $3.19 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ iken 7. dakikadan sonra biraz azalma göstererek $3.03 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur. Ürün ve konsantre suyu akılarının değişimi Şekil 5.150 ve Şekil 5.151' de görülmektedir.



Şekil 5.150. TO ünitesinde ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.151. TO ünitesinde ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1. dakikada girişte 1.3 atm, çıkışta 1.0 atm; 5. dakikada girişte 1.29 atm, çıkışta 1.0 atm, 7. dakikada girişte 1.27 atm, çıkışta 1.0 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 12 atm olan TO membran basıncı ise değişmemiştir.

12 atm de gerçekleştirilen ilk döngüde 7.2 litre ürün suyu, 68.6 litre konsantre su (K1) elde edilmiş, yüzde 9.5 ürün suyu elde edilmiştir. K1 tekrar TO sistemine verilmek üzere 2. döngüde kullanılmıştır.

5.13.2.2. TO' ya giriş-2 (Konsantre-1 döngüsü)

İlk döngüde çıkan konsantre su (K1), TO membranına verilmiş, ürün (çıkış suyu) ve konsantre suyundan (K2) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 7'30" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.14 ve Tablo 5.15' te verilmiştir.

Tablo 5.48. Ürün suyunun (Ü2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi

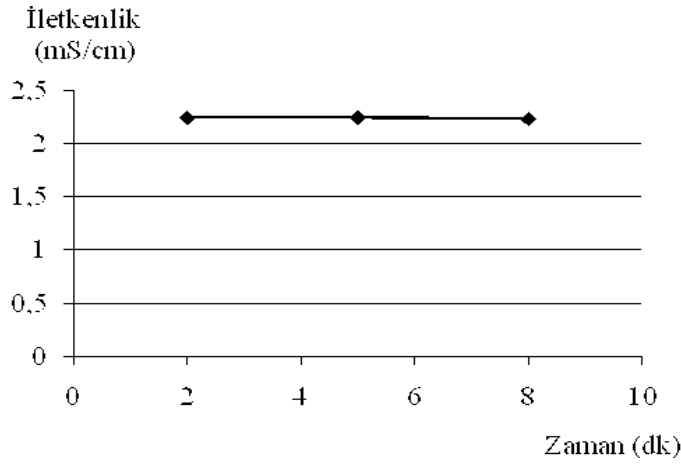
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
1.dk	5,63	0,0337	0,017	0,033	70
4.dk	5,63	0,0427	0,011	0,033	70
7.dk	5,64	0,0495	0,009	0,033	80
Ü2	5,64	0,0408	0,012	0,033	70

1., 4. ve 7. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 98 oranında olurken, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yaklaşık yüzde 100, TKM giderim verimleri yüzde 99, KOİ giderim verimleri ise yüzde 98 olmuştur.

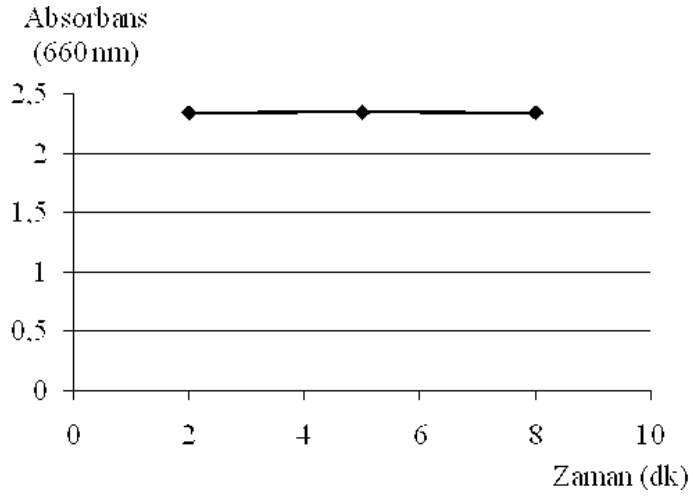
Tablo 5.49. Konsantre suyunun (K2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
K1		2,14	2,324	3,33	3600
1.dk	5,61	2,24	2,342	3,40	3900
4.dk	5,63	2,24	2,346	3,43	3900
7.dk	5,61	2,23	2,342	3,45	3850
K2	5,63	2,23	2,346	3,43	3900

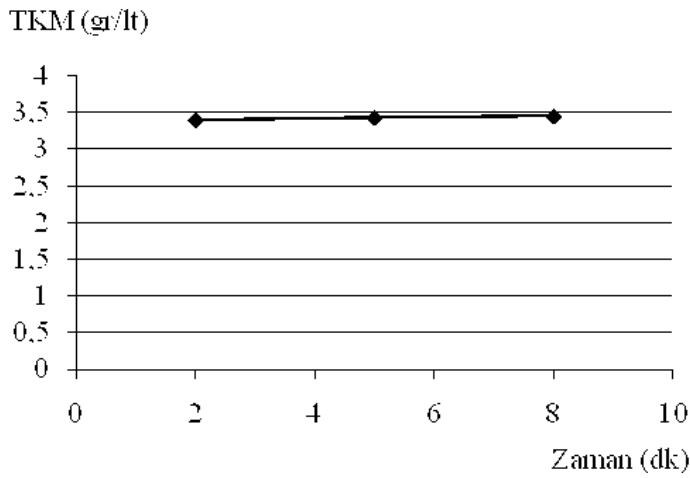
Şekil 5.152, Şekil 5.153, Şekil 5.154, Şekil 5.155; ilk döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



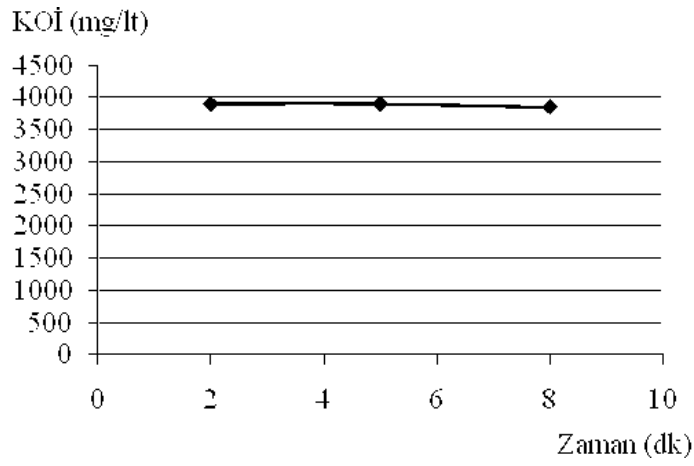
Şekil 5.152. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.153. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi

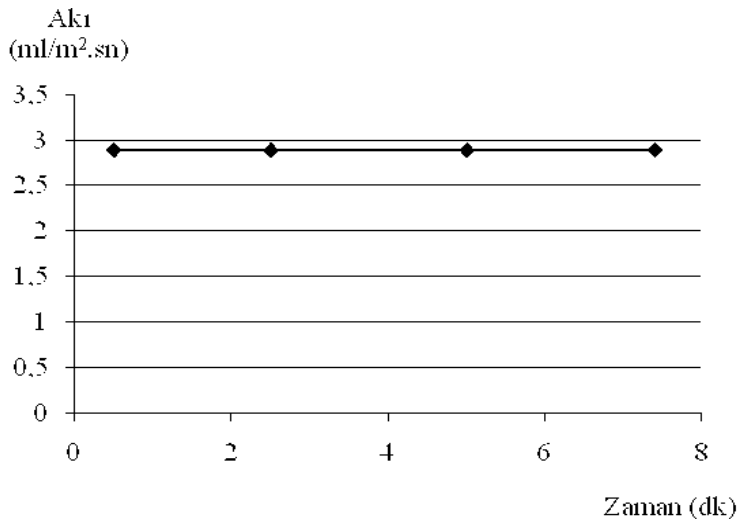


Şekil 5.154. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi

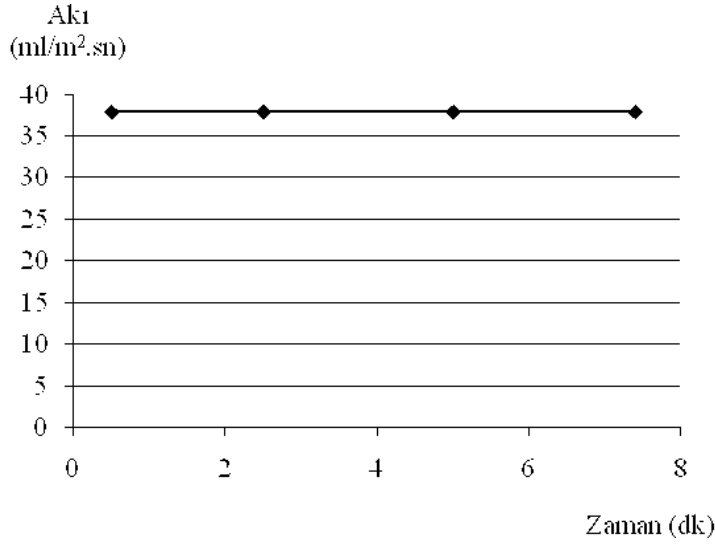


Şekil 5.155. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akıları 7'30" boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri $2.89 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ ve $37.88 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur. Ürün ve konsantre suyu akılarının zamana bağlı değişimini gösteren grafikler Şekil 5.156 ve Şekil 5.157' de verilmiştir.



Şekil 5.156. TO ünitesinde ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.157. TO ünitesinde ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1. dakikada girişte 1.31 atm, çıkışta 1.0 atm; 3. dakikada girişte 1.3 atm, çıkışta 1.0 atm, 7. dakikada girişte 1.29 atm, çıkışta 0.9 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 12 atm olan TO membran basıncı ise değişmemiştir.

2 döngüyle tamamlanan 12 atm' de gerçekleştirilen deneyde son döngüde 4.4 litre ürün suyu, 54.95 litre konsantre su (K2) elde edilmiş, yüzde 7.41 ürün suyu elde edilmiştir.

5.14. Deney No 12 (D12)

5.14.1. MF DENEYLERİ

Kot yıkama ünitesinden alınan atıksu, içinde bulunabilecek katıların (iplik vs.) sisteme girmesini engellemek için elekten süzöldükten sonra ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ünitesinden geçirilmiş ve 2 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Bu periyotta toplam çalışma süresi 6'11" dir.

Tablo 5.50, MF membranından geçirildikten sonra alınan anlık numunelerde yapılan pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ değerlerini vermektedir.

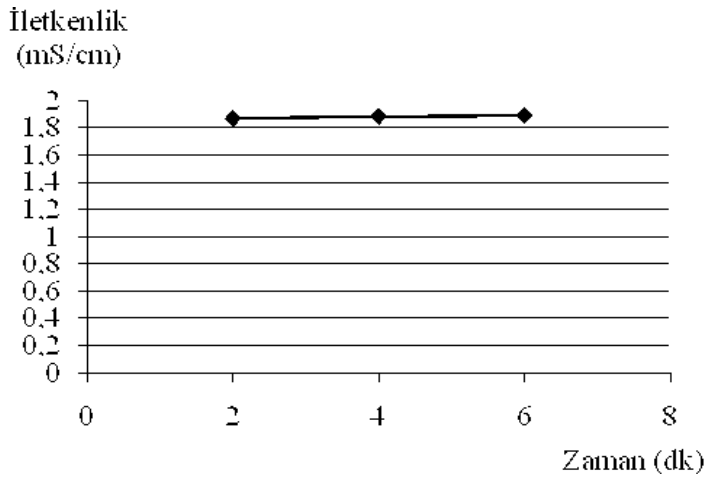
Tablo 5.50. MF membranı çıkış suyu özelliklerinin zamana bağlı değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
Ham su	5,23	1,911	2,566	3,63	3450
2.dk	5,20	1,870	2,348	3,36	3300
4.dk	5,19	1,883	2,362	3,33	3300
6.dk	5,20	1,890	2,352	3,33	3300
MF çıkış	5,23	1,889	2,361	3,33	3300

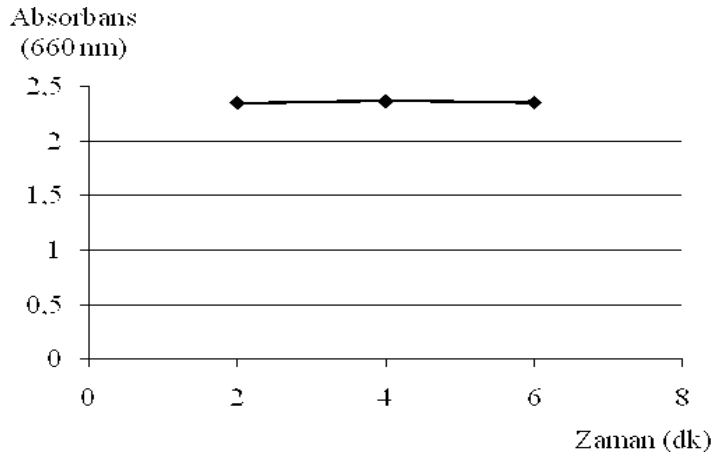
1., 2. ve 3. dakikalarda alınan numunelerdeki iletkenlik giderme verimleri yüzde 1-3, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 8-9, TKM giderim verimleri yüzde 7-9, aralığında gerçekleşmiş; KOİ giderim verimleri ise yüzde 4 civarında olmuştur.

MF ünitesinden geçen su, anlık numuneler alınırken ayrı bir kapta toplanmış ve alet durdurulduktan sonra üniform bir karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. MF ünitesi çıkışında toplanan suda yine aynı parametreler incelenmiş, verimlerin anlık numunelerle paralel olduğu görülmüştür. İletkenlik giderim verimi yüzde 1, absorbansa bağlı renk giderim verimi yüzde 8 olurken; TKM giderim veriminin yaklaşık yüzde 8; KOİ giderim veriminin ise yüzde 4 civarında olduğu görülmüştür.

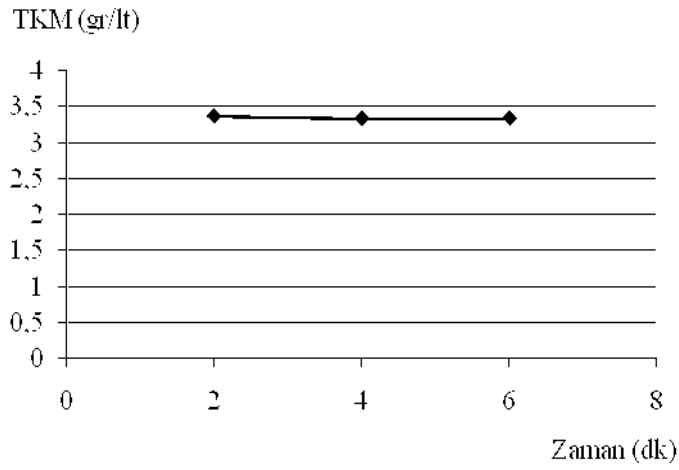
Şekil 5.158, Şekil 5.159, Şekil 5.160, Şekil 5.161; MF çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



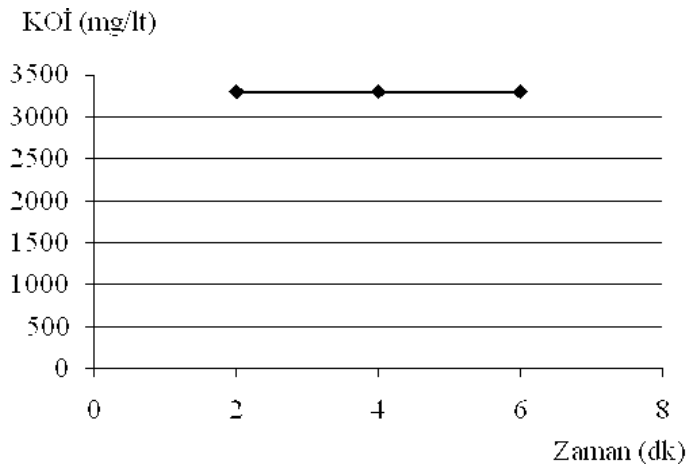
Şekil 5.158. MF çıkışında atıksudaki iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.159. MF çıkışında atıksudaki absorbansın zamana göre değişimi

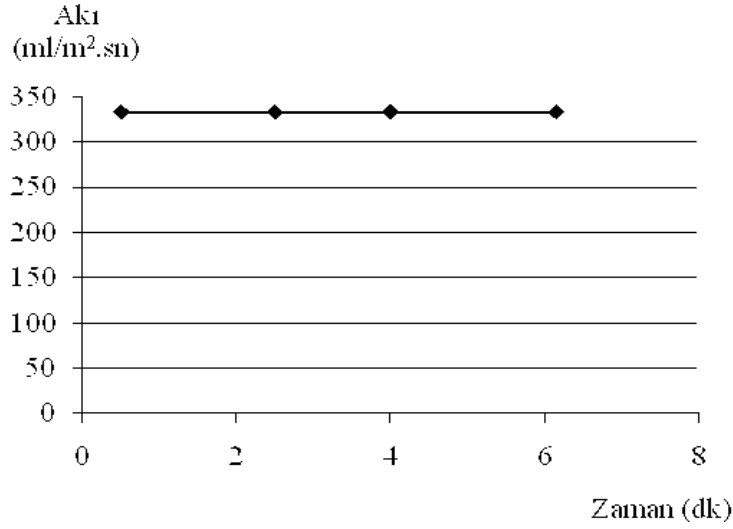


Şekil 5.160. MF çıkışında atıksudaki TKM' nin zamana göre değişimi



Şekil 5.161. MF çıkışında atıksudaki KOI' nin zamana göre değişimi

Akı, çalışma periyodu esnasında değişmemiş olup akı değeri 333 ml/m².sn olmuştur. Akının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5.162’ de verilmiştir.



Şekil 5.162. MF ünitesinde akının zamana bağlı değişimi

Pompa giriş basıncı 1. dakikada girişte 0.68 atm, çıkışta 0.6 atm; 3. dakikada girişte 0.65 atm çıkışta 0.6 atm; 5. dakikada girişte 0.61 atm çıkışta 0.6 atm olarak kaydedilmiştir.

5.14.2. TO DENEYLERİ

Ön arıtma olarak MF ünitesinden geçirilen kot yıkama suyu, 12 atm basınca ayarlanarak çalıştırılmış ve saf su ile akılar ölçülmüş daha sonra besleme suyu sisteme verilmiştir. Saf su ile yapılan akı ölçümlerinde akı değerleri ürün suyu için 3.18 ml/m².sn, konsantre için ise 37.88 ml/m².sn olmuştur.

Saf su ile akılar ölçüldükten sonra atıksu TO membranına verilmiş, belli zaman aralıklarıyla numuneler alınmış, basınçlar kontrol edilmiş ve akılara bakılmıştır. Ürün ve konsantre suyu ayrı kaplarda toplanmış, TO ünitesi durdurulduktan sonra ürün ve konsantre suyunun hacimleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak ürün suyunun miktarı belirlenmiş, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Besleme suyu olarak sisteme verilen su (TO' ya giriş-1), çıkışta konsantre (K1) ve ürün suyu (Ü1) olarak ayrı kaplarda biriktirilmiştir. İlk döngüde toplanan konsantre su (K1), tekrar besleme suyu olarak TO ünitesine verilmiş (TO' ya giriş-2) bu döngüde çıkan konsantre (K2) ise sistemde tekrar kullanılmamış 12 atm' deki deney 2 döngüde tamamlanmıştır.

5.14.2.1. TO' ya giriş-1

MF filtresinden geçirilen atıksu, TO membranına verilmiş, ürün (çıkış suyu) ve konsantre suyundan (K1) eş zamanlı numuneler alınmış, akıllar ve basınçlar izlenmiştir. 11'14" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.51 ve Tablo 5.52' de verilmiştir.

Tablo 5.51. Ürün suyunun (Ü1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

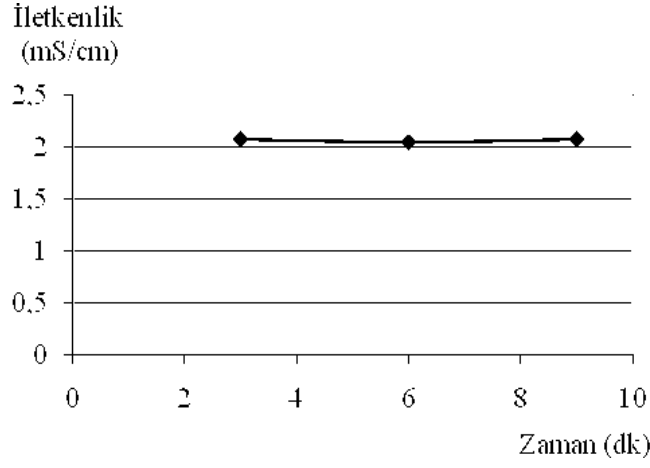
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
3.dk	5,21	0,0352	0,007	0	10
6.dk	5,23	0,0346	0,012	0	10
9.dk	5,23	0,0340	0,009	0,033	10
Ü1	5,23	0,0349	0,010	0	10

3., 6. ve 9. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yaklaşık yüzde 98; absorbansa bağlı renk giderim verimleri ve TKM, KOİ giderim verimleri yüzde 100 civarında gerçekleşmiştir.

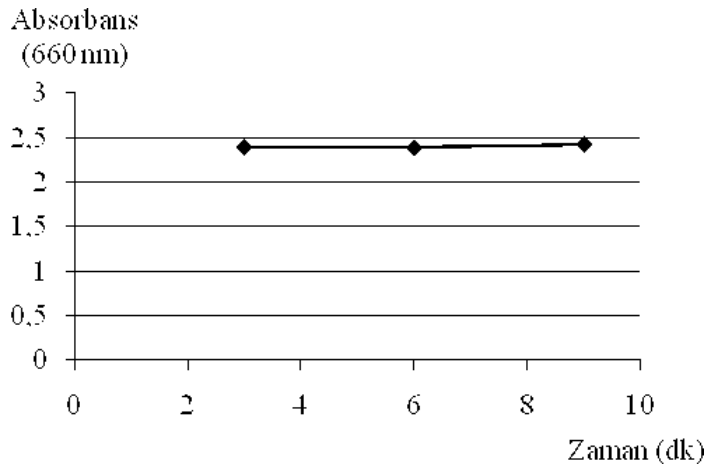
Tablo 5.52. Konsantre suyunun (K1' in) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
MF çıkış	5,23	1,889	2,361	3,33	3300
3.dk	5,22	2,08	2,395	3,50	3550
6.dk	5,21	2,05	2,390	3,58	3600
9.dk	5,22	2,08	2,426	3,75	3600
K1	5,25	2,06	2,401	3,767	3600

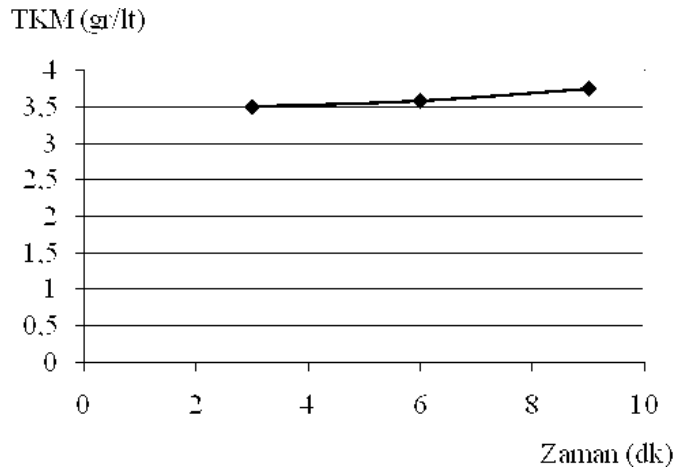
Şekil 5.163, Şekil 5.164, Şekil 5.165, Şekil 5.166; ilk döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



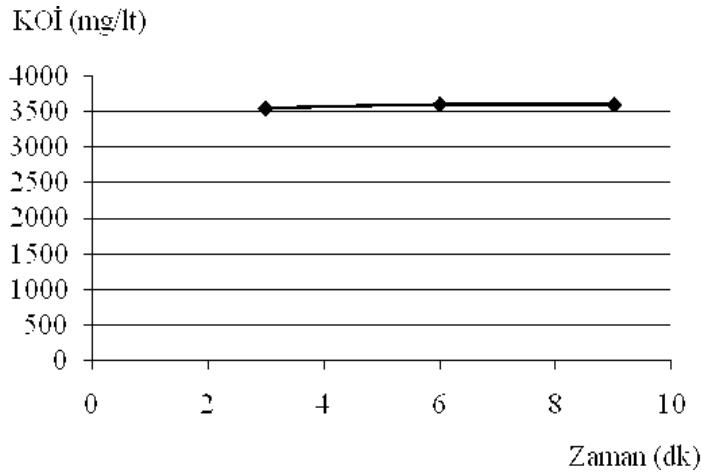
Şekil 5.163. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.164. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) absorbansın zamana göre değişimi

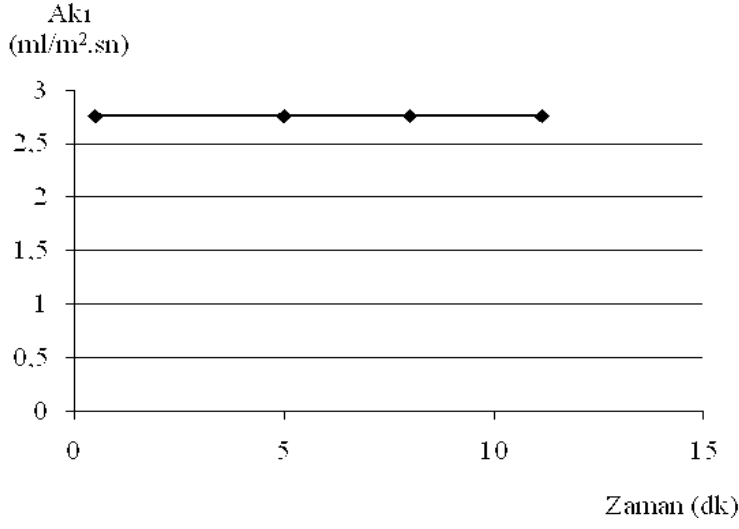


Şekil 5.165. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) TKM' nin zamana göre değişimi

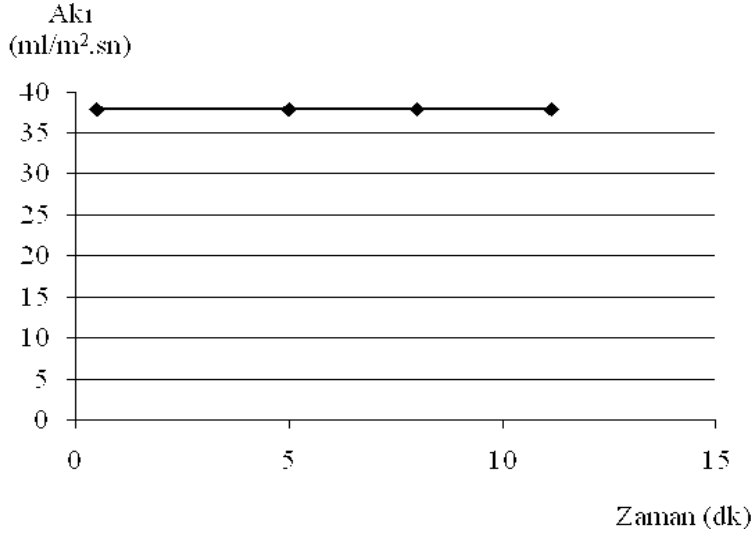


Şekil 5.166. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K1) KOİ' nin zamana göre değişimi

Ürün ve konsantre suyu akıları 11'14" boyunca sabit kalmış olup sırasıyla akı değerleri $2.76 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ ve $37.88 \text{ ml/m}^2.\text{sn}$ olmuştur. Ürün ve konsantre suyu akılarının zamana bağlı değişimini gösteren grafikler Şekil 5.167 ve Şekil 5.168' de verilmiştir.



Şekil 5.167. TO ünitesinde ilk döngüde Ü1 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.168. TO ünitesinde ilk döngüde K1 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1. dakikada girişte 1.3 atm, çıkışta 1.0 atm; 4. dakikada girişte 1.2 atm, çıkışta 1.0 atm, 7. dakikada girişte 1.2 atm, çıkışta 0.9 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 12 atm olan TO membran basıncı ise değişmemiştir.

2 döngüyle tamamlanan 12 atm' de gerçekleştirilen deneyde son döngüde 6.6 litre ürün suyu, 86.25 litre konsantre su (K2) elde edilmiş, yüzde 7.17 ürün suyu elde edilmiştir.

5.14.2.2. TO' ya giriş-2 (Konsantre-1 döngüsü)

İlk döngüde çıkan konsantre su (K1), TO membranına verilmiş, ürün (çıkış suyu) ve konsantre suyundan (K2) eş zamanlı numuneler alınmış, akılar ve basınçlar izlenmiştir. 8'10" de TO ünitesi durdurulmuştur.

Numunelerde pH, iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.53 ve Tablo 5.54' te verilmiştir.

Tablo 5.53. Ürün suyunun (Ü2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi

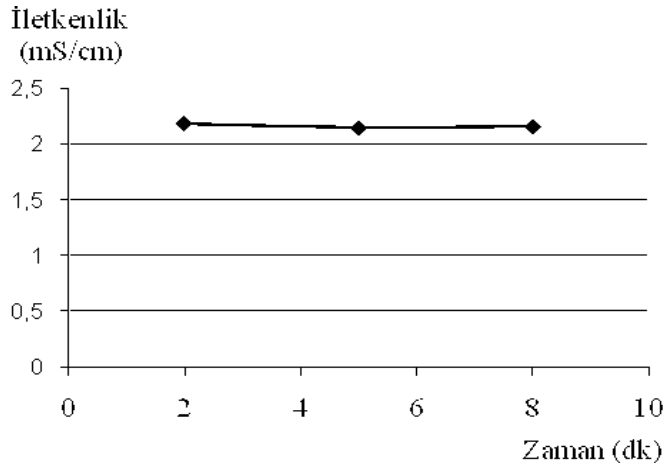
Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
2.dk	5,28	0,0359	0,008	0,033	10
5.dk	5,26	0,0354	0,009	0	0
8.dk	5,26	0,0349	0,009	0	10
Ü2	5,27	0,0355	0,008	0	0

1., 4. ve 7. dakikalarda alınan numunelerde yapılan deneylerde elde edilen verilere göre iletkenlik giderme verimleri yüzde 98' in üzerinde gerçekleşirken, absorbansa bağlı renk giderim verimleri yaklaşık yüzde 100, TKM ve KOİ giderim verimleri de yüzde 100 civarında olmuştur.

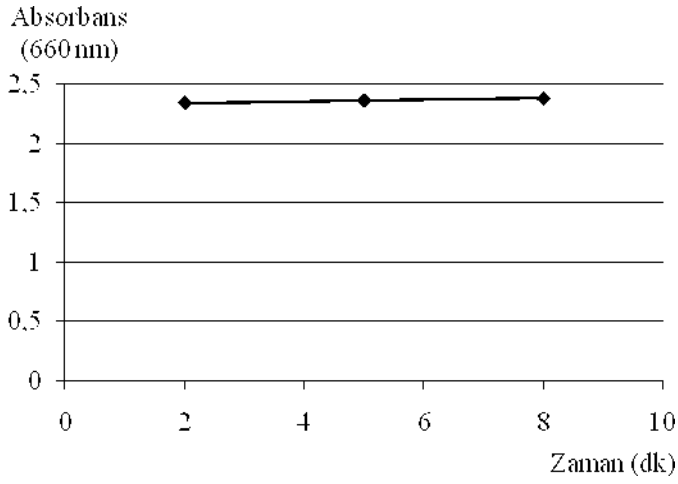
Tablo 5.54. Konsantre suyunun (K2' nin) özelliklerinin zamanla değişimi

Parametre Numune	pH	İletkenlik (mS/cm)	Absorbans (660 nm)	TKM (gr/lt)	KOİ (mg/lt)
K1	5,25	2,06	2,401	3,767	3600
2.dk	5,26	2,19	2,440	4,30	3850
5 .dk	5,28	2,15	2,462	4,30	3900
8.dk	5,28	2,16	2,479	4,2	3900
K2	5,28	2,17	2,470	4,2	3900

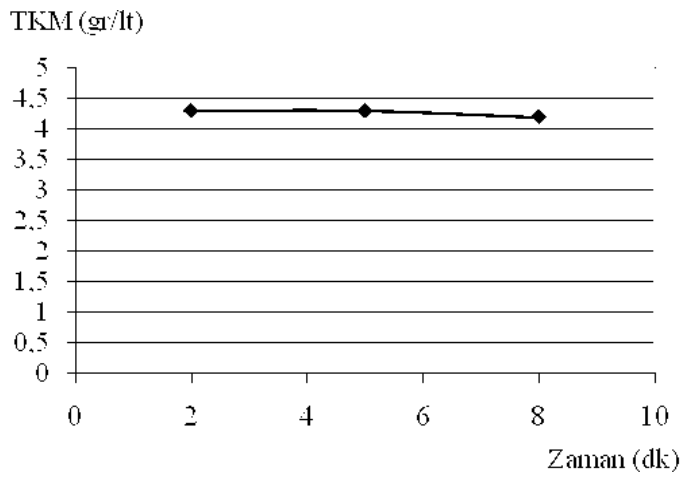
Şekil 5.169, Şekil 5.170, Şekil 5.171, Şekil 5.172; ilk döngüde TO çıkışından alınan numunelerdeki iletkenlik, absorbans, TKM ve KOİ' nin değişimini göstermektedir.



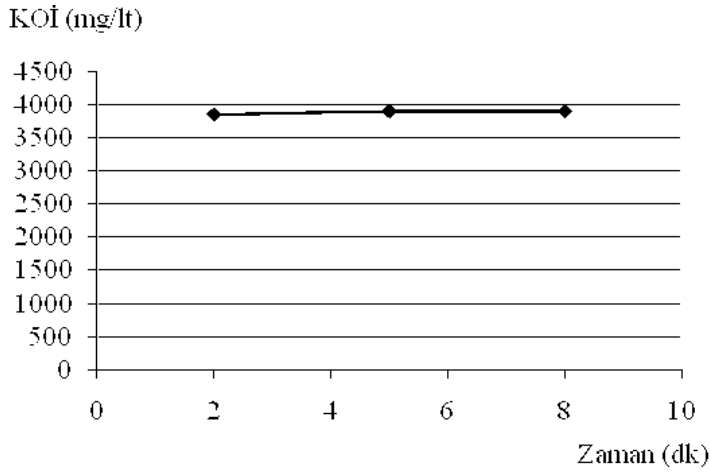
Şekil 5.169. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) iletkenliğin zamana göre değişimi



Şekil 5.170. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) absorbansın zamana göre değişimi

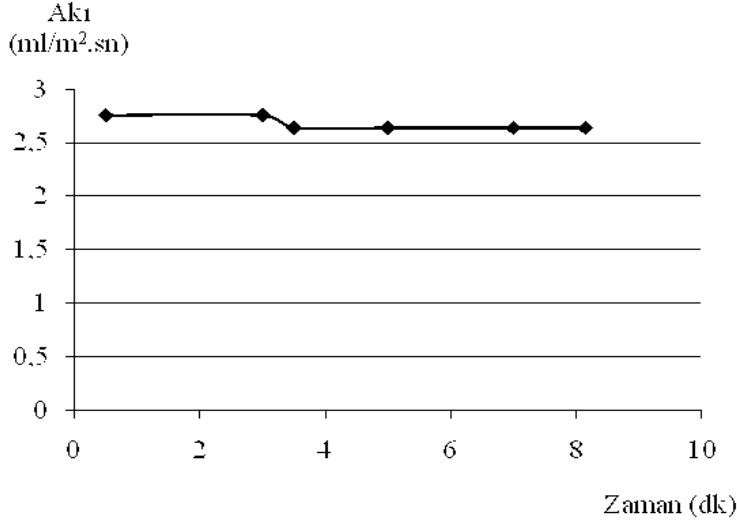


Şekil 5.171. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) TKM' nin zamana göre değişimi

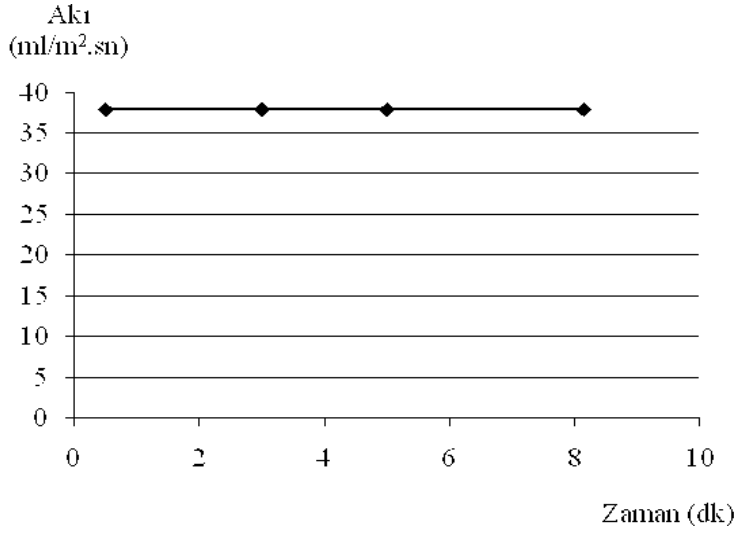


Şekil 5.172. TO çıkışında konsantre atıksudaki (K2) KOİ' nin zamana göre değişimi

Konsantre suyu akıları 8'10" boyunca 37.88 ml/m².sn' de sabit kalmış, ürün suyu akısı ise başlangıçta 2.76 ml/m².sn iken 3. dakikadan sonra azalarak 2.64 ml/m².sn olmuştur. Akının zamana bağlı değişimini gösteren grafikler Şekil 5.173 ve Şekil 5.174' te verilmiştir.



Şekil 5.173. TO ünitesinde ikinci döngüde Ü2 akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 5.174. TO ünitesinde ikinci döngüde K2 akısının zamana bağlı değişimi

Pompa basınçları 1. dakikada girişte 1.3 atm, çıkışta 1.0 atm; 5. dakikada girişte 1.25 atm, çıkışta 1.0 atm olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta 12 atm olan TO membran basıncı ise değişmemiştir.

2 döngüyle tamamlanan 12 atm’ de gerçekleştirilen deneyde son döngüde 4.4 litre ürün suyu, 59.15 litre konsantre su (K2) elde edilmiş, yüzde 6.92 ürün suyu elde edilmiştir.

5.15. Arıtım Kademelerindeki Yüzde (%) Giderim Verimleri

Yapılan çalışmalar sonucunda Tablo 5.55, Tablo 5.56, Tablo 5.57, Tablo 5.58 deneysel verileri; Şekil 5.177, Şekil 5.178, Şekil 5.179, Şekil 5.180 yüzde giderim verimlerinin grafiklerini göstermektedir.

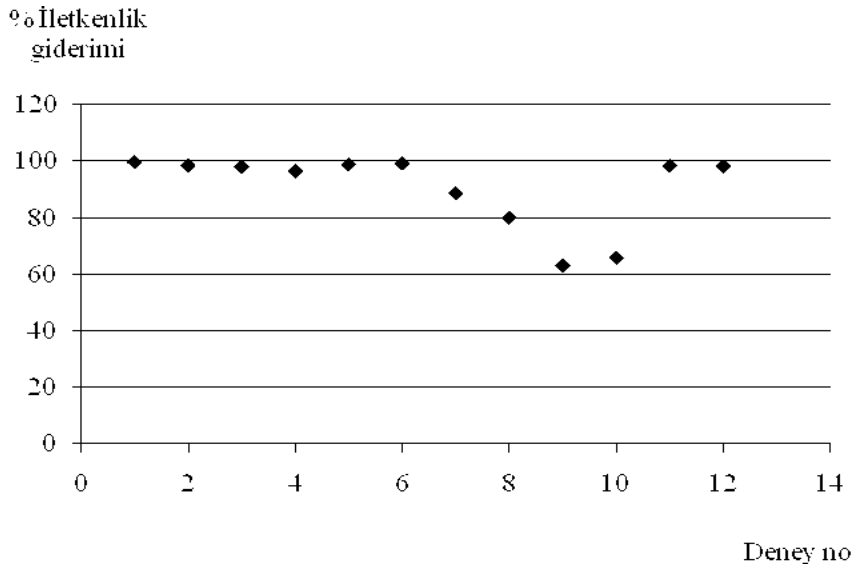
Tablo 5.55, deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12) ham sudaki, MF ve TO üniteleri çıkışındaki iletkenlik değerlerini ve ortalama iletkenlik giderim yüzdelerini vermektedir.

Tablo 5.55. Arıtım kademelerinde iletkenlik değışimleri ve ortalama giderim yüzdeleri

İletkenlik (mS/cm)										
Deney No	Ham su	MF çıkış	MF ortalama giderim %'si	K1	K2	K3	Ü1	Ü2	Ü3	TO ortalama giderim %'si
D1	0,525	0,517	1,52	0,560	0,582	0,594	0,002	0,003	0,002	99,55
D2	0,462	0,456	1,30	1,026	-	-	0,007	-	-	98,47
D3	0,607	0,598	1,48	0,651	0,737	0,789	0,012	0,013	0,013	97,88
D4	2,270	2,230	1,76	4,870	-	-	0,081	-	-	96,37
D5	2,220	2,180	1,80	2,460	2,680	2,810	0,023	0,030	0,030	98,73
D6	2,200	2,150	2,27	2,280	2,410	2,510	0,017	0,016	0,020	99,18
D7	0,685	0,673	1,75	-	-	-	0,077	-	-	88,56
D8	0,670	0,660	1,49	-	-	-	0,133	-	-	79,85
D9	0,679	0,669	1,47	-	-	-	0,248	-	-	62,93
D10	1,388	1,356	2,31	-	-	-	0,465	-	-	65,71
D11	1,937	1,895	2,17	2,140	2,230	-	0,027	0,041	-	98,21
D12	1,911	1,889	1,15	2,060	2,170	-	0,035	0,036	-	98,12

Tablo 5.55’ te görüldüğü gibi; MF’ de iletkenlik giderim verimleri yüzde 1-3 arasında değışmiştir. TO membranındaki iletkenlik giderim verimleri ise çok yüksek olup, yüzde 96’ nın üzerinde gerçekleşmiş; membran yüzeyindeki kek tabakasının birikerek membranın tıkanmasıyla bu verimlerin yüzde 60’ lara kadar düştüğü gözlenmiştir. Kimyasal yıkama sonrasında ise verim tekrar artarak yüzde 98’ in üzerinde iletkenlik giderimi sağlanmıştır.

Tablo 5.55’ teki verilere göre, TO membranının kot yıkama atıksuyundaki iletkenlik giderim yüzde lerinin kıyaslanarak, grafik şeklinde gösterimi Şekil 5.175’ te verilmiştir.



Şekil 5.175. Deneyisel çalışmalar sonucunda (D1-D12), TO membranının kot yıkama atıksuyundaki iletkenlik giderim yüzdeleri

Şekil 5.175’ te görüldüğü gibi Deney no 6’ ya kadar iletkenlik giderim yüzdelerinde pek değişim olmamış, giderim verimleri yüzde 96-100 aralığında gerçekleşmiştir. Deney no 1 (D1), 10 atm basınçta yapılmıştır. Atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi az olup (yaklaşık yüzde 7), suyun kalitesi fazla olduğu görülmüştür. D1’ de yaklaşık yüzde 100 iletkenlik giderimi sağlanmıştır. D2, 12 atm basınçta yapılmış ve atıksuyun geri dönüşümü yüzde 95’ lere kadar çıkmış, iletkenlik giderim verimiye yaklaşık yüzde 99 olmuştur. D3, 11 atm basınçta yapılmış, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi az olmuş (yüzde 10.2), yüzde 98 iletkenlik giderimi sağlanmıştır. Giderim verimlerinin az da olsa bir düşüş gözlenmesini, membranın kullanıldıkça performansının düşmesi olarak açıklayabiliriz.

D1, D2, D3 deneyleri tamamlandıktan sonra TO membranı çıkarılmış (1. Membran), temiz membran deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Bundan sonraki deneyler 2. membran kullanılarak sürdürülmüştür. D4, D5 ve D6 deneyleri sırasıyla 12, 11 ve 10 atm sürücü basınçlarında yapılmıştır. 12 atm basınçta yapılan D4’ te atıksuyun geri dönüşüm oranı ciddi derecede fazla olup (yaklaşık yüzde 94), iletkenlik giderimi yüzde 96,4; 11 atm basınçta yapılan D5’ te atıksuyun geri dönüşüm oranı yüzde 11.6 olup, iletkenlik giderimi yüzde 98,7; 10 atm basınçta yapılan D5’ te atıksuyun geri dönüşüm oranı yüzde 7 olup, iletkenlik giderimi yüzde 99,2 olmuştur. Elde edilen verilere de bakıldığında basıncın artmasına bağlı olarak atıksudaki geri dönüşümün arttığını, buna rağmen az da olsa

giderim veriminin düştüğünü görmekteyiz. D6' dan sonraki deneyler 12 atm basınçta sürdürülmüştür. D7, D8, D9, D10 deneyleri 11.9 atm basınçta yapılmış ve yüzde 100 geri dönüşüm sağlanmıştır. Sırasıyla iletkenlik giderim yüzdeleri ise 88,6; 79,8; 62,9 ve 65,7 olmuştur. Giderim verimlerinin yüzde 60' lara düşmesinin nedeni; geri dönüşüm oranının yüzde 100 olması, membran yüzeyindeki kek tabakasının hızla artması, membranı tıkaması ve membran veriminin düşmesinden kaynaklanmaktadır. Her deneyin başında yapılan saf su ile akı ölçümleri, deney başlangıçlarında az da olsa membranın yıkanmasına (temizlenmesine) sebep olduğundan, gittikçe azalması beklenen iletkenlik giderim veriminin, D10' da az da olsa arttığı (yüzde 62,9' dan yüzde 65,7' ye) görülmüştür. D10 sonucunda tıkanan membran kimyasal yıkamaya tabii tutularak, D11 ve D12 deneyleri 12 atm basınçta yapılmıştır. Yıkama sonrası atıksuyun geri dönüşüm oranında ciddi bir azalma görülmesine karşın, giderim yüzdeleri artmış ve yüzde 98' in üzerinde olmuştur.

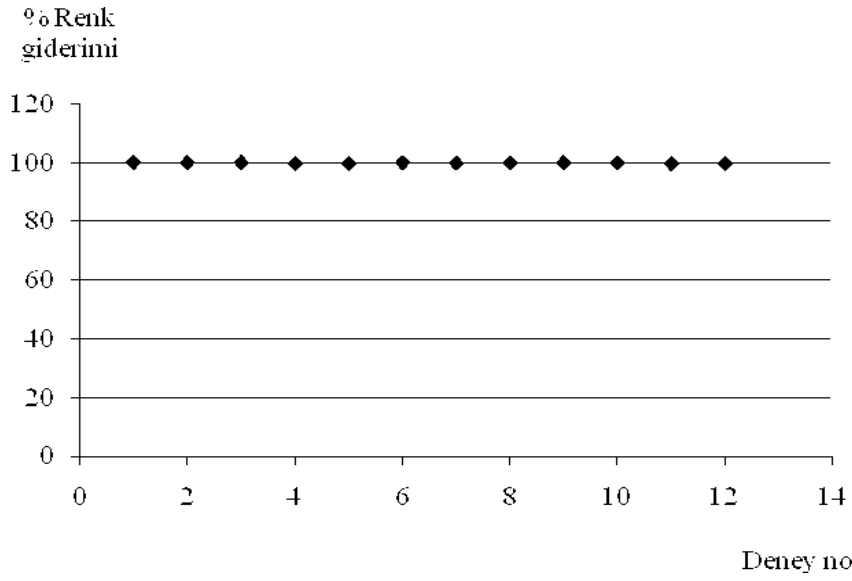
Tablo 5.56, deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12) ham sudaki, MF ve TO üniteleri çıkışındaki absorbansa bağlı renk giderimlerini ve ortalama renk giderim yüzdelerini vermektedir.

Tablo 5.56. Arıtım kademelerinde absorbans değerleri ve absorbansa bağlı ortalama renk giderim yüzdeleri

Absorbans (660 nm)										
Deney No	Ham su	MF çıkış	MF ortalama giderim %'si	K1	K2	K3	Ü1	Ü2	Ü3	TO ortalama giderim %'si
D1	1,828	1,681	8,04	1,782	1,838	1,953	0	0	0	100
D2	1,848	1,736	6,06	2,100	-	-	0	-	-	100
D3	1,843	1,646	10,20	1,705	1,820	1,992	0,003	0	0	100
D4	4,905	4,381	10,68	7,182	-	-	0,017	-	-	99,61
D5	4,198	3,880	7,60	4,327	4,725	4,998	0,015	0,015	0,015	99,61
D6	4,410	4,072	7,66	4,315	4,483	4,681	0,003	0,004	0,011	99,85
D7	3,451	3,190	7,56	-	-	-	0,008	-	-	99,75
D8	3,449	3,189	7,54	-	-	-	0,005	-	-	99,84
D9	3,458	3,249	6,04	-	-	-	0	-	-	100
D10	4,101	3,828	6,70	-	-	-	0,007	-	-	99,82
D11	2,509	2,273	9,40	2,324	2,346	-	0,009	0,012	-	99,54
D12	2,566	2,361	8,00	2,401	2,470	-	0,010	0,008	-	99,62

Tablo 5.56’ da görüldüğü gibi; MF’ de absorbansa bağlı renk giderim verimleri yüzde 6 ile yüzde 11 arasında değişmiştir. TO membranındaki renk giderim verimleri ise çok yüksek olup, yüzde 99,5-100 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12) elde edilen verilere göre, TO membranının kot yıkama atıksuyundaki absorbansa bağlı renk giderim yüzdelerinin kıyaslanarak, grafik şeklinde gösterimi Şekil 5.176’ de verilmiştir.



Şekil 5.176. Deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12), TO membranının kot yıkama atıksuyundaki yüzde renk giderim verimleri

Şekil 5.176’ da görüldüğü gibi basınca bağlı olmaksızın kot yıkama atıksıyındaki renk giderimi her deneyde yüzde 100 civarında olmuştur.

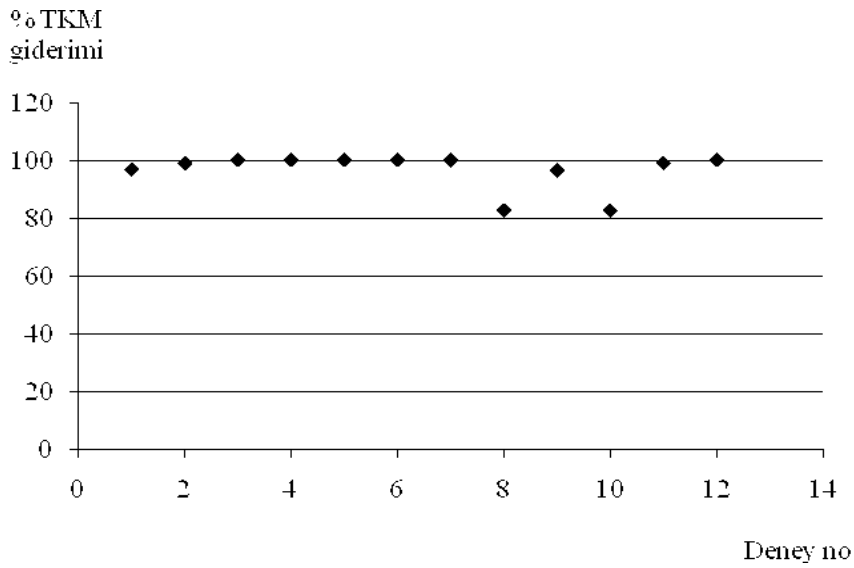
Tablo 5.57, deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12) ham sudaki, MF ve TO üniteleri çıkışındaki TKM değerlerini ve ortalama TKM giderim yüzdelerini vermektedir

Tablo 5.57. Arıtım kademelerinde TKM değerleri ve ortalama TKM giderim yüzdeleri

TKM (gr/lt)										
Deney No	Ham su	MF çıkış	MF ortalama giderim %'si	K1	K2	K3	Ü1	Ü2	Ü3	TO ortalama giderim %'si
D1	1,000	0,933	6,70	0,950	1,100	1,230	0	0	0,02	96,78
D2	0,930	0,866	6,88	1,870	-	-	0,010	-	-	98,85
D3	0,953	0,900	5,60	1,000	1,133	1,167	0	0	0	100
D4	5,430	5,030	7,37	11,00	-	-	0	-	-	100
D5	5,767	5,500	4,63	5,830	6,367	7,067	0	0	0	100
D6	4,100	3,930	4,14	4,167	4,370	4,433	0	0	0	100
D7	1,887	1,733	8,16	-	-	-	0	-	-	100
D8	2,000	1,906	4,70	-	-	-	0,330	-	-	82,69
D9	2,100	2,000	4,76	-	-	-	0,072	-	-	96,40
D10	2,400	2,267	5,54	-	-	-	0,395	-	-	82,58
D11	3,264	3,000	8,10	3,330	3,430	-	0,033	0,033	-	98,90
D12	3,630	3,330	8,27	3,767	4,200	-	0	0	-	100

Tablo 5.57’ de görüldüğü gibi; MF’ de ortalama TKM giderim verimleri yüzde 4-9 arasında değişmiştir. TO membranındaki iletkenlik giderim verimleri çok yüksek olup, yüzde 97-100 düzeyinde gerçekleşmiş; zamanla membranın tıkanmasıyla D8’ de biraz azalma olduğu görülmüş, yüzde 82-96 olmuştur. Kimyasal yıkama sonrası ise TKM giderimi tekrar artış göstererek yüzde 99-100 olmuştur.

Deneyssel çalışmalar sonucunda (D1-D12) elde edilen verilere göre, TO membranının kot yıkama atıksuyundaki TKM (toplam katı madde) giderim yüzdelerinin kıyaslanarak, grafik şeklinde gösterimi Şekil 5.177’ de verilmiştir.



Şekil 5.177. Deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12), TO membranının kot yıkama atıksuyundaki yüzde TKM giderim verimleri

Şekil 5.177’ de görüldüğü gibi Deney no 6’ ya kadar yüzde TKM giderimlerinde pek bir değişim gözlenmemiştir. D7’ den itibaren deneyler 12 atm basınçta sürdürüldüğünden, atıksuyun geri dönüşüm oranı yüzde 100 olup, atıksu çıkışta tamamen temiz su (ürün suyu) olarak alındığından, membranın tıkanma süreci hızlanmış ve TKM giderim yüzdelerinde bir düşüş (yüzde 100’ den yüzde 83’ e) gözlenmiştir. D10’ da giderim veriminde yine düşüş beklenirken artış olması, deney başlangıcında saf su ile yapılan akı ölçümlerinde membran yüzeyinin kısmen yıkanmış olmasından kaynaklanmaktadır. yüzde 83’ lere düşen TKM gideriminin kimyasal yıkama sonunda arttığı ve yine yüzde 100 civarında gerçekleştiği saptanmıştır.

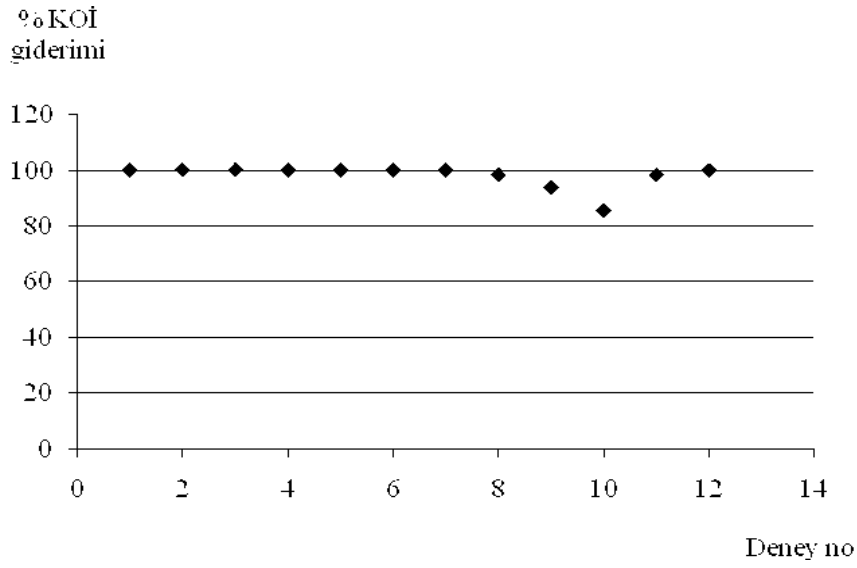
Tablo 5.58, deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12) ham sudaki, MF ve TO üniteleri çıkışındaki KOİ giderim yüzdelerini vermektedir.

Tablo 5.58. Arıtım kademelerinde KOİ değişimleri ve ortalama KOİ giderim yüzdeleri

KOİ (mg/l)										
Deney No	Ham su	MF çıkış	MF ortalama giderim %'si	K1	K2	K3	Ü1	Ü2	Ü3	TO ortalama giderim %'si
D1	1100	1000	9,10	1200	1300	1400	0	0	0	100
D2	1100	1000	9,10	2150	-	-	0	-	-	100
D3	1100	1000	9,10	1250	1350	1500	0	0	0	100
D4	5350	5050	5,61	12200	-	-	0	-	-	100
D5	5300	5000	5,66	5500	6100	6500	0	0	0	100
D6	5250	5000	4,76	5400	5600	5700	0	0	0	100
D7	2400	2300	4,17	-	-	-	0	-	-	100
D8	2450	2310	5,71	-	-	-	40	-	-	98,27
D9	2600	2460	5,40	-	-	-	155	-	-	93,70
D10	3700	3500	5,41	-	-	-	500	-	-	85,71
D11	3600	3400	5,56	3600	3900	-	50	70	-	98,24
D12	3450	3300	4,35	3600	3900	-	10	0	-	99,85

Tablo 5.58’ de görüldüğü gibi; MF’ de KOİ giderim verimleri yüzde 4-10 arasında değişmiştir. TO membranındaki KOİ giderim verimleri ise çok yüksek olup, yüzde 100 oranında gerçekleşmiştir. Ancak zamanla membran yüzeyinde kek tabakası hızla artmış ve membranın tıkanmasıyla KOİ giderim veriminde yüzde 85’ lere varan düşüş gözlenmiştir. Kimyasal yıkama sonrasında ise giderim verimleri tekrar artmıştır.

Deneyssel çalışmalar sonucunda (D1-D12) elde edilen verilere göre, TO membranının kot yıkama atıksuyundaki KOİ giderim yüzdelerinin kıyaslanarak, grafik şeklinde gösterimi Şekil 5.178’ de verilmiştir.



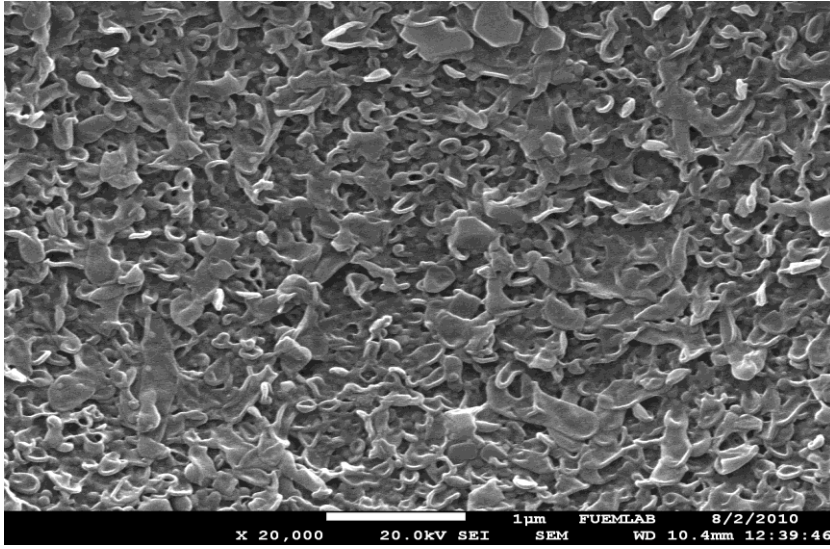
Şekil 5.178. Deneysel çalışmalar sonucunda (D1-D12), TO membranının kot yıkama atıksuyundaki yüzde KOİ giderim verimleri

Şekil 5.178’ de görüldüğü gibi D7’ den sonra yüzde KOİ gideriminde düşüş görülmüştür. Ürün suyunda, arıtılmış suda kabul edilemeyecek miktarda KOİ saptanmış ve alınan numunelerde yapılan analizlerde 500 mg/l’t’ ye varan (D10) yüksek KOİ değerlerine rastlanmıştır. Yine membranın tıkanmasından ve buna bağlı olarak performansının düşmesinden kaynaklanan bu durum, kimyasal yıkama ile giderilmiştir KOİ giderim verimi yüzde 98’ lerin üzerine çıkmıştır.

5.16. Membrandan alınan kesitlerin SEM fotoğrafları

Deneysel çalışmaların sonunda membranlardan kesitler alınarak, elektron mikroskopunda SEM fotoğrafları çekilmiştir.

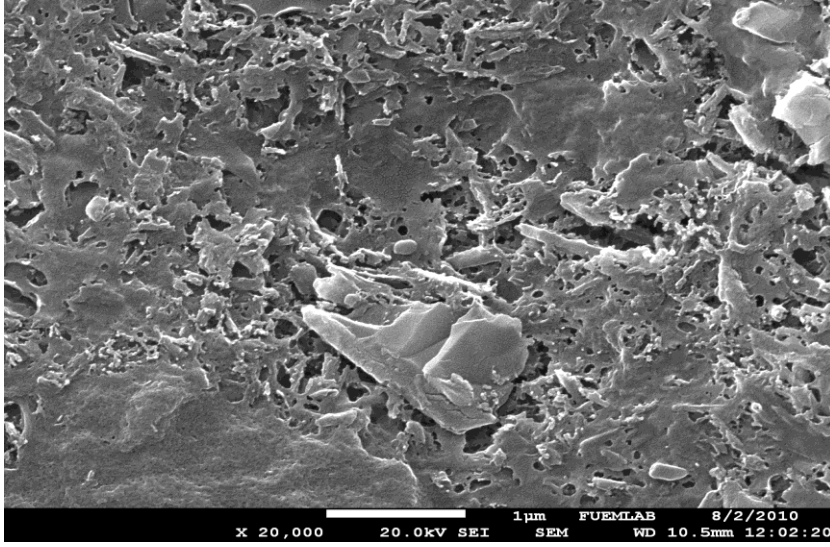
Şekil 5.179’ da temiz membrandan alınan kesitin elektron mikroskopundaki görüntüsü görülmektedir.



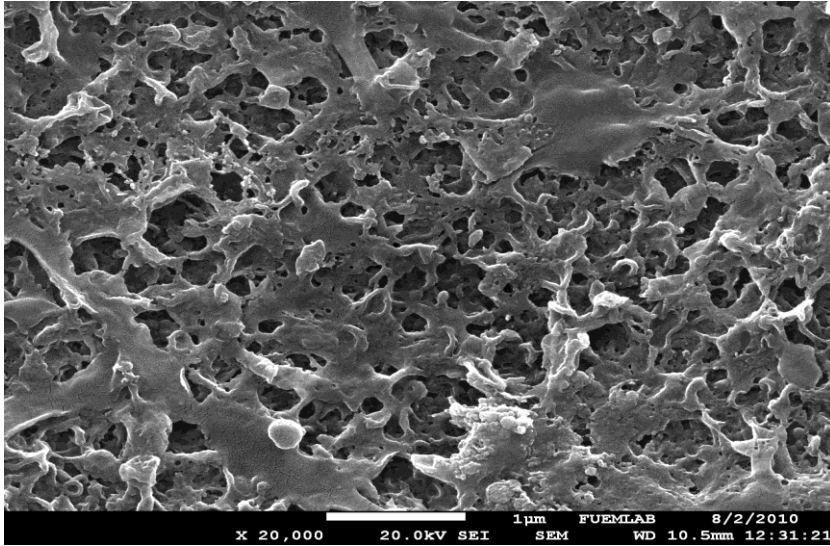
Şekil 5.179. Temiz membranın SEM görüntüsü

Şekil 5.179’ da görüldüğü gibi temiz membranda herhangi bir kirlilik olmayıp, daha üniform bir görünüm söz konusudur. Bu görüntü (Şekil 5.180); Şekil 5.181 ile kıyaslandığında, kullanılmış membranlardaki kirlilikler daha iyi görülmektedir.

Şekil 5.180’ de, D1-D3 deneylerinde kullanılan ilk membrandan alınan kesitin SEM görüntüsü; Şekil 5.181’ de, D4-D12 deneylerinde kullanılan ve yıkamaya tabi tutulan ikinci membrandan alınan kesitin SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.180. Birinci membranın SEM görüntüsü



Şekil 5.181. İkinci membranın SEM görüntüsü

Tıkanan membranın kimyasal yıkamaya tabi tutulması sonucunda, geri dönüşüm oranının azalmasına bağlı olarak membran yüzeyinde (ikinci membran - Şekil 5.181) tutulan madde miktarı az olmuştur. Bu nedenle membran yüzeyinde fazla bir kirlilik artışı söz konusu olmamıştır. SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi ilk membrandaki kirlilik, ikinci membrandaki kirliliğe oranla daha fazladır. Bunun nedeni; ilk membranın (Şekil 5.180); 10, 11, 12 atm sürücü basınçlarında gerçekleştirilen deneylerde (D1-D3) kullanılması sonucunda daha fazla geri dönüşümün gerçekleşmesi ve membran yüzeyinde kirlilik artışının daha fazla olmasıdır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Her ne kadar su yeryüzünde en bol bulunan bir madde ise de, her yerde istenilen özellikte yeterli miktarda su bulmak mümkün olmamaktadır. Endüstriyel gelişmeler ile birlikte su kullanımı gün geçtikçe artmakta, buna karşılık çevre kirlenmesi nedeniyle temiz su kaynakları gittikçe azalmaktadır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, büyük çaplı endüstriyel akım içerisinde çok miktarda su tüketmekte ve bu bağlamda oluşan atıksuların arıtılması, su kaynakların beslenmesi ve yenilenmesi için yeterli olmamaktadır.

Atıksuların, evsel kullanım ve endüstriyel prosesler gibi değişik amaçlı veya daha farklı uygulamalarda geri kazanılması için zaman içinde yeni alternatif yöntemler ve teknolojiler geliştirilmektedir. İleri arıtma tekniklerinden biri olan ve son yıllarda kullanım alanı yaygınlaşan membran prosesler ile kirlenmiş su çok iyi kalitede geri kazanılabilmektedir. Membran prosesleri farklı uygulamalarda farklı işlevlerde kullanılabilmekte ve geleneksel ayırma teknolojilerine alternatif oluşturmaktadır. Geleneksel arıtma ile karşılaştırıldığında; kimyasal madde ilavesinin az olması, daha az enerji tüketimi, yüzde 100' e varan giderim verimleri, işletme kolaylığı ve işletme maliyetlerinin oldukça düşük olması membran proseslerin avantajları arasında sayabiliriz.

Artık yeraltından çıkan suların bile ne kadar temiz olduğu şüpheli; çünkü Avrupa ülkelerinde yasaklanan bazı kimyasallar Türkiye' ye bir şekilde sokuluyor ve insanlara satılıyor. Atıksuların arıtılıp geri kazanılması ile; hem su kaynaklarının tüketimi hem de desarj edilen arıtılmış atıksuların miktarı azaltılmakta ve bu suların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir. Geri kazanılan su, su teminini kolaylaştıran ve temiz su kaynaklarından bağımsız bir kaynak olarak görülebilir. Atıksuyun arıtılmasıyla doğadaki su döngüsü kısaltılarak su kaynakları korunmuş ve su ihtiyacı karşılanmış olur.

Bu çalışmada, tekstil endüstrisinde kot yıkama atıksuyunun arıtımı incelenmiş ve atıksuyun farklı işletme basınçlarında geri kazanım miktarları belirlenmiştir. Giriş ve çıkış akımlarından alınan numunelerde pH, iletkenlik, absorban, TKM, KOİ analizleri yapılmış; yüzde giderim verimleri hesaplanmıştır.

Deneylerde, Malatya’ da bulunan bir tekstil fabrikasının kot yıkama ünitesinden alınan atıksular kullanılmıştır. Tel elekten geçirilen atıksuların arıtımında, ön arıtım ünitesi olarak mikrofiltrasyon (MF), ana arıtım ünitesi olarak ise ters osmoz (TO) prosesleri kullanılarak atıksularının ileri arıtımı araştırılmıştır.

Çalışmalar 10 atm, 11 atm ve 12 atm sürücü basınçlarında gerçekleştirilmiştir (Deney no 7’ den itibaren membranın tıkanmasına bağlı olarak pompanın maksimum basınç gücü 11.9’ a düşmüş, maksimum ürün suyunun (yüzde 100) elde edildiği bu basınçta deneyler sürdürülmüştür). Çalışma sonucunda en fazla geri dönüşümün 12 atm sürücü basıncında meydana geldiği görülmüştür. Deneyler süresince giriş-çıkış basınçları ve akılar izlenmiştir. Akının azalması ve zamanla sifıra yaklaşmasıyla TO membranının tıkandığı belirlenmiş; membran, kimyasal yıkama yapılarak temizlenmiştir. Yıkama sonrasında tekrar atıksu ile çalışılmaya başlanmış, giderim verimleri tekrar artmasına rağmen atıksuyun geri dönüşüm yüzdesinin ciddi şekilde azaldığı görülmüştür.

Sistemi besleyen endüstriyel atıksuyun iletkenlik değeri 0,4-2,7 mS/cm arasında değişirken, iletkenlik giderim verimi MF membranında yüzde 1,5-2 arasında, TO membranında yüzde 96-99 arasında gerçekleşmiş, akı azaldıkça ve membran tıkanıkça TO’ da giderim verimi düşmüş ve yüzde 60-65’ lere inmiştir. Kimyasal yıkama sonrasında TO membranının temizlenmesiyle verim yüzde 98’ in üzerinde olmuştur. Renk giderim verimleri absorbanlar izlenerek değerlendirilmiş, atıksuyun 660 nm dalga boyundaki değeri 1,85-4,9 arasında değişmiştir. Absorbansa bağlı renk giderim verimi MF membranında yüzde 6-10 arasında, TO membranında yüzde 99,5-100 olmuştur. Atıksuyun TKM konsantrasyonu 0,93-5,77 gr/lit olurken, TKM giderim verimi MF membranında yüzde 4,1-8,3, TO membranında yüzde 97-100 arasında olmuştur. Membranın tıkanmasıyla akı azalarak verim yüzde 82’ ye düşmüş, kimyasal yıkama sonrasında tekrar artarak yüzde 99-100 düzeyinde gerçekleşmiştir. Atıksuyun KOİ konsantrasyonu 1000-5050 mg/lit arasında değişirken, KOİ giderim verimi MF membranında yüzde 4-9, TO membranında yüzde 99-100 olmuştur. Membranın tıkanmasına bağlı olarak zamanla verim azalarak yüzde 85’ lere kadar inebilmiş, kimyasal yıkama sonrasında ise tekrar yükselerek yüzde 98-99,9 olmuştur.

Deney no 1; 10 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 99,6; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 100; TKM giderme verimi yüzde 96,8; KOİ giderme verimi yüzde 100 olarak gözlemlenmiştir. Üç döngüde tamamlanan deneyde ortalama yüzde 6.76 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 2; 12 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 98,5; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 100; TKM giderme verimi yüzde 98,9; KOİ giderme verimi yüzde 100 olarak gözlemlenmiştir. Tek döngüde tamamlanan deneyde yüzde 94,77 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 3; 11 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 97,9; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 100; TKM giderme verimi yüzde 100; KOİ giderme verimi yüzde 100 olarak gözlemlenmiştir. Üç döngüde tamamlanan deneyde ortalama yüzde 10,40 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 4; 12 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 96,4; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 99,6; TKM giderme verimi yüzde 100; KOİ giderme verimi yüzde 100 olarak gözlemlenmiştir. Tek döngüde tamamlanan deneyde yüzde 93,60 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 5; 11 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 98,7; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 99,6; TKM giderme verimi yüzde 100; KOİ giderme verimi yüzde 100 olarak gözlemlenmiştir. Üç döngüde tamamlanan deneyde ortalama yüzde 11,58 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 6; 10 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 99,2; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 99,9; TKM giderme verimi yüzde 100; KOİ giderme verimi yüzde 100 olarak gözlemlenmiştir. Üç döngüde tamamlanan deneyde ortalama yüzde 7,00 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 7; 11,9 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 88,6; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 99,8; TKM

giderme verimi yüzde 100; KOİ giderme verimi yüzde 100 olarak gözlemlenmiştir. Tek döngüde tamamlanan deneyde yüzde 100 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 8; 11,9 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 79,9; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 99,8; TKM giderme verimi yüzde 82,7; KOİ giderme verimi yüzde 98,27 olarak gözlemlenmiştir. Tek döngüde tamamlanan deneyde yüzde 100 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 9; 11,9 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 62,9; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 100; TKM giderme verimi yüzde 96,4; KOİ giderme verimi yüzde 93,7 olarak gözlemlenmiştir. Tek döngüde tamamlanan deneyde yüzde 100 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 10; 11,9 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 65,7; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 99,8; TKM giderme verimi yüzde 82,6; KOİ giderme verimi yüzde 85,7 olarak gözlemlenmiştir. Tek döngüde tamamlanan deneyde yüzde 100 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 11; 12 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 98,2; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 99,5; TKM giderme verimi yüzde 98,9; KOİ giderme verimi yüzde 98,2 olarak gözlemlenmiştir. İki döngüde tamamlanan deneyde ortalama yüzde 8,50 geri dönüşüm sağlanmıştır.

Deney no 12; 12 atm işletme basıncında işletilen sistemin ortalama iletkenlik giderme verimi yüzde 98,1; absorbansa bağlı renk giderme verimi yüzde 99,6; TKM giderme verimi yüzde 100; KOİ giderme verimi yüzde 99,9 olarak gözlemlenmiştir. İki döngüde tamamlanan deneyde ortalama yüzde 7,05 geri dönüşüm sağlanmıştır.

DeneySEL çalışmaların sonunda membranlardan kesitler alınarak, SEM fotoğrafları çekilmiştir. Temiz membrandan ve kullanılan membranlardan alınan kesitler elektron mikroskopunda incelenmiş ve membran yüzeyindeki kirlilikler fotoğraflanarak incelenmiştir.

Yapılan deneylerde, 10 ve 11 atm işletme basınçlarında çok iyi kalitede su alınabilmesine rağmen, atıksuyun geri dönüşüm yüzdesi çok düşüktür. Bu da maliyeti arttıracığından tercih edilmeyen bir durumdur. 12 atm işletme basıncında hem verim iyi ve hem de geri dönüşüm oranları yüzde 97-100 olması sebebiyle, deney no 7' den itibaren çalışmalar 12 atm ve maksimum pompa basıncının 11.9 olduğu deneylerde 11.9 atm işletme basınçlarında sürdürülmüştür. TO membranına giren atıksu çıkışta tamamen ürün suyu olarak alınmış, bu nedenle membran yüzeyindeki kek oluşumu hızla artmış ve membranın tıkanması hızlanmıştır. Membran yüzeyindeki kek oluşumuna bağlı olarak akının hızla azaldığı ve giderim verimlerinin düşerek ürün suyu kalitesi azaldığı görülmüştür. Akı sıfıra yaklaşınca TO membranının iyice tıklandığı anlaşılmış ve sistem durdurulmuştur.

Membranların yıkamaya tabi tutularak tekrar kullanılabilmesi önemli bir avantajdır. Tıkanan membran kimyasal yıkama yapılarak temizlenmiş ve atıksu ile çalışılmaya devam edilmiştir. Fakat bu durum atıksuyun geri dönüşüm yüzdesini ciddi şekilde etkilemiştir. Geri dönüşüm miktarının yüzde 97-100 seviyelerinden yüzde 7-8' e kadar düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte giderim verimleri yükselmiş, ürün suyu kalitesi tekrar artmıştır. Geri kazanım yüzdesinin bu kadar azalması ve giderim verimlerinin artmasını; membran yüzeyinde biriken kalıntıların yapılan yıkamayla tamamen temizlenmediği, membranın yalnızca kabaca yıkandığı şeklinde açıklayabiliriz. Daha iyi geri kazanım elde edebilmek için kimyasal yıkama yapılırken 24 saat membran modülü içerisinde asidi ve bazı bekleterek membrandaki kalıntıların da iyi şekilde temizlenmesi sağlanabilir, bu sayede geri kazanım arttırılabilir.

Yapılan çalışmalar sonucunda ön arıtım olarak MF ünitesinin kullanılmasıyla TO membran yükünün azaltıldığı görülmüş, TO' nun daha iri partiküllerle zarar görmesi engellenmiştir. Ayrıca TO membranları ile, uygun çalışma basıncı seçilerek, ileri arıtmada hem iyi kalitede hem de çok yüksek oranlarda suyun geri kazanılabildiği görülmüştür. Geri kazanılan atıksu; incelenen parametreler açısından, peyzaj sulama, yapay kullanım alanları (süs havuzları, fiskiye, şelale vs.), golf alanları gibi kentsel kullanım alanlarında değerlendirilebileceği gibi; kıyı alanlarından akifere tuzlu su girişini önlemek, yeraltısuyu seviyesindeki düşmeyi önlemek gibi yapay besleme amaçlı da kullanılabilir.

Zirai uygulamalarda suyun uygulanabilirliğinin değerlendirilmesinde ise toprak yapısının belirlenmesi en önemli aşamadır. Sulanacak bitkinin seçimi de diğer önemli faktördür. Çoğu durumda geri kazanılan bu suyun zirai alanda kullanımı pek uygun olmaz. TO ile arıtımda; nutrientler bakımından fakir olan bir toprakta, toprak için gerekli elementlerin giderilmiş olması, nutrientlerin yetersiz olması (yada bulunmaması), çözünmüş tuzların dahi giderilmiş olması sebebiyle geri kazanılan bu su zirai sulamaya elverişli olmaz.

Geri kazanılan suyun en önemli uygulama alanlarından biri, endüstride çıkan atıksuyun proses içerisinde tekrar kullanımıdır. Endüstride kullanım, özellikle gelişmiş ülkelerde oldukça yaygındır. Geri kazanılmış su; soğutma suyu, kazan suyu, kazan besleme suyu ve proses suyu olarak kullanılabilir. Tekstil endüstrisi de diğer endüstri dallarında olduğu gibi büyük miktarlardaki kimyasal ve su tüketimi ile karakterize edilir ve günlük su tüketiminin büyük miktarını proses suyu oluşturur. Bu proseste kullanılan suyun belirli kalitede olması gerekir. Proseste kullanılan suyun uygun kalitede olmaması sebebiyle birçok tekstil firması ciddi sorunlar yaşamaktadır. Özellikle boya proseslerinde kaliteli su kullanılmaması sonucunda boyada renk tutmaması, lekeler gibi ciddi problemler yaratmaktadır. Proses suyunun iletkenlik değerinin yüksek olması, daha fazla kimyasal kullanmayı gerektireceğinden işletme maliyeti de artacaktır. Tekstil atıksularının en azından birkaç kez çevrilerek proseste kullanılacak düzeyde arıtılması hem önemli bir maliyet azalması sağlar, hem de su toplama havzalarının daha az kirlenmesine katkıda bulunur. Deneysel çalışmalarda elde edilen verilere göre; geri kazanılan suyun incelenen parametreler açısından en uygun kullanım alanı, endüstride proses suyu olarak kullanımıdır. Ancak suda korozyona neden olan maddelerin varlığının incelenmesi de, endüstride tekrar kullanımda en önemli unsurlardan biridir.

Laboratuvar ölçekli yapılan bu çalışmanın, gerçek uygulamalarda kullanılması, çevresel açıdan büyük önem arz etmektedir. Bu uygulama sanayiciye ilave bir yatırım ve işletme masrafı getirecektir. Ancak, kısıtlı olan su kaynaklarımızın artık ihtiyaçlarımıza cevap veremeyecek seviyelere geleceği düşünüldüğünde, bu tür yatırımlar yapmak lüks ve gereksiz yatırımlar olarak değerlendirilmemelidir.

KAYNAKLAR

Adham S., Gagliardo P., Smith D., Ross D., Gramith K. Ve Trussell R., Desalination, 119, 143-150, 1998.

Adin A. ve Asano T., Wat. Sci. Tech., 37, 79-90, 1998.

Akdeniz S., 2001. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Biyolojik Arıtılabilirliğinin Değerlendirilmesi Y.Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü. S.6-12.

Ang, W. S., Lee, S., Elimelech, M., (2006), “Chemical And Physical Aspects Of Cleaning Of Organic-Fouled Reverse Osmosis Membranes”, Journal of Membrane Science 272, 198–210.

Anonim 2003c, IPPC Bureau, IPPC Ref. Document on BAT for the Textiles Industry,2003,Chp2, p.15

Arslan, İ. 1995. Treatment of Reactive Dye-Bath Effluents by Heterogeneous and Homogeneous Advanced Oxidation Processes, B.S. In Che. E., İstanbul Technical University.

Baburşah, S., Çakmakçı M. ve Kınacı C., 2004, Tekstil atıksularının geri kazanımı ve yeniden kullanılmasının maliyet analizi, İTÜ 9. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, 2-4 Haziran, 303-311.

Baker, R.W., 2004. Membrane Technology and Applications, John Wiley& Sons, Ltd., England.

Barlas, H., 2002, “Suların arıtımında ileri Teknolojiler” ders notları, İ.Ü. Müh. Fak. Çevre Müh. Böl., İstanbul.

Bes-Pia A., Mendoza J.A., Alcaina-Miranda M.I., Iborra-Clar A. And 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, 169-174.

Bilstad, T., 1997, Membrane operations, Water Science Technology, 36 (2-3), 17-24.

Birgül A. 2006 Tekstil Endüstrisi atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Kullanımı. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Bursa.

Bornef, J., 1969, Die Wiederverwendung von Abwasser, Arch. Hyg, 153, 289-297.

Büyükdere A. 2008. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Chen, K. L., Song, L., Ong, S. L., Ng, W. J., (2004), “The Development Of Membrane Fouling In Full-Scale RO Processes”, *Journal of Membrane Science* 232, 63–72.

Chang, I.S., Bag, S.O. and Lee, C.H., 2001. Effects of Membrane Fouling on Solute Rejection during Membrane Filtration of Activated Sludge. *Process Biochem.*, 36(8-9), 855-860.

Choo, K.H., Lee, C.H., 1996. Effect of Anaerobic Digestion Broth Composition on Membrane Permeability. *Water Sci. and Tech.*, 34, 173-179.

Chua HC, Arnot TC, Howell JA., 2002. Controlling fouling in membrane bioreactors operated with a variable throughput. *Desalination* 149, 225–229.

Ciardelli G., Corsi L. and Marcucci M., 2000. Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry, *Resources, Conservation and Recycling*, 31, 189-197.

Costa, A. R., Norberta de Pinho, M., Elimelech, M., (2006), “Mechanisms Of Colloidal Natural Organic Matter Fouling In Ultrafiltration”, *Journal of Membrane Science* 281, 716–725

Elvers, B., 1995. Elvers’ s Encyclopedia of Industrial Chemistry, A23 (14), pp.487

EPA, 1977. Federal Guidelines, State and Local Pretreatment Programs, Appendix 8, Construction Grants Program Information, EPA-430/9-76-017c.,USA.

Fried, J.R., 2003. *Polymer Science and Technology*, Prentice-Hall PTR, pp. 485-525.

Ernst, M., and Jekel, M. 1999. Advanced Treatment Combination for Groundwater Recharge of Municipal Wastewater by Nanofiltration and Ozonation. *Wat.Sci.Tech.* 40, No.4-5, 277-284.

Fersi C., Gzara L. and Dhahbi M., 2005. Treatment of textile effluents by membrane technologies, *Desalination*, 185, 399-409.

Gauwbergen D. Van. Ve Baeyen J., *Wat. Scie. Tech.*, 40, 269-276, 1999.

Germirli F.,Tunay, O.,Orhon, D., 1990. An overview of the textile industry in Turkey-pollution profiles and treatability characteristics, *Water Science and Technology*, 22 (9), 255-265.

Germirli Babuna, F., Dulkadiroğlu, H., Đnsel, H. G., Karahan, O. ve Orhon, D., 1998. *Tekstil Endüstrisinde Tesis İci Kontrol – Genel Bakış*, VI. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, ĐTU, İstanbul, 3-5 Haziran, s. 232-246.

Göknıl, H., Toroz, Đ. ve Cimşit, Y., 1984. *Endüstriyel atıksıların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi – Tekstil endüstrisi*, ĐTU Çevre ve Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezi, İstanbul.

Gonder, Z.B., 2004, Fenton prosesi ve iyon değişimi kombinasyonu ile renkli atıksuların arıtımı, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hasan, D. A., 2001, Advanced oxidation of reactive dyes in the presence of granular activated carbon, Master of science, Boğaziçi University.

Hasar H., 2001, Batık Membran-Aktif Çamur Sistemlerinin Arıtma Kapasitesinin Geliştirilmesi ve Modellenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.

Hasar H., 2003, Çevre Mühendisliğinde Membran Prosesleri Ders Notları. Fırat Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ.

Hasar H., 2009, Endüstriyel Atıksuların Arıtımı, Ders Notları. Fırat Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ.

Julbe, A., Farrusseng, D., Guizard, C., 2001. "Porous Ceramic Membranes for Catalytic Reactors-Overview and New Ideas", Journal of Membrane Science, 181, 3-20.

Judd S.J., 2002. The Development of the Membrane Bioreactor Technology for Sewage Treatment in the UK, School of Water Sciences, Cranfield University, UK.

Kaleli B. 2006. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Kaya, Y. ve Barlas, H., 2003, Kimya endüstrisinde atık yönetimi amaçlı membran uygulamaları, XVII. Ulusal Kimya Kongresi, 8 -11 Eylül, İstanbul, 386.

Kestioğlu, K., 1992, Tekstil çıkış sularından adsorplama tekniğiyle renk giderimi, İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, 87-97.

Kınacı C., Germirli Babuna F., Gorgun E., Sozen S. ve Buyukdere A., 2006. Avrupa Birliği entegre kirlilik önleme ve kontrol direktifinin (ippc) Türkiye'ye uyarlanması da teknolojik acıdan yol haritası oluşturulması: tekstil endüstrisi, DPT Proje Raporu, İstanbul.

Kim, H.-C., Hong, J.-H., Lee, S., (2006), "Fouling Of Microfiltration Membranes By Natural Organic Matter After Coagulation Treatment: A Comparison Of Different Initial Mixing Conditions", Journal of Membrane Science 283, 266–272

Kiran-Ciliz, N., (2003), "Reduction In Resource Consumption By Process Modifications In Cotton Wet Processes", Journal of Cleaner Production 11, 481–486.

Kosutic, K., Dolar, D., Kunst, B., (2006), "On Experimental Parameters Characterizing The Reverse Osmosis And Nanofiltration Membranes' Active Layer", Journal of Membrane Science 282, 109–114.

Koyuncu İ., Membran teknolojisinin çevre mühendisliğinde kullanım potansiyeli ve ters osmoz ile amonyum iyonu giderimi, Doktora Tezi, 1997.

Koyuncu, 2001, Nanofiltrasyon membranları ile tuz gideriminde organik iyon etkisi, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kural, E., 2000, Tekstil boyahane atıksularının nanofiltrasyon membranları ile geri kazanımı ve renk giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Lazarova V., Shields P., Levine B., Savoye P., Hranisavljevic ve Renaud P., Wat. Sup., 3, 167-175, 2003.

Lu, Y., Hu, Y., Xu, D., Wu, L., (2006), “Optimum Design Of Reverse Osmosis Seawater Desalination System Considering Membrane Cleaning And Replacing”, Journal of Membrane Science 282, 7–13.

Ma, S., Song, L., (2006), “Numerical Study On Permeate Flux Enhancement By Spacers In a Crossflow Reverse Osmosis Channel”, Journal of Membrane Science 284, 102–109

Madaeni, S. S., (1999), “The Application Of Membrane Technology For Water Disinfection”, Wat. Res. Vol. 33, No. 2, pp. 301-308]].

Manttari, M., Pihlajamaki, A., Nyström, M., (2006), “Effect Of pH On Hydrophilicity And Charge And Their Effect On The Filtration Efficiency of NF Membranes At Different pH”, Journal of Membrane Science 280, 311–320.

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, 75–82.

Mulder, M., 1996, Basic principles of membrane technology, Kluwe Academic Publisher, Netherlands, 0-7923-4248-8.

Nassar M. and Magdy. 1997. Removal of different basic dyes from aqueous solutions by adsorption on palm-fruit bunch particles. Chem. Eng. J. 66, 223– 226.

Navarro, V.A., Ramirez, Y., Salvador, S., Gallardo, J.M., 2000. Determination of Wastewater LC₅₀ of the Different Process Stages of the Textile Industry, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol.48, p.56-61.

Nemerow, L.N. 1971Industrial Water Pollution, 1971.

Nigam, P., G. Armour, I.M. Banat, D. Singh, R. Marchant. 2000. Physical removal of textile dyes and solid state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues. Bioresour. Technol. 72, 219–226.

Özkan Ü. 2007. Tekstil Endüstrisi Proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. İSTANBUL.

Öztan Y. 1985. Çevre Kirlenmesi. Karadeniz Üniversitesi, TRABZON.

Pervov, A. G., Dudkin, E. V., Sidorenko, O. A., Antipov, V. V., Khakhanov, S. A., Makarov, R. I., (2000), "RO And NF Membrane Systems For Drinking Water Production And Their Maintenance Techniques", Desalination 132, 315-321

Rautenbach, R., 1997, Membranverfahren Grundlagen der Modul-und Anlagenauslegung, Springer, Germany.

Routte, 1996. Emisyonların azaltılması ve hammaddelerin korunması için üretim.

Scott, K., 1995. Handbook of Industrial Membranes, Elsevier Advanced Technology Oxford, London.

Sınmaz B. 2007. Evsel Nitelikli atıksuların Ters Osmoz Kullanılarak Geri Kazanımı. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Gebze.

Sirkar, K.K., Shanbhag, P.V., Kovvali, A.S., "Membrane in a Reactor: A Functional Perspective", Ind. Eng. Chem. Res., 38, 3715-3737, 1999.

Slater C.S., Zielinski J.M., Wendel R.G. ve Uchrin C.G., 1985, Modelling of small scale reverse osmosis systems, Desalination, 52, 267-284.

Smith, B., 1986. Identification and Reduction of Pollution Sources in Textile Wet Processing, North Caroline Department of Environment Health and Natural Resources, North Caroline

Smith, B., 1988. A Workbook for Pollution Prevention by Source Reduction in Textile Wet Processing, Department of Environment Health and Natural Resources, North Caroline.

Song, L., Ma, S., (2006), "Numerical Study On Permeate Flux Enhancement By Spacers In A Crossflow Reverse Osmosis Channel", Journal of Membrane Science 284, 102-109

Şen. S, Demirer, G.N. 2003. Anaerobic Treatment of Real Textile Wastewater With A Fluidized Bed Reactor, Water Research , Vol.37, p.1868-1878.

Şengül, F., 1996, Endüstriyel atıksuların özellikleri ve arıtılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir, 975-441-030-5.

Şenoğlu, S., 1996 Avrupa Birliği - Türkiye Çevre Politikaları Oluşum Süreci Ve Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) Direktifinin İncelenmesi (Tekstil Endüstrisi Örneği)

Tangsubkul, N., Parameshwaran, K., Lundie, S., Fane, A. G., Waite, T. D., (2006), "Environmental Life Cycle Assessment Of The Microfiltration Process", Journal of Membrane Science 284, 214-226.

Tchobanoglous, G. and Stensel, H. D., 2003. Membrane Filtration Processes in Wastewater Engineering: Treatment and Reuse/ Metcalf&Eddy, pp. 1104- 1136, The McGraw-Hill Inc., New York.

Tunay, O., 1988. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılan yöntem ve yaklaşımlar, Tekstil ve Teknik, 40, 98-101.

Tunay, O., 1996“Endüstriyel Kirlenme Kontrolü”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Turk, S., Simonic, M., Petrinic, I. 2005. Wastewater Treatment After Reactive Printing,Dyes and Pigments-64, p.147-152.

UNEP IE, 1994. The textile industry and environment, Technical Report, 16.

Van der Bruggen, B., Everaert, K., Wilms, D., Vandecasteele, C., (2001), “Application Of Nanofiltration For Removal Of Pesticides, Nitrate And Hardness From Ground Water: Rejection Properties And Economic Evaluation”, Journal of Membrane Science 193, 239–248.

Vardar, C., Şar. A. 1998. Tekstil Atıksularının Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, BURSA.

Veldhuisen, D. R. van, 1994. Technical and economic aspects of measures to reduce water pollution from the textile finishing industry, Comission des Communautés Européennes, Direction Générale Environnement, Securite Nucleaire et protection Civile, Paris, France.

Wagner, J., (2001), “Membrane Filtration Handbook Practical Tips and Hints”, 2nd. Edition, JohnWiley & Sons.

Wang, H. Y., Way, S. D., La Valle., P., (2001), “Microfiltration Of Yeast Suspensions”

Wintgens. T.,Melin T., Schafer A., Khan S., Muston M., Bixio D., Thoeye C., The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse, Desalination, 178, 1-11,2005.

Woerner, D. L. , 2002. Membrane technology in textile operations, Koch Membran Systems, Wilmington, MASS, USA.

Yang, W., Cicek, N., Ilg, J., 2006. State-of-the-art of membrane bioreactors: worldwide research and commercial applications in North America. J. Membr. Sci., 270, 201-211.

Yalcın, F., 1998. Membran Proseslerle Endüstriyel Atıksularda Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yiğit, N.Ö., Membran Biyoresktörü ile (MBR) Evsel Atıksu Arıtımı. Doktora Tezi. Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta, 2007.

Yoon, S.H., Kang, I.J., Lee, C.H., 1999. Fouling of Inorganic Membrane and Flux Enhancement in Membrane- Coupled Anaerobic Reactor. Separation Science and Technology, 35(5), 709-724.

Zaidi, A., Simms, K. ve Kok, S., 1992, The use of microfiltration and Water ultrafiltration for the removal of oil and suspended solids from oilfield brine, Science Technology, 25, 163-176.

ZENON Environmental Inc., 2002. www.zenon.com, Oakville, Ontario, Canada.

İnternet Kaynakları

http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/teknolojiongorusu/paneller/ra_porozet/tekstil.pdf).

ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/tekstil/kanoglun/rekabet.pdf.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında ELAZIĞ' da doğdum. İlköğrenimimi Mezre İlköğretim Okulu' nda, orta öğrenimimi Harput Koleji' nde tamamladım. 2004 yılında girmiş olduğum Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü' nden 2008 yılında mezun olarak lisans öğrenimimi tamamladım. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans eğitimimi yapmaya başladım.