



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL BOYAR MADDELERİNİN
MEMBRAN FİLTRE UYGULAMASI İLE GİDERİMİ

Nagihan ÇEVİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2006



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL BOYAR MADDELERİNİN
MEMBRAN FİLTRE UYGULAMASI İLE GİDERİMİ

NAGİHAN ÇEVİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 03/11/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yücel TAŞDEMİR (Danışman)
Yrd. Doç. Dr. Seval K. SOLMAZ
Prof. Dr. Şeref GÜÇER

ÖZET

GE Osmonic firması tarafından üretilen SEPA CF II Membran Hücre Sistemi model alınarak dizayn edilen laboratuvar ölçekli nanofiltrasyon sistemi ile deneyler yapılmıştır. Azo boyarmadde sınıfına giren C.I. Reactive Orange 72 boyası ve NaCl - Na₂SO₄ tuzları ile sentetik çözeltiler hazırlanmış, farklı basınç (2, 3, 4, 5 bar) ve sıcaklık (20 °C, 40 °C) şartlarında DL ve DK membranlarından geçirilmiştir.

DL ve DK membranlarının her ikisinde de basınç artışıyla akı değeri artmış, boya giderim verimi ise çok az olsa da düşüş gözlenmiştir. Sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda; DL membranında elde edilen akı değerleri daha yüksek, boya ve tuz giderim verimleri ise DK membranında daha yüksek çıkmıştır.

Yapılan çalışmalardaki boya giderim sonuçlarına göre optimum işletme şartları belirlenmiştir. DL ve DK membranları için en iyi boya giderim verimi; 20 °C sıcaklık ve 5 bar basınç işletim şartlarında, 500 mg/l boya ve 10 g/l NaCl konsantrasyonundaki çözelti ile elde edilmiştir. Bu işletim şartlarında ve çözelti ile yapılan deneylerde KOİ ve toplam azot parametrelerine bakılmış, DK membranında boya ve tuz giderim verimlerinde olduğu gibi bu parametrelerin giderim verimleri de yüksek çıkmıştır.

ABSTRACT

Experiments were carried out by the nanofiltration system with laboratory scale designed by taking the SEPA CF II Membrane Cell System, manufactured by the GE Osmonic Company, as model. Synthetic solutions were prepared with C.I. Reactive Orange 72 paint, that is included in Azo painting materials class, and NaCl-Na₂SO₄ salts and passed through DL and DK membranes under various pressure (2, 3, 4, 5 bar) and heat (20°C, 40°C) conditions.

Flood value on both DL and DK membranes were increased with the pressure increase and very low decrease was observed on paint removal rating. Results are statistically evaluated. As the results of the experiments carried out; it is found out that the flood values gained on DL membrane are higher and paint and salt removal ratings are higher than DK membrane.

Optimum operating conditions are designated in accordance with the paint removal results in the studies carried out. Best paint removal rating for DL and DK membranes; is gained with the solution in 500 mg/l paint and 10 g/l NaCl concentration under 20°C heat and 5 bar pressure operating conditions. KOI and total nitrogen parameters are looked over in the experiments carried out with the solution under these operating conditions and removal ratings of these parameters are found high as in the paint and salt removal ratings in DK membrane.

İÇİNDEKİLER**SAYFA NO**

1. GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Membran Sistemler.....	3
2.2. Membran Proses Uygulamaları.....	8
2.3. Membran Çeşitleri.....	14
2.4. Membran Performansı.....	14
2.5. Başlıca Membran Prosesi Uygulama Alanları.....	16
2.6. Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Genel Özellikleri.....	17
2.7. Tekstil Atıksuları Arıtım Yöntemleri	21
2.8. Membran Filtrasyonunun Tekstil Endüstride Kullanım Avantajlar ve Dezavantajları.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Çalışma Programı.....	25
3.2. Nanofiltrasyon Sistemi ve Membranların Tanıtımı.....	28
3.2.1. Nanofiltrasyon Sisteminin Tanıtımı.....	28
3.2.2. Nanofiltre (NF) Membranlarının Tanıtımı.....	35
3.3. Deneyleerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar.....	36
3.4. Deneyleerde Kullanılan Kimyasal Maddeler, Çözeltiler ve Hesaplanmaları.....	37
3.4.1. Sentetik Çözeltinin Hazırlanmasında Kullanılan Boyarmadde ve Konsantrasyonunu Hesaplanması.....	37
3.4.2. Sentetik Çözeltinin Hazırlanmasında Kullanılan Tuzlar ve Konsantrasyonlarının Hesaplanması.....	38
3.4.2.1. NaCl Tuzu.....	38
3.4.2.2. Na ₂ SO ₄ Tuzu.....	40
3.4.3. KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) Deneyleerde Kullanılan Çözeltiler.....	42
3.4.4. Toplam Azot Deneyleerde Kullanılan Çözeltiler.....	43
3.5. Deneyleerde Ölçülen Parametreler.....	43
3.6. Deneyleelerin Yapılma ve Örnek Alma Prosedürü.....	44

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	46
4.1. Akı Değerleri.....	46
4.1.1. DL Membranı için Zaman ile Akı Değişimi.....	48
4.1.2. DK Membranı için Zaman ile Akı Değişimi.....	52
4.2. Boya Giderim Verimi (R_{boya}).....	55
4.2.1. DL Membranı için Zaman ile Boya Giderim Verimi (R_{boya}) Değişimi....	55
4.2.2. DK Membranı için Zaman ile Boya Giderim Verimi (R_{boya}) Değişimi...	59
4.3. Tuz Giderim Verimi (R_{tuz}).....	63
4.3.1. DL Membranı için Zaman ile Tuz Giderim Verimi (R_{tuz}) Değişimi.....	63
4.3.2. DK Membranı için Zaman ile Tuz Giderim Verimi (R_{tuz}) Değişimi.....	66
4.4. Optimum Sıcaklık Belirlenmesi.....	68
4.5. Tuz Cinsi Seçimi.....	69
4.6. Optimum Tuz (NaCl) Konsantrasyonu Belirlenmesi.....	70
4.7. Optimum Boya (RO72) Konsantrasyonu Belirlenmesi.....	71
4.8. Seçilen Optimum Şartlardaki KOI ve Toplam Azot Giderim Verimleri.....	73
4.9. İstatistiksel Değerlendirmeler.....	73
4.9.1. Korelasyon Katsayılarının Hesaplanması.....	73
4.9.1.1. DL ve DK Membranları İçin Akı-Basınç İlişkisi.....	74
4.9.1.2. DL ve DK Membranları İçin R_{Boya} -Basınç İlişkisi.....	79
4.9.1.3. DL ve DK Membranları İçin R_{Tuz} -Basınç İlişkisi.....	82
4.9.2. Sonuçların İstatistiksel Karşılaştırılması	84
4.9.2.1. DL ve DK Membranlarının Akı Değerleri Arasında t-testi Uygulaması.....	85
4.9.2.2. DL ve DK Membranlarının Ortalama R_{boya} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması.....	88
4.9.2.3. DL ve DK Membranlarının Ortalama R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması.....	88

4.9.2.4. 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklardaki Ortalama Akı, R_{boya} ve R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması.....	93
4.9.2.5. NaCl ve Na ₂ SO ₄ Tuzlarındaki Ortalama Akı, R_{boya} ve R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması.....	100
4.9.2.6. 1 g/l ve 10 g/l NaCl Konsantrasyonlarındaki Ortalama Akı, R_{boya} ve R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması.....	107
4.9.2.7. 2/3 bar ve 5 bar Basınçlardaki Ortalama Akı, R_{boya} ve R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması.....	111
5. GENEL SONUÇLAR.....	118
KAYNAKLAR.....	119
EKLER.....	125
TEŞEKKÜR.....	130
ÖZGEÇMİŞ.....	131

SİMGELER DİZİNİ

μm	: Mikrometre
A^0	: Angstrom (10^{-10} metre)
AKM	: Askıda katı madde
A_{membran}	: Membran etkin alanı
atm.	: Atmosfer
bar	: Basınç birimi
BOİ	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
C_{Boya}	: Boya konsantrasyonu
$C_{\text{Na}_2\text{SO}_4}$: Sodyum Sülfat konsantrasyonu
C_{NaCl}	: Sodyum Klorür konsantrasyonu
CO_2	: Karbondioksit
C_{Tuz}	: Tuz konsantrasyonu
Da	: Dalton
dk	: Dakika
DK	: Nanofiltrasyon membran tipi (PA, MWCO 150-300)
DL	: Nanofiltrasyon membran tipi (PA, MWCO 150-300)
EC	: Elektriksel İletkenlik (ms/cm)
g	: Gram
H_2O_2	: Hidrojen per oksit
kg	: Kilogram
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
l	: Litre
$\text{l/m}^2\text{-sa}$: Akı birimi

L_p	: Geçirimsizlik Katsayısı
M	: Molarite
MA	: Moleküler ağırlık
MF	: Mikrofiltrasyon
mg/l	: miligram/litre
MAKÇ	: Membranın moleküler ağırlık kesme çapı
N	: Normalite
Na_2SO_4	: Sodyum Sülfat
NaCl	: Sodyum Klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
NF	: Nanofiltrasyon
nm	: Nanometre
P	: Basınç
Pa	: Paskal
PA	: Poliamid
TAK	: Toz Aktif Karbon
pH	: Çözeltinin asitlik derecesi
ppm	: parts per million, milyonda bir
TO	: Ters Osmoz
RO72	: Çalışılan boyar madde (Reactive Orange 72)
R^2	: Korelasyon Katsayısı
sa	: saat
t	: Süre
T	: Çözelti sıcaklığı

TKM	: Toplam katı madde
İF	: İnce film
İFK	: İnce film kompozit
TiO ₂	: Titanyum Dioksit
TOK	: Toplam organik karbon
UF	: Ultrafiltrasyon
UV	: Ultraviyole
V _{süzüntü}	: Süzüntü hacmi
λ	: Dalga boyu birimi

ŞEKİLLER DİZİNİ	SAYFA NO
Şekil 2.1. Çeşitli ayırma proseslerinin kullanıldıkları aralıklar (Cheryan 1998).....	4
Şekil 2.2. Membranların Sınıflandırılması (Cheryan 1998).....	5
Şekil.3.1. Laboratuvar ölçekli Nanofiltrasyon Sistemi.....	29
Şekil 3.2 .Membran Filtrasyon Sistemi Akım Şeması.....	30
Şekil 3.3. Membran Hücresi (Üst bölüm).....	31
Şekil 3.4. Membran Hücresi (Alt bölüm).....	31.
Şekil 3.5. Membran Hücre Muhafazası.....	32
Şekil 3.6. Membran hücresinin membran hücre muhafazasının içine yerleştirilmesi.....	32
Şekil. 3.7. Besleme Tankı.....	34
Şekil 3.8. Soğutma Sistemi.....	34
Şekil 3.9. C.I. Reactive Orange 72 boyarmaddesinin açık formülü.....	37
Şekil 3.10. RO72 Kalibrasyon doğrusu.....	38
Şekil 3.11. Değişik boya konsantrasyonları için iletkenlik-NaCl konsantrasyonu değerleri.....	39
Şekil 3.12. Boya konsantrasyonu bağlı olarak a ve b katsayılarının değişimi değerleri (NaCl).....	40
Şekil 3.13. Değişik boya konsantrasyonları için iletkenlik- Na ₂ SO ₄ konsantrasyonunu değerleri.....	41
Şekil 3.14. Boya konsantrasyonu bağlı olarak a ve b katsayılarının değişimi (Na ₂ SO ₄)....	42
Şekil 4.1. DL membranı Basınç-Akı grafiği (20 °C).....	46
Şekil 4.2. DL membranı Basınç-Akı grafiği (40 °C).....	46
Şekil 4.3. DK membranı Basınç-Akı grafiği (20 °C).....	47
Şekil 4.4. DK membranı Basınç-Akı grafiği (40 °C).....	47
Şekil 4.5. 50 mg/l RO72, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	48
Şekil 4.6. 50 mg/l RO72, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C).....	48

Şekil 4.7. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	49
Şekil 4.8. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C).....	49
Şekil 4.9. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	50
Şekil 4.10. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C).....	50
Şekil 4.11. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	51
Şekil 4.12. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	51
Şekil 4.13. 500 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için Akı- Zaman Grafiği (20 °C).....	51
Şekil 4.14. 50 mg/l RO72, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	52
Şekil 4.15. 50 mg/l RO72, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C).....	52
Şekil 4.16. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	53
Şekil 4.17. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C).....	53
Şekil 4.18. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	54
Şekil 4.19. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	54
Şekil 4.20. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C).....	55
Şekil 4.21. 50 mg/l RO72, DL Membranı için R _{boya} -Zaman Grafiği (20 °C).....	56
Şekil 4.22. 50 mg/l RO72, DL Membranı için R _{boya} -Zaman Grafiği (40 °C).....	56
Şekil 4.23. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için R _{boya} - Zaman Grafiği (20 °C).....	56
Şekil 4.24. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için R _{boya} - Zaman Grafiği (40 °C).....	57

Şekil 4.25. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (20 °C).....	57
Şekil 4.26. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (40 °C).....	57
Şekil 4.27. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DL Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (20 °C).....	58
Şekil 4.28. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (20 °C).....	59
Şekil 4.29. 500 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 20 °C, DL Membranı için R_{boya} - Zaman Grafığı (20 °C).....	59
Şekil 4.30. 50 mg/l RO72, DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (20 °C).....	60
Şekil 4.31. 50 mg/l RO72, DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (40 °C).....	60
Şekil 4.32. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (20 °C).....	60
Şekil 4.33. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (40 °C).....	61
Şekil 4.34. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (20 °C).....	61
Şekil 4.35. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (20 °C).....	62
Şekil 4.36. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafığı (20 °C).....	62
Şekil 4.37. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (20 °C).....	63
Şekil 4.38. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (40 °C).....	63
Şekil 4.39. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (20 °C).....	64
Şekil 4.40. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (40 °C).....	64
Şekil 4.41. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (40 °C).....	64

Şekil 4.42. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (20 °C).....	65
Şekil 4.43. 500 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (20 °C).....	65
Şekil 4.44. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (20 °C).....	66
Şekil 4.45. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (40 °C).....	66
Şekil 4.46. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (20 °C).....	67
Şekil 4.47. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (20 °C).....	67
Şekil 4.48. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafığı (20 °C).....	67
Şekil 4.49. 50 mg/l RO72, DL ve DK Membranları için Sıcaklıkla R_{boya} -Basınç Değişim Grafığı.....	68
Şekil 4.50. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL ve DK Membranları için Sıcaklıkla R_{boya} - Basınç Değişim Grafığı.....	68
Şekil 4.51. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için Sıcaklıkla R_{boya} -Basınç Değişim Grafığı.....	69
Şekil 4.52. 50 mg/l RO72, DL Membranı için Tuz Cinsiyle R_{boya} -Basınç Değişim Grafığı (20 °C).....	69
Şekil 4.53. 50 mg/l RO72, DL Membranı için Tuz Cinsiyle R_{boya} -Basınç Değişim Grafığı (40 °C).....	70
Şekil 4.54. 500 mg/l RO72, DL Membranı için Tuz Cinsiyle R_{boya} -Basınç Değişim Grafığı (20 °C).....	70
Şekil 4.55. 50 mg/l RO72, DL Membranı için NaCl Konsantrasyonuyla R_{boya} - Basınç Değişim Grafığı (20 °C).....	71
Şekil 4.56. 50 mg/l RO72, DK Membranı için NaCl Konsantrasyonuyla R_{boya} - Basınç Değişim Grafığı (20 °C).....	71
Şekil 4.57. 10 g/l NaCl, DL Membranı için Boya Konsantrasyonuyla R_{boya} - Basınç Değişim Grafığı (20 °C).....	72

Şekil 4.58. 10 g/l NaCl, DK Membranı için Boya Konsantrasyonu ile R_{boya} - Basınç Değişim Grafiği (20 °C).....	72
Şekil 4.59. 10 g/l Na ₂ SO ₄ , DL Membranı için Boya Konsantrasyonu ile R_{boya} -Basınç Değişim Grafiği (20 °C).....	72
Şekil 4.60. Optimum Şartlarda DL ve DK Membranlarında Boya, Tuz, KOİ ve Top. Azot Giderim Verimleri.....	73
Şekil 4.61. Tuzsuz çözelti için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması (20 °C)...	76
Şekil 4.62. Tuzsuz çözelti için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması (40 °C)...	77
Şekil 4.63. Yüksek boya konsantrasyonu için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.64. Yüksek NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının akı karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.65. Düşük NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının akı karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.66. Na ₂ SO ₄ tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması (20 °C).....	78
Şekil 4.67. Na ₂ SO ₄ tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması (40 °C).....	78
Şekil 4.68. Tuzsuz çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} (%) karşılaştırılması (20 °C).....	79
Şekil 4.69. Tuzsuz çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} (%) karşılaştırılması (40 °C).....	79
Şekil 4.70. Yüksek boya konsantrasyonu için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.71. Yüksek NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.72. Düşük NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.73. Na ₂ SO ₄ tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması (20 °C).....	81
Şekil 4.74. Na ₂ SO ₄ tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması (40 °C).....	81

Şekil 4.75. Yüksek boya konsantrasyonu için DL ve DK membranlarının R_{Tuz} karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.76. Yüksek NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının R_{Tuz} karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.77. Düşük NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının R_{Tuz} karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.78. Na_2SO_4 tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması ($20^{\circ}C$).....	83
Şekil 4.79. Na_2SO_4 tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması ($40^{\circ}C$).....	84

ÇİZELGE DİZİNİ**SAYFA NO**

Çizelge 2.1. Membran proseslerinin karakteristikleri.....	5
Çizelge 2.2. Membran ile ilgili yapılmış çalışmalar ve elde edilmiş sonuçlar.....	11
Çizelge 2.3. Tipik Tekstil Atıksu Karakteristikleri.....	19
Çizelge 2.4. Membran Filtrasyon Tiplerinin Tekstil Endüstrisinde Kullanımları.....	23
Çizelge 3.1. DK membranı ile yapılan deneyler.....	27
Çizelge 3.2. DL membranı ile yapılan deneyler.....	28
Çizelge 3.3. Membranların teknik özellikleri ¹⁾	36
Çizelge 3.4. RO72 konsantrasyon ile absorbans değerleri (478 nm dalga boyu).....	38
Çizelge 3.5. İletkenlik ve NaCl tuzu için a ve b katsayıları.....	40
Çizelge 3.6. İletkenlik ve Na ₂ SO ₄ tuzu için a ve b katsayıları.....	42
Çizelge 4.1. DL ve DK Membranlarının Akı Karşılaştırılması (20 °C ve 40 °C).....	48
Çizelge 4.2. DL ve DK Membranları için Akı-Basınç İlişkisi ve Korelasyon Katsayıları.....	75
Çizelge 4.3. DL ve DK Membranları için R _{BOYA} -Basınç İlişkisi ve Korelasyon Katsayıları.....	75
Çizelge 4.4. DL ve DK Membranları için R _{TUZ} -Basınç İlişkisi ve Korelasyon Katsayıları.....	75
Çizelge 4.5. DL ve DK Membranlarının Akı Değerleri için T Testi Sonuçları.....	86
Çizelge 4.6. DL ve DK Membranlarının R _{boya} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	89
Çizelge 4.7. DL ve DK Membranlarının R _{tuz} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	91
Çizelge 4.8. 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda Akı Değerleri için T Testi Sonuçları.....	94
Çizelge 4.9. 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda R _{boya} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	96
Çizelge 4.10. 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda R _{tuz} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	98
Çizelge 4.11. NaCl ve Na ₂ SO ₄ Tuzlarının Akı Değerleri için T Testi Sonuçları.....	101
Çizelge 4.12. NaCl ve Na ₂ SO ₄ Tuzlarının R _{boya} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	103
Çizelge 4.13. NaCl ve Na ₂ SO ₄ Tuzlarının R _{tuz} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	105

Çizelge 4.14. 1g/l ve 10 g/l NaCl Konsantrasyonlarında Akı Değerleri için T Testi Sonuçları.....	108
Çizelge 4.15. 1g/l ve 10 g/l NaCl Konsantrasyonlarında R_{boya} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	109
Çizelge 4.16. 1g/l ve 10 g/l NaCl Konsantrasyonlarında R_{tuz} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	110
Çizelge 4.17. 2/3 bar ve 5 bar Basınçlarda Akı Değerleri için T Testi Sonuçları.....	112
Çizelge 4.18. 2/3 bar ve 5 bar Basınçlarda R_{boya} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	114
Çizelge 4.19. 2/3 bar ve 5 bar Basınçlarda R_{tuz} Değerleri için T Testi Sonuçları.....	116

1. GİRİŞ

Endüstriyel üretim ile doğal kaynak tabanından malzeme çekilirken ortaya hem ürün hem de kirlilik meydana gelmektedir. Endüstriyel faaliyetlerden oluşan olumsuz çevre etkileri öncelikle bölgesel alanda hava, su ve toprak kirliliği olarak görülmüştür. Çevre bilinci olmaksızın gerçekleşen endüstriyel üretim ile kirlenmede hızlı bir yükseliş meydana gelmiştir. Başlangıçta nehir ve göllerin estetik açıdan bozulması, çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının balıklar ve diğer su canlıları için kritik seviyelere düşmesi, bölgesel hava kirlenmesi nedeniyle insan ölümleri şeklinde ortaya çıkan kirlenme problemi, günümüzde ozon tabakasının incilmesi, atmosferdeki karbondioksit oranına bağlı sera etkisi, su kaynaklarının kirlenip kullanılamaz hale gelmesi gibi küresel tehditlere dönüşmüştür.

Endüstriyel faaliyetler arasında tekstil endüstrisi ülkemizde önemli bir yer tutmaktadır. Bu endüstrinin üretiminde çok fazla proses suyu kullanılmakta ve buna paralel olarak da çok fazla atıksu oluşmaktadır. Oluşan atıksu yüksek konsantrasyonda yardımcı kimyasal madde, biyolojik olarak ayrışamayan boya ve tuz, özetle yüksek konsantrasyonda organik ve inorganik kimyasal maddeler içermektedir. İçeriğinde boya olmasından dolayı renkli olan atıksu, ortama deşarj edilerek estetik olarak hoş olmayan görüntü vermekte, ayrıca ışık geçirgenliğini azaltarak sucul bitki büyümesi ve balık yaşamı üzerine zararlı etkilere neden olmaktadır. Bundan başka bazı tehlikeli, toksik ve kanserojenik bileşiklerin çıktığı bilimsel olarak kanıtlanmıştır.

Tekstil endüstrisinden oluşan atıksuyun arıtımında yaygın olarak kullanılan yöntemler kimyasal çöktürme, aktif karbon adsorpsiyonu, ileri oksidasyon ve biyolojik arıtmadır. Fakat bu yöntemler ile tam anlamıyla arıtım verimi elde edilememektedir. Membran filtrasyon yöntemi ise son yıllarda kullanılmakta ve özellikle boya içeren bu atıksuların arıtımında tercih edilmektedir. Nedeni arıtılmış suyun tekrar kullanılabilir özellikte olması ile birlikte boya ve tuzun geri kazanımının mümkün olmasıdır. Çok fazla su tüketimi olan bu endüstride atıksudan üretimde kullanılabilir nitelikte suyun elde edilebilmesi çok büyük avantajdır. Ayrıca boya ve yardımcı kimyasalların (özellikle tuz) geri kazanımı üretimdeki maliyeti azaltıcı önemli bir durumdur. Diğer yöntemlerle tam olarak renk giderimi gerçekleştirilemeyen boyalı atıksu membran filtrasyonu yöntemiyle rengi giderilmiş suyla beraber boya geri kazanımı elde edilmektedir.

Membran filtrasyon yöntemi özellikle tekstil atıksularında son yıllarda termal ayırma sistemlerine nazaran daha az enerjiye ihtiyaç göstermeleri, arıtılan suyun geri devrettirilebilmesi, boyanın geri kazanımı gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle daha yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Tekstil endüstrisinde membran filtrasyon yönteminin önem kazanmasıyla beraber çeşitli boya ve membran türlerinin, işletim koşullarının arıtım verimine etkilerinin araştırılmasına gereksinim duyulmuştur. Membran filtrasyonun yeni kullanılan arıtma yöntemi olması nedeniyle geniş çapta bilimsel araştırmaya ihtiyaç vardır.

Bu tezin amaçları:

- Farklı membran yapısında olan DL ve DK membranlarının saf su ile akılarının belirlenerek geçirimsizlik katsayılarının (L_p) bulunması,
- $\text{NaCl-Na}_2\text{SO}_4$ tuzlarının ve tekstilde yaygın olarak kullanılan reaktif boyar maddenin (RO72) çeşitli işletim şartlarında giderim verimlerinin incelenmesi,
- DL ve DK membranlarının en iyi arıtımın sağlandığı optimum işletme şartlarının belirlenmesi,
- En iyi boya gideriminin elde edildiği membranın belirlenebilmesidir.

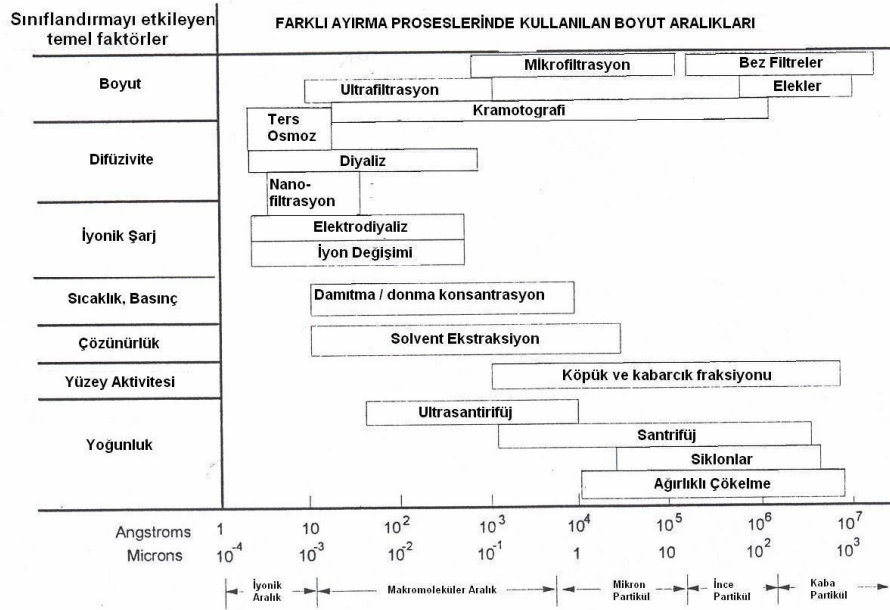
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Membran Sistemler

Son yıllarda geliştirilen bazı arıtma teknolojileri ile atıksuyun tekrar kullanımı ekonomik olarak mümkün olabilmektedir. Özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu yörelerde ve çok su kullanılan endüstrilerde önemli altyapı yatırımları yapılmadan, evsel atıksuların ve kötü kalitedeki yüzeysel suların tekrar kullanımı ekonomik bir alternatif olarak dikkate alınmaktadır. Ayrıca su tüketiminde tasarruf sağlanması amacıyla proses sularının geri kullanımı da gittikçe artmakta ve bu endüstriyel su yönetimi için önemli bir husus oluşturmaktadır (Koyuncu ve ark. 2004). Atıksuların tekrar kullanımını sağlayan arıtma teknolojilerinden “Membran Prosesleri” kalitesiz suların, evsel ve proses atıksuların tekrar kullanımını mümkün kılarak alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmelerini sağlamaktadır.

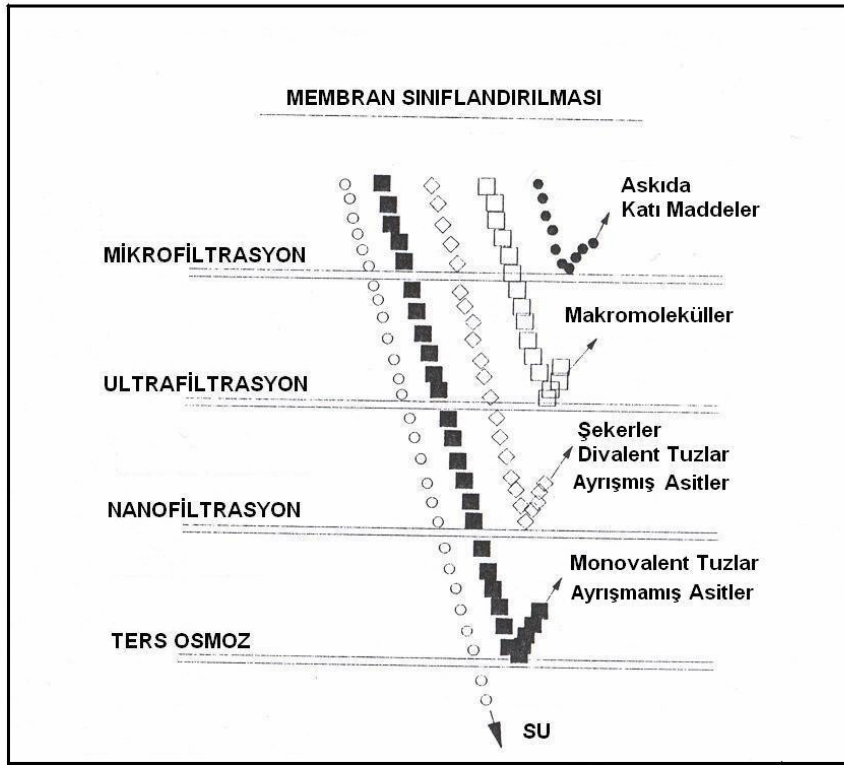
Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabakadır. Tüm membran ayırma teknolojilerinde membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Basınç farkı, kimyasal potansiyel farkı, elektriksel potansiyel farkı, sıcaklık farkı (Timmer 2001) gibi itici güçler yardımıyla kütle transferi gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın kullanılan itici kuvvet basınçtır.

Şekil 2.1’de çeşitli ayırma proseslerinin temel partikül yada molekül boyutları ile bu prosesleri etkileyen önemli faktörler belirlenmiştir. Bu tür ayırma prensibine dayalı prosesler arasında membranların hangi aralıktaki molekül boyutlarına hitap ettikleri görülmektedir (Cheryan 1998).



Şekil 2.1. Çeşitli ayırma proseslerinin kullanıldıkları aralıklar (Cheryan 1998)

İtici kuvveti basınç olan membran prosesler dört gruba ayrılır; mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (RO) ya da hiperfiltrasyon (Timmer 2001, Dickenson 1997). Bu yöntemlerde ayırma işlemi, moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olur. Bu membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre ayırt edilirler (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Membranların Sınıflandırılması (Cheryan 1998)

UF, MF ve NF’da itici kuvvet tamamen basınçtır RO prosesinde ise kısmen basınç kısmen de konsantrasyondur (Anonim 1999). Membran prosesleri arasındaki temel fark kullanılan gözenek boyutundaki farklılıklardır. Çizelge 2.1’de farklı membran proseslerinin karakteristikleri kıyaslamalı olarak görülmektedir.

Çizelge 2.1. Membran proseslerinin karakteristikleri

Proses	İtici Kuvvet	Konsantre ^(a)	Süzüntü
Osmoz	Kimyasal potansiyel	Çözünenler, su	Su
Mikrofiltrasyon	Basınç	Büyük moleküller, su	Küçük moleküller, su
Ultrafiltrasyon	Basınç	Askıda partiküller, su	Çözünenler, su
Nanofiltrasyon	Basınç	Küçük moleküller, iki değerlikli tuzlar, ayrılmış asitler, su	Tek değerlikli iyonlar, ayrılmamış asitler, su
Ters Osmoz	Basınç	Tüm çözünenler, su	Su

^(a) Membrandan geçemeyen çözelti

Kaynak: Cheryan, M. Ultrafiltration and Microfiltration, 1998, 3 s.

RO sisteminde temiz suyu kirli sıvıdan ayıran yarı geçirgen bir membran vardır. Kirli tarafa bir basınç uygulandığında kirli taraftaki su temiz tarafa difüze olur. Proses sonunda, istenmeyen kimyasal maddeler yoğunlaşarak temiz sudan ayrılır. RO prosesi atıksudan 10^{-1} ile 10^{-3} mikron boyuttaki partikülleri (iyonlar, çözülmüş tuzlar, vb.) ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin gideriminde kullanılır (Chang 2001). En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan RO prosesinin en yaygın uygulama alanı deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu elde edilmesidir. Ayrıca, öncelikle elektronik endüstri başta olmak üzere tıbbi, eczane, kimyasal ve gıda endüstri vb. saf su kullanılması gereken endüstrilerde büyük oranda kullanılmaktadır (Dickenson 1997).

UF ve MF proseslerinde membranların gözenek boyutları daha büyük olduğundan ayırma için daha düşük basınç gerekir. UF prosesinde membran delik çapı 2 nm ile 0,05 μ m arasındadır (Timmer 2001) ve 0,1-0,01 μ m büyüklüğündeki partiküller tutulur. UF prosesi atıksudan makro molekül ve kolloidlerin konsantre edilerek ayrılmasında kullanılır. Atıksu belirli gözenek boyutundaki geçirgen zarın bir tarafında basınç altında bulunur. Gözenek boyutundan küçük tüm maddeler membrandan geçer, büyük boyutlular kirli su tarafında kalır. UF prosesi birçok endüstride uygulanmakla birlikte geniş oranda tekstil endüstrisi tarafından uygulanmaktadır. %30 gibi düşük geri kazanımı elde edilebilmesinden dolayı çıkış suyunun direkt tekrar kullanımı imkânsız olabilmektedir (Tang ve Chen 2002). Bu nedenle UF prosesi, RO yada NF prosesi öncesi ön arıtım kademesi olarak kullanılır.

Nanofiltrasyon (NF) prosesi membran delik çapı açısından gözeneksiz RO ile gözenekli UF arasında bulunmaktadır (Ku ve ark. 2005, Bouchoux 2005, Su ve ark. 2004). Son zamanlarda, ince filmlili selüloz olmayan membranlardaki gelişmeler ile beraber kullanımı daha da yaygın hale gelmiştir. NF membranları, RO'dan daha düşük basınçlarda işletilmekte ve RO'a göre düşük kalitede su vermektedir (Koyuncu, 2001). NF kısmi suyun tuzsuzlaştırma işlemi ve arıtma için gittikçe popüler teknik olmaya başlamıştır. En yaygın kullanılan membran tipi ince film (TF) polyamide (PA)'dır. Bu tip membranlar pH kararlılığı olduğu gibi iyi sıcaklık kararlılığına sahiptirler ve genelde yüksek membran akısıyla iki değerlikli iyon ve şekerleri monosakkaritlerden daha iyi bertaraf ederler (Nilsson ve ark. 2006).

NF membranlarındaki giderme mekanizması, RO gibi çözünme-difüzyon modeline göre olmaktadır (Koyuncu, 2001). Fakat RO ile karşılaştırıldığında çok değerlikli iyonlar için daha iyi seçicidir ve daha yüksek akıya sahiptir (Ballet ve ark. 2004, Manttari ve ark. 2006). Şeker, doğal organik maddeler ve hatta iyonlar gibi çok düşük molekül ağırlığına sahip bileşikler için de UF'dan daha iyi tutma gerçekleştirirler (Manttari ve ark. 2006). Nanofiltrasyon membranlar 100~300 µm kalınlığında yüksek poroziteli alt tabaka ile desteklenmiş filtre yüzeyinden oluşmuş asimetrik yapıdadırlar. Genellikle bu membranlar 5 A⁰ ile 10 A⁰ aralığında porlara sahiptir ve moleküler ağırlığı 200 ile 1000 Da arasındaki çözünenlerin alıkonması için kullanılmaktadır (Lopes ve ark. 2005).

Yapılan çeşitli araştırmalarda nanofiltrasyon için 3 temel kütle transfer kontrol şartları olduğu görülmüştür. Küçük membran delik çapına sahip olması sonucu, NF için kütle transfer mekanizması difüzyon ve konveksiyondur (Tang ve Chen 2002). Ayrıca diğer kütle transfer mekanizması aktif membran tabakasının negatif yüklü kimyasal gruplardan oluşması nedeniyle iyonların elektrik alanı ile hareket etmesidir. Filtrasyon boyunca tüm kütle transferinin 3 formu da var olsa da sadece bir tanesinin baskın olması beklenir. Hangisinin baskın olacağı membran özellikleri ve çözüneneye bağlıdır (Tang ve Chen 2002).

Endüstride NF, eczacılıkta, renk ve TOK gideriminde, kuyu sularından TDS gideriminde (Koyuncu 1997), yüzeysel sulardan sertlik gideriminde, tuz ve boya geri kazanımında (Ballet ve ark. 2004, Gomes ve ark. 2005, Su ve ark. 2004), özellikle gıda sektöründe (süt ve süt ürünleri, meyve suyu üretimi, pancar sıkıştırma suyunun arıtımı vb.) (Bouchoux ve ark. 2005) ve atıksu uygulamalarında inorganik maddelerden organik madde ayırımında (Kayar, 2003), pestisitler, yüzeysel suların arıtımı, kâğıt ve selüloz endüstrilerin arıtma çıkış suyunun arıtımı, tekstil arıtma çıkışından boyanın bertarafı (Lopes ve ark. 2005) gibi birçok alanda kullanılmaktadır. NF sulu çözeltilerden iki değerlikli iyonların ve küçük organik moleküllerin alıkonması avantajına sahiptir, bundan dolayıdır ki boya endüstrisinde daha çok kullanılmaktadır (Gomes ve ark. 2005).

2.2. Membran Proses Uygulamaları

Tang ve Chen (2002) boya banyosundan nanofiltrasyon ile (NF) boyanın ve tuzun geri kazanılması konulu çalışmada C.I. Reaktif Black 5 boya, NaCl tuzu ve distile su karıştırılarak sentetik olarak hazırlanmış çözelti kullanmışlardır. Membran olarak polisülfon bazlı, düz yaprak şekilli, TFC kullanılmıştır. Boya ve tuz giderim verimine boya konsantrasyonun, basıncın ve tuz konsantrasyonun nasıl etkilediğine bakılmıştır. Bu parametrelerin etkileri araştırılırken pH sabit (7), sıcaklık sabit (25 °C), besleme debisi sabit (3 l/dk veya 5 l/dk) olarak alınmıştır. 1 bar ile 5 bar arasında 5 farklı basınçla çalışılmıştır.

Kim ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada nanofiltrasyon membran ile ters osmoz membranının KOİ, renk, tuz alıkonması ve süzüntü akısı için optimum işletme şartları test edilmiş, reaktif boyanın ayırma verimi ve süzüntü akısının geliştirilmesi için nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarının birlikte kullanılmasının yapılabirliği değerlendirilmiştir. Reaktif yellow 145 ve reaktif black 5 boyalarının kullanıldığı prosesten çıkan atıksu kullanılmıştır. Nanofiltrasyon membranı DK, Osmonic Desal, ters osmoz membranı AG, Osmonic Desal'dır. Boya çeşidi, basınç (0-70 bar) ve membran türü değiştirilerek akı ve geri kazanım parametrelerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Tüm deneylerde sıcaklık 20 °C'de sabit tutulmuştur.

Shu ve ark. (2005) ise boya banyolarındaki sulardan nanofiltre membran kullanarak tuz ve suyun tekrar kullanılma olasılığını araştırmışlardır. Çözelti C.I. Reactive Black ve NaCl tuzu ile sentetik olarak hazırlamışlardır. Polisülfon üstünde poliamid yapıda ince film kompozit membran kullanmışlardır. Tüm deneyler sabit pH (7), sabit basınç (500 kPa) ve sabit sıcaklıkta (25 °C) gerçekleştirilmiştir.

Ku ve ark. (2005)'nin yaptıkları çalışmanın konusu nanofiltrasyon ile sulu çözülden asidik boyar maddelerin ayrılması, işletim aşamasında verim ve kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Deiyonize su ve boya ile hazırlanan sentetik çözelti kullanmışlardır. C.I. Acid red 4, C.I. Acid orange 10 ve C.I. Acid red 27 olmak üzere 3 farklı boya ile çalışılmıştır. Osmonics firmasından temin edilmiş Desal DK polyamid ince film kompozit (TFC) membran kullanmışlardır. Deneyler sırasında süzüntü ve konsantrat tanka geri devrettirilmiştir. Farklı boya konsantrasyonu (50-800 mg/l), pH

(3-9) ve sıcaklık (20 °C - 50 °C) larda çalışılarak boya konsantrasyonu, sıcaklık ve pH'ın etkisi araştırılmıştır.

Yu ve ark. (2001) ise gerçek nanofiltrasyon tesisinde boya üretimi esnasında oluşan tuz ve safsızlıkların giderimi ve daha kaliteli, tuz içeriği düşük ve konsantre boya elde edilmesiyle ilgilenmişlerdir. Gerçek boyalı atıksu kullanmışlardır. 12 adet nanofiltrasyon membrandan oluşmuş prosetteki membranlar spiral, selüloz asetatlıdır. Uyguladıkları işletim basıncı 2-3 MPa olarak değişmiştir.

Marucci ve ark. (2002) pilot ölçekli tesiste iki farklı membran teknolojisinin uygulanması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Bir çalışmalarında aktif çamur arıtımından çıkan suları önce mikrofiltrasyon sonra nanofiltrasyondan geçirmişlerdir. Diğer çalışmalarında kum filtresi, ozonlama gibi çeşitli arıtmadan sonra çıkan suları ultrafiltrasyondan geçirmişlerdir.

Van der Bruggen ve ark. (2001) hem sentetik hazırlanmış boya banyosu suyu hem de aktif çamur arıtma sisteminden geçirilmiş suyu farklı nanofiltrasyon yapısına sahip 3 çeşit membrandan geçirerek bu suların arıtımı ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Koyuncu (2002) reaktif boya ve tuz içeren sentetik boya banyosundan tuz ile boyanın giderimine besleme atıksuyundaki boya ve tuz konsantrasyonunun, basıncın ve çapraz akış hızının etkisini araştırmıştır. I.C. Reactive Black 5, I.C. Reactive Orange 16 ve I.C. Reactive Blue 19 boya olmak üzere 3 farklı boya ile çalışılmış, molekül kesme çapı 150-300 g/l olan polysülfon poliamid yapıda ince kompozit membran kullanılmıştır. Tuz cinsi olarak da NaCl seçilmiş ve sıcaklık tüm deneylerde 25 °C olarak sabit alınmıştır. Koyuncu ve ark. (2001) diğer bir çalışmasında ise pilot ölçekli nanofiltrasyon tesisinde KOI, renk ve EC giderim verimleri araştırılmıştır. Bir fabrikanın boyahane ve yün yıkama işleminden çıkan atıksular kullanılmış ve atıksu sıcaklığı 25-27 °C arasında tutulmuştur. Sistem yarı kesikli-sürekli olmayan şekilde çalıştırıldığında konsantrat besleme çözeltilisine geri verilirken süzüntü ayrı toplanmıştır. Sistem yarı kesikli-sürekli çalıştırıldığında konsantrat ve süzüntü besleme çözeltilisine geri verilmiştir. Bu çalışmada ayrıca ekonomik değerlendirme yapılmış, 0,81 \$/m³ maliyet bulunmuştur.

Reaktive red ($\lambda = 571$ nm.) ve NaCl tuz içeren atıksuyun farklı yapıdaki nanofiltrasyon ile arıtımını Jironetenanon ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada

araştırmışlardır. Basınç 10 bar ve sıcaklık 35 °C'de sabit tutularak boya konsantrasyonu, tuz konsantrasyonu ve membran değiştirilerek araştırma yapılmıştır.

Dhale ve Mahajoni (1999) reaktif boyanın nanofiltrasyon ile giderimi incelenmiştir. Hem gerçek atıksu hem de sentetik atıksu çalışılmıştır. Akı, renk ve KOİ giderimi ve NaCl ile Na₂CO₃ tuzlarının geçirimsizliği üzerine çalışılmıştır. Dhale ve Mahajoni (2000) yaptıkları başka bir çalışmada ise dispers boyanın nanofiltrasyon ile alıkonmasına bakılmıştır. Boya alıkonması KOİ ve renk giderimi esas alınarak belirlenmiştir.

Ciardelli ve ark. (2000) tekstil atıksuyunun geri kullanım amacıyla membran tekniği ile arıtımının teknik ve ekonomik analizini yapmışlardır. Doğal ve sentetik elyaf boyahane atıksuyu öncelikle ön arıtmadan geçirildikten sonra pilot ölçekli membran filtre sisteminden geçirilmiştir. Ultrafiltrasyondan sonra ters osmoz ile arıtım gerçekleştirilmiştir. 1000 m³/gün su için UF/RO membran arıtımının ilk yatırım ve işletme maliyetleri belirlenmiştir.

Çizelge 2.2'de membranlar ile yapılan çalışmalarda neler kullanıldığı ve elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. Membran ile ilgili yapılmış çalışmalar ve elde edilmiş sonuçlar

Çalışılan Atıksu	Boya Çeşidi	Tuz	Membran	Basınç	Sıcaklık	Bulunan Sonuçlar	Referans
Sentetik	CI Reactive Black 5 $\lambda = 596$ nm MA = 991 g/mol 0,1-0,9 g/l	NaCl 10-90 g/l	Polisülfon bazlı TFC-SR2 nanofiltre	1-5 bar	25 °C	NaCl tuzun olması nedeniyle oluşan osmotik basınçtan akı etkilenmiştir. Boya konsantrasyonu akı yada alıkonmaya önemli etkisi olmamıştır. Düşük basınçlarda çalışılmasıyla (1-5 bar) yüksek akı değerleri bulunmuştur. Ortalama %98 boya alıkonması, %14'den düşük NaCl alıkonması gözlenmiştir.	Tang ve Chen (2002)
Gerçek	Reactive Yellow 145 Reactive Black 5	-	NF (DK, Osmonics Desal) RO (AG, Osmonics Desal)	0-70 bar	20 °C	Süzüntü miktarı ve alıkonma verimine membran türünün etkilediği görülmüştür. Uygulan değişik basınçlarla KOI, renk ve tuz alıkonması değişmiştir. Basıncın artmasıyla bu parametre değerleride artmıştır.	Kim ve ark. (2005)
Sentetik	CI Reactive Black 5 50-700 mg/l	NaCl 10-80 g/l	Polysülfon üstünde polyamid yapıda TFC-SR NF	5 bar	25 °C	Giriş çözeltilisindeki NaCl konsantrasyonu arttırıldığı (10-80 g/l) zaman başlangıçta NaCl tuzunun membranda alıkonması azalmıştır. Tuz konsantrasyonunun artmasıyla konsantrattaki boya agresyonu azaldığı bulunmuştur.	Shu ve ark. (2005)
Sentetik	CI Acid Red 4 $\lambda = 509$ nm MA = 382,5 g/mol CI Acid Orange 10 $\lambda = 478$ nm MA = 452,4 g/mol CI Acid Red 27 $\lambda = 522$ nm MA = 504,5 g/mol	-	Polyamid TFC Desal DK NF MWCO = 150-300 Da Etkin alan = 42,35 cm ²		20-50 °C	Yapılan bu çalışmadaki çoğu deneylerde %98'den fazla boya alıkonması elde edilmiştir. Çeşitli boyarmaddeler ile yapılan deneylerde akı değeri çözelti sıcaklığı ve işletim basıncının artmasıyla artmıştır. Çözeltinin membrandan geçme hızının artmasıyla boyarmaddelerin alıkonması biraz azalmış, ve dolayısıyla süzöntü miktarı artmıştır. Boyar maddelerin alıkonmasına çözelti pH'nın etkisi araştırılmış, pH 5'de maksimum süzöntü miktarı elde edilmiştir.	Ku ve ark. (2005)
Gerçek	1. Remazol Yellow 3 RS Remazol BTE Red 3 BS 2. Remazol BTE Blue RN Special Remazol BTE Red 3 BS 3. Remazol Black Remazol BTE Red 3 BS	NaCl 10g/l CaCl ₂ 10 g/l Na ₂ SO ₄ 15 g/l	MPS 31 Hidrofobik NF Etkin alan = 1,60 m ² NF 45 Hidrofilik Etkin alan = 2,40 m ² DK 1073 Hidrofilik Etkin alan = 1,77 m ²	25 Bar	60 °C	Yapılan test sonuçlarına göre renk alıkonması DK 1073 ve NF 45 membranları için %99 civarında ve KOI alıkonması DK 1073 için %87'dir. Çalışılan farklı atıksular için akı değeri 30,5 ile 70 L/m ² s arasında değişmiştir.	Lopes ve ark. (2005)

Çizelge 2.2. (Devam) Membran ile ilgili yapılmış çalışmalar ve elde edilmiş sonuçlar

Çalışılan Atıksu	Boya Çeşidi	Tuz	Membran	Basınç	Sıcaklık	Bulunan Sonuçlar	Referans
Sentetik	Reactive Black 5 1-50 g/l	NaCl 1-80 g/l	Polysülfon polyamid DS 5 DK NF MWCO = 150-300 Da Etkin alan = 0,0155 m ²	8-24 bar	25 °C	Özellikle düşük tuz konsantrasyonunda membran yüzeyi üzerine boya moleküllerin kek tabakası oluşumu akı azalmasının en önemli nedeni olduğu anlaşılmıştır. İşletim şartlarının akı üzerine güçlü etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Akı üzerinde membrandan geçme hızın etkileri düşük NaCl konsantrasyonunda daha göze çarpıcıdır. Ayrıca düşük akı değerleri alkali şartlarda görülmüştür.	Koyuncu ve ark. (2004)
Gerçek	Cibacron Black B MA = 923 173 mg/l Cibacron Red RB MA = 854 118 mg/l Acid Red 4 Acid Orange 10 Basic Blue 3	NaCl 56 g/l	Polyamid TFC NF MWCO = 400 Da	2,76-5,50 bar	-	Nanaofiltrasyon tekniği ile KOI parametresinde tam azalmaya ulaşılmıştır (%94 civarında). Böylece süzültüde boya kalmamıştır. Bu çalışmayla basınç, çözelti boya konsantrasyonu, membrandan geçiş hızı gibi parametrelerin etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir.	Chakraborty ve ark. (2003)
Sentetik	Direct Yellow 8 Direct Red 80 Disperse Blue 56 Reactive Orange 16 CI Acid Orange 7 MA = 351 Da 2-2000 mg/l	Na ₂ SO ₄	Polyamid TFC Desal 5DK NF Hidrofilik MWCO = 150-300 Da	10 bar	25 °C	Acid orange 10 yada acid red 4 gibi anyonik boyalar için PH 3'te pH 6 ya göre daha düşük alıkonma gözlenmiştir. Bu etki tam ters katyonik boya olan basic blue 3 boyar madde daha göze çarpıcı şekilde görülmüştür. Ayrıca tuzun fazla bulunmasıyla akıda düşüş gerçekleşmiştir.	Akbari ve ark. (2002)
Sentetik	-	-	Polyester NF 45 TFC Etkin alan = 0,072 m ²	6-36 bar	25 °C	Boya konsantrasyonundaki azalmayla akı değerinde artış görülmüştür.	Gomes ve ark. (2005)
Sentetik Gerçek	-	-	Polysülfon DL NF MWCO = ~ 180 Da Polysülfon DK NF MWCO = ~ 180 Da Polysülfon SG RO	-	-	Yapılan çalışma membranların pamuk ve polyester kumaş boyaması sonucu çıkan atıksuları arıtımında kullanabileceği sonucuna varılmıştır.	Ledakowicz ve ark. (1998)
Gerçek	-	NaCl	Selüloz asetat NF	2-3 MPa	-	12 NF membrandan oluşan sistemde %25'den fazla boya, %1'den az tuz içeren boya çözeltisi elde edilmiştir.Boya üretimde tuzsuzlaştırma ve konsantre için NF membran arıtım teknolojisi başarıyla kullanılmıştır. Tuzsuzlaştırılmış boyalı çözelti sprey kurutucular ile sürekli olarak kurutulmuştur. Böylelikle boya geri kazanımı sağlanmıştır.	Yu ve ark. (2001)

Çizelge 2.2. (Devam) Membran ile ilgili yapılmış çalışmalar ve elde edilmiş sonuçlar

Çalışılan Atıksu	Boya Çeşidi	Tuz	Membran	Basınç	Sıcaklık	Bulunan Sonuçlar	Referans
Sentetik	IC Reactive Black 5 $\lambda = 592$ nm MA = 991 g/mol	NaCl	Polysülfon polyamid TFC DS 5 DK NF MWCO = 150-300 Da	8-24 bar	25 °C	Tüm NaCl çözeltileri için basınç artışıyla süzüntü akı değeri de artmıştır. Boya konsantrasyonunun akı değerine önemli etkisinin olduğu görülmüştür. Sabit NaCl konsantrasyonu altında boya konsantrasyonunun artmasıyla akı değeri düşmüştür. Boya alıkonması %99'dan daha fazla elde edilmiştir. Tuz konsantrasyonunun renk giderimi üzerine etkisi ise ilgi çekicidir. Tuz konsantrasyonunun artmasıyla renk giderimi azalmıştır.	Koyuncu (2002)
Sentetik	IC Reactive Orange 16 $\lambda = 493$ nm MA = 616 g/mol	NaCl	ES 20 NF Kompozit, negatif şarjlı	10 bar	35 °C	Besleme çözeltisi ne olursa olsun , ES20 membranında daha düşük akı değeri elde edilirken LES90 membranda yüksek süzüntü akıları bulunmuştur. ES20 ve LES90 membranlar NTR-729HF'dan daha yüksek tuz alıkonması elde edilmiştir. Bununla birlikte LES90, NaCl konsantrasyonunun artmasıyla tuz alıkonmasında büyük miktarda düşüş görülmüştür. ES20 ve LES90'nın boya alıkonması süzüntünün tekrar kullanımı için yeterli olmuştur. Nötr NTR-729HFmembranında şarjlı membranlardan daha düşük boya alıkonması gözlemlenmiştir.	Jiratananon ve ark. (2000)
Gerçek	Disperse Blue CI 79	-	LES 90 NF Kompozit, negatif şarjlı	1,5 MPa	35 °C	Yapılan çalışmada kullanılan MPT 30 membranıyla %99'dan fazla renk, %97 KOİ giderimi görülmüştür.	Dhale ve ark. (2000)
Sentetik Gerçek	Reactive turquoise Blue CI25	NaCl Na ₂ CO ₃	NTR-729HF NF nötr	1-2,5MPa	35 °C	Atıksu membran ve oksidasyon işlemlerinden geçirilmiş ve >%99 renk giderimi elde edilmiştir.	Dhale ve ark. (1999)
Sentetik Gerçek	-	-	Sel RO MPT30 NF Polymerik Etkin alan = 0,025 m ²	UF 4 bar RO 8 bar		Aktif çamur arıtımı sonrası UF+RO dan geçirilmiştir. %87 KOİ giderimi, %95renk giderimi elde edilmiştir. İlk yatırım ve işletme maliyetleri dikkate alındığında ~ 1 Euro/m ³ su olarak ekonomik analizi yapılmıştır.	Ciardelli ve ark.(2000)
			Sel RO MPT30 NF Polymerik Etkin alan = 0,025 m ² MWCO = ~300 Da				
			8040-UE50-TXA UF Etkin Alan = 23 m ² MWCO = 100kDa				
			8040-UE50-TXA RO Etkin Alan = 54 m ²				

2.3. Membran Çeşitleri

Membranların performansını, geçirimsizlik derecesi, çözünen madde akımını ret etme derecesi, geçirim derecesi ve çözücünün membrandan geçme kolaylığı gibi kriterler belirler¹⁾. Selüloz asetat membranlar bu kriterlerin kombinasyonunu sağladığından yaygın olarak kullanılırlar. Günümüzde kullanılmakta olan değişik membran tipleri ve bunların değişik biçimlerde bir araya getirildiği değişik modüller vardır. En yaygın membran çeşitleri; tüp (borulu), boşluklu elyaf, spiral sargılı, plaka ve çerçeve şeklindeki membranlardır.

Membran yüzeyinde tutunan ve çöken maddelerin membran deliklerini tıkanmasını önlemek için türbülanslı akış şartlarının sağlanması gerekmektedir (Reynolds sayısının 2000 in üstünde olması gerekir¹⁾). Bu da genellikle çıkış akımının geri devri ile sağlanır. Membranlarda tıkanmayı önlemek için askıda madde, bakteri ve çökebilir iyonların ön arıtımla giderilmesi önerilmektedir.

Köpüklenmeyi önlemek ve bakteri/virüs ve besin elementi giderimini sağlamak üzere membran prosesine ilave olarak aktif karbon adsorpsiyonu ve flokülasyon prosesleri uygulanır¹⁾.

2.4. Membran Performansı

Membran performansı akı ve giderme verimi ifadeleri ile belirtilir. Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır ($m^3/m^2/sn$ veya $l/m^2/saat$). Giderme verimi ise membranın tuttuğu madde miktarının ölçüsüdür. Membranların performansını etkileyen faktörler aşağıda özetlenmiştir:

Basınç: Süzüntü akısı basınçtan oldukça fazla etkilenmektedir (Koyuncu ve ark. 2004). Akı, uygulanan basınç ile membrandaki ozmotik basınç farkı ile artar. Uygulanan basınç ne kadar fazla ise akı da o kadar fazladır. Ancak membrana uygulanabilecek basınç limitlidir. Genellikle 68 atm olarak alınır¹⁾. Uygulamada 27-41 atm olarak alınır¹⁾.

Sıcaklık: Akının etkilendiği önemli parametrelerden biridir (Koyuncu ve ark. 2004). Akı besleme atıksuyu sıcaklığı ile artar. Standart sıcaklık 21°C olarak

¹⁾ <http://www.osbuk.org/atiksu.asp>

verilmektedir, ancak 29°C a kadar sıcaklıklar tolere edilmektedir¹⁾. 29°C ın üstündeki 38°C a kadar olan sıcaklıklar membranın bozulmasını hızlandırmakta olup uzun süre işletmeye dayanamaz¹⁾.

Membran diziliş yoğunluğu: Birim hacme yerleştirilebilecek membran alanı olarak tanımlanır. Bu faktör ne kadar büyükse sistemden çıkan toplam akı da o kadar büyük olur. Tipik membran yoğunluğu 160–1640 m²/m³ olarak verilmektedir¹⁾.

Akı: Borulu sistemler için akı 6x10⁻³-10,2x10⁻³ m³/m²/gün, plakalı sistemler için ise 6,1x10⁻¹-10,2x10⁻¹ m³/m²/gün dür¹⁾. 1–2 yıl işletmeden sonra akı azalır.

Tuz geri dönüş oranı: Atıksudaki tuzun geri dönüş oranı, kullanılan membranın tip, karakter ve atıksudaki tuzun konsantrasyon dağılımına bağlıdır¹⁾. Bu değer %95 alınır²⁾. Örneğin Majewska-Navak ve ark. (1996) yüksek tuz konsantrasyonunda düşük süzünü akısı ve boya geri kazanma oranı gözlemlemiştirler (Koyuncu ve ark. 2004).

Membran ömrü: Atıksudaki fenol, bakteri, mantar gibi maddelerin varlığı, yüksek sıcaklık ve yüksek/düşük pH değerleri membran ömrünü etkiler. Membranlar en fazla iki yıl kullanılırlar¹⁾.

pH: Selüloz asetat membranlar yüksek ve düşük pH'larda hidroliz olurlar. Optimum işletme pH aralığı 4,5–5,5'tur¹⁾.

Ön arıtma: Membran sistemlerinin Toplam Çözünmüş Katı (TÇK) miktarı 10 000 mg/l'nin üstündeki besleme akımlarına doğrudan uygulanması uygun değildir¹⁾. Bunun dışında kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir oksit ve hidroksitleri, mangan ve silikon, baryum ve stronsiyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalaşma yapan maddelerin ön arıtma ile kontrol altına alınmaları gerekir. Bu maddeler pH ayarlaması, kimyasal arıtım, çöktürme, inhibisyon ve filtrasyon gibi yöntemlerle kontrol altına alınabilirler. Organik kalıntılar ve bakteri filtrasyon, karbonla ön arıtım ve klorlama ile kontrol edilebilir. Yağ ve gres ise membranın yüzeyini sarıp tıkanmaya neden olacağından membran prosesi öncesi giderilmelidir³⁾.

Kimyasal madde: Membran sistemlerinde verimi etkileyen diğer temel faktör arıtılmak istenilen çözeltinin kimyasal madde içeriğidir (Bandini ve ark. 2005). Örneğin boya banyosu hazırlanmasında yardımcı kimyasallar süzünü akısını önemli derecede etkilemektedirler. Ayrıca çözeltideki kimyasal madde konsantrasyonunun fazla olmasıyla

²⁾ <http://www.osbuk.org/atiksu.asp>

³⁾ <http://www.osbuk.org/atiksu.asp>

membran yüzeyi üzerine materyallerin birikimi gerçekleşmesiyle membranda direnç artışına neden olmaktadır. Kararlı durum yaşandıktan sonra süzüntü akısında ani düşüş meydana geldiği gözlenilmiştir (Koyuncu ve ark. 2004).

Çapraz akış hızı: Basınç uygulanarak elde edilen membran yüzeyine paralel akış hızıdır (m/sn)⁴. Besleme akışının çapraz akış hızı süzüntü akısını etkilemektedir. Daha yüksek reynolds sayısı, daha yüksek basınç ötesinde akı basınçtan bağımsız hale gelmektedir (Koyuncu ve ark. 2004). Çapraz akış hızındaki artış ile membran yüzeyine biriken kek tabakası daha büyük bir kuvvetle süpürülmektedir. Bu nedenle kek tabakasının çok daha fazla kalınlaşması engellenmektedir. Sonuç olarak çapraz akış hızının artması ile membrandan geçen akıda artmaktadır (Farizoğlu ve ark. 2004).

2.5. Başlıca Membran Prosesi Uygulama Alanları

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

- Yeraltı suyunun tuzlu su geçişini önlemek üzere tekrar yüklenmesi, (bu amaçla kullanılacak arıtılmış suyun içilebilir su kalitesine getirilmesi gerekmektedir),
- 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,
- Sulama suyu olarak, (arıtılmış sudaki mineral seviyesine göre MF sonrası RO da gerekebilir),
- Endüstrinin tekrar kullanımı, (Boiler' a besleme, soğutma suyu olarak veya uygun diğer proseslerde).

Membran teknolojileri birçok atıksuyun arıtımında kullanılır. Örneğin: Yarı geçirgen malzeme üretimi ve bazı metal ve oksit üretimi gibi proseslerde çok saf su

⁴ http://www.tezcansuaritma.com/sayfalar/su_aritma_terimleri_sozlugu.htm

kullanılır ve proses sonunda çözünmüş ve askıda katı içeriği yüksek bir atıksu oluşur. Bu tür atıksuların arıtımında MF veya MF +RO prosesleri ile etkin katı giderimi sağlandığı belirtilmektedir¹⁾. Organik ve inorganik kirliliği yüksek düzenli çöp depo alanı sızıntı sularının arıtımında; metal üretiminden kaynaklanan ve çözünür yağ içeren atık suların arıtımında; metal işleme yıkama sularında çözücü-su ve yağ-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 deşarj 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. Evsel atıksuların MF ve UF yöntemleri ile arıtımı deneysel ve pilot ölçekli sistemlerde denenmiş, böyle sistemlerin kısmen ticari boyutta üretimi yapılmıştır. Evsel atıksularla membran prosesi sonrası tekrar kullanım için uygun su kalitesine ulaşabildiği (KOI<30 mg/l, BOI<10mg/l, TOK<10mg/l, bulanıklık=1NTU, AKM=2mg/l) gösterilmiştir⁵⁾. Kâğıt endüstrisi atıksularının havasız ve/veya havalı arıtım çıkışının iki kademeli UF-RO sisteminden geçirilerek %60'ının proseste tekrar kullanımının mümkün olduğu belirtilmektedir¹⁾.

Endüstride yaygın olarak membran sistemlerinin kullanıldığı alanlar; tekstil, deri, boya, mürekkep gibi çeşitli endüstrilerden çıkan, toksik boya içeren atıksular (Auddy ve ark. 2004, Lopes ve ark. 2005, Chakraborty ve ark. 2003, Sojka-Ledakowicz ve ark. 1998), kâğıt hamuru, kâğıt gibi özellikle yüksek su tüketimi olan endüstrilerde proses suyu (Viero ve ark. 2002, Lopes ve ark. 2005) ve ayrıca pestisitler, yüzeysel suların arıtımıdır (Lopes ve ark. 2005).

2.6. Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Genel Özellikleri

Tekstil endüstrisi çok büyük miktarda su tüketmekte ve çok büyük miktarda atıksu üretmektedir (Shu ve ark. 2005, Sojka-Ledakowicz ve ark. 1998, Tang ve Chen 2002). Su tüketiminin en çok olduğu üretim aşaması boyama işlemleridir. Üretim

⁵⁾ <http://www.osbuk.org/atıksu.asp>

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, Arslanlı 1995). Bu endüstride yaklaşık 1 kg iplik için tipik olarak 200 L ile 400 L arasında suya ihtiyaç duyulmaktadır (Lopez ve ark. 2005).

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 (Arslanlı 1995, Koyuncu 2003). Boyama ve yıkama işlemlerinden atıksu yüksek konsantrasyonda çözünmemiş katı maddeler (organik ve inorganik) içerir (Tang ve Chen 2002) ve kompleks, polar yapıdaki reaktif boyalardan dolayı yoğun renge sahiptir (Arslanlı 1995, Al-Bastaki 2004).

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 bileşikleri, solventler, ağır metaller ve inorganik tuzlar olup, atıksuda BOİ, toplam çözünmüş madde, alkalinite ve sıcaklık parametreleri yüksektir (Göknil ve ark. 1984, Turk ve Simonic 2005, Shu ve ark. 2005). Çizelge 2.3'de tekstil atıksuyunda olması beklenen parametreler ile bu parametrelerin aralık değerleri verilmiştir.

Tekstil atıksularının çoğu boya üretim proseslerinden oluşmakta ve toksik organik kalıntılar içermektedir. Genellikle bu atıksuların üretim oranı 1-700 l/kg üründür (Kim ve ark. 2005). Ayrıca özellikle boya evlerinden çıkan atıksu karakteristikleri boyanın renk ve türüne bağlı olarak saatten saate ve günden güne yüksek oranda değişebilir. Boya üretimi prosesi atıksularında en temel ilgilenilen parametreler KOİ, tuzluluk ve renktir. Boya bileşikleri genellikle düşük BOİ değeri ve yüksek KOİ/BOİ oranlarına sahiptir, bu durum bu bileşiklerin yapısal kompleksine bağlıdır (Kim ve ark. 2005).

Çizelge 2.3. Tipik Tekstil Atıksu Karakteristikleri

Parametreler	Tekstil Atıksudaki aralık
pH	7,0 ~ 10,5
BOİ (mg/l)	150 ~ 6000
KOİ (mg/l)	350 ~ 12000
Toplam Çözünmüş Katı Madde (mg/l)	1500 ~ 3100
Toplam Askıda Katı Madde (mg/l)	15 ~ 8000
Sülfidler (mg/l)	5 ~ 20
Klorlar (mg/l)	200 ~ 500
Krom (mg/l)	2 ~ 5
Çinko (mg/l)	3 ~ 6
Bakır (mg/l)	2 ~ 6
Yağ ve Gres (mg/l)	10 ~ 50
Sülfatlar (mg/l)	500 ~ 700
Sodyum (mg/l)	400 ~ 600
Potasyum (mg/l)	30 ~ 50
Renk (Pt-Co)	50 ~ 2500

Kaynaklar: Al-Kdasi ve ark., Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes-A review, 2004, 223 s., Qaisar ve ark., Anatomical studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) under the influence of textile wastewater, 2005, 992 s.

Modern boya evleri birkaç proses içermektedir. Bu prosesler temizleme, ağartma, boyama ve finishing (sonlandırma) olarak adlandırılmaktadır. Yaklaşık 1 kg kumaş için 130 l su kullanılmaktadır. Bu nedenle, boyaevi proseslerinde 5000 ton/yıl pamuk kullanıldığında su tüketimi 650.000 m³ ve atıksu deşarjı 559.000 m³ olmaktadır. 2000 yılında ünite maliyetleri temel olarak tüketim (A\$ 520.000), deşarj (A\$ 559.000), toplam (A\$ 1.079.000) hesaplanmıştır (Shu ve ark. 2005).

Temizleme işlemi pamuktan kirliliklerin yok edildiği prosestir. Bu proseste sıcak su, tüm yağların yok edilmesi, pamuk içindeki doğal renk maddelerin tam ayrılması için NaOH veya deterjanlar ile karıştırılmıştır. Temizleme boyunca 1 kg pamuk başına 40 L (20L temizleme+20L durulama) su kullanılmaktadır. Kirliliklerin yok edilmesi ilk ağırlığın %5 ile %7 arasında azalmasıyla sonuçlanmalıdır (Shu ve ark. 2005). Temizleme işleminden oluşan atıksu diğer değerli ürünlerin oluşmasında kaynak

olarak kullanılabilir. Doğal renk maddeler, ya oksitleyiciler ya da NaOCl, H₂O₂ gibi indirgeyici maddeler ile ağartıcı prosesinde parçalanmaktadır. Ağartma boyunca 1 kg pamuk başına 30 L (10L ağartma+20L durulama) su kullanılmaktadır. Ağartma işleminden oluşan atıksu asidik ve nispeten temizdir (Shu ve ark. 2005).

Boyama işlemi için gerekli çeşitli boyalar, tuzlar ve 1 kg pamuk başına 60 L (20 L boyama+ 40 L durulama) su boya makinesine yerleştirilmektedir (Shu ve ark. 2005). Az NaCl (10 g/l) açık renkler, fazla NaCl (80 g/l) koyu renkler için gereklidir. Boyama boyunca boya banyosunun sıcaklığı artar ve pamuk boya banyosuna bazlar eklenir, pH nötrden 11'e yükselir. Tuzlar, eklenen bazlar ve fiske olmamış boyalar içeren atıksu olarak deşarj edilir. Bu atıksu çoğunlukla evsel atıksu ile karıştırılır, biyolojik atıksu arıtma tesisinde arıtılır. Bununla beraber, boyalar yeterli olarak biyolojik parçalanamazlar ve kirlilik olarak çevreye geçerler (Shu ve ark. 2005).

Tekstil endüstrileri, özellikle sonlandırma prosesi içerenler temel su tüketicileri ve önemli kirletici kaynaklarıdır. Tipik tekstil ünitesi büyüklük ve kalite bakımından çeşitli türde atıksu oluşturmaktadır. Tekstil fabrikasındaki boyama ve baskı ünitelerinden çıkan atıksu renk bakımından zengindir, artık reaktif boyalar ve kimyasallar içerir ve çevreye vermeden önce uygun arıtmaya ihtiyaç vardır (Chakraborty ve ark. 2003).

Tekstil endüstrisinde atıksuyun tekrar kullanımı önemlidir. Bu endüstride proses suyu olarak çok fazla miktarda su kullanılmaktadır. Tekstil endüstrisinde en yaygın su kaynağı yeraltı suyudur. Bununla birlikte, yeraltı suyunun kalitesi ve bulunabilirliğinin azalması tekrar kullanımın göz önünde tutulma esnasında sınırlayıcı faktörler olabilmektedir. Tekstil boya banyolarından çıkan atıksu, tuz ile birlikte hidroliz boya içerir (Koyuncu ve ark. 2004). Membran teknolojilerin uygulaması bu endüstri için suyun geri kullanımı yoluyla çok uygun sonuçlar vermiştir. Bununla beraber, uygun ön arıtma yapılmadığında hızlı tıkanma meydana gelmektedir. Boyalar akı düşüşünü ortaya çıkaran kolloidal tıkanma tabakası oluşturabilirler. Boya adsorpsiyonuna neden olan membran tıkanması tersinirdir ve membran temizlenmesiyle kontrol edilebilir. Nanofiltrasyon membranların performansı ya membranın kimyasal bileşiminin değişmesi ya da membran yüzeyin modife edilmesi ile geliştirilebilir (Koyuncu ve ark. 2004).

2.7. Tekstil Atıksularının Arıtım Yöntemleri

Tekstil endüstrisinden çıkan, toksik boya içeren atıksular su kirliliğine önemli katkıda bulunmaktadır. Tekstil yada boya endüstrisinin boyalı atıksularının arıtımı çok ciddi bir problemdir. Genellikle boya içeren atıksuların arıtımı için metotları 2 ana gruba ayırabiliriz (Mozia ve ark. 2005):

- 1- Fiziksel yada kimyasal boya ayırım metotları
- 2- Biyolojik parçalama ile boya ayırımı

Atıksudan rengin giderilmesi için kullanılan bu metotlar; kimyasal koagülasyon, flotasyon, kimyasal oksidasyon, indirgeme, iyon değişimi, adsorpsiyon (aktif karbon, silika jel), nötralizasyon, ozonlama, ağartma, hidrojen peroksit/UV, elektrokimyasal teknikler, biyolojik arıtma, aktif çamur, fotokataliz ve filtrasyondur (Auddy ve ark. 2004, Fersi ve ark. 2005, Chakraborty ve ark. 2003, Akbari ve ark. 2002, Auddy ve ark. 2005, Kim ve ark. 2005, Tang ve Chen 2002, Mozia ve ark. 2005). Bütün bu yöntemlerin her birinin farklı yarar seviyeleri ve sınırlamaları vardır.

Bunlar arasında adsorpsiyon en sık kullanılan metottur. Fakat yavaş bir prostedir ve performansı dengede sınırlıdır (Auddy ve ark. 2004, Chakraborty ve ark. 2003). En yaygın kullanılan adsorban toz aktif karbon (PAC) dur. Bununla birlikte PAC pahalı ve renk giderim verimi boya çeşidine bağlıdır. %100 renk giderimi nadiren elde edilmiştir. Ozonlama yöntemi, yüksek ozon dozlarında boyaları parçalama yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte organik boyayı tamamıyla CO₂ ve suya dönüştüremez. İlk boya renginin artmasıyla renksizleştirme oranının azalması ile sonuçlanır (Tang ve Chen, 2002). Diğer en yaygın kullanılan arıtma sistemlerden birisi aktif çamurdur. Bu sistemlerde atıksuya evsel atıksu karıştırılmasına rağmen rengin gideriminde etkili değildir (Tang ve Chen, 2002). Çünkü önemli miktarda parçalanamayan bileşikler biyolojik arıtma çıkış suyunda hala bulunmaktadır. Çevresel terimde bu bileşikler askıda katı maddeler, KOİ, BOİ, yüksek pH ve çok yoğun renk olarak tanımlanabilmektedir (Fersi ve ark. 2005). Boyar maddelerin bertarafı için kullanılan bir yöntemde kimyasal koagülasyon sonrası çöktürmedir. Bu arıtmada ise büyük miktarda çamur meydana gelmekte ve problem oluşturmaktadır (Ku ve ark. 2005). Ayrıca kimyasal koagülasyon kimyasal oksidasyon yönteminde olduğu gibi büyük miktardaki kimyasalları tüketirler ve yüksek KOİ'ye sahip atıksu oluştururlar (Auddy ve ark.

2005). Heterojen fotokataliz kimyasal boya giderim metotlarından birisidir. Geleneksel atıksu arıtım metotlarına alternatif olarak bu proses son yıllarda popüler olmaya başlamıştır. Büyük fotokatalitik aktivitesinin olması, kararlı olması, çevresel olumsuz etkisinin olmaması ve düşük maliyeti olmasından dolayı TiO_2 en sık kullanılan fotokatalizördür (Mozia ve ark. 2005). Ancak renk giderimi kullanılan tüm bu geleneksel arıtım prosesleri yetersiz bulunmaktadır, çünkü çoğu tekstil boyaları parçalanmaya dayanıklı kompleks aromatik molekül yapıya sahiptirler. Bunlar ışık, oksitleyici maddeler ve aerobik parçalanmaya karşı kararlıdır (Akbari ve ark. 2002, Fersi ve ark. 2005).

2.8. Membran Filtrasyonunun Tekstil Endüstride Kullanım Avantajları ve Dezavantajları

2.7 nolu başlık altında anlatılan nedenlerden dolayı alternatif arıtma prosesine ihtiyaç vardır (Chakraborty ve ark. 2003). Nispeten fiziksel ayırma sistemlerini esas alan basınç etkili membran prosesleri, boya içeren atıksuların arıtımı için daha cazip alternatif olabilmektedir. (Auddy v.a, 2004, Fersi ve ark. 2005, Akbari ve ark. 2002, Kim ve ark. 2005, Auddy ve ark. 2005). Filtrasyon teknikleri yüksek ilk kurulum maliyetine sahip olduğu halde tuz, boya, yardımcı kimyasallar ve suyun tekrar kullanılmasıyla tasarruf sağlamasından dolayı önemli olmakta ve yaygın kullanır hale gelmektedir (Tang ve Chen 2002, Fersi ve ark. 2005, Ku ve ark. 2005, Chakraborty ve ark. 2003, Akbari ve ark. 2002). Suyun tekrar kullanımıyla deşarj edilecek atıksuyun miktarı azalmış olur, su tüketim ve işletim maliyetinin tasarrufu sağlanır (Kim ve ark. 2005). Membran proseslerinde ekstra (ilave) kimyasala gerek yoktur ve bu nedenle ikinci bir kirlilik oluşmamaktadır (Auddy ve ark. 2005). Membran filtrasyon tiplerinin (MF, NF, UF ve RO) tekstil işletmelerinde kullanım amaçları, konsantre ve süzüntüde olması beklenen maddeler ile geri kazanılanlar Çizelge 2.4'de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.4. Membran Filtrasyon Tiplerinin Tekstil Endüstrisinde Kullanımları

Membran filtrasyon Tipleri	Özellikleri	Uygulama Prosesi	Kullanım Amacı	Konsantre	Geri kazanılan Süzüntü
Mikrofiltrasyon (MF)	Partiküler boyutu <0,05 mikron olan askıdaki katı maddeleri tutan düşük basınçlı filtreler	Polyester lifinin dispers boyalar ile boyanması, pamuk, viskoz liflerinin azo, vat ve kükürt boya ile boyanması	Boyama ve yıkama atıksuyundan askıda boya partiküllerinin giderilmesi	Askıda boya partikülleri	Yardımcı kimyasallar Su Enerji
Nanofiltrasyon (NF)	Biyolojik maddeleri, kolloid ve proteinleri tutan orta basınçlı filtreler	Pamuk lifinin reaktif boyalar ile boyanması	Boyama ve yıkama atıksuyundan askıda boya partiküllerinin elektrolitlerin (sodyum klorit/sodyum sülfat) giderilmesi	Askıda boya partikülleri, elektrolitler (sodyum klorit/sodyum sülfat)	Elektrolitler (sodyum klorit/sodyum sülfat) Su Enerji
Ultrafiltrasyon (UF)	Moleküler ağırlığı 100-300 arasında değişen partikülleri tutan filtreler, genelde NF ve/veya RO ile birlikte uygulanır.	Polyester lifinin dispers boyalar ile boyanması, Pamuk lifinin reaktif boyalar ile boyanması	Boyama ve yıkama atıksuyundan askıda boya partiküllerinin giderimi	Askıda boya partikülleri, elektrolitler (sodyum klorit/sodyum sülfat)	Yardımcı kimyasallar Elektrolitler (sodyum klorit/sodyum sülfat) Su Enerji
Ters Osmoz (RO)	Sudaki bütün çözünmüş iyonları tutan yüksek basınçlı filtreler	Asit, metal kompleks, direk, bazik ve reaktif boyalar ile boyama işlemleri	Boyama ve yıkama atıksuyundan iyonların ve daha büyük türlerin giderilmesi	Askıda boya partikülleri, elektrolitler (sodyum klorit/sodyum sülfat)	Elektrolitler (sodyum klorit/sodyum sülfat) Su Enerji

Kaynak: Buckley, C.A., Membrane technology for the treatment of dyehouse effluents. Water Science Technology, 1992, 203-209 s.

Bununla beraber membran proseslerinin kendilerine has, özgü sınırlamaları vardır. Yüksek işletme basıncı gerekmesi ve çözelti şartlarına hassas olması gibi bu proseslerin yararlanılmasında sınırlayıcı etmenlerdir (Ku ve ark. 2005). Tüm membran prosesleri için temel problem işletim boyunca süzüntü akısının azalmasıdır. (Akbari ve ark. 2002, Auddy ve ark. 2004, Chakraborty ve ark. 2003). Akı azalmasındaki en önemli sebepler konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmadır (Manttari ve Nyström 2000).

Konsantrasyon polarizasyonu membran yüzeyine bitişik ince sınır tabakasında çözünen türlerin birikmesiyle konsantre tabakanın oluşumudur (Chakraborty ve ark. 2003, Auddy ve ark. 2005). Konsantrasyon polarizasyonu tersinir olaydır ve filtrasyon şartlarının ayarlanması ile kontrol altına alınabilir (Manttari ve Nyström 2000). Bundan başka, çözünenlerin gözeneklere adsorpsiyonu gibi tamamen/kısmen gözenek tıkanmasından dolayı tersinmez membran tıkanması gözlenir ve buda akı azalmasına katkıda bulunur (Auddy ve ark. 2004). Konsantrasyon polarizasyonu tıkanmayı ilerleten bir olaydır. Böylece, konsantrasyon polarizasyonunun azalması önemli bir şekilde tıkanmada azalır. Filtre edilen çözeltiye göre tıkanma önemsiz olabilir (Manttari ve Nyström 2000). Konsantrasyon polarizasyonu ile tıkanma, yüksek basınç ve konsantrasyonda ve daha düşük çalkantı/ cross-flow hız şiddetlidir. Yüksek boya konsantrasyonu ile çıkış suyu (tipik tekstil çıkış suyu 70–180 ppm boya içerir) adsorpsiyon ile ilk arıtmada yaklaşık boya konsantrasyonu 10-30 ppm'e indirildiği ileri sürülmektedir. Bu çözelti daha sonra nonofiltrasyona maruz kalmasıyla, konsantrasyon polarizasyonun etkileri daha azalacak ve daha yüksek akı yüksek alıkonma ile birlikte elde edilecektir (Auddy, 2004).

Düzenli olarak temizlenip membran tıkanma problemini ortadan kaldırarak filtrelerin tekrar kullanılmasıyla ve en uygun membran sistemin seçilmesiyle maliyetler azaltılabilir. Filtrasyon teknolojilerin uygulanmasında ciddi sınırlama konsantratin yok edilmesidir. Bugünlerde konsantrat buharlaşma, yakma yada okyanusa deşarj ile bertaraf edilmektedir. Bununla birlikte bunların ekonomik ve çevresel açıdan kabul edilemez olduğu ortaya çıkmaktadır. Filtrasyon prosesler su ve tuzun tekrar kullanılmasına izin verir, deşarj edilecek atıksuyun miktarı azalmış olur (Tang ve Chen 2002).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Programı

Deneyleer aşağıda belirtilen sırada gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyin yapılma amacına ve elde edilmesi planlanan sonuçlarına kısaca değinilmiştir.

- Öncelikle iki farklı nanofiltrasyon (NF) membranları (DL ve DK) ile iki farklı sıcaklık için değişik basınçlarda saf su ile çalışılmış ve her bir membran için akı hesabı yapılmıştır. Basınç değerine karşılıık hesap edilen akı değerleri grafik haline getirilmiş, elde edilen eğrinin eğiminden nanofiltrasyon membran geçirimlilik katsayısı (L_p) bulunmuştur.
- DL ve DK NF membranlarıyla, Reactive Orange 72 (RO72) boyar madde ile sentetik olarak hazırlanmış boya çözeltisi ile farklı sıcaklık ve basınçlarda renk giderimi incelenmiştir. Bu deney ile tuz içermeyen boya özeltisinin NF membranlarında renk giderimi üzerine etkisi gözlenmiştir.
- Reactive Orange 72 (RO72) boyar madde ile sentetik olarak hazırlanmış boya çözeltisine iki farklı tuz cinsi ($NaCl$ ve Na_2SO_4) ilave edilmiş, her iki membran tipi üzerindeki etkisi araştırılmış, renk giderme verimi esas alınarak belirlenen tuz cinsi ile diğer deneyler yapılmıştır.
- Belirlenen tuz cinsinin düşük ve yüksek konsantrasyonları için DL membranında yapılan deneylerde renk giderimi esas alınarak optimum tuz konsantrasyonu seçilmiştir.
- Belirlenmiş optimum sıcaklık, tuz cinsi, tuz konsantrasyonu için yüksek boya konsantrasyonunda hazırlanmış çözelti ile DL ve DK membranları için deneyler yapılmıştır. Üstte anlatılan deneyler sabit düşük boya konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir. Bu deney ile boya konsantrasyonu değiştirilmiş ve boya konsantrasyonunun membranların renk giderimi üzerine etkisi araştırılmıştır.
- Son olarak belirlenmiş optimum basınç, sıcaklık, boya konsantrasyonu, tuz cinsi ve konsantrasyonu şartlarında DL ve DK membranları için, giriş ve süzüntünün 1., 2. ve 3. saatlerinde KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) ve toplam

azot parametrelerine bakılmıştır. Diğer deneylerde olduğu gibi boya konsantrasyonu, iletkenlik ve pH değerlerine de bakılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan bütün deneyler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de detaylı olarak görülmektedir. DL membranında 2, 4 ve 5 bar, DK membranında 3, 4 ve 5 bar olmak üzere üç farklı basınçta deneyler yapılmıştır. Düşük sıcaklık için 20 °C’da, yüksek sıcaklık için de 40 °C’da çalışılmıştır. NaCl ve Na₂SO₄ olmak üzere iki farklı tuz cinsi için; yüksek tuz konsantrasyonu 10 g/l, düşük tuz konsantrasyonu 1 g/l seçilmiştir. Reaktif boyar madde olan RO72 için yüksek boya konsantrasyonu 500 mg/l ve 1000 mg/l, düşük boya konsantrasyonu ise 50 mg/l olarak seçilmiştir.

Yukarıda anlatılan deneylerdeki sentetik boya-tuz çözeltileri ile yapılan çalışmalar ve hesaplamalarla ilgili bilgiler, sonraki bölümlerde daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Çizelge 3.1. DL membranı ile yapılan deneyler

DL Membranı						
Deney no	Boya (RO72) kons. (mg/l)	Tuz kons. (g/l)	Tuz Cinsi	Sıcaklık (°C)	Basınç (Bar)	pH
1 ^(*)	-	-	-	20	2	7
2 ^(*)	-	-	-	20	3	7
3 ^(*)	-	-	-	20	4	7
4 ^(*)	-	-	-	20	5	7
5 ^(*)	-	-	-	40	2	7
6 ^(*)	-	-	-	40	3	7
7 ^(*)	-	-	-	40	4	7
8 ^(*)	-	-	-	40	5	7
9	50	-	-	20	2	7
10	50	-	-	20	4	7
11	50	-	-	20	5	7
12	50	-	-	40	2	7
13	50	-	-	40	4	7
14	50	-	-	40	5	7
15	50	10	NaCl	20	2	7
16	50	10	NaCl	20	4	7
17	50	10	NaCl	20	5	7
18	50	10	Na ₂ SO ₄	20	2	7
19	50	10	Na ₂ SO ₄	20	4	7
20	50	10	Na ₂ SO ₄	20	5	7
21	50	10	NaCl	40	2	7
22	50	10	NaCl	40	4	7
23	50	10	NaCl	40	5	7
24	50	10	Na ₂ SO ₄	40	2	7
25	50	10	Na ₂ SO ₄	40	4	7
26	50	10	Na ₂ SO ₄	40	5	7
27	50	1	Na ₂ SO ₄	20	2	7
28	50	1	Na ₂ SO ₄	20	5	7
29	50	1	NaCl	20	2	7
30	50	1	NaCl	20	4	7
31	50	1	NaCl	20	5	7
32	500	10	NaCl	20	2	7
33	500	10	NaCl	20	4	7
34	500	10	NaCl	20	5	7
35	500	10	Na ₂ SO ₄	20	2	7
36	500	10	Na ₂ SO ₄	20	4	7
37	500	10	Na ₂ SO ₄	20	5	7
38	50	1	Na ₂ SO ₄	20	2	10
39	50	1	Na ₂ SO ₄	20	5	10
40	50	1	Na ₂ SO ₄	40	2	10
41	50	1	Na ₂ SO ₄	40	5	10
42	1000	1	Na ₂ SO ₄	20	2	10
43	1000	1	Na ₂ SO ₄	20	5	10
44 ⁽¹⁾	500	10	NaCl	20	5	7

^(*) Saf su ile yapılan deneylerdir.

⁽¹⁾ KOİ ve Toplam Azot parametrelerine bakılan deneydir.

Çizelge 3.2. DK membranı ile yapılan deneyler

DK Membranı						
Deney no	Boya(R.O.72) kons.(mg/l)	Tuz kons.(g/l)	Tuz Cinsi	Sıcaklık (°C)	Basınç (Bar)	pH
45 ^(*)	-	-	-	20	2	7
46 ^(*)	-	-	-	20	3	7
47 ^(*)	-	-	-	20	4	7
48 ^(*)	-	-	-	20	5	7
49 ^(*)	-	-	-	40	2	7
50 ^(*)	-	-	-	40	3	7
51 ^(*)	-	-	-	40	4	7
51 ^(*)	-	-	-	40	5	7
53	50	-	-	20	3	7
54	50	-	-	20	4	7
55	50	-	-	20	5	7
56	50	-	-	40	3	7
57	50	-	-	40	4	7
58	50	-	-	40	5	7
59	50	10	NaCl	20	3	7
60	50	10	NaCl	20	4	7
61	50	10	NaCl	20	5	7
62	50	1	NaCl	20	3	7
63	50	1	NaCl	20	4	7
64	50	1	NaCl	20	5	7
65	50	10	Na ₂ SO ₄	20	3	7
66	50	10	Na ₂ SO ₄	20	4	7
67	50	10	Na ₂ SO ₄	20	5	7
68	50	10	Na ₂ SO ₄	40	3	7
69	50	10	Na ₂ SO ₄	40	4	7
70	50	10	Na ₂ SO ₄	40	5	7
71	500	10	NaCl	20	3	7
72	500	10	NaCl	20	4	7
73 ⁽¹⁾	500	10	NaCl	20	5	7

^(*) Saf su ile yapılan deneylerdir.

⁽¹⁾ KOİ ve Toplam Azot parametrelerine bakılan deneydir.

3.2. Nanofiltrasyon Sistemi ve Membranların Tanıtımı

3.2.1. Nanofiltrasyon Sisteminin Tanıtımı

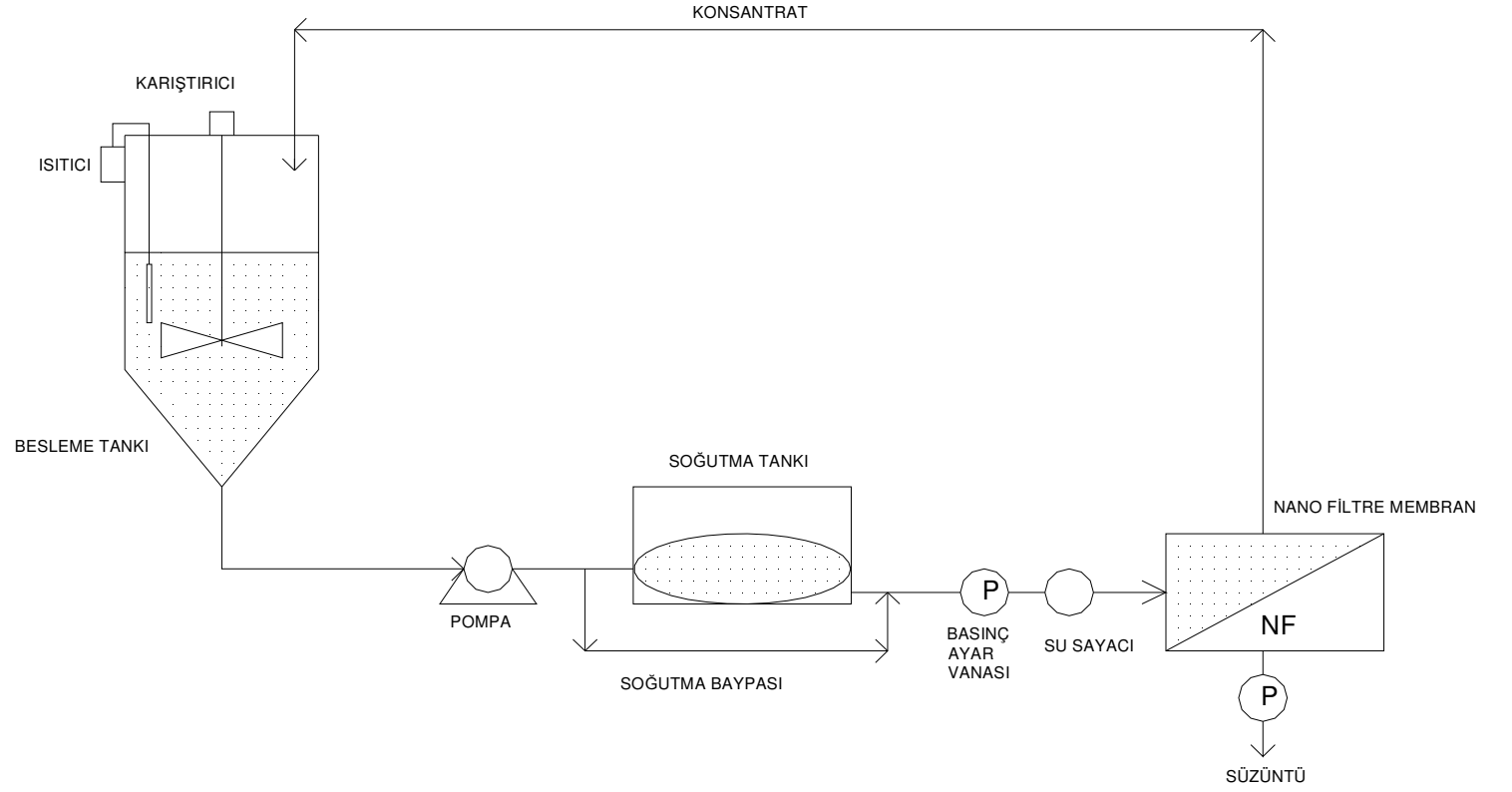
Deneylerin yapılmasında kullanılan laboratuvar ölçekli nanofiltrasyon sistemi GE Osmonic firması tarafından üretilen SEPA CF II Membran Hücre Sistemi model alınarak dizayn edilmiştir (Şekil 3.1).



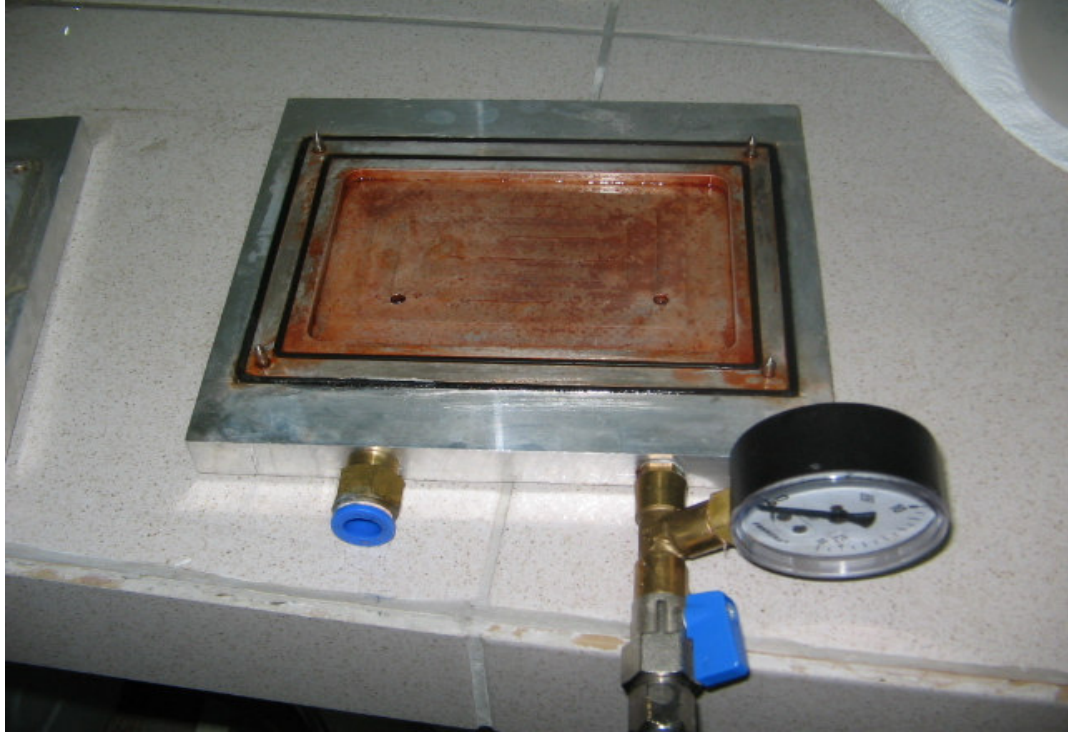
Şekil.3.1. Laboratuvar ölçekli Nanofiltrasyon Sistemi

Nanofiltrasyon sistemi etkin kullanım hacmi 30 litre olan içi paslanmaz çelik ile kaplı besleme tankı, karıştırıcı, termometre kontrollü ısıtıcı, yüksek basınç pompası, soğutma sistemi, membrana girişte ve çıkışta olmak üzere iki adet manometre, su sayacı, membranın yerleştirildiği membran hücresi, membran hücre muhafazası, hidrolik el pompası ünitelerinden meydana gelmiştir (Şekil 3.2).

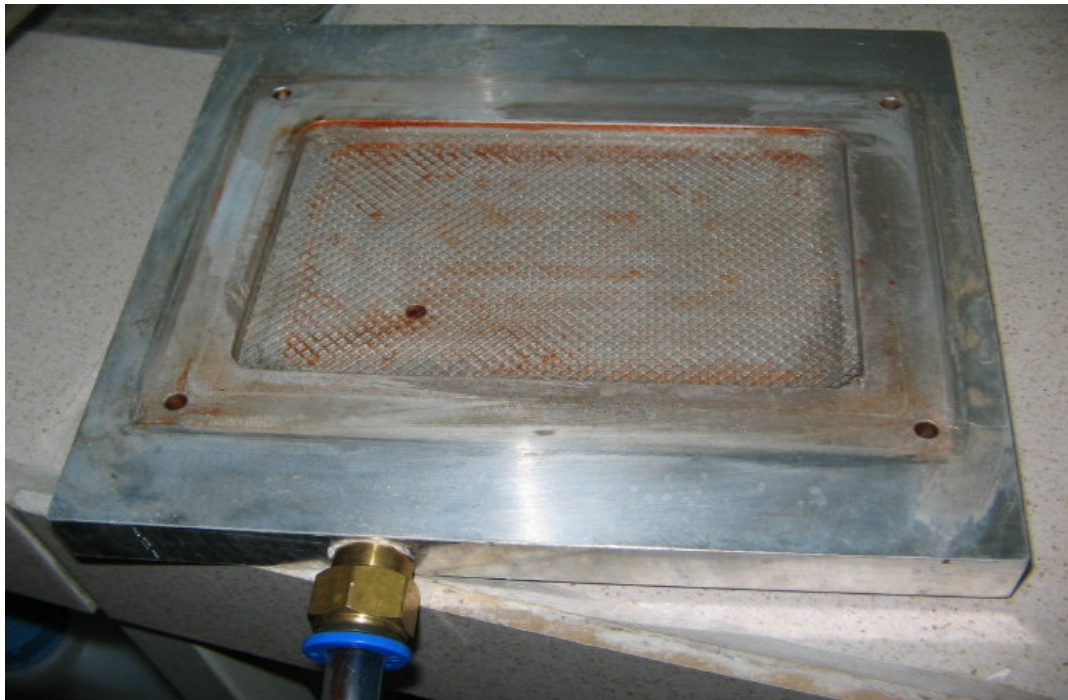
Membran hücresinin genişliği 19.7 cm, uzunluğu 21.5 cm, yüksekliği 4 cm ve iç yüksekliği 0,6 cm.'dir. Membran hücre muhafazasının genişliği 20 cm, uzunluğu 30 cm ve yüksekliği 18 cm.'dir. Kullanılacak nanofiltrasyon membranları membran hücresinin, membran hücresi de membran hücre muhafazasının içine yerleştirilmektedir (Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6). Membran hücre muhafazasına bağlı olarak



Şekil 3.2. Membran Filtrasyon Sistemi Akım Şeması



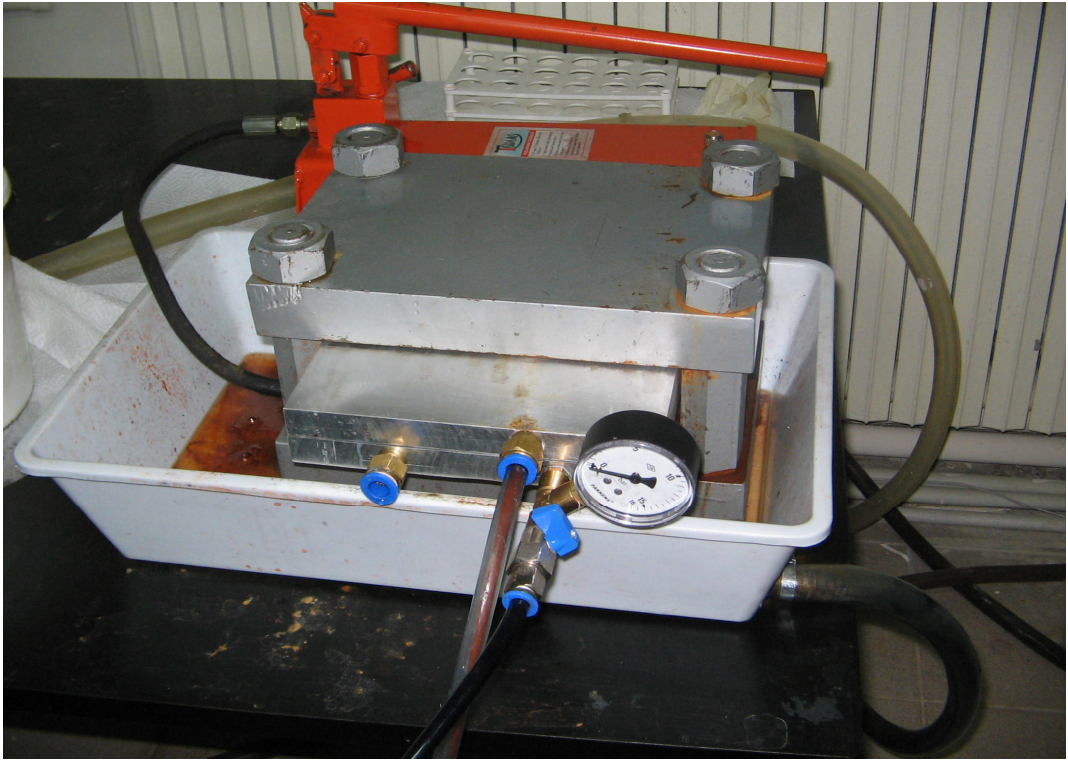
Şekil 3.3. Membran Hücresi (Üst bölüm)



Şekil 3.4. Membran Hücresi (Alt bölüm)



Şekil 3.5. Membran HÜcre Muhafazası



Şekil 3.6. Membran hücrenin membran hücre muhafazasının içine yerleştirilmesi

bulunan Tümas marka hidrolik el pompası vasıtasıyla 350 kg/cm^2 'lik basınç ile membran hücresi sıkıştırılmakta, uygulanan besleme akımındaki basınca dayanıklı olmasının sağlanmasıyla olası su kaçakları engellenmiştir.

Besleme suyu tankı etkin kullanım hacmi 30 litre ve dairesel, içi paslanmaz çelik ile kaplı olarak imal edilmiştir (Şekil 3.7). Besleme suyu tankının içerisine, hazırlanan boya çözeltisinde çökelmelerin olmasını önlemek amacıyla, karıştırıcı monte edilmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta çalışılacak deneyler için besleme tankındaki çözeltinin daha hızlı ısınmasını sağlayacak termometre kontrollü ısıtıcı yerleştirilmiştir.

Besleme suyu tankındaki boya çözeltisini soğutma sistemine ileten santrifüj pompadır. Pompanın markası LOWARA (Montechio Maggiore -VI- İtalya) olup, kapasitesi 50-150 l/dk debi ile 57–38 m yüksekliktir.

Besleme suyu tankı çıkışında, boya çözeltisinin sıcaklığını membrana gelmeden önce sabit tutmak için, soğutma sistemi mevcuttur (Şekil 3.8). Soğutma sistemi içerisinde yaklaşık 15–20 litre hacminde silindirik paslanmaz tank vardır. Bu tankın içerisinde her tarafı kaplayacak şekilde kıvrılmış, içinde soğutma gazı bulunan ince borularla kaplıdır. Bu soğutucunun içerisindeki tankın çıkışına ısı sensörü yerleştirilmiş ve bu da membrana giren boya çözeltisinin sıcaklığını istenilen minimum ve maksimum sıcaklık arasında, soğutucunun devreye girme ve çıkmasıyla, sabit tutulmasını sağlamıştır. Bu soğutma sistemi sıcaklığın sabit tutulması için çok iyi tasarlanması ile birlikte, nanofiltrasyon sisteminin işletilmesi sırasında bazı sorunlara neden olmuştur. Bu sorunlardan ilki; soğutma sistemi içindeki tankta boyanın çökmesi ve nanofiltrasyon sistemi temizleme işleminin çok uzun sürmesidir. Diğer sorun yaratan özellik ise; soğutma sistemi içindeki tankın, nanofiltrasyon sisteminin basınçlı ortamda belirli süre çalışmasından sonra, tank malzemesinin delinmesi veya kaynak yerinin aralanmasıdır. Bu problemler deneysel çalışma süresinin uzamasına neden olmuştur.



Şekil. 3.7. Besleme Tankı



Şekil 3.8. Soğutma Sistemi

Soğutucudan çıkan boya çözeltisi membran hücreğine girmeden önce su sayacı ile su miktarı m^3 olarak ölçülebilmektedir. İşletim basıncı manüel ayarlanacak şekilde tasarlanmıştır. Basınç ayar vanası açık konuma getirilmiş, sistem çalıştırılmış, daha sonra istenilen işletim basıncına vana kısılarak getirilmiştir. Deneye başlamadan önce, basıncın kararlı duruma gelmesi için, bir süre beklenilmiştir.

Besleme tankındaki boya çözeltisi pompa ile basınçlandırılıp soğutucuya iletdikten sonra membran hücreğine girmiştir. Membran hücreğinde akım, membrandan geçen süzüntü akımı ve membrandan geçemeyen konsantre akımı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Konsantre akımı besleme tankına geri devrettirilmiş, süzüntü akımı akı hesabı için gerekli süzüntü hacminin bulunması için ayrı bir mezürde toplanmıştır. Hacmi ve konsantrasyonu ölçülmüş süzüntü örneği, tank içindeki boya çözeltisinin kimyasal özelliğinin sabit tutulabilmesi için, besleme tankına geri verilmiştir. Konsantrat ve süzüntünün tanka geri devrettirilmesinin diğer bir nedeni tanktaki hacmin azalmaması ve kimyasal özelliğinin sabit tutulmasıdır.

3.2.2. Nanofiltre (NF) Membranlarının Tanıtımı

Boya çözeltisindeki boyanın ayrılması için OSMONICS marka Sepa CF TF (Thin Film) NF DK ve DL membranları kullanılmıştır (Çizelge 3.3). Bu membranların her ikisinin de en üst tabakası poliamid (PA) ince film kompozit yapıda nanofiltre membranlarıdır. İki membran arasındaki farkın DL membranının DK membranına oranla, daha yüksek akışkan geçirmesi ve daha düşük tutunma oranına sahip olmasıyla, biraz daha gevşek yapıda olmasıdır. Bu fark yapılan deneylerde açıkça görülmüştür. Bu durumda DK membranının MWCO değeri DL membranına göre biraz daha düşüktür.

Çizelge 3.3. Membranların teknik özellikleri⁶⁾

Membran Adı	DK	DL
Sınıfı	NF	NF
Polimer türü	TF	TF
MgSO ₄ Geri Dönüş Oranı (%)	98	96
pH aralığı (25 °C)	2–11	2–11
Tipik Akı/basınç (GFD ^(a) /PSI ^(b))	22/100	31/100
Ebatlar	19,1 × 14 cm	19,1 × 14 cm
Moleküler kesme çapı (MWCO)	150–300	150–300

^(a) Galon/ft²-gün \approx 1,66 L/ m²-sa

^(b) Pound/Inç² \approx 0,0689 bar

3.3. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Deneylerin yapılmasında yukarıda anlatılan nanofiltrasyon sistemi ve nanofiltre membranlar dışında kullanılan diğer cihaz ve aletler şunlardır:

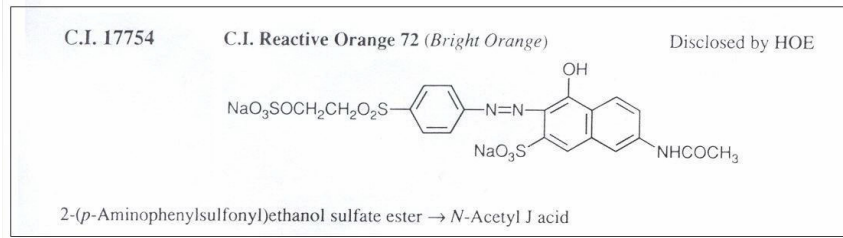
- *Ultraviyole Spektrofotometre* (SHIMADZU marka, UV–1601 model)
- *pH metre* (WTW marka, pH 526 model, 0,01 hassasiyette)
- *İletkenlik ölçüm cihazı* (WTW marka, LF 538 model, 0,1µs/cm hassasiyette)
- *Hassas terazi* (SARTORIUS marka, BP 310 S model, 0,001 g hassasiyette)
- Toplam Azot deneyinde kullanılan *yakma ünitesi* (FOSS marka, Digestor 2006 model)
- Toplam azot deneyinde kullanılan *buharlı damıtma cihazı* (FOSS marka, 2200 Kjeltac Auto Distillation model)
- KOİ deneyinde kullanılan *geri döndürme (reflux) düzeneği* (24/40 buzlu cam boyunlu, 250 ml'lik balon ve 24/40 buzlu cam boğumlu 300 mm boru ve işlem için en az 1,4 W/cm² ısıtma yüzeyli elektrik ısıtma plakasından oluşan düzenektir.)

⁶⁾ www.osmolabstore.com

3.4. Deneyslerde Kullanılan Kimyasal Maddeler, Çözeltiler ve Hesaplanmaları

3.4.1. Kalibrasyon Doğrusunun Belirlenmesi

Tekstil endüstrisinde en fazla kullanılan boyar madde çeşitlerinden biri olan reaktif boyarmadde ile çalışılmıştır. Kapalı formülü $C_{20}H_{17}N_3Na_2O_{11}S_3$ ve moleküler ağırlığı 617,54 g/mol olan renk indeksine (C.I) göre Reactive Orange 72 (RO72) olarak adlandırılan boyarmadde kullanılmıştır (Şekil 3.9) (Setaş Kimya).



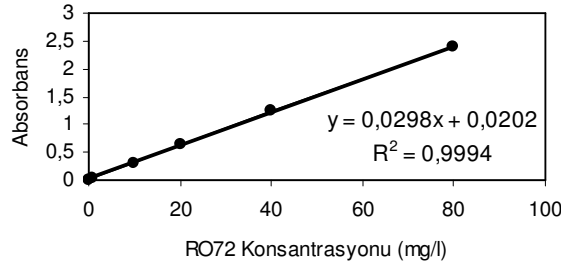
Şekil 3.9. C.I. Reactive Orange 72 boyarmaddesinin açık formülü (Colour Index)

Deneyslere başlamadan önce, ultraviyole (UV) spektrofotometrede 200–800 nm dalga boyu aralığında RO72 boyarmaddenin maksimum dalga boyu tespit edilmiş ve 478 nm olarak bulunmuştur. Daha sonra 478 nm dalga boyunda konsantrasyonu belli olan 5 farklı çözeltinin UV spektrofotometrede absorbansı ölçülmüştür (Çizelge 3.4). Bulunan bu değerlerden kalibrasyon doğrusu olarak adlandırılan konsantrasyon-absorbans grafiği çizilmiştir (Şekil 3.10). RO72 boyarmaddenin konsantrasyonu, UV spektrofotometrede 478 nm dalga boyunda okunan absorbans değerinin kalibrasyon doğrusunda elde edilmiş denklemde yerine konularak hesap edilmiştir. Elde edilen denklem aşağıdadır:

$$\text{RO72 Konsantrasyonu (mg/l)} = [\text{Absorbans} - 0,0202] / 0,0298$$

Çizelge 3.4. RO72 konsantrasyon ile absorbands değerleri (478 nm dalga boyu)

RO72 Konsantrasyonu (mg/l)	Absorbans
0	0
1	0,034
10	0,320
20	0,646
40	1,233
80	2,382



Şekil 3.10. RO72 kalibrasyon doğrusu

3.4.2. Sentetik Çözeltinin Hazırlanmasında Kullanılan Tuzlar ve Konsantrasyonlarının Hesaplanması

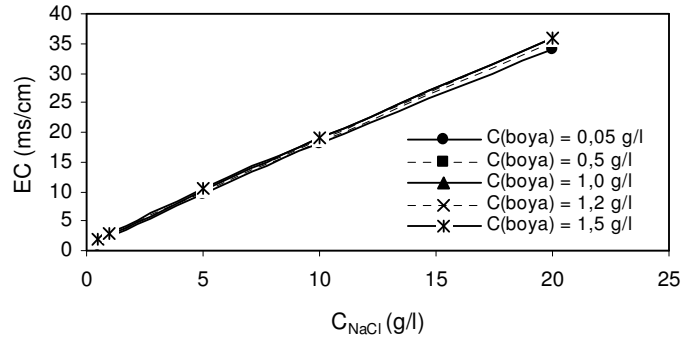
3.4.2.1. NaCl Tuzu

Nanofiltre membranların boya gideriminde tuz cinsi ve konsantrasyonunun araştırılması amacıyla yapılmış deneylerde NaCl tuzu kullanılmıştır (MERCK, Ürün no: 1.06406, MA: 58,44 g/mol).

Sentetik çözeltinin hazırlanması aşamasında, bilinmesi gereken çözelti içindeki tuz konsantrasyonu, Koyuncu (2001)'nin doktora tezinde iletkenlik ve boya konsantrasyonu cinsinden belirlediği yöntem ile hesap edilmiştir. Bu yöntemin uygulanması için öncelikle 0,5; 1; 5; 10 ve 20 g/l NaCl konsantrasyonlarının her biri için 0,05; 0,5; 1; 1,2; 1,5 g/l konsantrasyonlarında boya içeren tuz-boya çözeltileri hazırlanmıştır. Ek-1'de bu çözeltilerin hazırlanması tablo şeklinde detaylı olarak verilmiştir. Boya ve tuz konsantrasyonlarının aralığı deneylerde kullanılacak konsantrasyon aralığında seçilmiştir. Boya ve tuz konsantrasyonları bilinen her çözeltinin iletkenliği ölçülmüştür. Bu verilerden yola çıkarak aynı boya

konsantrasyonuna sahip fakat farklı NaCl konsantrasyonundaki çözeltilerin iletkenlik değerleri ile iletkenlik-NaCl konsantrasyonu grafiği çizilmiştir (Şekil 3.11). Çizilen her bir eğri için $y = ax + b$ denklemi çıkartılmış ve düzenlenerek aşağıdaki forma getirilmiştir:

$$C_{NaCl} = \frac{EC - b}{a} \quad (3.1)$$



Şekil 3.11. Değişik boya konsantrasyonları için iletkenlik-NaCl konsantrasyonu değerleri

Her boya konsantrasyonundaki eğri için bulunan a ve b değerleri Çizelge 3.5'de görülmektedir. Görüldüğü üzere a ve b sabitleri boya konsantrasyonuna bağlı olarak değişmiştir. Bir sonraki adımda da a ve b değerlerine karşılık boya konsantrasyonu grafiği çizilmiştir (Şekil 3.12). Bu grafiklerden a sayısı 2 dereceli polinom, b sayısı doğrusal olarak boya konsantrasyonuna bağlı olarak değişmiştir. Bu grafiklerden elde edilen denklemler düzenlenerek aşağıdaki eşitlikler bulunmuştur:

$$a = -0,0643 (C_{Boya})^2 + 0,1305 C_{Boya} + 1,6845 \quad R^2 = 0,995 \quad (3.2)$$

$$b = 0,4963 C_{Boya} + 0,5573 \quad R^2 = 0,961 \quad (3.3)$$

Denklem 3.2 ve 3.3'ün, denklem 3.1'de yerine yazılmasıyla NaCl konsantrasyonu boyar madde konsantrasyonu ve iletkenlik (EC) cinsinden ifade edilmiştir:

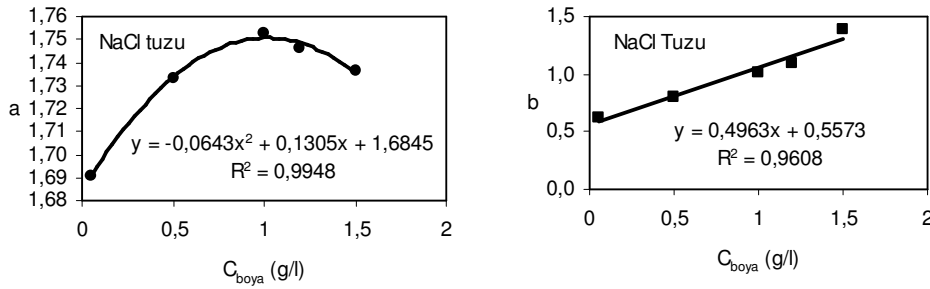
$$C_{NaCl} (g/l) = \frac{EC - (0,4963 C_{boya} + 0,5573)}{-0,0643 (C_{boya})^2 + 0,1305 C_{boya} + 1,6845} \quad (3.6)$$

Bu denklemde, EC (μ s/cm), C_{boya} (g/l) cinsindedir.

Deneylerde, çözeltinin ölçülen boya konsantrasyonu ve iletkenlik değeri denklem 3.6'da yerine yazılarak NaCl konsantrasyonu hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5. İletkenlik ve NaCl tuzu için a ve b katsayıları

Boya kons (g/l)	A	b	R ²
0,05	1,691	0,612	0,999
0,50	1,733	0,803	0,999
1,00	1,753	1,011	0,999
1,20	1,746	1,088	1,000
1,50	1,736	1,382	0,999

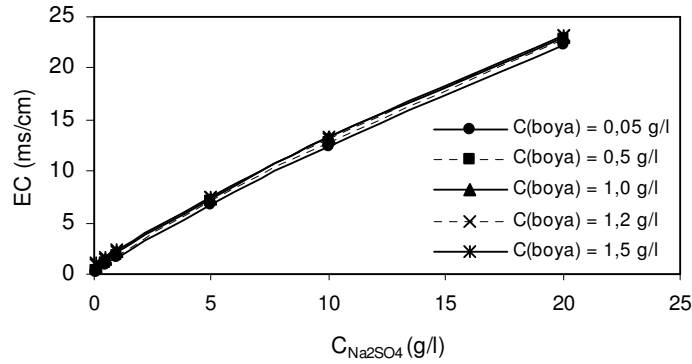


Şekil 3.12. Boya konsantrasyonu bağlı olarak a ve b katsayılarının değişimi (NaCl)

3.4.2.2. Na₂SO₄ Tuzu

Deneylerde Na₂SO₄ tuzu kullanılmıştır (MERCK, Ürün no: 1.06603, MA: 142,04 g/mol). Na₂SO₄ konsantrasyonunun belirlenmesi için NaCl konsantrasyonu hesabı yönteminin aynısı uygulanmıştır.

Ek-2'de Na₂SO₄-boya çözeltilerinin nasıl hazırlandığı tablo şeklinde detaylı olarak açıklanmıştır. Aynı boya konsantrasyonuna sahip, farklı Na₂SO₄ konsantrasyonundaki çözeltilerin iletkenlik değerleri ile iletkenlik-Na₂SO₄ konsantrasyonu grafiği Şekil.3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Değişik boya konsantrasyonları için iletkenlik- Na_2SO_4 konsantrasyonu değerleri

Her boya konsantrasyonundaki eğri için bulunan a ve b değerlerine (Çizelge 3.6) karşılık çizilen boya konsantrasyonu grafiği Şekil 3.14 'de gösterilmiştir. Bu grafiklerden a sayısı 2 dereceli polinom, b sayısı doğrusal olarak boya konsantrasyonuna bağlı olarak değişmiştir. Bu grafiklerden elde edilen denklemler düzenlenerek aşağıdaki eşitlikler bulunmuştur:

$$a = -0,0324 (C_{Boya})^2 + 0,0487 C_{Boya} + 1,1086 \quad R^2 = 0,900 \quad (3.7)$$

$$b = 0,5665 C_{Boya} + 0,5638 \quad R^2 = 0,998 \quad (3.8)$$

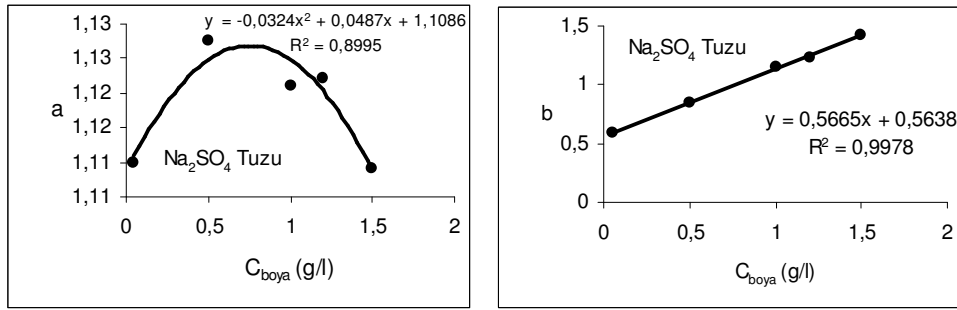
Denklem 3.7 ve 3.8'ün, denklem 3.1'de yerine yazılmasıyla Na_2SO_4 konsantrasyonu boyar madde konsantrasyonu ve iletkenlik (EC) cinsinden ifade edilmiştir:

$$C_{Na_2SO_4} (g/l) = \frac{EC - (0,5665 \cdot C_{boya} + 0,5638)}{-0,0324(C_{boya})^2 + 0,0487C_{boya} + 1,1086} \quad (3.9)$$

Deneylerde, çözeltinin ölçülen boya konsantrasyonu ve iletkenlik değeri denklem 3.9'da yerine yazılarak Na_2SO_4 konsantrasyonu hesaplanmıştır.

Çizelge 3.6. İletkenlik ve Na₂SO₄ tuzu için a ve b katsayıları

Boya kons (g/l)	a	b	R ²
0,05	1,110	0,591	0,996
0,50	1,128	0,843	0,996
1,00	1,121	1,153	0,995
1,20	1,122	1,223	0,997
1,50	1,109	1,416	0,996

Şekil 3.14. Boya konsantrasyonu bağlı olarak a ve b katsayılarının değişimi (Na₂SO₄)

3.4.3. KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) Deneyinde Kullanılan Çözeltiler

Open Reflux Metoduna göre yapılmış Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) deneyinde kullanılan reaktifler şunlardır (Standart Methods, 1998);

Standart potasyum dikromat (K₂Cr₂O₇) çözeltisi: 0.04167 M (0.25 N)

Sülfürik asit reaktifi: 5,5 gram gümüş sülfat (Ag₂SO₄), 544 ml (1 kg) derişik sülfürik asit (H₂SO₄) içerisinde çözülerek hazırlanır.

Feroin indikatör çözeltisi: 1,485 gram 1,10-fenantrolin monohidrat (C₁₂H₈N₂.H₂O) ve 0,695 gram demir-2-sülfat heptahidrat (FeSO₄.7H₂O) distile su içinde çözülür ve 100 ml'ye seyreltilir.

Standart demir-2-amonyum sülfat (FAS) çözeltisi: yaklaşık 0,1 M

Civa-2-sülfat (HgSO₄): Kristal veya toz halinde

Potasyum hidrojen fitalat (KHP) standardı

3.4.4. Toplam Azot Deneyinde Kullanılan Çözeltiler

DIN 38 409–28 metot referans alınarak geliştirilmiş metoda göre uygulanmış Toplam Azot deneyinde kullanılan reaktifler şunlardır;

Sülfürik asit (H₂SO₄): 0,4 M (yaklaşık olarak 4 mol/l)

Devarda alaşımı: toz halinde

Potasyum sülfat (K₂SO₄)

Glisin + nitrat test çözeltisi: 25 mg N/l glisin çözeltisi ve 25 mg N/l nitrat çözeltisinin eşit hacimlerde karıştırılmasıyla hazırlanır. (25 mg N/l)

Borik asit çözeltisi (%4'lük, indikatörlü): 40 gram borik asit (H₃BO₃), 500–600 ml sıcak distile su içinde çözülür ve 900 ml'ye sıcak distile su ile seyreltilir. 10 ml bromokrezol yeşili çözeltisi ve 7 ml metil kırmızısı çözeltisi eklenir, 100 ml'ye distile su ile seyreltilir.

2-Oktanol (C₈H₁₈O): Köpük önleyici olarak kullanılır.

3.5. Deneylerde Ölçülen Parametreler

Nanofiltrasyon sisteminin çalıştırılıp deneylerin yapılması sırasında; tank, konsantrat ve süzüntü örneklerde iletkenlik, pH, absorbans ölçümü ile süzüntü hacmi düzenli olarak izlenmiştir. Ölçülen bu değerler kullanılarak aşağıda belirtilen parametreler hesaplanmıştır;

- *Akı:* Membrandan çıkan süzüntü hacminin ölçülmesiyle akı hesabı yapılmıştır. Belirli zaman aralığında (15 dk. veya 30 dk.) süzüntü mezürde toplanmış ve toplanan hacim ölçülmüştür. Akı şu denkleme göre hesaplanmıştır:

$$Akı(l/m^2.sa) = \frac{V_{permeat}(l)}{A_{membran}(m^2) \times t(sa)}$$

$A_{membran}$ çözeltinin geçtiği etkin membran alanıdır ve değeri 0,015 m²'dir.

- *RO72 Boya konsantrasyonu:* Çözeltinin spektrofotometrede absorbansının ölçülmesiyle boya konsantrasyonu hesaplanmıştır. Detayı 3.4.1 bölüm başlığı altında verilmiştir.
- *NaCl ve Na₂SO₄ konsantrasyonu:* EC ve boya konsantrasyonu ile denklem 3.6 ve 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır. Bölüm 3.4.2.1 ve 3.4.2.2 başlıkları altında ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Bu izlenen parametrelerden başka DL ve DK membranları için belirlenen optimum koşullarda ayrıca KOİ ve toplam azot parametrelerine bakılmıştır. Giriş (tank), süzütünün 1, 2 ve 3. saatlerinde KOİ parametresi, giriş ve sadece süzütünün 3. saatinde de toplam azot parametresine bakılmıştır.

3.6. Deneylerin Yapılma ve Örnek Alma Prosedürü

Her bir deney aşağıda belirtilen sıra ile yapılmıştır;

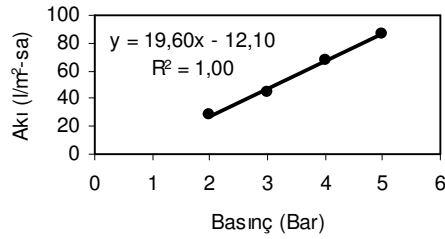
1. Hiç kullanılmamış, ambalajından yeni çıkartılmış nanofiltrasyon membranlardan deneylerde kullanılan en yüksek işletim basıncı olan 5 bar'dan daha yüksek basınçta (5,5 bar) 2,5–3 saat boyunca saf su geçirilmiştir. Bu işleme *Membran Şartlandırılması (Membran Compaction)* işlemi denilmektedir ve amacı membran gözeneklerinin açılmasını sağlamaktır. Böylelikle membranlardan daha yüksek performans elde edilebilmektedir.
2. Çalışılacak boya ve tuz konsantrasyonunda çözelti hazırlanmıştır.
3. Hazırlanan tanktaki çözelti membrana verilmeden önce, sistemde her noktada çözeltinin aynı özellik göstermesi için sistem geri devir ettirilerek 1–1,5 saat çalıştırılmıştır. Bu süre içerisinde çözeltinin boya ve tuz konsantrasyonu izlenerek kararlı hale gelip gelmediği kontrol edilmiştir. Bu geri devir sayesinde çalışılacak işletim sıcaklığı da kararlı hale getirilmiştir.
4. Çözelti ve sıcaklığın kararlı hale ulaşmasından sonra membran sisteme bağlanmıştır. Çalışılacak işletim basıncı manometre yardımıyla ayarlandıktan sonra kısa bir süre basıncın kararlı hale gelmesi için beklenilmiştir.

5. Basıncın kararlı hale ulaşmasıyla zaman not edilerek deneye başlanmıştır. Deneye başlandığı anda membrandan geçen süzüntü mezürde toplanmaya başlanmıştır. Ayrıca tank ve konsantrattan örnekler alınmış, ölçülecek parametrelere bakılmıştır.
6. 15 veya 30 dk. sonunda mezürde toplanan süzüntü hacmi ölçülmüş ve izlenen parametrelerinin ölçümü yapılmıştır. Tekrar süzüntü alındığı anda tank ve konsantrat örneği de alınmış ve ölçülecek parametrelere bakılmıştır.
7. Örnek alma işlemi (madde.6) 2,5–3 saat boyunca tekrarlanmıştır.
8. Bu süre sonunda yapılan deney bitmiştir ve nanofiltrasyon sistemi kapatılmıştır.
9. Bütün deneyler için bu işlemler tekrarlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Akı Değerleri

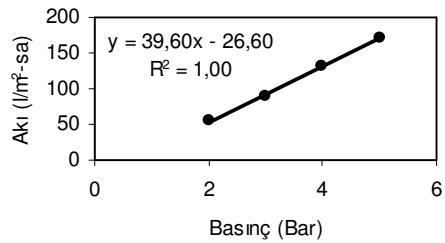
Öncelikle DL ve DK membranlarından saf su geçirilerek akıları ve geçirimsizlik katsayıları hesaplanmıştır. 20 °C ve 40 °C sıcaklıkta, DL membranı 2, 3, 4 ve 5 barlarda süzüntü akısı sabitlenene kadar (yaklaşık 2,5 saat) saf su ile çalıştırılmış ve her basınç için süzüntü akı değerleri ölçülmüştür. Basınlara karşılık gelen akı değerlerinin grafiği çizilmiş ve bu grafiğin eğiminden geçirimsizlik katsayısı (Lp) değeri bulunmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. DL membranı Basınç-Akı grafiği (20 °C)

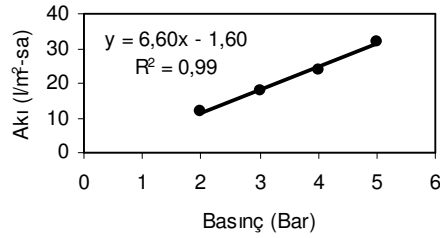
Basınç-akı grafiğinin (Şekil 4.1) eğimi lineer regresyonla 19,60 ($R^2 = 1,00$) olarak hesap edilmiştir. Bu durumda DL membranının 20 °C sıcaklıktaki Lp (geçirimsizlik katsayısı) değeri 19,60 l/m²-saat-bar olarak hesaplanmıştır.

DL membranında saf su ile akı hesabı ve Lp değeri 40 °C sıcaklık için de hesaplanmıştır. Bulunan değerlere göre; 40 °C sıcaklıktaki akı değerleri 20 °C sıcaklıkta bulunan akı değerlerinin iki katı 39,60 l/m²-saat-bar olarak bulunmuştur (Şekil 4.2). Bu durumda sıcaklıkla Lp değerinin doğru oranda arttığı görülmüştür.



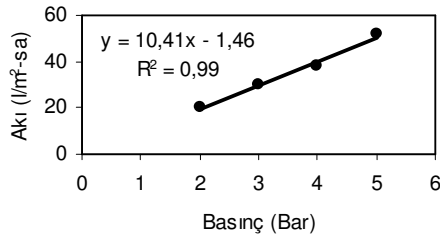
Şekil 4.2. DL membranı Basınç-Akı grafiği (40 °C)

DK membranında 20 °C sıcaklıkta 2, 3, 4 ve 5 barlarda süzüntü akısı sabitlenene kadar (yaklaşık 2,5 saat) saf su ile çalıştırılmış ve her basınç için süzüntü akı değerleri ölçülmüştür. Basınçlara karşılık gelen akı değerlerinin grafiği çizilmiş ve bu grafiğin eğiminden L_p değeri bulunmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.3. DK membranı Basınç-Akı grafiği (20 °C)

DK membranında saf su ile 40 °C sıcaklık için yapılan deneylerde bulunan akı değerleriyle çizilen grafiğin eğimi 10,41 olarak bulunmuştur (Şekil 4.4). DK membranı için 40 °C sıcaklıkta ki deneyde bulunan L_p değeri 20 °C sıcaklıktaki değerden 1,6 kat fazla çıkmıştır. DL membranında ki gibi 2 kat artış bu membranda görülmemiştir.



Şekil 4.4. DK membranı Basınç-Akı grafiği (40 °C)

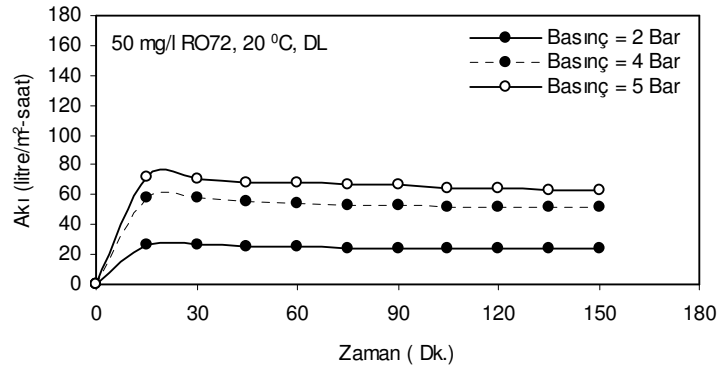
Çizelge 4.1'de DL ve DK membranlarının saf su ile yapılan çalışma sonucunda elde edilen akı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. DL membranının akı değerleri 20 °C sıcaklıkta $2,61 \pm 0,20$ kat (ortalama \pm standart sapma), 40 °C sıcaklıkta $3,12 \pm 0,34$ (ortalama \pm standart sapma) kat DK membranından fazla çıkmıştır. Basınç artışıyla $DL_{akı}/DK_{akı}$ oranında da artış görülmüştür.

Çizelge 4.1. DL ve DK Membranlarının Akı Karşılaştırılması (20 °C ve 40 °C)

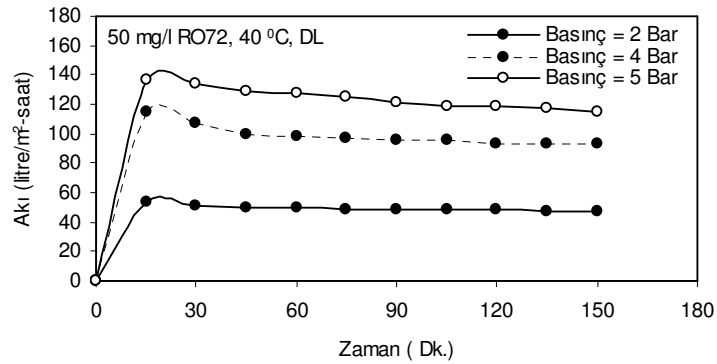
Basınç (bar)	20 °C			40 °C		
	DL _{akı} (l/m ² -sa)	DK _{akı} (l/m ² -sa)	DL _{akı} / DK _{akı}	DL _{akı} (l/m ² -sa)	DK _{akı} (l/m ² -sa)	DL _{akı} / DK _{akı}
2	28	12	2,33	54	20	2,70
3	47	18	2,61	90	30	3,00
4	67	24	2,79	132	38	3,47
5	87	32	2,72	172	52	3,31

4.1.1. DL Membranı için Zaman ile Akı Değişimi

İlk olarak, düşük boya konsantrasyonunda (50 mg/l) hazırlanan çözelti ile deneyler yapılmıştır. Sistemin 2,5 saat çalıştırılması sırasında 15 dk.'da bir ölçülen akı değerleri 2, 4 ve 5 bar için Şekil 4.5 (20 °C) ve Şekil 4.6'da (40 °C) gösterilmiştir.



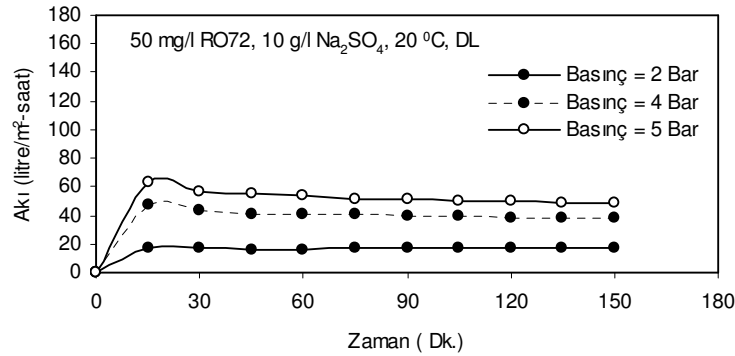
Şekil 4.5. 50 mg/l RO72, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)



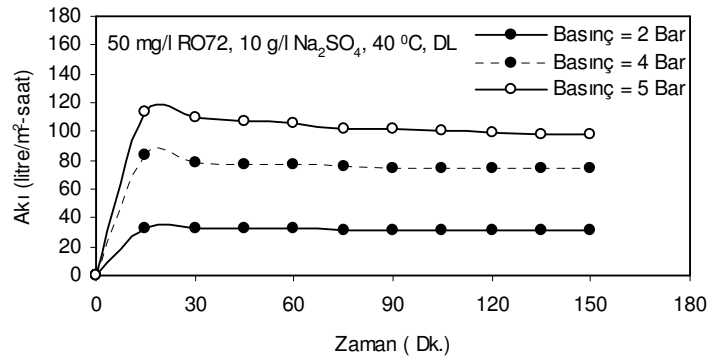
Şekil 4.6. 50 mg/l RO72, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C)

Akı değerleri basıncın artmasıyla artmıştır. Yüksek basınçta membrana uygulanan kuvvet yüksek olduğundan birim alanda birim zamanda geçen su hacmi de fazla olmuştur. Sıcaklık artışıyla çözünürlüğe paralel olarak akı değerleri artmıştır (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

Düşük boya konsantrasyonu (50 mg/l) ve yüksek Na_2SO_4 tuz konsantrasyonunda (10 g/l) hazırlanan çözeltide basınç ve sıcaklıkla beraber akı değerleri de artmıştır (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Na_2SO_4 tuzu içeren boyalı çözelti ile yapılan çalışma sonucunda elde edilen akı değerleri, tuzsuz çözeltiden elde edilen akı değerlerinden daha düşüktür. Tuz iyonlarının membran gözeneklerinin tıkanmasını kolaylaştırmasından dolayı daha düşük akı değerleri elde edilmiştir.



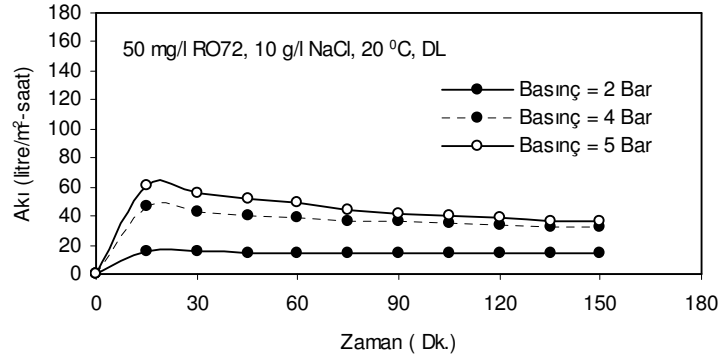
Şekil 4.7. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)



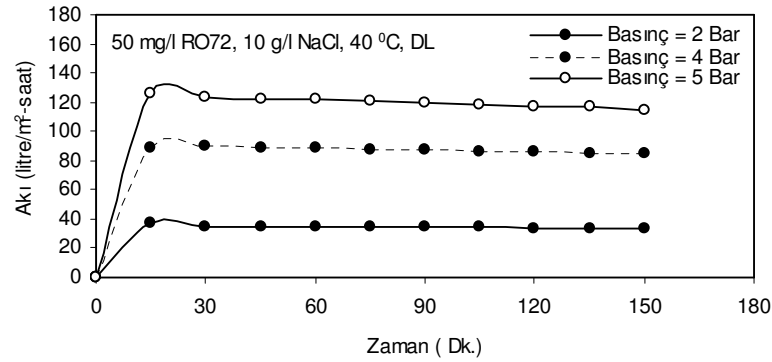
Şekil 4.8. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya konsantrasyonu (50 mg/l) ve yüksek NaCl (10 g/l) tuz konsantrasyonunda hazırlanan çözeltide de basınç ve sıcaklıkla beraber akı değerleri de

artmıştır (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). Boya içeren tuzlu ($\text{NaCl-Na}_2\text{SO}_4$) çözeltilerde elde edilen akı değerleri, tuzsuz çözeltiyle yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen akı değerlerinden daha düşük akı değerleri bulunmuştur. Na_2SO_4 ve NaCl tuzları karşılaştırıldığında ise benzer akı değerleri elde edilmiştir.

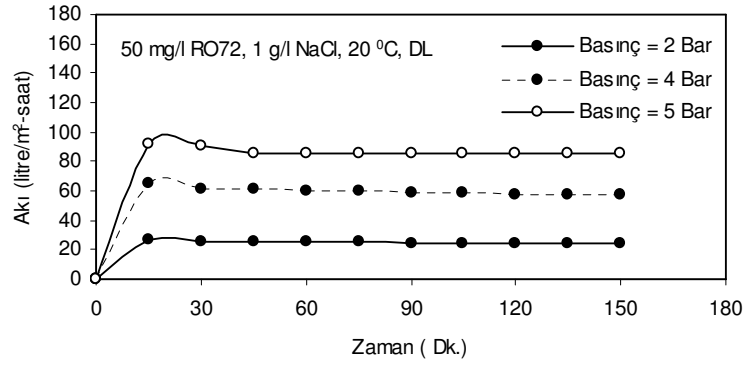


Şekil 4.9. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)



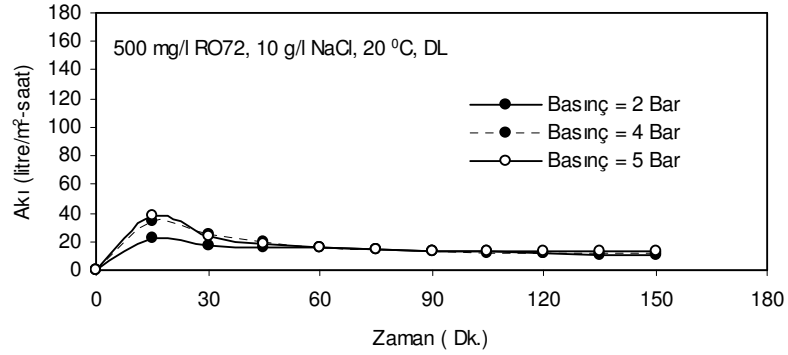
Şekil 4.10. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya konsantrasyonu (50 mg/l) ve düşük NaCl tuz konsantrasyonunda (1 g/l) hazırlanan çözeltide 20 °C'de yapılan deneylerde basınçla beraber akı değerleri diğer deney sonuçlarında olduğu gibi artmıştır (Şekil 4.11). Düşük NaCl konsantrasyonundaki çözeltiyle elde edilen akı değerleri, yüksek NaCl konsantrasyonunda olan çözeltiyle elde edilen akı değerlerinden daha yüksek akı değerleri elde edilmiştir. Membranı tıkayacak tuz iyonlarının daha az olmasından dolayı düşük tuz konsantrasyonlu çözeltiyle çalışma neticesinde yüksek akı elde edilmiştir.

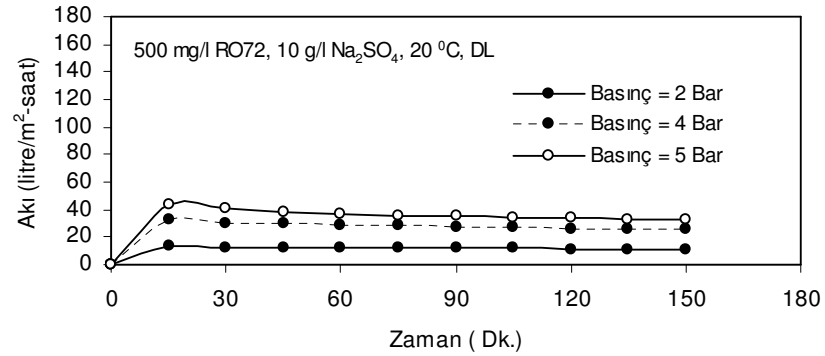


Şekil 4.11. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)

Yüksek boya (500 mg/l) ve yüksek NaCl (10 g/l) konsantrasyonunda yapılan deneylerde çok düşük akı değerleri bulunmuştur (Şekil 4.12). Basınçla beraber akı artışı yok denecek kadar az olmuştur. Na₂SO₄ tuzunda ise akı değerleri düşüktür fakat basınçlar arasında fark az da olsa görülmüştür (Şekil 4.13).



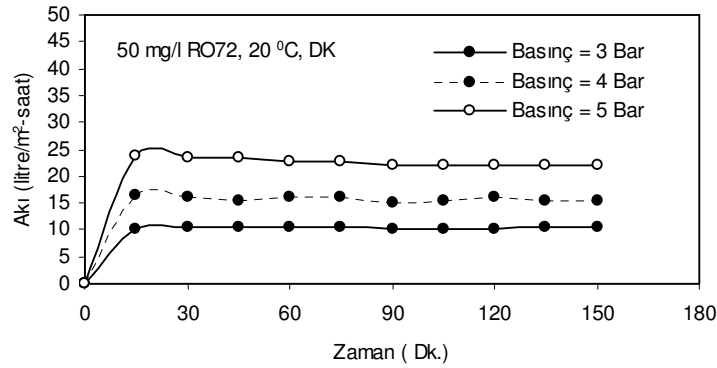
Şekil 4.12. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)



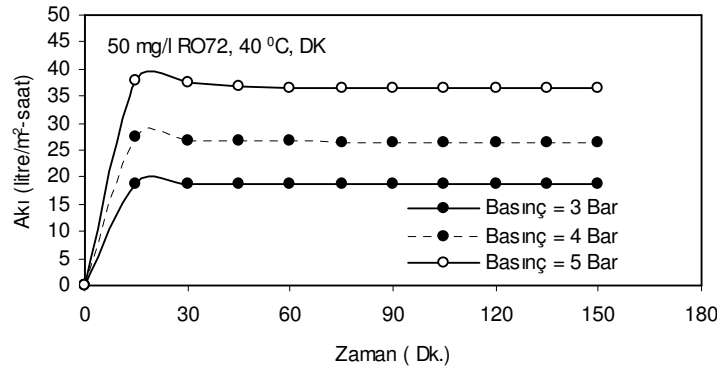
Şekil 4.13. 500 mg/l RO72, 10 g/l Na₂SO₄, DL Membranı için Akı- Zaman Grafiği (20 °C)

4.1.2. DK Membranı için Zaman ile Akı Değişimi

DL membranı ile yapılan deneylerde kullanılan çözeltilerle DK membranı için de çalışılmıştır. Düşük boya konsantrasyonu (50 mg/l) ile yapılan deneylerde akı değerleri sıcaklık ve basınçla artmıştır (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15). DK membranından elde edilen akı değerleri DL membranından elde edilenlere göre oldukça düşük çıkmıştır. Bu sebepten DK membran deneylerinde düşük basınç, DL membranındaki gibi 2 bar değil de 3 bar basınç olarak alınmıştır. Böylelikle analiz için yeterli süzüntü hacmi elde edilmeye çalışılmıştır.



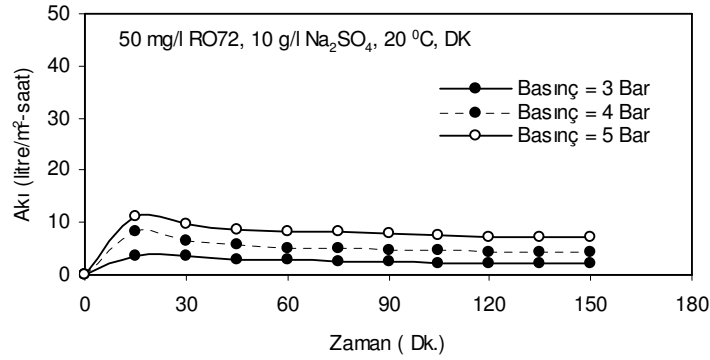
Şekil 4.14. 50 mg/l RO72, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)



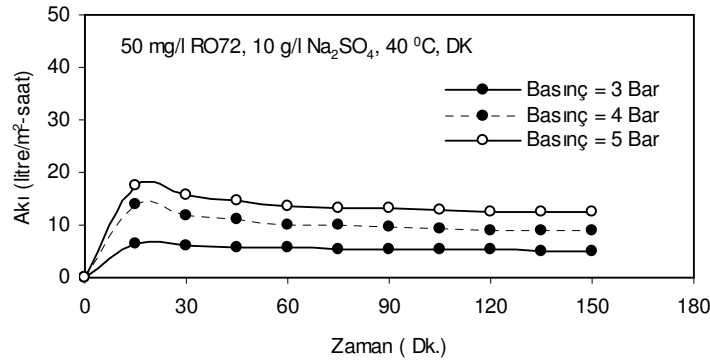
Şekil 4.15. 50 mg/l RO72, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya konsantrasyonu (50 mg/l) ve yüksek Na₂SO₄ tuz konsantrasyonunda (10 g/l) hazırlanan çözeltide DK membranında basınç ve sıcaklıkla beraber akı değerleri de artmıştır (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17). Tuzsuz çözeltiyle yapılan deneylerden elde

edilen sonuçlara göre çok düşük akı elde edilmiştir. DL membranında bulunan akı değerleri DK membranında bulunan akı değerlerinden çok yüksektir. Bu da DK membranının MAKÇ değerinin DL membranına göre çok düşük olduğunun göstergesidir.

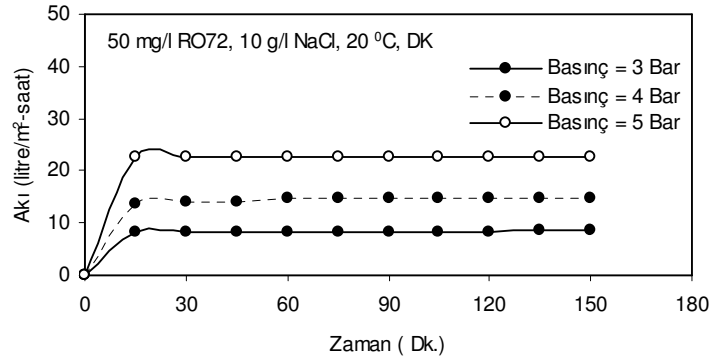


Şekil 4.16. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na₂SO₄, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)



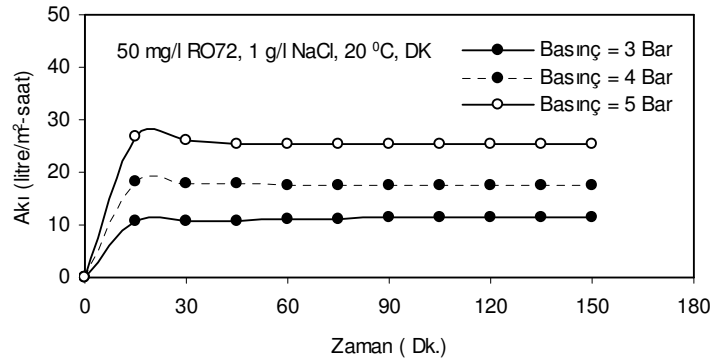
Şekil 4.17. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na₂SO₄, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya konsantrasyonu (50 mg/l) ve yüksek NaCl (10 g/l) tuz konsantrasyonunda hazırlanan çözeltide ve 20 °C'de basınçla beraber akı değerleri de artmıştır (Şekil 4.18). NaCl tuzu içeren boyalı çözeltide elde edilen akı değerleri de, tuzsuz çözeltiyle yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen akı değerlerinden daha düşük akı değerleri elde edilmiştir. Fakat NaCl tuzundaki akı değerleri Na₂SO₄ tuzuna göre biraz daha yüksek bulunmuştur.



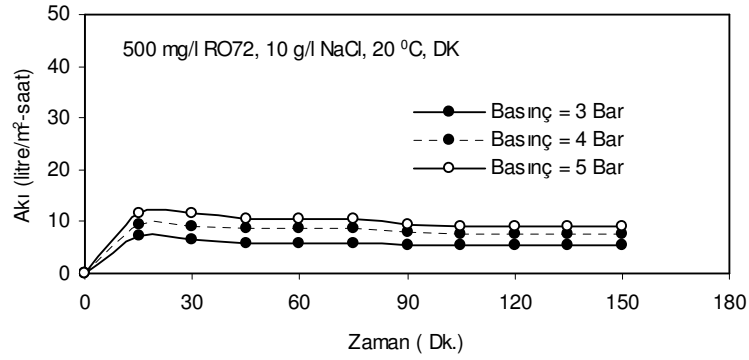
Şekil 4.18. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)

Düşük boya konsantrasyonu (50 mg/l) ve düşük NaCl tuz konsantrasyonunda (1 g/l) hazırlanan çözelti ve 20 °C'de yapılan deneylerde basınçla beraber akı değerleri artmıştır (Şekil 4.19). Yüksek NaCl konsantrasyonunda olan çözeltiyle elde edilen akı değerlerinden çok az farkla yüksek akı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.19. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)

Yüksek boya (500 mg/l) ve yüksek NaCl (10 g/l) konsantrasyonunda yapılan deneylerde en düşük akı değerleri bulunmuştur (Şekil 4.20). Basınçla beraber akı artışı olmuştur fakat değerler düşük olduğu için bu fark az olmuştur.



Şekil 4.20. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için Akı-Zaman Grafiği (20 °C)

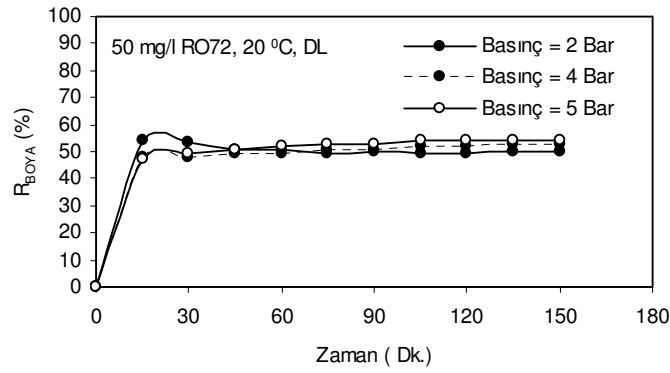
4.2. Boya Giderim Verimi (R_{boya})

Deneyle süresince 15 dk.'da bir tank ($C_{\text{giriş}}$) ve süzüntüden ($C_{\text{süzüntü}}$) alınan ve ölçülen boya konsantrasyonları ile boya giderim verimi;

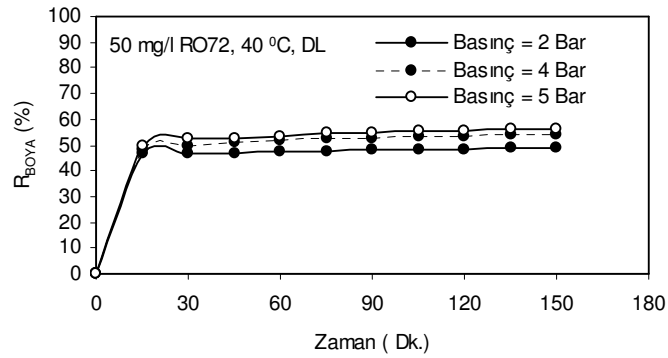
$$R_{\text{boya}} (\%) = \frac{C_{\text{giriş}} - C_{\text{süzüntü}}}{C_{\text{giriş}}} \times 100 \quad \text{denklemleri ile hesap edilmiştir.}$$

4.2.1. DL Membranı için Zaman ile Boya Giderim Verimi (R_{boya}) Değişimi

Düşük boya konsantrasyonu içeren çözeltiyle yapılan deneylerde boya giderim verimi 20 °C ve 40 °C sıcaklıkta her basınç için aynı bulunmuştur (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Yüksek basınçta daha iyi verim elde edilmesiyle beraber diğer basınç değerleriyle karşılaştırıldığında çok farklı boya giderim verimi bulunmamıştır.

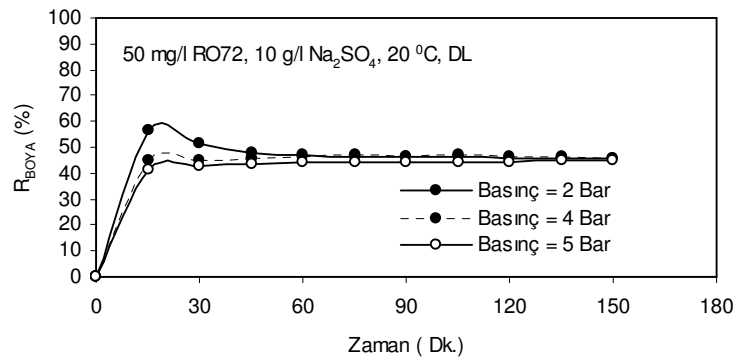


Şekil 4.21. 50 mg/l RO72, DL Membranı için R_{boya}-Zaman Grafiği (20 °C)

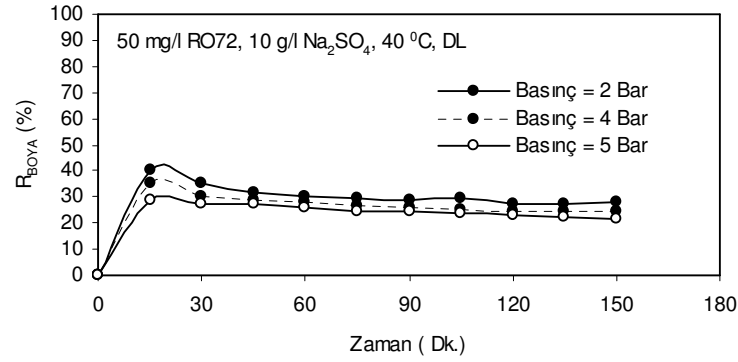


Şekil 4.22. 50 mg/l RO72, DL Membranı için R_{boya}-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük (50 mg/l) boya ve yüksek (10 g/l) Na₂SO₄ konsantrasyonunda sıcaklığın artmasıyla daha az boya giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 4.23 ve Şekil 4.24). Basınçlar karşılaştırıldığında boya giderim verimleri arasında çok büyük fark görülmemiştir.

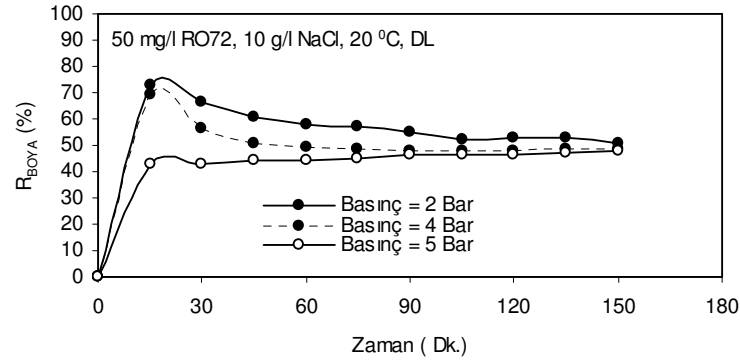


Şekil 4.23. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na₂SO₄, DL Membranı için R_{boya}- Zaman Grafiği (20 °C)

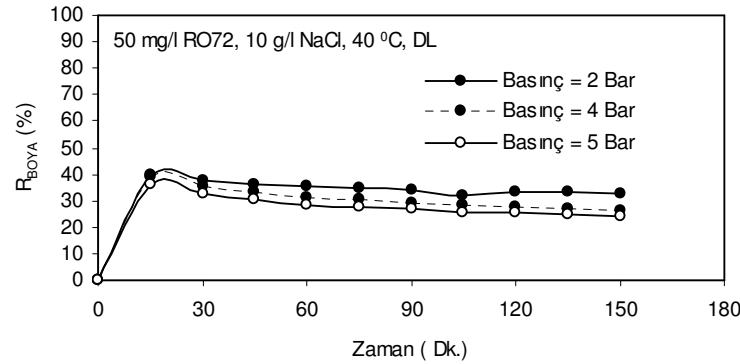


Şekil 4.24. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na₂SO₄, DL Membranı için R_{Boya}-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya ve yüksek NaCl konsantrasyonu ile çalışma sonucunda sıcaklık artışıyla ters orantılı olarak boya giderim verimi düşmüştür. Düşük basınçta nispeten daha iyi verim elde edilmiştir (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26).

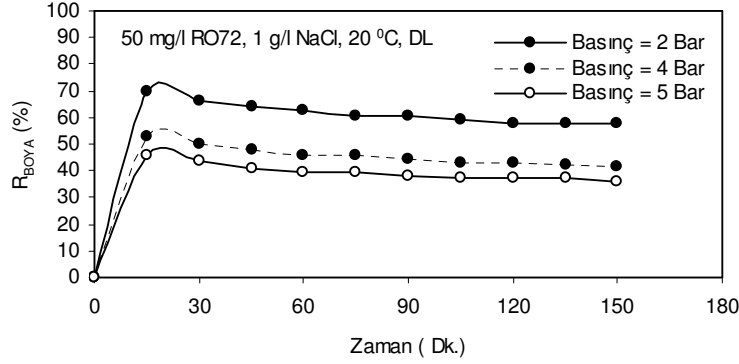


Şekil 4.25. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{Boya}-Zaman Grafiği (20 °C)



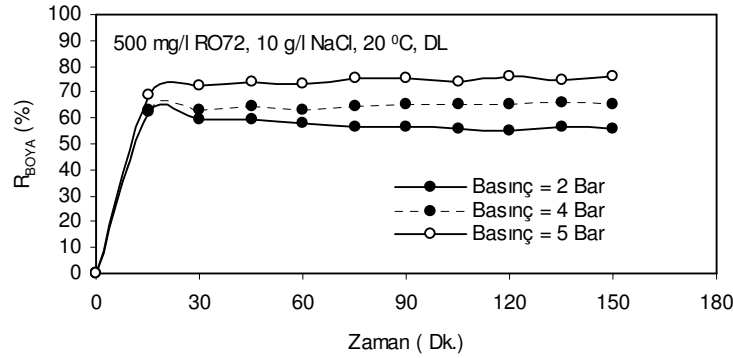
Şekil 4.26. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{Boya}-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya ve düşük NaCl konsantrasyonu ve 20 °C ile yapılan çalışma sonucunda basınçlar arasındaki fark daha fazla görülmüştür (Şekil 4.27). Şimdiye kadar verilmiş tuzlu çözeltilerde olduğu gibi düşük basınçta (2 bar) daha iyi boya giderim verimi elde edilmiştir. Arada yaklaşık %10 kadar bir fark vardır. Çok fazla olmamakla beraber diğer tuzlu çözeltilerle karşılaştırıldığında bu fark yüksek bir değerdir.

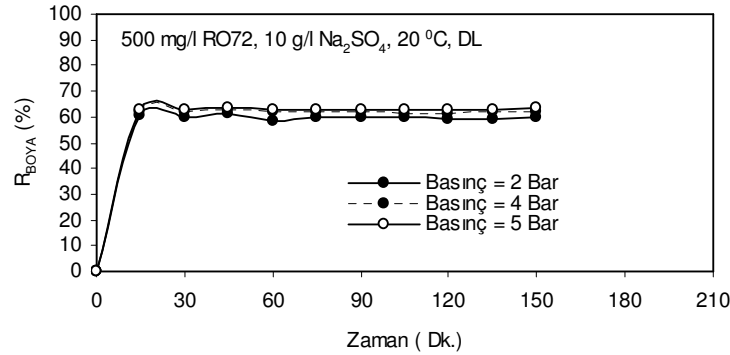


Şekil 4.27. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DL Membranı için R_{boya}-Zaman Grafiği (20 °C)

Yüksek boya ve NaCl konsantrasyonu ile yapılan deneylerde en yüksek boya giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.28). Ayrıca bu şartlarda yüksek basınçta daha iyi verim elde edilirken düşük basınçta daha az verim elde edilmiştir. Düşük boya konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda bu durumun tam tersi görülmüştür. Ayrıca yüksek boya konsantrasyonu ile yüksek Na₂SO₄ tuzuyla da deneyler yapılmıştır (Şekil 4.29). Bu deneylerde de boya giderim verimi yüksek bulunmuştur fakat NaCl tuzuna göre daha düşüktür. Bu sonuç düşük boya konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda da görülmüştür. Na₂SO₄ tuzuyla yapılan çalışmada basınçlar arasında çok büyük giderim farkı görülmemiştir.



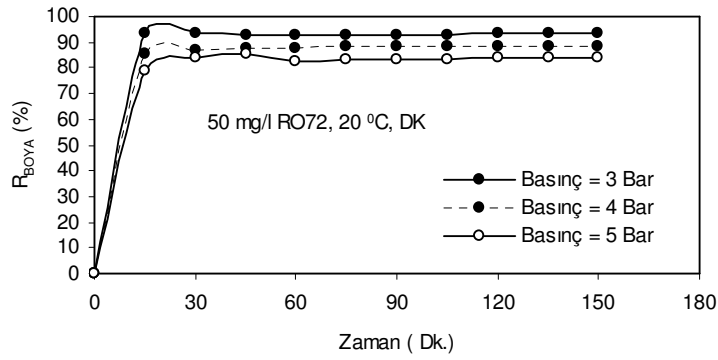
Şekil 4.28. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, DL Membranı için R_{boyA}-Zaman Grafiği (20 °C)



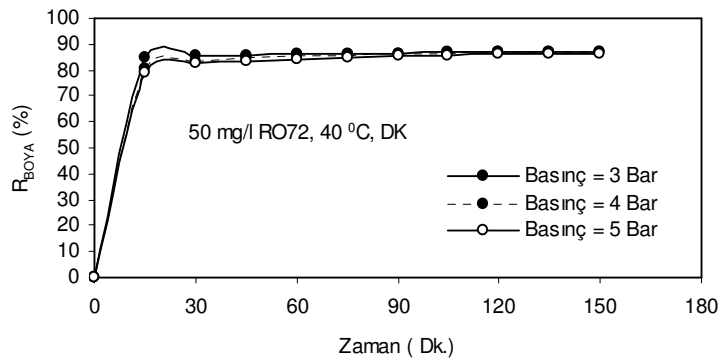
Şekil 4.29. 500 mg/l RO72, 10 g/l Na₂SO₄, DL Membranı için R_{boyA}- Zaman Grafiği (20 °C)

4.2.2. DK Membranı için Zaman ile Boya Giderim Verimi (R_{boyA}) Değişimi

Genel olarak değerlendirildiğinde DK membranında DL membranına oranla daha yüksek boya giderim verimleri elde edilmiştir. Akı değerlerinde görülen durumun tam tersi görülmüştür. Bunun nedeni ise; MAKÇ değerinin DK membranında daha düşük olmasından boyanın DK membranından geçişinin kolay olmamasıdır. Sadece düşük boya konsantrasyonundaki çözelti ile yapılan deneylerde elde edilen boya giderim verimleri düşük sıcaklık için %84-93, yüksek sıcaklık için %86-87 arasındadır (Şekil 4.30 ve Şekil 4.31). Bu çalışmada yüksek sıcaklıkta basıncın verime etkisinin fazla olduğu gözlenmemiştir. Düşük sıcaklıkta düşük basınçta verim biraz daha iyi elde edilmiştir (Şekil 4.30).

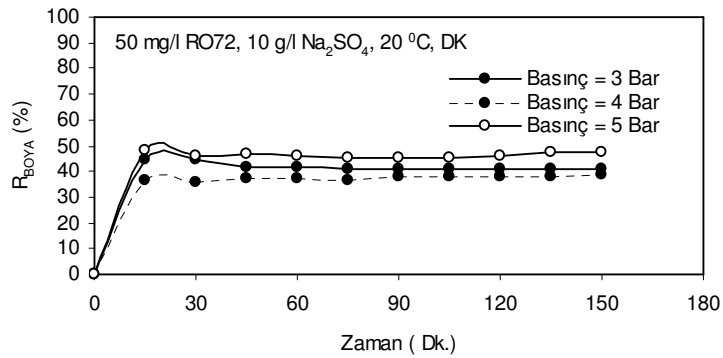


Şekil 4.30. 50 mg/l RO72, DK Membranı için R_{boyA}-Zaman Grafiği (20 °C)

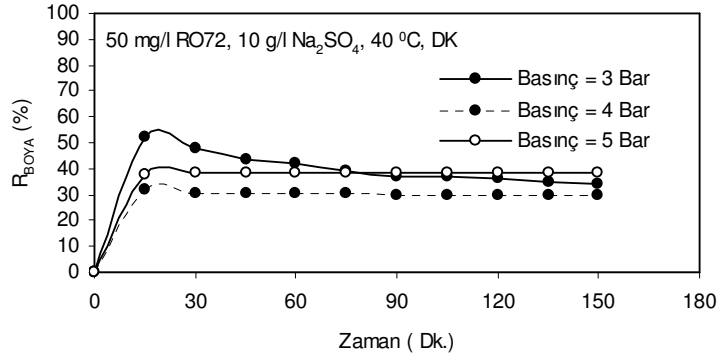


Şekil 4.31. 50 mg/l RO72, DK Membranı için R_{boyA}-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya konsantrasyonu ve yüksek Na₂SO₄ konsantrasyonunda tuzsuz çözeltiye oranla daha düşük verim elde edilmiştir. Sıcaklık artışıyla verim düşmüş, basınç ile verimin değişimi çok değişmemekle beraber yüksek basınçta biraz daha yüksek verim elde edildiği görülmüştür (Şekil 4.32 ve Şekil 4.33).

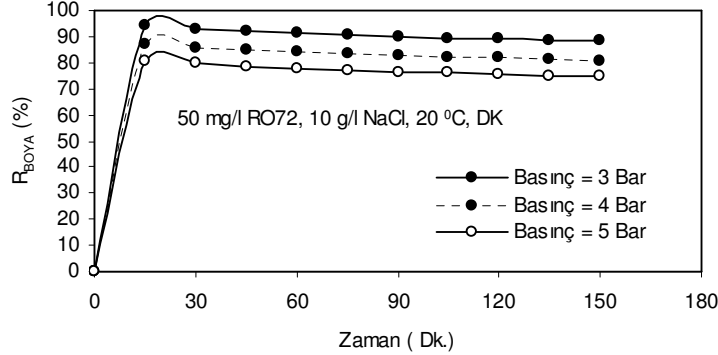


Şekil 4.32. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na₂SO₄, DK Membranı için R_{boyA}-Zaman Grafiği (20 °C)



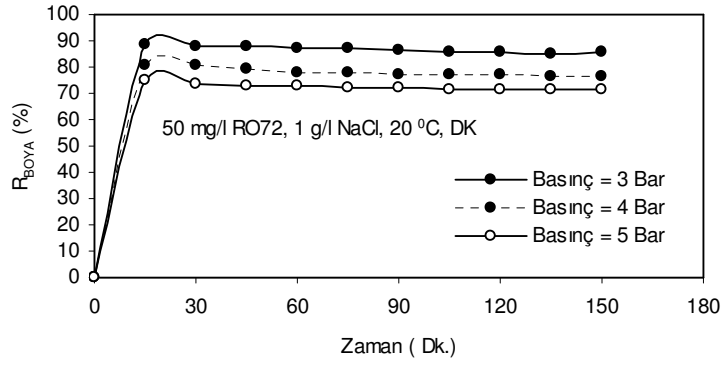
Şekil 4.33. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na₂SO₄, DK Membranı için R_{boya}-Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya konsantrasyonu ve yüksek NaCl konsantrasyonunda Na₂SO₄ tuzuna göre çok yüksek verim elde edilmiştir. Düşük basınçta %88 verim elde edilirken yüksek basınçta %75 verim elde edilmiştir (Şekil 4.34). Bu şartlarda düşük basınçta yüksek verim elde edilmiştir.



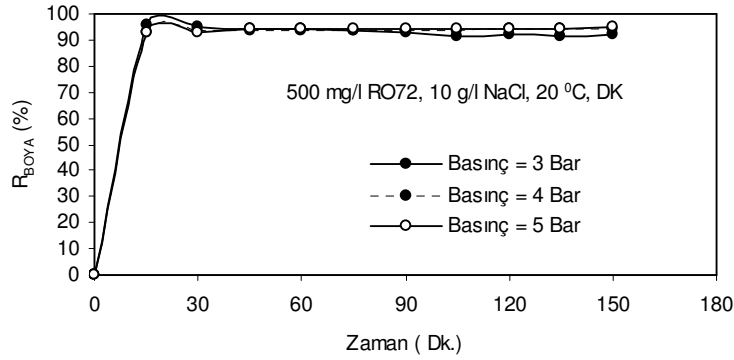
Şekil 4.34. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için R_{boya}-Zaman Grafiği (20 °C)

Düşük boya konsantrasyonu ve düşük NaCl konsantrasyonunda da Na₂SO₄ tuzuna göre yüksek verim elde edilmiştir. Bu şartlarda da düşük basınçta daha iyi verim elde edilmiştir (Şekil 4.35). Elde edilen verim %85–72 arasındadır, yüksek NaCl konsantrasyonunda yapılan çalışma sonucunda elde edilen verimlere yakın değerlerdir.



Şekil 4.35. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafiği (20 °C)

Yüksek boya ve tuz konsantrasyonunda DK membranında %92–95 arasında yüksek verim elde edilmiştir (Şekil 4.36). DK membranında da yüksek boya konsantrasyonunda yüksek basınçta biraz daha yüksek verim elde edilmiştir.



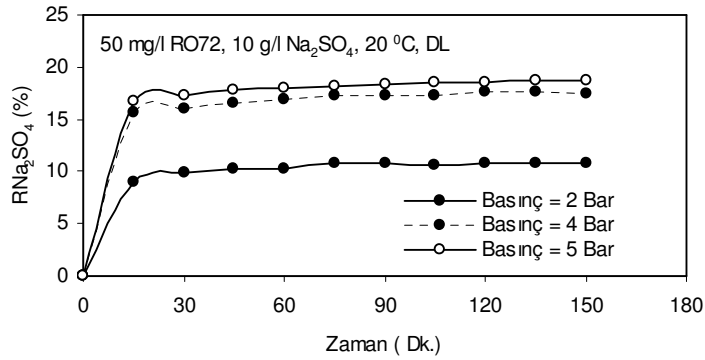
Şekil 4.36. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için R_{boya} -Zaman Grafiği (20 °C)

4.3. Tuz Giderim Verimi (R_{tuz})

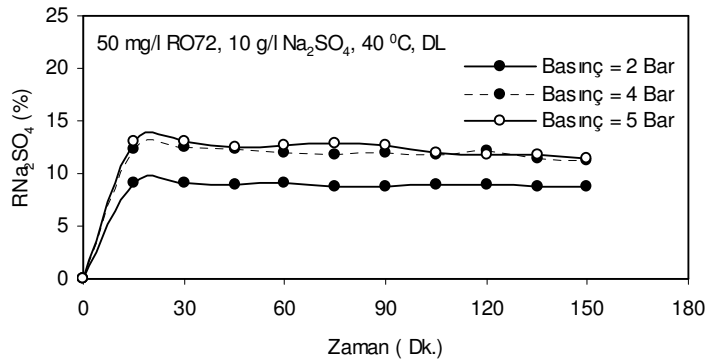
Tuz giderim verimi (R_{tuz}) boya giderim veriminin bulunmasında kullanılan denklem ile bulunmuştur.

4.3.1. DL Membranı için Zaman ile Tuz Giderim Verimi (R_{tuz}) Değişimi

Düşük boya ve yüksek Na_2SO_4 konsantrasyonunda tuz giderim verimi boya giderim veriminde olduğu gibi sıcaklık artmasıyla düşmüştür (Şekil 4.37 ve Şekil 4.38). Yüksek basınçta daha yüksek verim görülmüştür.



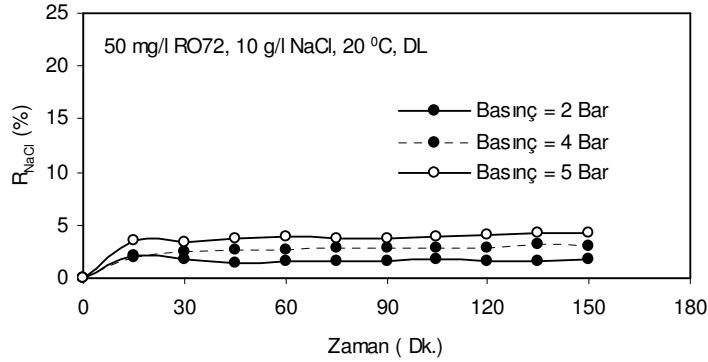
Şekil 4.37. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (20 °C)



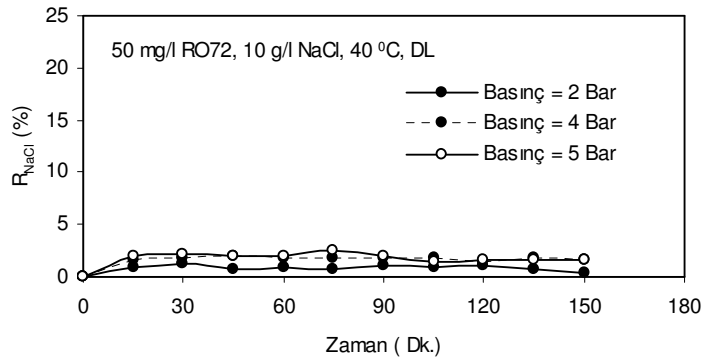
Şekil 4.38. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya ve yüksek $NaCl$ konsantrasyonu ile yapılan çalışmada Na_2SO_4 tuzuna göre daha düşük tuz giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.39 ve Şekil 4.40).

Bu durumda NaCl tuzu membrandan daha kolay geçmiştir denilebilir. Bu şartlarda da sıcaklık artışıyla verim düşmüş, basınç artışıyla ise verim artmıştır.

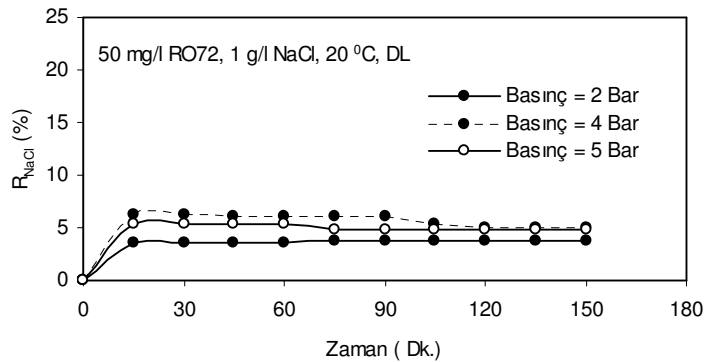


Şekil 4.39. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (20 °C)



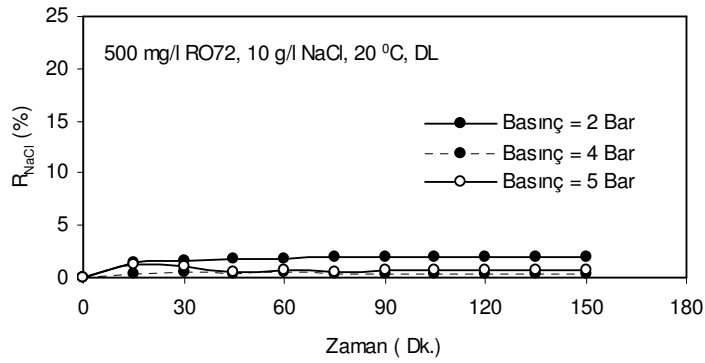
Şekil 4.40. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (40 °C)

Düşük boya ve düşük NaCl konsantrasyonunda yüksek NaCl ile yapılan deney sonuçlarına benzer çıkmakla beraber %1–2 gibi çok az farkla fazla çıkmıştır (Şekil 4.41).

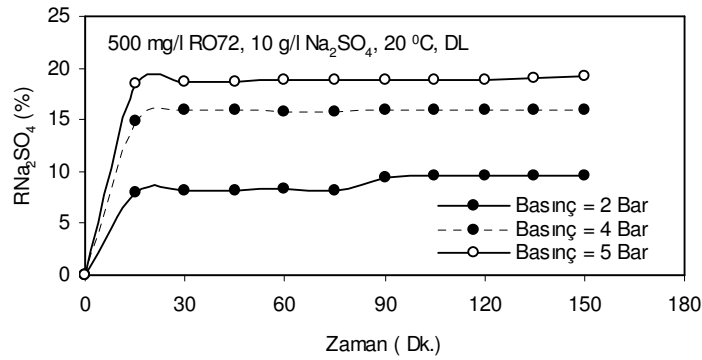


Şekil 4.41. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (40 °C)

Yüksek boya konsantrasyonunda yapılan deneyler düşük boya konsantrasyonunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında daha düşük tuz giderim verimi elde edilmiştir. Ayrıca düşük boya konsantrasyonundan elde edilen sonuçların tersine düşük basınçta biraz daha iyi verim elde edilmiştir (Şekil 4.42). Na_2SO_4 tuzuyla elde edilen tuz giderim verimi yüksek boya konsantrasyonu için de yüksek bulunmuştur (Şekil 4.43). Na_2SO_4 tuzu için boya konsantrasyonun değişmesi verimi fazla etkilememiştir.



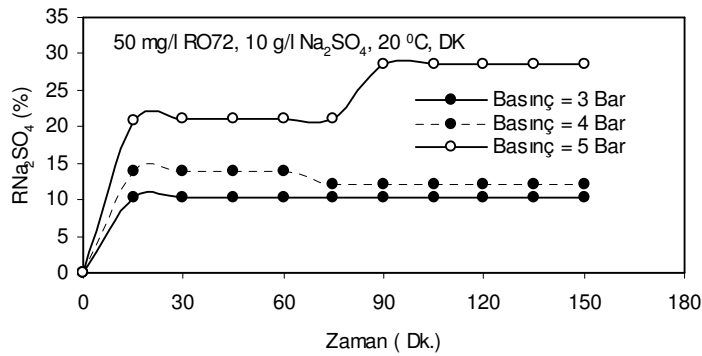
Şekil 4.42. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (20 °C)



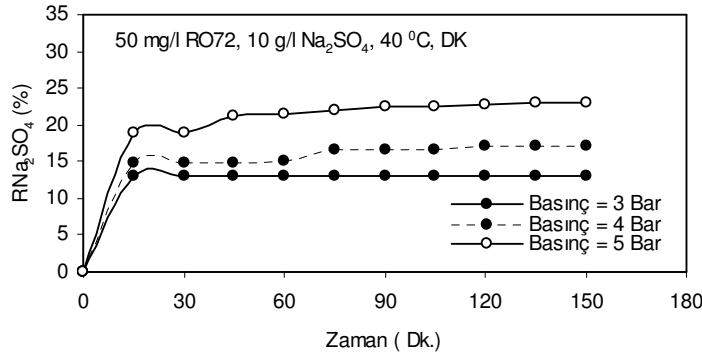
Şekil 4.43. 500 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , DL Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (20 °C)

4.3.2. DK Membranı için Zaman ile Tuz Giderim Verimi (R_{tuz}) Değişimi

Boya giderim veriminde olduğu gibi tuz giderim veriminde de DK membranında DL membranına göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’de düşük boya, yüksek Na_2SO_4 konsantrasyonunda 20 ve 40 $^{\circ}C$ için tuz giderim verimleri görülmektedir. Şekil 4.44’de 5 bar basınçla yapılan deneyde 75. dakikadan sonra ani bir artış olduğu görülmektedir. Bunun nedeni membranın üstünde oluşan tabakanın zamanla kalınlaşarak tuzun membrandan geçişini zorlaması olabileceği düşünülmektedir.

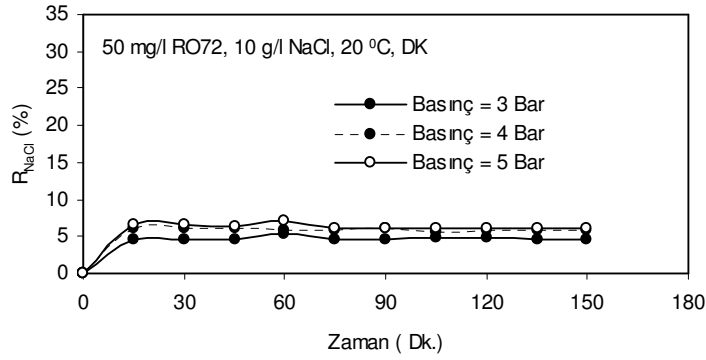


Şekil 4.44. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (20 $^{\circ}C$)



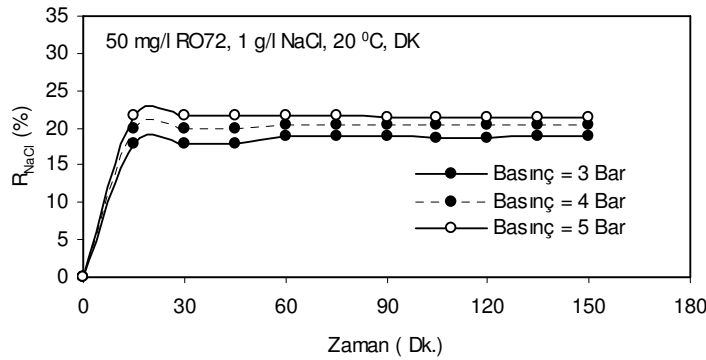
Şekil 4.45. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (40 $^{\circ}C$)

DK membranında da $NaCl$ tuzuyla yapılan deneylerde tuz giderim verimi Na_2SO_4 tuzuna oranla düşük bulunmuştur. Bu şartlarda da DL membranından yüksek verim elde edilmiştir (Şekil 4.46).



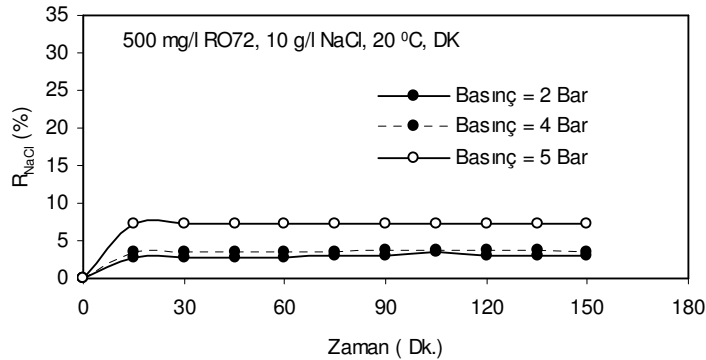
Şekil 4.46. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (20 °C)

Düşük NaCl konsantrasyonunda yapılan deneylerde yüksek NaCl'ye oranla tuz giderim verimi yüksek çıkmıştır (Şekil 4.47). DL membranında bu fark çok az iken DK membranında fazladır.



Şekil 4.47. 50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (20 °C)

Yüksek boya ve NaCl konsantrasyonundaki çalışmada yüksek basınçta daha fazla giderim elde edilmiştir (Şekil 4.48).

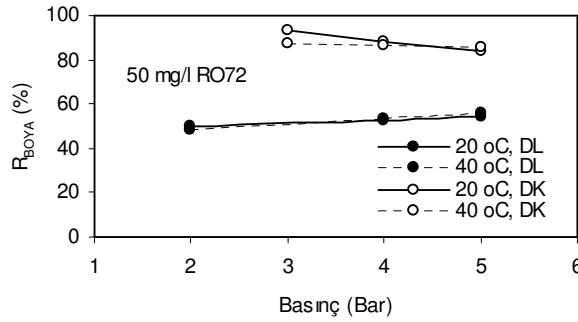


Şekil 4.48. 500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DK Membranı için R_{tuz} -Zaman Grafiği (20 °C)

4.4. Optimum Sıcaklık Belirlenmesi

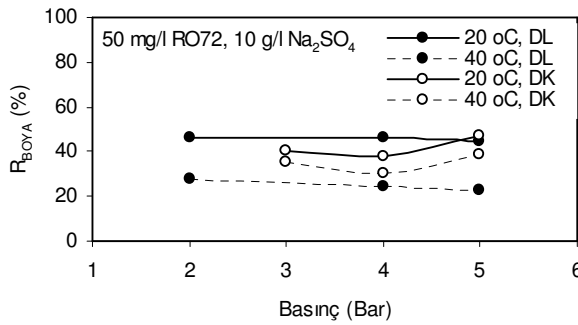
Optimum sıcaklığın seçiminde boya giderim verimi esas alınmıştır. Boya konsantrasyonu, tuz cinsi ve konsantrasyonu sabit tutulup 20 °C ve 40 °C’de 2, 4, 5 bar basınçta boya giderim verimleri karşılaştırılmıştır.

Tuz katılmadan sadece 50 mg/l boya konsantrasyonundaki çözelti ile DL ve DK membranları yapılan deneylerde, sıcaklıkla verim yok denecek kadar az değişmiştir (Şekil 4.49).



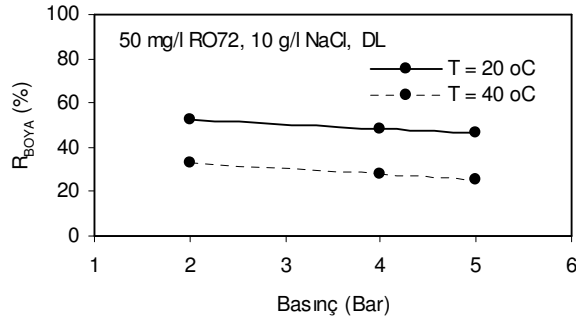
Şekil 4.49. 50 mg/l RO72, DL ve DK Membranları için Sıcaklıkla R_{boya} -Basınç Değişim Grafiği

Düşük boya konsantrasyonu ile 10 g/l Na_2SO_4 çözeltisinde DL ve DK membranında 20 °C’de daha yüksek boya giderim verimi gözlenmiştir (Şekil 4.50).



Şekil 4.50. 50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , DL ve DK Membranları için Sıcaklıkla R_{boya} -Basınç Değişim Grafiği

10 g/l NaCl ve 50 mg/l boya çözeltisiyle sadece DL membranıyla yapılan deneyler sonucunda da 20 °C’de daha yüksek boya giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 4.51).

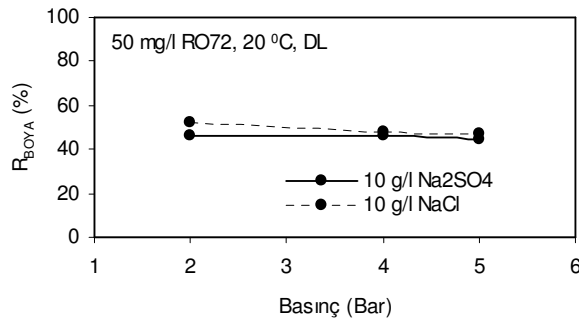


Şekil 4.51. 50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, DL Membranı için Sıcaklıkla R_{boya} -Basınç Değişim Grafiği

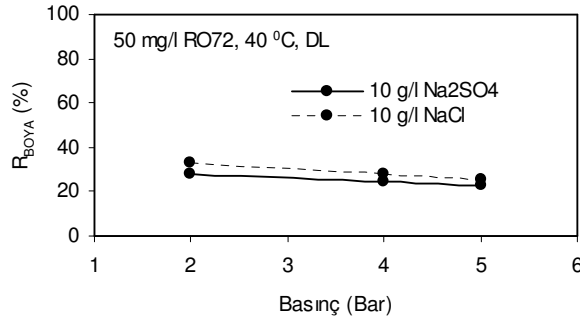
Elde edilen verilerden hareketle *optimum sıcaklık 20⁰C* olarak seçilmiştir.

4.5. Tuz Cinsi Seçimi

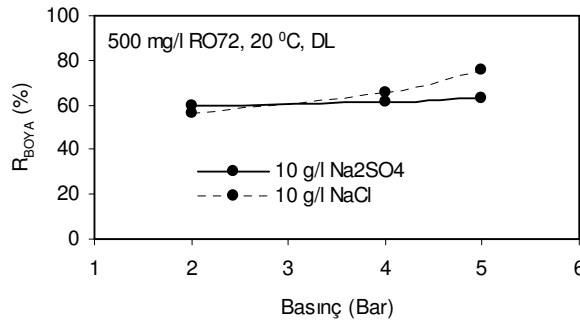
Farklı boya konsantrasyonu ve sıcaklık şartlarında 10 g/l tuz konsantrasyonundaki çözeltilerle yapılan çalışmalarda NaCl tuzunun Na_2SO_4 tuzuna oranla biraz daha iyi boya giderim verimi elde edildiği görülmüştür (Şekil 4.52, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54). Özellikle yüksek boya konsantrasyonundaki deneylerde yüksek basınç için boya giderim verimindeki fark daha büyük bulunmuştur (Şekil 4.54).



Şekil 4.52. 50 mg/l RO72, DL Membranı için Tuz Cinsiyle R_{boya} -Basınç Değişim Grafiği (20⁰C)



Şekil 4.53. 50 mg/l RO72, DL Membrani için Tuz Cinsiyle R_{Boya} -Basınç Değişim Grafiği (40 °C)

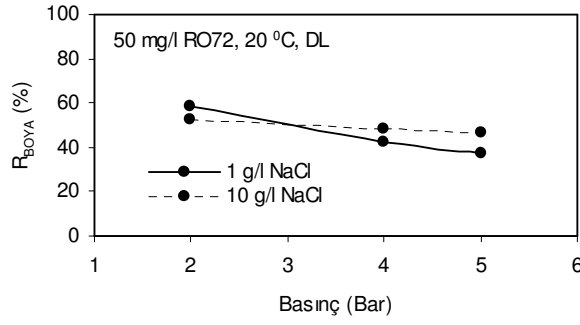


Şekil 4.54. 500 mg/l RO72, DL Membrani için Tuz Cinsiyle R_{Boya} -Basınç Değişim Grafiği (20 °C)

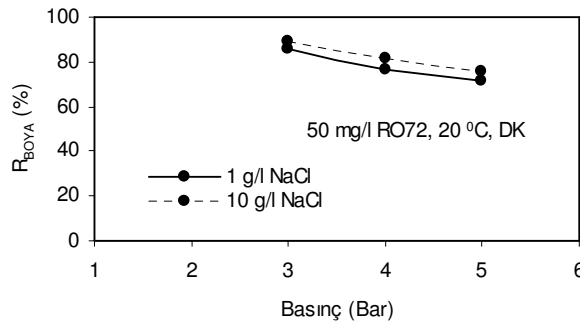
Elde edilen sonuçlara dayanarak *NaCl tuzu* seçilmiştir.

4.6. Optimum Tuz (NaCl) Konsantrasyonu Belirlenmesi

Tuz cinsi olarak NaCl seçildikten sonra optimum konsantrasyon seçimi için deneyler yapılmıştır. Boya konsantrasyonu ve sıcaklık sabit alınarak 1 ve 10 g/l NaCl konsantrasyonları boya giderim verimi bakımından karşılaştırılmıştır. DL membranıyla yapılan çalışmada 4 ve 5 bardaki boya giderim verimi yüksek NaCl konsantrasyonunda biraz daha fazla bulunmuştur (Şekil 4.55). DK membranında her basınç değeri için 10 g/l NaCl konsantrasyonundaki çözeltide biraz daha iyi boya giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 4.56).



Şekil 4.55. 50 mg/l RO72, DL Membrani için NaCl Konsantrasyonu ile R_{Boya} - Basınç Değişim Grafiği (20 °C)

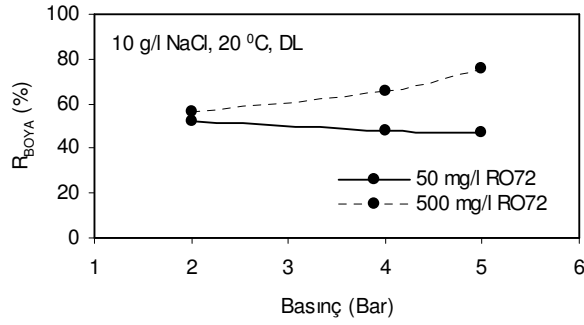


Şekil 4.56. 50 mg/l RO72, DK Membrani için NaCl Konsantrasyonu ile R_{Boya} - Basınç Değişim Grafiği (20 °C)

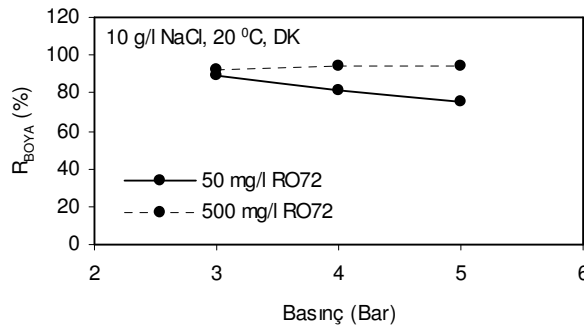
Elde edilen sonuçlara göre 10 g/l NaCl konsantrasyonundaki çözelti ile 1 g/l NaCl çözeltisine göre büyük fark olmamakla beraber biraz daha iyi boya giderim verimi elde edilmiştir. Bundan dolayı *optimum NaCl konsantrasyonu 10 g/l* olarak seçilmiştir.

4.7. Optimum Boya (RO72) Konsantrasyonu Belirlenmesi

Hali hazırda seçilmiş optimum sıcaklık, tuz cinsi ve konsantrasyonunda 50 ve 500 mg/l boya konsantrasyonunda çözeltilerle çalışılmıştır. DL ve DK membranlarının her ikisinde de yüksek boya konsantrasyonunda daha iyi giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 4.57 ve Şekil 4.58).

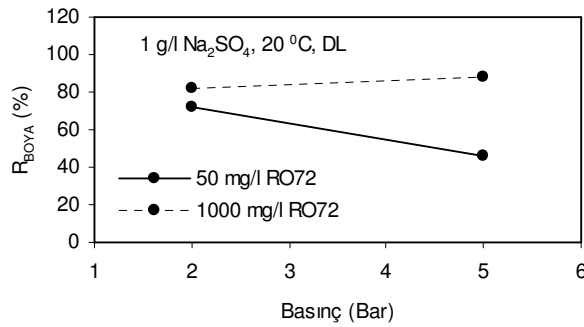


Şekil 4.57. 10 g/l NaCl, DL Membrani için Boya Konsantrasyonu ile R_{Boya} - Basınç Değişim Grafiği (20 °C)



Şekil 4.58. 10 g/l NaCl, DK Membrani için Boya Konsantrasyonu ile R_{Boya} - Basınç Değişim Grafiği (20 °C)

Ayrıca DL membranıyla, Na_2SO_4 tuzuyla pH 10 şartlarında 50 ve 1000 mg/l boya konsantrasyonu ile yapılan deneylerde de yüksek boya konsantrasyonu ile daha yüksek boya giderim verimini sağlamıştır (Şekil 4.59).



Şekil 4.59. 10 g/l Na_2SO_4 , DL Membrani için Boya Konsantrasyonu ile R_{Boya} - Basınç Değişim Grafiği (20 °C)

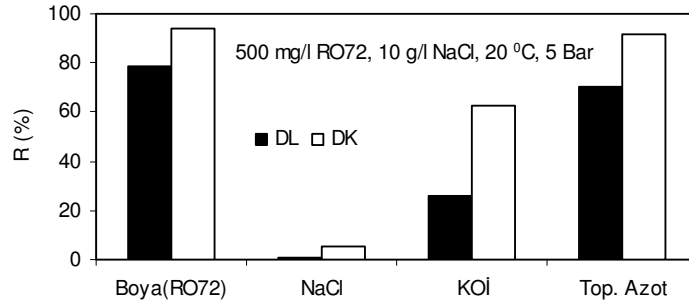
Şekiller incelendiğinde düşük boya konsantrasyonunda R_{Boya} değerlerinin basınç ile azaldığı görülürken, yüksek boya konsantrasyonunda arttığı görülmektedir. Bunun

nedeni yüksek basınç ile membrandan boya moleküllerin geçişi kolaylaştığından düşük boya konsantrasyonu ile yapılan deneylerde 5 bar basınçta daha düşük R_{boya} değeri bulunmuştur. Yüksek boya konsantrasyonunda ise membran yüzeyinde oluşan tabaka 5 bar basınçta daha hızlı kalınlaşarak boya moleküllerin membrandan geçişini zorlaştırmakta, böylece R_{boya} değerinde artış gözlenmektedir.

Yüksek boya konsantrasyonunda daha iyi boya giderim verimi elde edildiğinden *optimum boya konsantrasyonu 500 mg/l* olarak seçilmiştir.

4.8. Seçilen Optimum Şartlardaki KOİ ve Toplam Azot Giderim Verimleri

DL ve DK membranlarında, seçilen 500 mg/l boya ve 10 g/l NaCl konsantrasyonundaki çözeltiyle 20 °C ve 5 bar işletim şartlarında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve toplam azot giderim verimleri belirlenmiştir. DK membranında bütün parametrelerin giderim verimleri yüksek çıkmıştır (R_{boya} %94; R_{NaCl} %5; $R_{\text{KOİ}}$ %63; $R_{\text{Top.Azot}}$ %92) (Şekil 4.60).



Şekil 4.60. Optimum Şartlarda DL ve DK Membranlarında Boya, Tuz, KOİ ve Top. Azot Giderim Verimleri

4.9. İstatistiksel Değerlendirmeler

4.9.1. Korelasyon Katsayılarının Hesaplanması

DL ve DK membranlarının farklı boya ve tuz konsantrasyonlardaki ve sıcaklıklardaki deney şartlarında akı-basınç, R_{BOYA} -basınç ve R_{TUZ} -basınç arasındaki istatistiksel ilişkileri incelenmiştir. Korelasyon katsayısı ve denklemler Microsoft Excel

ile hesaplanmıştır. Regrasyon tür seçiminde korelasyon katsayısı 1 sayısına yakın olanlar seçilmiştir.

4.9.1.1. DL ve DK Membranları İçin Akı-Basınç İlişkisi

Çizelge 4.2’de her bir deney koşulundaki akı-basınç arasındaki ilişkiyi tanımlayan denklem, korelasyon katsayısı ve regrasyon türü verilmiştir. Genel olarak sonuçlar incelendiğinde DL ve DK membranları için basınçla akı değeri lineer olarak artış göstermiştir. Tuz içermeyen çözeltiyle ve Na₂SO₄ tuzu içeren çözeltiyle yapılan çalışmalarda DL membranında sıcaklıktaki 2 kat artışla eğimde de yaklaşık 2 kat artış gözlenmiştir. DK membranında ise tuzsuz çözelti için eğimde 1,5 kat artış gözlenirken

Çizelge 4.2. DL ve DK Membranları için Akı-Basınç İlişkisi ve Korelasyon Katsayıları

Deney Koşulları	DL Membranı			DK Membranı		
	Denklem	Korelasyon Katsayısı	Regresyon Türü	Denklem	Korelasyon Katsayısı	Regresyon Türü
50 mg/l RO72, 20 °C	$y = 13,543x - 3,496$	$R^2 = 0,999$	Lineer	$y = 5,800x - 7,233$	$R^2 = 0,995$	Lineer
50 mg/l RO72, 40 °C	$y = 23,791x - 1,322$	$R^2 = \sim 1$	Lineer	$y = 8,833x - 8,222$	$R^2 = 0,994$	Lineer
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C	$y = 0,468x + 10,246$	$R^2 = 0,979$	Lineer	$y = 1,750x + 0,389$	$R^2 = 0,999$	Lineer
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C	$y = 8,266x - 1,774$	$R^2 = 0,980$	Lineer	$y = 7,067x - 12,978$	$R^2 = 0,994$	Lineer
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C	$y = 19,732x - 16,268$	$R^2 = 0,984$	Lineer	$y = 7,000x - 10,000$	$R^2 = 0,993$	Lineer
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 20 °C	$y = 10,748x - 4,757$	$R^2 = \sim 1$	Lineer	$y = 2,499x - 5,313$	$R^2 = 0,989$	Lineer
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 40 °C	$y = 22,417x - 14,250$	$R^2 = \sim 1$	Lineer	$y = 2,427x + 0,027$	$R^2 = 0,969$	Lineer

Çizelge 4.3. DL ve DK Membranları için R_{BOYA}-Basınç İlişkisi ve Korelasyon Katsayıları

Deney Koşulları	DL Membranı			DK Membranı		
	Denklem	Korelasyon Katsayısı	Regresyon Türü	Denklem	Korelasyon Katsayısı	Regresyon Türü
50 mg/l RO72, 20 °C	$y = 1,495x + 46,568$	$R^2 = 0,990$	Lineer	$y = -4,594x + 106,843$	$R^2 = \sim 1$	Lineer
50 mg/l RO72, 40 °C	$y = 2,478x + 43,448$	$R^2 = 0,998$	Lineer	$y = -0,387x + 88,021$	$R^2 = 0,819$	Lineer
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C	$y = 0,165x + 43,011$	$R^2 = 0,960$	Lineer	$y = 1,145x + 89,036$	$R^2 = 0,902$	Lineer
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C	$y = -2,315x + 57,927$	$R^2 = 0,976$	Lineer	$y = -7,001x + 110,080$	$R^2 = 0,995$	Lineer
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C	$y = -8,870x + 76,966$	$R^2 = 0,995$	Lineer	$y = -7,200x + 106,870$	$R^2 = 0,978$	Lineer
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 20 °C	$y = -0,659x^2 + 4,147x + 40,360$	$R^2 = \sim 1$	Polinom	$y = 5,445x^2 - 40,536x + 113,210$	$R^2 = \sim 1$	Polinom
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 40 °C	$y = -0,148x^2 - 0,790x + 30,217$	$R^2 = \sim 1$	Polinom	$y = 3,818x^2 - 25,749x + 71,739$	$R^2 = \sim 1$	Polinom

Çizelge 4.4. DL ve DK Membranları için R_{TUZ}-Basınç İlişkisi ve Korelasyon Katsayıları

Deney Koşulları	DL Membranı			DK Membranı		
	Denklem	Korelasyon Katsayısı	Regresyon Türü	Denklem	Korelasyon Katsayısı	Regresyon Türü
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C	$y = 0,410x^2 - 3,302x + 6,976$	$R^2 = \sim 1$	Polinom	$y = 1,566x^2 - 10,410x + 20,218$	$R^2 = \sim 1$	Lineer
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C	$y = 0,798x + 0,008$	$R^2 = 0,974$	Lineer	$y = 0,700x + 2,689$	$R^2 = 0,922$	Lineer
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C	$y = 0,423x + 3,011$	$R^2 = 0,818$	Lineer	$y = 1,310x + 14,947$	$R^2 = 0,993$	Lineer
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 20 °C	$y = 2,711x + 5,666$	$R^2 = 0,959$	Lineer	$y = 9,030x - 19,150$	$R^2 = 0,818$	Lineer
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 40 °C	$y = 1,036x + 6,936$	$R^2 = 0,911$	Lineer	$y = 3,052x + 6,463$	$R^2 = 0,906$	Lineer

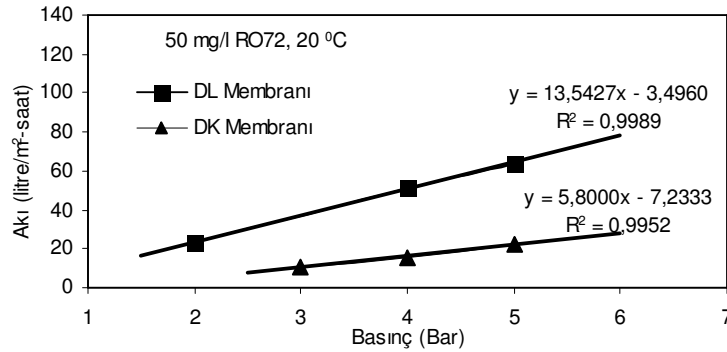
Na_2SO_4 tuzu içeren çözeltilerde eğimde değişiklik olmamıştır (Şekil 4.61–4.62, Şekil 4.66–4.67).

Aynı tuz cinsi (NaCl), aynı tuz konsantrasyonu ile sıcaklıktaki yüksek ve düşük boya konsantrasyonundaki çözeltilerdeki deneyler karşılaştırıldığında 10 kat boya artışına karşılık DL membranı için eğimde 18 kat düşüş, DK membranı için eğimde sadece 4 kat düşüş gözlemlenmiştir. Yani boya konsantrasyonundaki artış ile basıncın artmasıyla akı değerinde düşüş olmuştur (Şekil 4.63–4.64).

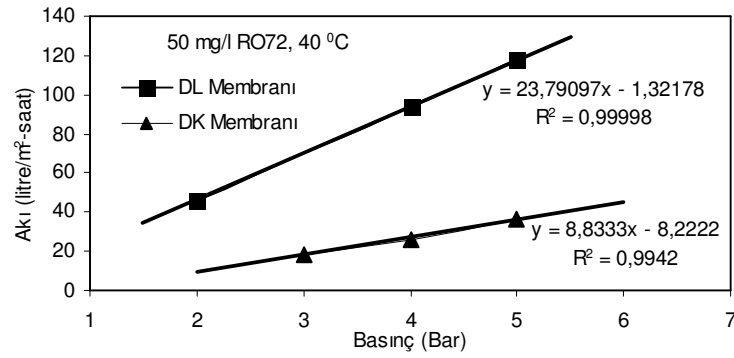
NaCl ve Na_2SO_4 tuzlarını karşılaştırdığımızda DL membranı için Na_2SO_4 tuzlu çözeltilerde basınçla akı artışı fazla, DK membranı için ise daha düşük olmuştur (Şekil 4.64 ve Şekil 4.66).

Düşük ve yüksek NaCl tuzu içeren boyalı çözeltilerde DL membranında tuz konsantrasyonunun artmasıyla basınçla akı değişiminde düşüş gözlenmiştir. DK membranında ise basınçla akı değişiminde değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 4.64 ve Şekil 4.65).

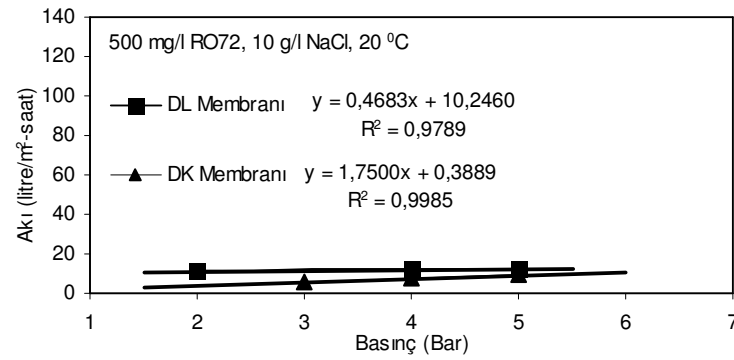
Aşağıda verilen tüm grafiklerde DL membranında elde edilen akı değerleri tüm deney şartlarında DK membranından daha fazladır.



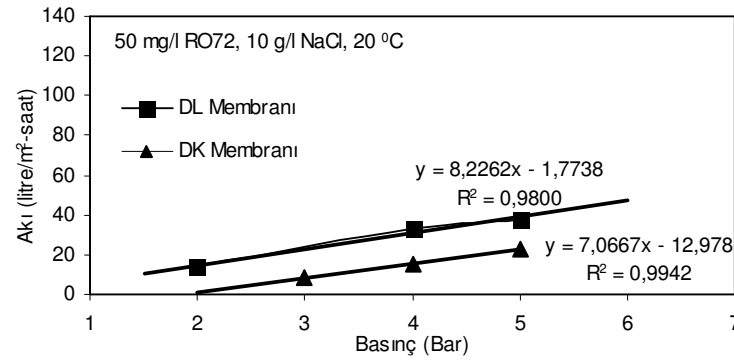
Şekil 4.61. 20⁰C’de tuzsuz çözelti için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması



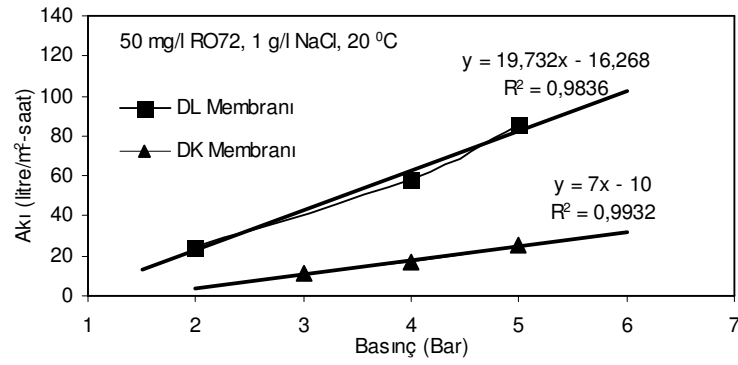
Şekil 4.62. 40°C'de tuzsuz çözelti için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması



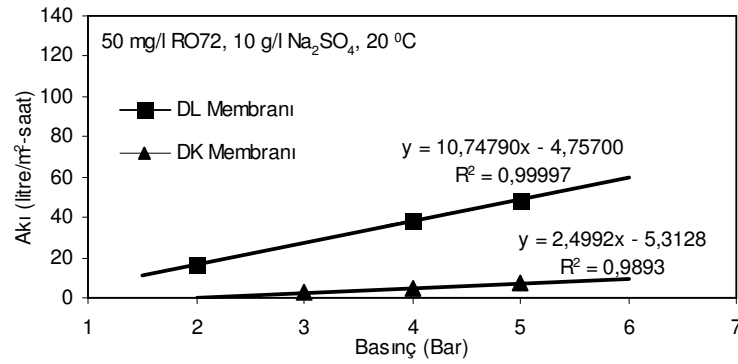
Şekil 4.63. Yüksek boya konsantrasyonu için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması



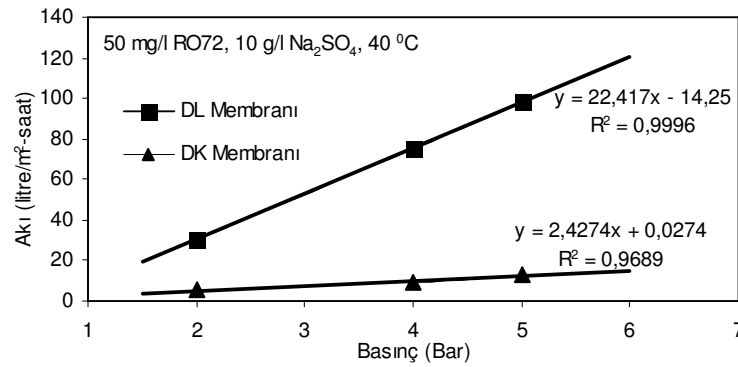
Şekil 4.64. Yüksek NaCl konsantrasyonu için DL ve DK membranlarının akı karşılaştırılması



Şekil 4.65. Düşük NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranların akı karşılaştırılması



Şekil 4.66. 20 °C'de Na₂SO₄ tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranların akı karşılaştırılması

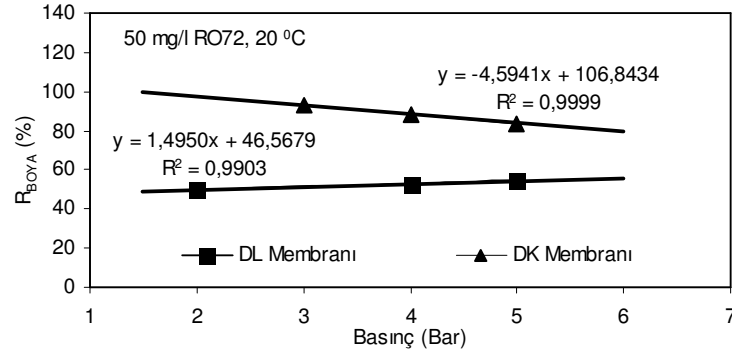


Şekil 4.67. 40 °C'de Na₂SO₄ tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranların akı karşılaştırılması

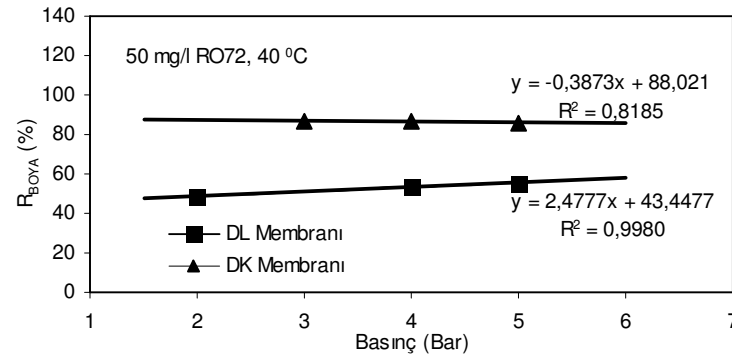
4.9.1.2. DL ve DK Membranları İçin R_{Boya} -Basınç İlişkisi

Genel olarak basınçla boya giderim yüzdesi (R_{Boya}) değeri azalmıştır (Çizelge 4.3).

Tuz olmayan çözeltide DL membranında basınçla birlikte R_{Boya} değerinde çok fazla olmamakla birlikte artış gözlenmiştir. DK membranında tam tersi azalma görülmüştür (Şekil 4.68 ve Şekil 4.69).

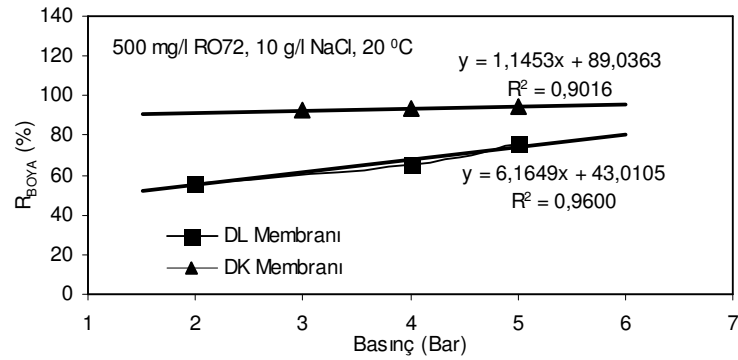


Şekil 4.68. 20°C'de tuzsuz çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} (%) karşılaştırılması

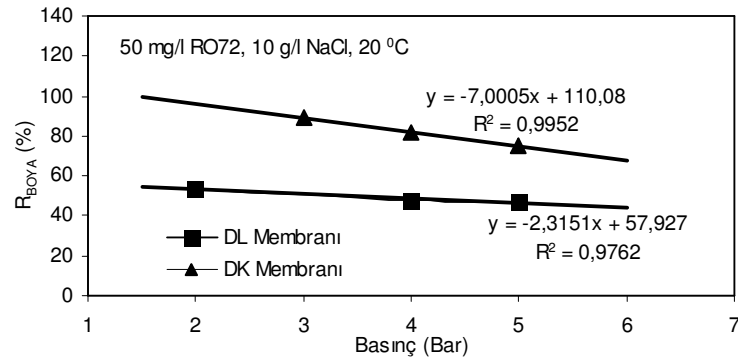


Şekil 4.69. 40°C'de tuzsuz çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} (%) karşılaştırılması

Yüksek boya konsantrasyonunda DK membranında DL membranına göre basınçla R_{Boya} değeri daha fazla artmıştır. Düşük boya konsantrasyonunda her iki membranda da basınç artışıyla R_{Boya} değeri düşmüştür. Fakat DK membranında daha fazla düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.70 ve Şekil 4.71).

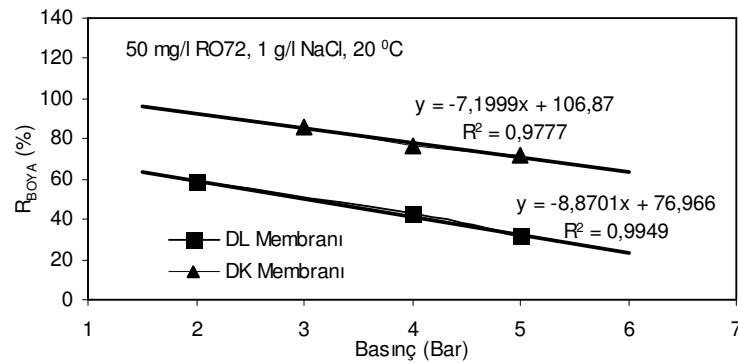


Şekil 4.70. Yüksek boya konsantrasyonu için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması



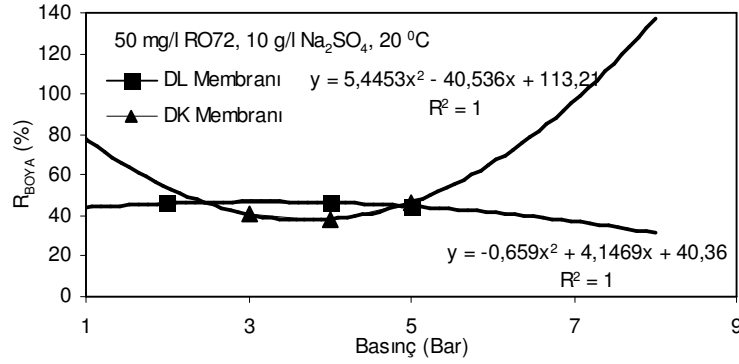
Şekil 4.71. Yüksek NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması

DL membranında düşük tuz konsantrasyonunda yüksek tuz konsantrasyonuna göre basınçla birlikte daha fazla R_{Boya} değerinde düşüş gerçekleşmiştir. DK membranında gözlenen düşüş miktarında değişiklik olmamıştır (Şekil 4.71, Şekil 4.72).

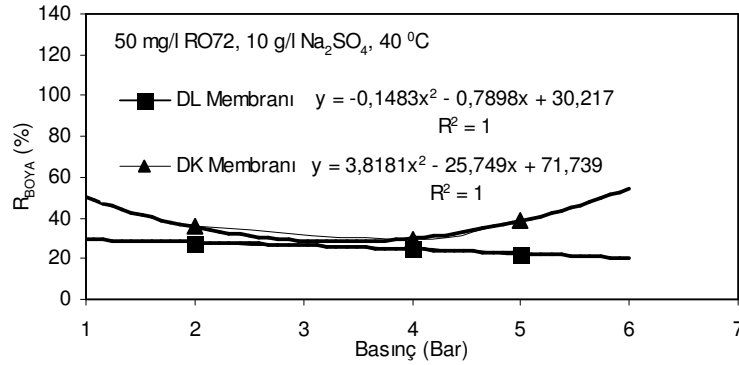


Şekil 4.72. Düşük NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması

Na_2SO_4 tuzuyla yapılan deneylerin sonuçları DL ve DK membranları için lineer olarak değişmemiş, 2. dereceli polinom olarak değişmiştir. DL membranında azalma, DK membranında artış gözlenmiştir (Şekil 4.73 ve Şekil 4.74).



Şekil 4.73. 20 °C'de Na_2SO_4 tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması

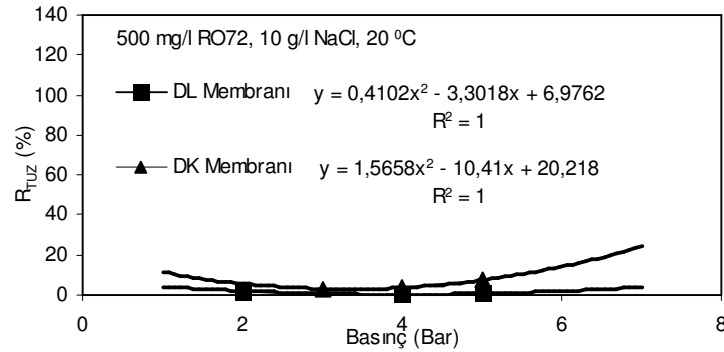


Şekil 4.74. 40 °C'de Na_2SO_4 tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması

Şekil 4.68-4.74 arasındaki grafiklerde giderim verim yüzdesi tüm deney şartlarında DK membranında DL membranına göre daha yüksektir. Bu da DK membranında daha iyi arıtım gerçekleştirildiğinin bir göstergesidir.

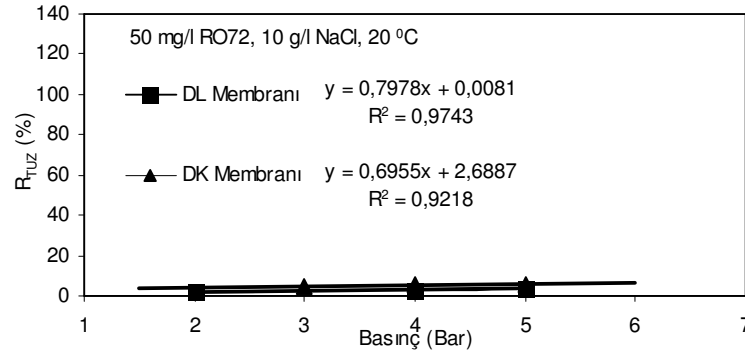
4.9.1.3. DL ve DK Membranları İçin R_{Tuz} -Basınç İlişkisi

Çizelge 4.4'deki verilere göre genel olarak basınç değeri ile birlikte tuz giderim yüzdesi artmıştır. Ancak bu artış çok fazla değildir. Yüksek boya konsantrasyonunda her iki membranda lineer artış yerine 2. dereceli polinom artış göstermiştir (Şekil 4.75).

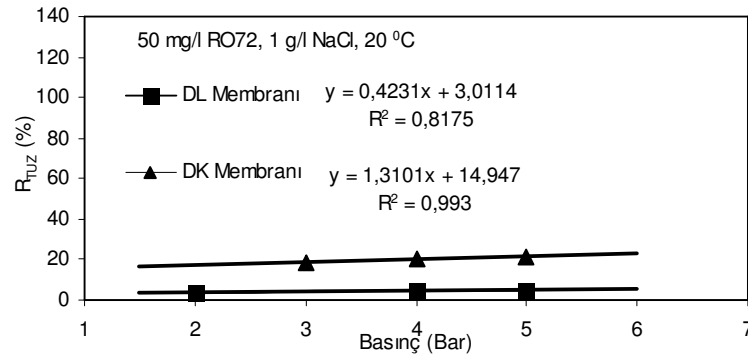


Şekil 4.75. Yüksek boya konsantrasyonu için DL ve DK membranlarının R_{Tuz} karşılaştırılması

DL membranında yüksek tuz konsantrasyonunda basınçla birlikte tuz giderim verimi yaklaşık 1,8 kat daha fazla eğimle artış göstermiştir. DK membranında ise düşük tuz konsantrasyonunda yaklaşık 1,9 kat fazla eğimle artış gözlenmiştir (Şekil 4.76 ve Şekil 4.77).



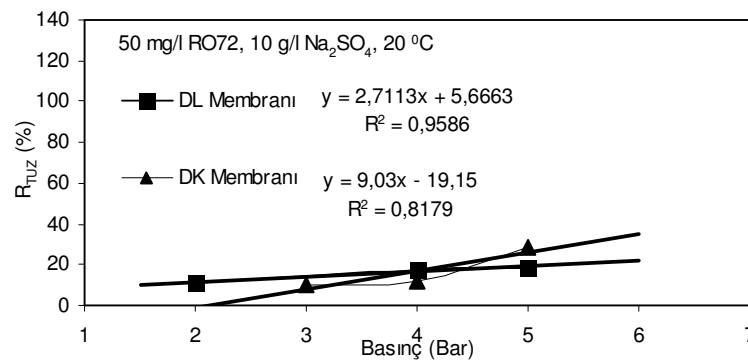
Şekil 4.76. Yüksek NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının R_{Tuz} karşılaştırılması



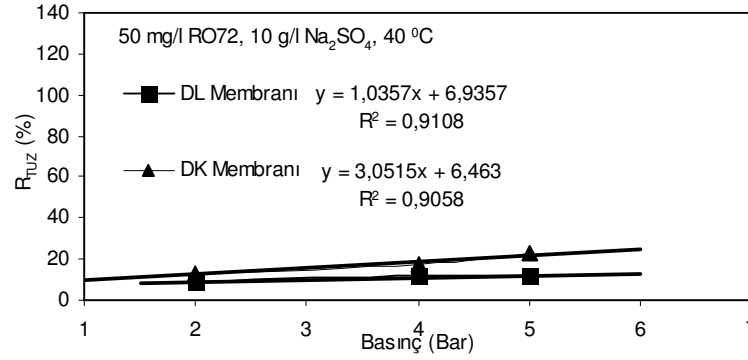
Şekil 4.77. Düşük NaCl konsantrasyonu için DK ve DL membranlarının R_{Tuz} karşılaştırılması

Na_2SO_4 tuz içeren çözeltide NaCl içeren çözeltime göre DL ve DK membranlarının her ikisinde de artış gözlenmiştir.

Na_2SO_4 tuz içeren çözelti için farklı sıcaklıklarda yapılan çalışmalarda sıcaklığın 2 kat artmasıyla DL membranında yaklaşık 2,6 kat, DK membranında yaklaşık 3 kat düşüş gözlenmiştir. Sıcaklık artışıyla tuz giderim verim değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Fakat basıncın artmasıyla verimlerde de artış gözlenmiştir.



Şekil 4.78. 20 °C'de Na_2SO_4 tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması



Şekil 4.79. 40 °C'de Na₂SO₄ tuzu içeren çözelti için DL ve DK membranlarının R_{Boya} karşılaştırılması

Genel olarak Şekil 4.75 ile Şekil 4.79 arasındaki grafikler incelendiğinde tuz giderim veriminde de DK membranında biraz daha yüksek değerler bulunmuştur.

4.9.2. Sonuçların İstatistiksel Karşılaştırılması

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler arasında önemli fark olup olmadığı istatistiksel olarak test edilmiştir. Deneylerde elde edilen 4 adet verinin ortalamaları alındığından t-testi uygulanmıştır ($n = 4 < 30$). Önem derecesi (α) 0,05 alınmıştır. T testi uygulamalarında;

Hipotez (H_0) : Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)

Alternatif Hipotez (H_a) : Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

olarak çift yönlü alınmıştır.

0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri ($T_{(n_1+n_2-2); (1-\alpha/2)}$) t-tablosunda 2,447 olarak okunmuştur ($n_1 = 4, n_2 = 4, \alpha = 0,05$).

Örneklerimiz bağımsız örnekler olmasından dolayı aşağıdaki (4.2) nolu formülün (4.1) nolu formül yerine konulmasıyla T_{hesap} değeri bulunmuştur:

$$T_{hesap} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (4.1)$$

$$S_p = \frac{(n_1 - 1) \times S_1^2 + (n_2 - 1) \times S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (4.2)$$

Bu denklemlerde;

\bar{X}_1 = Birinci örneğin ortalama değeri

n_1 = Birinci örneğin veri sayısı

\bar{X}_2 = İkinci örneğin ortalama değeri

n_2 = İkinci örneğin veri sayısı

μ_1 = Birinci nüfusun ortalaması

s_1 = Birinci örneğin standart sapması

μ_2 = İkinci nüfusun ortalaması

s_2 = Birinci örneğin standart sapması

S_p = Birleştirilmiş standart sapma

ifade etmektedir.

Hesap ile bulunan T_{hesap} değerinin mutlak değeri tablodan bulunan T_{tablo} değeri ile karşılaştırılmıştır. $|T_{\text{hesap}}| > T_{\text{tablo}}$ olduğu durumda H_0 hipotezi reddedilip, H_a hipotezi kabul edilmiştir. Yani “ortalamlar birbirine eşit olmayıp aralarında önemli fark vardır” sonucuna ulaşılmıştır. $|T_{\text{hesap}}| < T_{\text{tablo}}$ olduğu durumda ise H_0 hipotezi kabul edilip, H_a hipotezi reddedilmiştir. Yani “ortalamlar birbirine eşit olup aralarında fark yoktur” sonucuna varılmıştır.

4.9.2.1. DL ve DK Membranlarının Akı Değerleri Arasında t-testi Uygulaması

DL ve DK membranlarının aynı deney koşullarındaki zamana karşı akı değerlerinin ortalaması alınmış ve bu değerler 4.1.1 ve 4.1.2 başlıkları altında grafikler halinde verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde akı değerleri genellikle 105. dakika ile 150. dakika arasında sabitlenmiştir. Bu süreler arasında elde edilen 4 verinin ortalaması alınarak her bir deney koşulu için ortalama akı değeri hesap edilmiştir. Çizelge 4.5’de söz konusu verilerin ortalama ve standart sapma değerleri veri sayıları ile birlikte görülmektedir. Bu değerler kullanılarak elde edilen t-testi sonuçlarına göre membranların akı değerleri arasında fark vardır ve DL membranının akı değerleri DK membranından büyüktür (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. DL ve DK Mebranlarının Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	DL (Akı)	DK (Akı)	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1}^{(c)} = 51,443$ $s_1^{(e)} = 0,426$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{ort2}^{(d)} = 15,500$ $s_2^{(f)} = 0,333$ $n_2^{(h)} = 4$	0,382	132,991	$ T_{hesap} ^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 63,705$ $s_1 = 0,544$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 22,000$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,385	153,233	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 40 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 93,667$ $s_1 = 1,587$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 26,333$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	1,122	84,857	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 40 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 117,750$ $s_1 = 1,751$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 36,333$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	1,238	93,012	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 12,000$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 7,467$ $s_2 = 0,754$ $n_2 = 4$	0,533	12,021	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 12,667$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 9,100$ $s_2 = 0,067$ $n_2 = 4$	0,047	107,000	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 33,167$ $s_1 = 1,575$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 14,667$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	1,114	23,488	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) DL Membranının Akı ortalama değeri

(d) DK Membranının Akı ortalama değeri

(e) DL Membranının Akı standart sapma değeri

(f) DK Membranının Akı standart sapma değeri

(g) DL Membranının Akı veri değeri

(h) DK Membranının Akı veri değeri

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.5. (Devam) DL ve DK Mebranlarının Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	DL (Akı)	DK (Akı)	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1}^{(c)} = 38,000$ $s_1^{(e)} = 2,228$ $n_1^{(g)} = 4$	$\mu_2^{(d)} = 22,667$ $s_2^{(f)} = 0,000$ $n_2^{(h)} = 4$	1,575	13,766	$IT_{hesap}^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 58,250$ $s_1 = 0,500$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 17,333$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,354	163,667	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 85,333$ $s_1 = 0,100$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 25,333$ $s_2 = 0,100$ $n_2 = 4$	0,100	848,528	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 38,333$ $s_1 = 0,471$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 4,383$ $s_2 = 0,158$ $n_2 = 4$	0,351	136,612	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 48,917$ $s_1 = 1,134$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 7,333$ $s_2 = 0,267$ $n_2 = 4$	0,824	71,363	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 40 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 74,667$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 8,983$ $s_2 = 0,227$ $n_2 = 4$	0,160	578,975	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 40 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 98,333$ $s_1 = 1,277$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 12,667$ $s_2 = 0,189$ $n_2 = 4$	0,912	132,773	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) DL Membranının Akı ortalama değeri

(d) DK Membranının Akı ortalama değeri

(e) DL Membranının Akı standart sapma değeri

(f) DK Membranının Akı standart sapma değeri

(g) DL Membranının Akı veri değeri

(h) DK Membranının Akı veri değeri

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

4.9.2.2. DL ve DK Membranlarının Ortalama R_{boya} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması

Çizelge 4.6'da DL ve DK membranlarının aynı deney koşulundaki R_{boya} değerleri arasında fark olup olmadığı belirlenmiştir. Ortalama R_{boya} değerleri akı değerlerinde olduğu gibi 105. dakika ile 150. dakika arasındaki 4 verinin ortalaması alınarak hesap edilmiştir. 4.9.2 başlık altında anlatılan şekilde t-testi hesaplaması yapılmış ve çizelgede sonuçlar verilmiştir. Tüm deney şartları için DL ve DK membranlarında boya giderim verimleri arasında fark olduğu anlaşılmıştır. DK membranında R_{boya} değerlerinin DL membranından yüksek olduğu istatistiksel olarak kanıtlanmıştır.

4.9.2.3. DL ve DK Membranlarının Ortalama R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması

DL ve DK membranlarının tuz giderim verimleri arasında da önemli fark olduğu t-testi ile bulunmuştur (Çizelge 4.7). R_{tuz} değerlerinde DK membranında daha yüksek değerler görülmüştür. Sadece 50 mg/l RO72 ve 10 g/l Na_2SO_4 çözültisi ve 20 °C ile 4 bar işletim şartlarında yapılan deney sonuçlarında DL membranında tuz giderim verimi yüksek bulunmuştur. DL membranında bu şartlarda R_{boya} değeri de yüksek çıkmıştır. Bunun nedeninin deneysel hata olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.6. DL ve DK Mebranlarının R_{boya} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deneş Şartları	DL (R_{boya})	DK (R_{boya})	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, 20 °C, 4 bar	$\bar{x}_{ort1}^{(c)} = 52,292$ $s_1^{(e)} = 0,213$ $n_1^{(g)} = 4$	$\bar{x}_{ort2}^{(d)} = 88,511$ $s_2^{(f)} = 0,186$ $n_2^{(h)} = 4$	0,200	-256,332	$IT_{hesap}^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 54,213$ $s_1 = 0,231$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 83,850$ $s_2 = 0,284$ $n_2 = 4$	0,259	-161,924	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 40 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 53,549$ $s_1 = 0,457$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 86,682$ $s_2 = 0,159$ $n_2 = 4$	0,342	-137,026	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 40 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 55,709$ $s_1 = 0,352$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 85,979$ $s_2 = 0,239$ $n_2 = 4$	0,301	-142,369	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 65,490$ $s_1 = 0,501$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 94,054$ $s_2 = 0,245$ $n_2 = 4$	0,394	-102,475	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 75,288$ $s_1 = 0,861$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 94,544$ $s_2 = 0,065$ $n_2 = 4$	0,610	-44,609	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 48,040$ $s_1 = 0,321$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 81,512$ $s_2 = 0,653$ $n_2 = 4$	0,514	-92,032	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) DL Membranının R_{boya} ortalama değeri(d) DK Membranının R_{boya} ortalama değeri(e) DL Membranının R_{boya} standart sapma değeri(f) DK Membranının R_{boya} standart sapma değeri(g) DL Membranının R_{boya} veri değeri(h) DK Membranının R_{boya} veri değeri

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.6. (Devam) DL ve DK Mebranlarının R_{boya} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	DL (R_{boya})	DK (R_{boya})	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$\bar{x}_{ort1}^{(c)} = 46,769$ $s_1^{(e)} = 0,677$ $n_1^{(g)} = 4$	$\bar{x}_{ort2}^{(d)} = 75,353$ $s_2^{(f)} = 0,490$ $n_2^{(h)} = 4$	0,591	-68,387	$ T_{hesap} ^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 42,590$ $s_1 = 0,538$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 76,811$ $s_2 = 0,286$ $n_2 = 4$	0,431	-112,352	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 36,892$ $s_1 = 0,467$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 71,495$ $s_2 = 0,176$ $n_2 = 4$	0,353	-138,808	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 46,404$ $s_1 = 0,426$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 38,194$ $s_2 = 0,272$ $n_2 = 4$	0,358	32,466	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 44,620$ $s_1 = 0,122$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 46,666$ $s_2 = 0,931$ $n_2 = 4$	0,664	-4,359	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , 40 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 24,686$ $s_1 = 0,497$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 29,834$ $s_2 = 0,172$ $n_2 = 4$	0,372	-19,579	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , 40 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 22,561$ $s_1 = 0,734$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 38,448$ $s_2 = 0,210$ $n_2 = 4$	0,540	-41,608	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) DL Membranının R_{boya} ortalama değeri(d) DK Membranının R_{boya} ortalama değeri(e) DL Membranının R_{boya} standart sapma değeri(f) DK Membranının R_{boya} standart sapma değeri(g) DL Membranının R_{boya} veri değeri(h) DK Membranının R_{boya} veri değeri

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.7. DL ve DK Mebranlarının R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	DL (R_{tuz})	DK (R_{tuz})	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1}^{(c)} = 0,332$ $s_1^{(e)} = 0,022$ $n_1^{(g)} = 4$	$\mu_2^{(d)} = 3,629$ $s_2^{(f)} = 0,065$ $n_2^{(h)} = 4$	0,048	-96,568	$IT_{hesap}^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
500 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 0,722$ $s_1 = 0,051$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 7,310$ $s_2 = 0,013$ $n_2 = 4$	0,037	-248,711	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 2,975$ $s_1 = 0,090$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 5,705$ $s_2 = 0,051$ $n_2 = 4$	0,073	-52,882	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 4,147$ $s_1 = 0,192$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 6,049$ $s_2 = 0,004$ $n_2 = 4$	0,136	-19,798	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 5,050$ $s_1 = 0,148$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 20,314$ $s_2 = 0,006$ $n_2 = 4$	0,105	-206,263	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 1 g/l NaCl, 20 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 4,896$ $s_1 = 0,009$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 21,435$ $s_2 = 0,003$ $n_2 = 4$	0,007	-3502,267	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , 20 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 17,487$ $s_1 = 0,142$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 12,049$ $s_2 = 0,001$ $n_2 = 4$	0,100	76,859	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) DL Membranının R_{tuz} ortalama değeri(d) DK Membranının R_{tuz} ortalama değeri(e) DL Membranının R_{tuz} standart sapma değeri(f) DK Membranının R_{tuz} standart sapma değeri(g) DL Membranının R_{tuz} veri değeri(h) DK Membranının R_{tuz} veri değeri

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.7. (Devam) DL ve DK Mebranlarının R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	DL (R_{tuz})	DK (R_{tuz})	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , 20 °C, 5 bar	$X_{ort1}^{(c)} = 18,573$ $s_1^{(e)} = 0,065$ $n_1^{(g)} = 4$	$\mu_2^{(d)} = 28,460$ $s_2^{(f)} = 0,004$ $n_2^{(h)} = 4$	0,046	-302,346	$ T_{hesap} ^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , 40 °C, 4 bar	$X_{ort1} = 11,641$ $s_1 = 0,382$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 16,965$ $s_2 = 0,259$ $n_2 = 4$	0,326	-23,067	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, 10 g/l Na_2SO_4 , 40 °C, 5 bar	$X_{ort1} = 11,742$ $s_1 = 0,233$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 22,857$ $s_2 = 0,241$ $n_2 = 4$	0,237	-66,184	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) DL Membranının R_{tuz} ortalama değeri(d) DK Membranının R_{tuz} ortalama değeri(e) DL Membranının R_{tuz} standart sapma değeri(f) DK Membranının R_{tuz} standart sapma değeri(g) DL Membranının R_{tuz} veri değeri(h) DK Membranının R_{tuz} veri değeri

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

4.9.2.4. 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklardaki Ortalama Akı, R_{boya} ve R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması

Düşük ve yüksek sıcaklıklarda yapılan deneylerden elde edilen akı değerlerinin uygulanan t-testine göre farklı olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 4.8). Ayrıca yüksek sıcaklıkta (40 °C) bulunan akı değerleri düşük sıcaklıkta (20 °C) bulunan akı değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu da akı değerinin sıcaklıkla arttığına göstergesidir

Çizelge 4.9'da görüldüğü üzere hesap ile bulunan test kritik mutlak değerleri 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değerinden (2,447) büyük olmasından 20 °C ve 40 °C sıcaklıklar arasında boya giderim verimi açısından fark olduğu bulunmuştur. Sıcaklıkla beraber artan akı değerlerinin tersine R_{boya} değerleri genellikle sıcaklıkla beraber düşüş göstermiştir. Sadece tuz içermeyen boya çözeltisiyle yapılan deneylerde R_{boya} değeri sıcaklıkla beraber artmıştır. Bu artış da DL ve DK membranlarında yüksek basınçta görülmüştür. Ayrıca sonuçlar incelendiğinde DL membranı için tüm basınç koşullarında bulunan T_{hesap} değeri çok yüksek bir değer değildir. Bu da tuzsuz boya çözeltisinde sıcaklıkla beraber R_{boya} değerinin çok büyük fark ile değişmediğinin sonucudur. DK membranında ise T_{hesap} değeri DL membranına göre daha yüksek çıkmış ve buradaki fark DL membranına oranla daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır.

R_{tuz} değerleri de sıcaklık artışıyla düşmüştür ve aradaki fark önemli bulunmuştur (Çizelge 4.10). Sıcaklığın artmasıyla R_{boya} ve R_{tuz} değerlerinin düşmesinin sebebi boya ve tuzun çözünürlüğünün sıcaklıkla beraber artmasından olduğu düşünülmektedir. Çözünürlüğün artmasıyla membrandan boya ve tuzun geçmesi de daha kolaylaşmış olmaktadır.

Çizelge 4.8. 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	20 °C (Akı)	40 °C (Akı)	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 2 Bar	$X_{ort1}^{(c)} = 23,333$ $s_1^{(e)} = 0,193$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{ort2}^{(d)} = 46,319$ $s_2^{(f)} = 0,630$ $n_2^{(h)} = 4$	0,466	-69,720	$IT_{hesap}^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 4 Bar	$X_{ort1} = 51,443$ $s_1 = 0,426$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 93,667$ $s_2 = 1,587$ $n_2 = 4$	1,162	-51,397	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 5 Bar	$X_{ort1} = 63,705$ $s_1 = 0,544$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 117,750$ $s_2 = 1,751$ $n_2 = 4$	1,296	-58,958	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 3 Bar	$X_{ort1} = 10,373$ $s_1 = 0,060$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 18,667$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,042	-278,167	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 4 Bar	$X_{ort1} = 15,500$ $s_1 = 0,333$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 26,333$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,236	-65,000	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 5 Bar	$X_{ort1} = 22,111$ $s_1 = 0,272$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 36,333$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,192	-104,512	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 2 Bar	$X_{ort1} = 14,000$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 34,056$ $s_2 = 0,136$ $n_2 = 4$	0,096	-294,755	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 4 Bar	$X_{ort1} = 33,167$ $s_1 = 1,575$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 85,833$ $s_2 = 0,638$ $n_2 = 4$	1,202	-61,973	$IT_{hesap}^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) Akı ortalama değeri (20 °C)

(d) Akı ortalama değeri (40 °C)

(e) Akı standart sapma değeri (20 °C)

(f) Akı standart sapma değeri (40 °C)

(g) Akı veri değeri (20 °C)

(h) Akı veri değeri (40 °C)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.8. (Devam) 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	20 °C (Akı)	40 °C (Akı)	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 5 Bar	$X_{ort1}^{(c)} = 38,000$ $s_1^{(e)} = 2,228$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{ort2}^{(d)} = 116,500$ $s_2^{(f)} = 1,374$ $n_2^{(h)} = 4$	1,851	-59,979	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 2 Bar	$X_{ort1} = 16,725$ $s_1 = 0,039$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 30,833$ $s_2 = 0,192$ $n_2 = 4$	0,139	-143,661	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 4 Bar	$X_{ort1} = 38,333$ $s_1 = 0,471$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 74,667$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,333	-154,149	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 5 Bar	$X_{ort1} = 48,917$ $s_1 = 1,134$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 98,333$ $s_2 = 1,277$ $n_2 = 4$	1,208	-57,871	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 3 Bar	$X_{ort1} = 2,335$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 5,133$ $s_2 = 0,077$ $n_2 = 4$	0,054	-72,703	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 4 Bar	$X_{ort1} = 4,383$ $s_1 = 0,158$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 8,983$ $s_2 = 0,227$ $n_2 = 4$	0,195	-33,307	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 5 Bar	$X_{ort1} = 7,333$ $s_1 = 0,267$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 12,666667$ $s_2 = 0,1885618$ $n_2 = 4$	0,23094	-32,660	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) Akı ortalama değeri (20 °C)

(d) Akı ortalama değeri (40 °C)

(e) Akı standart sapma değeri (20 °C)

(f) Akı standart sapma değeri (40 °C)

(g) Akı veri değeri (20 °C)

(h) Akı veri değeri (40 °C)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.9. 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda R_{boya} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	20 °C (R _{boya})	40 °C (R _{boya})	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 2 Bar	X _{ort1} ^(c) = 49,632 s ₁ ^(e) = 0,173 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 48,609 s ₂ ^(f) = 0,256 n ₂ ^(h) = 4	0,218	6,624	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 4 Bar	X _{ort1} = 52,292 s ₁ = 0,213 n ₁ = 4	X _{ort2} = 53,549 s ₂ = 0,457 n ₂ = 4	0,356	-4,991	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 5 Bar	X _{ort1} = 54,213 s ₁ = 0,231 n ₁ = 4	X _{ort2} = 55,709 s ₂ = 0,352 n ₂ = 4	0,298	-7,108	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 3 Bar	X _{ort1} = 93,085 s ₁ = 0,190 n ₁ = 4	X _{ort2} = 86,911 s ₂ = 0,126 n ₂ = 4	0,161	54,138	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 4 Bar	X _{ort1} = 88,511 s ₁ = 0,186 n ₁ = 4	X _{ort2} = 86,682 s ₂ = 0,159 n ₂ = 4	0,173	14,941	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 5 Bar	X _{ort1} = 83,850 s ₁ = 0,284 n ₁ = 4	X _{ort2} = 85,979 s ₂ = 0,239 n ₂ = 4	0,262	-11,472	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 2 Bar	X _{ort1} = 52,202 s ₁ = 0,934 n ₁ = 4	X _{ort2} = 32,869 s ₂ = 0,757 n ₂ = 4	0,850	32,171	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{boya} ortalama değeri (20 °C)(d) R_{boya} ortalama değeri (40 °C)(e) R_{boya} standart sapma değeri (20 °C)(f) R_{boya} standart sapma değeri (40 °C)(g) R_{boya} veri değeri (20 °C)(h) R_{boya} veri değeri (40 °C)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.9. (Devam) 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda R_{boya} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	20 °C (R _{boya})	40 °C (R _{boya})	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 4 Bar	X _{ort1} ^(c) = 48,040 s ₁ ^(e) = 0,321 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 27,549 s ₂ ^(f) = 0,856 n ₂ ^(h) = 4	0,646	44,839	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 5 Bar	X _{ort1} = 46,769 s ₁ = 0,677 n ₁ = 4	X _{ort2} = 25,036 s ₂ = 0,566 n ₂ = 4	0,624	49,263	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 2 Bar	X _{ort1} = 45,976 s ₁ = 0,137 n ₁ = 4	X _{ort2} = 28,044 s ₂ = 0,910 n ₂ = 4	0,651	38,984	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 4 Bar	X _{ort1} = 46,404 s ₁ = 0,426 n ₁ = 4	X _{ort2} = 24,686 s ₂ = 0,497 n ₂ = 4	0,463	66,332	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 5 Bar	X _{ort1} = 44,620 s ₁ = 0,122 n ₁ = 4	X _{ort2} = 22,561 s ₂ = 0,734 n ₂ = 4	0,526	59,293	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 3 Bar	X _{ort1} = 40,613 s ₁ = 0,038 n ₁ = 4	X _{ort2} = 35,514 s ₂ = 1,186 n ₂ = 4	0,839	8,595	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 4 Bar	X _{ort1} = 38,194 s ₁ = 0,272 n ₁ = 4	X _{ort2} = 29,834 s ₂ = 0,172 n ₂ = 4	0,227	51,973	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 5 Bar	X _{ort1} = 46,666 s ₁ = 0,931 n ₁ = 4	X _{ort2} = 38,44763 s ₂ = 0,2104712 n ₂ = 4	0,67478	17,22447	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{boya} ortalama değeri (20 °C)(d) R_{boya} ortalama değeri (40 °C)(e) R_{boya} standart sapma değeri (20 °C)(f) R_{boya} standart sapma değeri (40 °C)(g) R_{boya} veri değeri (20 °C)(h) R_{boya} veri değeri (40 °C)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.10. 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	20 °C (R _{tuz})	40 °C (R _{tuz})	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 2 Bar	X _{ort1} ^(c) = 1,685 s ₁ ^(e) = 0,005 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 0,758 s ₂ ^(f) = 0,310 n ₂ ^(h) = 4	0,219	5,984	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 4 Bar	X _{ort1} = 2,975 s ₁ = 0,090 n ₁ = 4	X _{ort2} = 1,661 s ₂ = 0,197 n ₂ = 4	0,153	12,129	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l NaCl, 5 Bar	X _{ort1} = 4,147 s ₁ = 0,192 n ₁ = 4	X _{ort2} = 1,550 s ₂ = 0,028 n ₂ = 4	0,137	26,743	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 2 Bar	X _{ort1} = 10,777 s ₁ = 0,079 n ₁ = 4	X _{ort2} = 8,821 s ₂ = 0,091 n ₂ = 4	0,085	32,360	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 4 Bar	X _{ort1} = 17,487 s ₁ = 0,142 n ₁ = 4	X _{ort2} = 11,641 s ₂ = 0,382 n ₂ = 4	0,288	28,711	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 5 Bar	X _{ort1} = 18,573 s ₁ = 0,065 n ₁ = 4	X _{ort2} = 11,742 s ₂ = 0,233 n ₂ = 4	0,171	56,346	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 3 Bar	X _{ort1} = 10,400 s ₁ = 0,000 n ₁ = 4	X _{ort2} = 13,134 s ₂ = 0,006 n ₂ = 4	0,004	-948,322	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{tuz} ortalama değeri (20 °C)(d) R_{tuz} ortalama değeri (40 °C)(e) R_{tuz} standart sapma değeri (20 °C)(f) R_{tuz} standart sapma değeri (40 °C)(g) R_{tuz} veri değeri (20 °C)(h) R_{tuz} veri değeri (40 °C)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.10. (Devam) 20 °C ve 40 °C Sıcaklıklarda R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	20 °C (R _{tuz})	40 °C (R _{tuz})	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 4 Bar	X _{ort1} = 12,049 s ₁ = 0,001 n ₁ = 4	X _{ort2} = 16,965 s ₂ = 0,259 n ₂ = 4	0,183	-37,913	T _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 10 g/l Na ₂ SO ₄ , 5 Bar	X _{ort1} = 28,460 s ₁ = 0,004 n ₁ = 4	X _{ort2} = 22,857 s ₂ = 0,241 n ₂ = 4	0,171	46,412	T _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{tuz} ortalama değeri (20 °C)(d) R_{tuz} ortalama değeri (40 °C)(e) R_{tuz} standart sapma değeri (20 °C)(f) R_{tuz} standart sapma değeri (40 °C)(g) R_{tuz} veri değeri (20 °C)(h) R_{tuz} veri değeri (40 °C)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

4.9.2.5. NaCl ve Na₂SO₄ Tuzlarındaki Ortalama Akı, R_{boya} ve R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması

NaCl ve Na₂SO₄ içeren çözeltiler ile yapılan deney sonuçlarından elde edilen akı değerleri t-testi ile karşılaştırıldığında akı değerleri arasında önemli fark olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.11). DL membranı ve 20 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde Na₂SO₄ tuzuyla elde edilen akı değerleri NaCl tuzuyla elde edilen akı değerlerinden yüksek çıkmıştır. DL membranı ve 40 °C sıcaklık ile DK membranı ile yapılan deneylerde ise Na₂SO₄ tuzuyla elde edilen akı değerleri NaCl tuzuyla elde edilen akı değerlerinden düşük çıkmıştır. DK membranının MAKÇ değeri DL membranından daha düşük olması nedeniyle Na₂SO₄ tuzu NaCl tuzuna oranla DK membranından daha az, DL membranından daha fazla geçmiştir.

R_{boya} değerleri açısından NaCl ve Na₂SO₄ tuzları ile yapılan deney sonuçları arasında da önemli fark vardır (Çizelge 4.12). NaCl ile yapılan deneylerde daha büyük R_{boya} değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.13'de de görüldüğü üzere R_{tuz} değerleri arasında da t-testine göre önemli fark olduğu hesap edilmiştir. R_{tuz} değerlerinde Na₂SO₄ tuzunda daha yüksek bulunmuştur. Kısaca DL ve DK membranlarında Na₂SO₄ tuzunu giderim yüzdesi daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.11. NaCl ve Na₂SO₄ Tuzlarının Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deneş Şartları	NaCl	Na ₂ SO ₄	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 2 Bar	X _{ort1} ^(c) = 10,667 s ₁ ^(e) = 0,000 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 11,444 s ₂ ^(f) = 0,272 n ₂ ^(h) = 4	0,192	-5,715	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 12,000 s ₁ = 0,000 n ₁ = 4	X _{ort2} = 26,583 s ₂ = 0,500 n ₂ = 4	0,354	-58,333	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 12,667 s ₁ = 0,000 n ₁ = 4	X _{ort2} = 33,827 s ₂ = 0,646 n ₂ = 4	0,457	-65,498	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 2 Bar	X _{ort1} = 14,000 s ₁ = 0,000 n ₁ = 4	X _{ort2} = 16,725 s ₂ = 0,039 n ₂ = 4	0,028	-139,000	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 33,167 s ₁ = 1,575 n ₁ = 4	X _{ort2} = 38,333 s ₂ = 0,471 n ₂ = 4	1,163	-6,284	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 38,000 s ₁ = 2,228 n ₁ = 4	X _{ort2} = 48,917 s ₂ = 1,134 n ₂ = 4	1,768	-8,733	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 2 Bar	X _{ort1} = 34,056 s ₁ = 0,136 n ₁ = 4	X _{ort2} = 30,833 s ₂ = 0,192 n ₂ = 4	0,167	27,341	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) Akı ortalama değeri (NaCl)

(d) Akı ortalama değeri (Na₂SO₄)

(e) Akı standart sapma değeri (NaCl)

(f) Akı standart sapma değeri (Na₂SO₄)

(g) Akı veri değeri (NaCl)

(h) Akı veri değeri (Na₂SO₄)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.11. (Devam) NaCl ve Na₂SO₄ Tuzlarının Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deneş Şartları	NaCl	Na ₂ SO ₄	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 4 Bar	X _{ort1} ^(c) = 85,833 s ₁ ^(e) = 0,638 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 74,667 s ₂ ^(f) = 0,000 n ₂ ^(h) = 4	0,451	34,990	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 116,500 s ₁ = 1,374 n ₁ = 4	X _{ort2} = 98,333 s ₂ = 1,277 n ₂ = 4	1,326	19,370	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 3 Bar	X _{ort1} = 8,533 s ₁ = 0,000 n ₁ = 4	X _{ort2} = 2,361 s ₂ = 0,058 n ₂ = 4	0,041	212,335	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 14,667 s ₁ = 0,000 n ₁ = 4	X _{ort2} = 4,383 s ₂ = 0,158 n ₂ = 4	0,111	130,559	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 22,667 s ₁ = 0,000 n ₁ = 4	X _{ort2} = 7,333 s ₂ = 0,267 n ₂ = 4	0,189	115,000	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) Akı ortalama değeri (NaCl)

(d) Akı ortalama değeri (Na₂SO₄)

(e) Akı standart sapma değeri (NaCl)

(f) Akı standart sapma değeri (Na₂SO₄)

(g) Akı veri değeri (NaCl)

(h) Akı veri değeri (Na₂SO₄)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.12. NaCl ve Na₂SO₄ Tuzlarının R_{boya} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	NaCl	Na ₂ SO ₄	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 2 Bar	X _{ort1} ^(c) = 55,899 s ₁ ^(e) = 0,570 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 59,512 s ₂ ^(f) = 0,349 n ₂ ^(h) = 4	0,472	-10,820	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 65,490 s ₁ = 0,501 n ₁ = 4	X _{ort2} = 61,739 s ₂ = 0,135 n ₂ = 4	0,367	14,470	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 75,288 s ₁ = 0,861 n ₁ = 4	X _{ort2} = 62,980 s ₂ = 0,376 n ₂ = 4	0,664	26,208	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 2 Bar	X _{ort1} = 52,202 s ₁ = 0,934 n ₁ = 4	X _{ort2} = 45,976 s ₂ = 0,137 n ₂ = 4	0,667	13,193	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 48,040 s ₁ = 0,321 n ₁ = 4	X _{ort2} = 46,404 s ₂ = 0,426 n ₂ = 4	0,377	6,135	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 46,769 s ₁ = 0,677 n ₁ = 4	X _{ort2} = 44,620 s ₂ = 0,122 n ₂ = 4	0,486	6,246	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 2 Bar	X _{ort1} = 32,869 s ₁ = 0,757 n ₁ = 4	X _{ort2} = 28,044 s ₂ = 0,910 n ₂ = 4	0,837	8,155	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{boya} ortalama değeri (NaCl)(d) R_{boya} ortalama değeri (Na₂SO₄)(e) R_{boya} standart sapma değeri (NaCl)(f) R_{boya} standart sapma değeri (Na₂SO₄)(g) R_{boya} veri değeri (NaCl)(h) R_{boya} veri değeri (Na₂SO₄)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.12. (Devam) NaCl ve Na₂SO₄ Tuzlarının R_{boya} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	NaCl	Na ₂ SO ₄	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 4 Bar	X _{ort1} ^(c) = 27,549 s ₁ ^(e) = 0,856 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 24,686 s ₂ ^(f) = 0,497 n ₂ ^(h) = 4	0,700	5,785	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 25,036 s ₁ = 0,566 n ₁ = 4	X _{ort2} = 22,561 s ₂ = 0,734 n ₂ = 4	0,655	5,342	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 3 Bar	X _{ort1} = 88,863 s ₁ = 0,545 n ₁ = 4	X _{ort2} = 40,613 s ₂ = 0,038 n ₂ = 4	0,386	176,588	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 81,512 s ₁ = 0,653 n ₁ = 4	X _{ort2} = 38,194 s ₂ = 0,272 n ₂ = 4	0,500	122,477	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 75,353 s ₁ = 0,490 n ₁ = 4	X _{ort2} = 46,666 s ₂ = 0,931 n ₂ = 4	0,744	54,537	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{boya} ortalama değeri (NaCl)(d) R_{boya} ortalama değeri (Na₂SO₄)(e) R_{boya} standart sapma değeri (NaCl)(f) R_{boya} standart sapma değeri (Na₂SO₄)(g) R_{boya} veri değeri (NaCl)(h) R_{boya} veri değeri (Na₂SO₄)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.13. NaCl ve Na₂SO₄ Tuzlarının R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	NaCl	Na ₂ SO ₄	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 2 Bar	X _{ort1} ^(c) = 2,025 s ₁ ^(e) = 0,022 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 9,549 s ₂ ^(f) = 0,020 n ₂ ^(h) = 4	0,021	-514,126	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 0,332 s ₁ = 0,022 n ₁ = 4	X _{ort2} = 15,969 s ₂ = 0,011 n ₂ = 4	0,017	-1270,346	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 0,722 s ₁ = 0,051 n ₁ = 4	X _{ort2} = 18,981 s ₂ = 0,157 n ₂ = 4	0,117	-221,247	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 2 Bar	X _{ort1} = 1,685 s ₁ = 0,005 n ₁ = 4	X _{ort2} = 10,777 s ₂ = 0,079 n ₂ = 4	0,056	-228,420	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 2,975 s ₁ = 0,090 n ₁ = 4	X _{ort2} = 17,487 s ₂ = 0,142 n ₂ = 4	0,118	-173,210	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 4,147 s ₁ = 0,192 n ₁ = 4	X _{ort2} = 18,573 s ₂ = 0,065 n ₂ = 4	0,144	-142,151	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 2 Bar	X _{ort1} = 0,758 s ₁ = 0,310 n ₁ = 4	X _{ort2} = 8,821 s ₂ = 0,091 n ₂ = 4	0,228	-49,934	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{tuz} ortalama değeri (NaCl)(d) R_{tuz} ortalama değeri (Na₂SO₄)(e) R_{tuz} standart sapma değeri (NaCl)(f) R_{tuz} standart sapma değeri (Na₂SO₄)(g) R_{tuz} veri değeri (NaCl)(h) R_{tuz} veri değeri (Na₂SO₄)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.13. (Devam) NaCl ve Na₂SO₄ Tuzlarının R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	NaCl	Na ₂ SO ₄	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 4 Bar	X _{ort1} ^(c) = 1,661 s ₁ ^(e) = 0,197 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 11,641 s ₂ ^(f) = 0,382 n ₂ ^(h) = 4	0,304	-46,442	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 1,550 s ₁ = 0,028 n ₁ = 4	X _{ort2} = 11,742 s ₂ = 0,233 n ₂ = 4	0,166	-86,694	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 3 Bar	X _{ort1} = 4,673 s ₁ = 0,058 n ₁ = 4	X _{ort2} = 10,400 s ₂ = 0,000 n ₂ = 4	0,041	-198,447	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 4 Bar	X _{ort1} = 5,705 s ₁ = 0,051 n ₁ = 4	X _{ort2} = 12,049 s ₂ = 0,001 n ₂ = 4	0,036	-248,592	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 5 Bar	X _{ort1} = 6,049 s ₁ = 0,004 n ₁ = 4	X _{ort2} = 28,460 s ₂ = 0,004 n ₂ = 4	0,004	-7703,551	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{tuz} ortalama değeri (NaCl)(d) R_{tuz} ortalama değeri (Na₂SO₄)(e) R_{tuz} standart sapma değeri (NaCl)(f) R_{tuz} standart sapma değeri (Na₂SO₄)(g) R_{tuz} veri değeri (NaCl)(h) R_{tuz} veri değeri (Na₂SO₄)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

4.9.2.6. 1 g/l ve 10 g/l NaCl Konsantrasyonlarındaki Ortalama Akı, R_{boya} ve R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması

Çizelge 4.14'e göre farklı NaCl konsantrasyonlarındaki deney koşullarından elde edilen akı değerleri arasında önemli fark vardır. Düşük NaCl konsantrasyonu içeren çözeltiyle yapılan deneylerde daha yüksek akı değerleri bulunmuştur.

R_{boya} değerleri açısından incelendiğinde de farklı NaCl konsantrasyonlarında yapılan deney sonuçları arasında fark olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.15). Burada R_{boya} değerinin yüksek olduğu NaCl konsantrasyonu 10 g/l'dir.

Çizelge 4.16'da da görüldüğü üzere 1 g/l ve 10 g/l NaCl konsantrasyonları ile yapılan deneylerden elde edilen R_{tuz} değerleri arasında fark vardır. Düşük NaCl konsantrasyonu ile yapılan deneylerde daha yüksek R_{tuz} değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.14. 1 g/l ve 10 g/l NaCl Konsantrasyonlarında Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	1 g/l	10 g/l	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 2 Bar	$X_{ort1}^{(c)} = 24,667$ $s_1^{(e)} = 0,100$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{ort2}^{(d)} = 14,000$ $s_2^{(f)} = 0,000$ $n_2^{(h)} = 4$	0,071	213,333	$ T_{hesap} ^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 4 Bar	$X_{ort1} = 58,250$ $s_1 = 0,500$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 33,167$ $s_2 = 1,575$ $n_2 = 4$	1,169	30,354	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 5 Bar	$X_{ort1} = 85,333$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 38,000$ $s_2 = 2,228$ $n_2 = 4$	1,575	42,494	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 3 Bar	$X_{ort1} = 11,333$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 8,507$ $s_2 = 0,060$ $n_2 = 4$	0,042	94,809	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 4 Bar	$X_{ort1} = 17,333$ $s_1 = 0,010$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 14,667$ $s_2 = 0,010$ $n_2 = 4$	0,010	377,124	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 5 Bar	$X_{ort1} = 25,333$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 22,667$ $s_2 = 0,100$ $n_2 = 4$	0,071	53,333	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) Akı ortalama değeri (1 g/l NaCl)

(d) Akı ortalama değeri (10 g/l NaCl)

(e) Akı standart sapma değeri (1 g/l NaCl)

(f) Akı standart sapma değeri (10 g/l NaCl)

(g) Akı veri değeri (1 g/l NaCl)

(h) Akı veri değeri (10 g/l NaCl)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.15. 1 g/l ve 10 g/l NaCl Konsantrasyonlarında R_{boya} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	1 g/l	10 g/l	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 2 Bar	X _{ort1} ^(c) = 58,110 s ₁ ^(e) = 0,796 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 52,202 s ₂ ^(f) = 0,934 n ₂ ^(h) = 4	0,868	9,627	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 4 Bar	X _{ort1} = 42,590 s ₁ = 0,538 n ₁ = 4	X _{ort2} = 48,040 s ₂ = 0,321 n ₂ = 4	0,443	-17,413	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 5 Bar	X _{ort1} = 36,892 s ₁ = 0,467 n ₁ = 4	X _{ort2} = 46,769 s ₂ = 0,677 n ₂ = 4	0,581	-24,023	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 3 Bar	X _{ort1} = 85,538 s ₁ = 0,210 n ₁ = 4	X _{ort2} = 88,863 s ₂ = 0,545 n ₂ = 4	0,413	-11,386	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 4 Bar	X _{ort1} = 76,811 s ₁ = 0,286 n ₁ = 4	X _{ort2} = 81,512 s ₂ = 0,653 n ₂ = 4	0,504	-13,186	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 5 Bar	X _{ort1} = 71,495 s ₁ = 0,176 n ₁ = 4	X _{ort2} = 75,353 s ₂ = 0,490 n ₂ = 4	0,368	-14,815	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{boya} ortalama değeri (1 g/l NaCl)(d) R_{boya} ortalama değeri (10 g/l NaCl)(e) R_{boya} standart sapma değeri (1 g/l NaCl)(f) R_{boya} standart sapma değeri (10 g/l NaCl)(g) R_{boya} veri değeri (1 g/l NaCl)(h) R_{boya} veri değeri (10 g/l NaCl)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.16. 1 g/l ve 10 g/l NaCl Konsantrasyonlarında R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	1 g/l	10 g/l	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 2 Bar	$X_{ort1}^{(c)} = 3,760$ $s_1^{(e)} = 0,017$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{ort2}^{(d)} = 1,685$ $s_2^{(f)} = 0,005$ $n_2^{(h)} = 4$	0,012	238,229	$ T_{hesap} ^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 4 Bar	$X_{ort1} = 5,050$ $s_1 = 0,148$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 2,975$ $s_2 = 0,090$ $n_2 = 4$	0,122	23,992	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, NaCl, 5 Bar	$X_{ort1} = 4,896$ $s_1 = 0,009$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 4,147$ $s_2 = 0,192$ $n_2 = 4$	0,136	7,793	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 3 Bar	$X_{ort1} = 18,765$ $s_1 = 0,009$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 4,673$ $s_2 = 0,058$ $n_2 = 4$	0,041	482,900	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 4 Bar	$X_{ort1} = 20,314$ $s_1 = 0,006$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 5,705$ $s_2 = 0,051$ $n_2 = 4$	0,036	568,950	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, NaCl, 5 Bar	$X_{ort1} = 21,435$ $s_1 = 0,003$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 6,049$ $s_2 = 0,004$ $n_2 = 4$	0,004	5476,127	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{tuz} ortalama değeri (1 g/l NaCl)(e) R_{tuz} standart sapma değeri (1 g/l NaCl)(f) R_{tuz} standart sapma değeri (10 g/l NaCl)(g) R_{tuz} veri değeri (1 g/l NaCl)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)

4.9.2.7. 2/3 bar ve 5 bar Basınçlardaki Ortalama Akı, R_{boya} ve R_{tuz} Değerleri Arasında t-testi Uygulaması

Düşük ve yüksek basınçla yapılan deneylerden elde edilen akı değerleri t-testi ile karşılaştırıldığında aralarında önemli fark olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.17). Basıncın artmasıyla akının arttığı gözlenmiştir.

2/3 bar (DL membranı için 2 bar, DK membranı için 3 bar) ve 5 bar basınçlarda yapılan deneylerden elde edilen R_{boya} değerleri arasında önemli fark vardır (Çizelge 4.18). Yüksek boya konsantrasyonu ile yapılan deneylerde yüksek basınçta daha yüksek R_{boya} değeri elde edilmiştir. Ayrıca DL membranında tuzsuz çözeltiyle yapılan deneylerde de yüksek basınçta daha yüksek R_{boya} değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.19'a göre düşük ve yüksek basınçlarda ki R_{tuz} değerleri arasında t-testine göre önemli fark olduğu bulunmuştur. Yüksek basınçta elde edilen R_{tuz} değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.17. 2/3 bar ve 5 bar Basınçlarda Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deneş Şartları	2/3 bar	5 bar	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 20 °C	$X_{ort1}^{(c)} = 23,333$ $s_1^{(e)} = 0,193$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{ort2}^{(d)} = 63,705$ $s_2^{(f)} = 0,544$ $n_2^{(h)} = 4$	0,408	-139,776	$IT_{hesap}^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C	$X_{ort1} = 46,319$ $s_1 = 0,630$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 117,750$ $s_2 = 1,751$ $n_2 = 4$	1,316	-76,779	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C	$X_{ort1} = 10,373$ $s_1 = 0,060$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 22,000$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,042	-389,970	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 40 °C	$X_{ort1} = 18,667$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 36,375$ $s_2 = 0,118$ $n_2 = 4$	0,083	-300,520	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	$X_{ort1} = 11,444$ $s_1 = 0,272$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 33,827$ $s_2 = 0,646$ $n_2 = 4$	0,496	-63,848	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l NaCl	$X_{ort1} = 10,800$ $s_1 = 0,298$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 12,800$ $s_2 = 0,298$ $n_2 = 4$	0,298	-9,487	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
500 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l NaCl	$X_{ort1} = 5,600$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 9,100$ $s_2 = 0,067$ $n_2 = 4$	0,047	-105,000	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 1 g/l NaCl	$X_{ort1} = 14,000$ $s_1 = 0,000$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 38,000$ $s_2 = 2,228$ $n_2 = 4$	1,575	-21,546	$IT_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) Akı ortalama değeri (2/3 bar)

(d) Akı ortalama değeri (5 bar)

(e) Akı standart sapma değeri (2/3 bar)

(f) Akı standart sapma değeri (5 bar)

(g) Akı veri değeri (2/3 bar)

(h) Akı veri değeri (5 bar)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.17. (Devam) 2/3 bar ve 5 bar Basınçlarda Akı Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	2/3 bar	5 bar	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l NaCl	$X_{ort1}^{(c)} = 34,000$ $s_1^{(e)} = 0,000$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{ort2}^{(d)} = 116,500$ $s_2^{(f)} = 1,374$ $n_2^{(h)} = 4$	0,972	-120,055	$ T_{hesap} ^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 10 g/l NaCl	$X_{ort1} = 24,750$ $s_1 = 0,236$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 85,333$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,167	-514,067	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 1 g/l NaCl	$X_{ort1} = 16,725$ $s_1 = 0,039$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 48,917$ $s_2 = 1,134$ $n_2 = 4$	0,803	-56,717	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	$X_{ort1} = 30,833$ $s_1 = 0,192$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 98,333$ $s_2 = 1,277$ $n_2 = 4$	0,913	-104,571	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	$X_{ort1} = 2,361$ $s_1 = 0,058$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 7,333$ $s_2 = 0,267$ $n_2 = 4$	0,193	-36,437	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	$X_{ort1} = 5,133$ $s_1 = 0,077$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 12,667$ $s_2 = 0,189$ $n_2 = 4$	0,144	-73,976	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 40 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	$X_{ort1} = 8,507$ $s_1 = 0,060$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 22,667$ $s_2 = 0,000$ $n_2 = 4$	0,042	-474,941	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l NaCl	$X_{ort1} = 11,317$ $s_1 = 0,047$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 25,3333$ $s_2 = 0,001$ $n_2 = 4$	0,0333	-594,543	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) Akı ortalama değeri (2/3 bar)

(d) Akı ortalama değeri (5 bar)

(e) Akı standart sapma değeri (2/3 bar)

(f) Akı standart sapma değeri (5 bar)

(g) Akı veri değeri (2/3 bar)

(h) Akı veri değeri (5 bar)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.18. 2/3 bar ve 5 bar Basınçlarda R_{boya} Değerleri için T Testi Sonuçları

Deneş Şartları	2/3 bar	5 bar	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 20 °C	X _{ort1} ^(c) = 49,632 s ₁ ^(e) = 0,173 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 54,213 s ₂ ^(f) = 0,231 n ₂ ^(h) = 4	0,204	-31,789	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C	X _{ort1} = 48,609 s ₁ = 0,256 n ₁ = 4	X _{ort2} = 55,709 s ₂ = 0,352 n ₂ = 4	0,308	-32,621	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C	X _{ort1} = 93,085 s ₁ = 0,190 n ₁ = 4	X _{ort2} = 83,850 s ₂ = 0,284 n ₂ = 4	0,242	54,017	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 40 °C	X _{ort1} = 86,911 s ₁ = 0,126 n ₁ = 4	X _{ort2} = 85,979 s ₂ = 0,239 n ₂ = 4	0,191	6,915	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	X _{ort1} = 59,512 s ₁ = 0,349 n ₁ = 4	X _{ort2} = 62,980 s ₂ = 0,376 n ₂ = 4	0,363	-13,524	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l NaCl	X _{ort1} = 55,899 s ₁ = 0,570 n ₁ = 4	X _{ort2} = 75,288 s ₂ = 0,861 n ₂ = 4	0,730	-37,568	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
500 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l NaCl	X _{ort1} = 91,877 s ₁ = 0,347 n ₁ = 4	X _{ort2} = 94,544 s ₂ = 0,065 n ₂ = 4	0,250	-15,110	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 1 g/l NaCl	X _{ort1} = 52,202 s ₁ = 0,934 n ₁ = 4	X _{ort2} = 46,769 s ₂ = 0,677 n ₂ = 4	0,816	9,421	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{boya} ortalama değeri (2/3 bar)(d) R_{boya} ortalama değeri (5 bar)(e) R_{boya} standart sapma değeri (2/3 bar)(f) R_{boya} standart sapma değeri (5 bar)(g) R_{boya} veri değeri (2/3 bar)(h) R_{boya} veri değeri (5 bar)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.18. (Devam) 2/3 bar ve 5 bar Basınlarda R_{boya} Değerleri için T Testi Sonuçları

Deneş Şartları	2/3 bar	5 bar	S _p ^(a)	T _{hesap} ^(b)	Sonuç
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l NaCl	X _{ort1} ^(c) = 32,869 s ₁ ^(e) = 0,757 n ₁ ^(g) = 4	X _{ort2} ^(d) = 25,036 s ₂ ^(f) = 0,566 n ₂ ^(h) = 4	0,668	16,583	IT _{hesap} ^(k) > T _{tablo} ^(l) olduğu için H ₀ ^(m) Red, H _a ⁽ⁿ⁾ Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 10 g/l NaCl	X _{ort1} = 58,110 s ₁ = 0,796 n ₁ = 4	X _{ort2} = 36,892 s ₂ = 0,467 n ₂ = 4	0,653	45,973	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 1 g/l NaCl	X _{ort1} = 45,976 s ₁ = 0,137 n ₁ = 4	X _{ort2} = 44,620 s ₂ = 0,122 n ₂ = 4	0,129	14,821	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	X _{ort1} = 28,044 s ₁ = 0,910 n ₁ = 4	X _{ort2} = 22,561 s ₂ = 0,734 n ₂ = 4	0,827	9,381	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	X _{ort1} = 40,613 s ₁ = 0,038 n ₁ = 4	X _{ort2} = 46,666 s ₂ = 0,931 n ₂ = 4	0,659	-12,997	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	X _{ort1} = 35,514 s ₁ = 1,186 n ₁ = 4	X _{ort2} = 38,448 s ₂ = 0,210 n ₂ = 4	0,852	-4,872	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 40 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	X _{ort1} = 88,863 s ₁ = 0,545 n ₁ = 4	X _{ort2} = 75,353 s ₂ = 0,490 n ₂ = 4	0,518	36,851	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l NaCl	X _{ort1} = 85,538 s ₁ = 0,210 n ₁ = 4	X _{ort2} = 71,49504 s ₂ = 0,1758008 n ₂ = 4	0,193414	102,6834	IT _{hesap} > T _{tablo} olduğu için H ₀ Red, H _a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{boya} ortalama değeri (2/3 bar)(d) R_{boya} ortalama değeri (5 bar)(e) R_{boya} standart sapma değeri (2/3 bar)(f) R_{boya} standart sapma değeri (5 bar)(g) R_{boya} veri değeri (2/3 bar)(h) R_{boya} veri değeri (5 bar)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.19. 2/3 bar ve 5 bar Basınçlarda R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	2/3 bar	5 bar	$S_p^{(a)}$	$T_{\text{hesap}}^{(b)}$	Sonuç
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l Na_2SO_4	$X_{\text{ort1}}^{(c)} = 9,549$ $s_1^{(e)} = 0,020$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{\text{ort2}}^{(d)} = 18,981$ $s_2^{(f)} = 0,157$ $n_2^{(h)} = 4$	0,112	-119,329	$ T_{\text{hesap}} ^{(k)} > T_{\text{tablo}}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
500 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l NaCl	$X_{\text{ort1}} = 2,025$ $s_1 = 0,022$ $n_1 = 4$	$X_{\text{ort2}} = 0,722$ $s_2 = 0,051$ $n_2 = 4$	0,039	46,720	$ T_{\text{hesap}} > T_{\text{tablo}}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
500 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l NaCl	$X_{\text{ort1}} = 3,133$ $s_1 = 0,192$ $n_1 = 4$	$X_{\text{ort2}} = 7,310$ $s_2 = 0,013$ $n_2 = 4$	0,136	-43,315	$ T_{\text{hesap}} > T_{\text{tablo}}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l NaCl	$X_{\text{ort1}} = 1,685$ $s_1 = 0,005$ $n_1 = 4$	$X_{\text{ort2}} = 4,147$ $s_2 = 0,192$ $n_2 = 4$	0,136	-25,604	$ T_{\text{hesap}} > T_{\text{tablo}}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 10 g/l NaCl	$X_{\text{ort1}} = 0,758$ $s_1 = 0,310$ $n_1 = 4$	$X_{\text{ort2}} = 1,550$ $s_2 = 0,028$ $n_2 = 4$	0,220	-5,089	$ T_{\text{hesap}} > T_{\text{tablo}}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 1 g/l NaCl	$X_{\text{ort1}} = 3,760$ $s_1 = 0,017$ $n_1 = 4$	$X_{\text{ort2}} = 4,896$ $s_2 = 0,009$ $n_2 = 4$	0,013	-120,100	$ T_{\text{hesap}} > T_{\text{tablo}}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 20 °C, 10 g/l Na_2SO_4	$X_{\text{ort1}} = 10,777$ $s_1 = 0,079$ $n_1 = 4$	$X_{\text{ort2}} = 18,573$ $s_2 = 0,065$ $n_2 = 4$	0,073	-151,584	$ T_{\text{hesap}} > T_{\text{tablo}}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DL, 40 °C, 10 g/l Na_2SO_4	$X_{\text{ort1}} = 8,821$ $s_1 = 0,091$ $n_1 = 4$	$X_{\text{ort2}} = 11,742$ $s_2 = 0,233$ $n_2 = 4$	0,177	-23,310	$ T_{\text{hesap}} > T_{\text{tablo}}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{tuz} ortalama değeri (2/3 bar)(d) R_{tuz} ortalama değeri (5 bar)(e) R_{tuz} standart sapma değeri (2/3 bar)(f) R_{tuz} standart sapma değeri (5 bar)(g) R_{tuz} veri değeri (2/3 bar)(h) R_{tuz} veri değeri (5 bar)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Çizelge 4.19. (Devam) 2/3 bar ve 5 bar Basınçlarda R_{tuz} Değerleri İçin T Testi Sonuçları

Deney Şartları	2/3 bar	5 bar	$S_p^{(a)}$	$T_{hesap}^{(b)}$	Sonuç
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	$X_{ort1}^{(c)} = 10,386$ $s_1^{(e)} = 0,032$ $n_1^{(g)} = 4$	$X_{ort2}^{(d)} = 28,460$ $s_2^{(f)} = 0,004$ $n_2^{(h)} = 4$	0,022	-1136,625	$ T_{hesap} ^{(k)} > T_{tablo}^{(l)}$ olduğu için $H_0^{(m)}$ Red, $H_a^{(n)}$ Kabul
50 mg/l RO72, DK, 40 °C, 10 g/l Na ₂ SO ₄	$X_{ort1} = 13,134$ $s_1 = 0,006$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 22,857$ $s_2 = 0,241$ $n_2 = 4$	0,171	-80,517	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 10 g/l NaCl	$X_{ort1} = 4,673$ $s_1 = 0,058$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 6,049$ $s_2 = 0,004$ $n_2 = 4$	0,041	-47,556	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul
50 mg/l RO72, DK, 20 °C, 1 g/l NaCl	$X_{ort1} = 18,765$ $s_1 = 0,009$ $n_1 = 4$	$X_{ort2} = 21,435$ $s_2 = 0,003$ $n_2 = 4$	0,007	-574,864	$ T_{hesap} > T_{tablo}$ olduğu için H_0 Red, H_a Kabul

(a) Birleştirilmiş Standart Sapma

(b) Hesap ile bulunan test kritik değeri

(c) R_{tuz} ortalama değeri (2/3 bar)(d) R_{tuz} ortalama değeri (5 bar)(e) R_{tuz} standart sapma değeri (2/3 bar)(f) R_{tuz} standart sapma değeri (5 bar)(g) R_{tuz} veri değeri (2/3 bar)(h) R_{tuz} veri değeri (5 bar)

(k) Hesap ile bulunan test kritik mutlak değeri

(l) 0,05 güven düzeyinde çift yönlü test kritik değeri (2,447)

(m) I. Hipotez; Ortalamalar eşittir ($\mu_1 = \mu_2$)(n) Alternatif Hipotez ; Ortalamalar farklıdır ($\mu_1 \neq \mu_2$)

5. GENEL SONUÇLAR

Tez kapsamında yapılan deneyler ile elde edilen genel sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Saf su ile yapılan deneylerde DL membranının L_p değeri DK membranından daha büyük bulunmuştur.
- 150 dk. boyunca yapılan deneylerde genellikle 90. dk.'dan itibaren akı, R_{boya} ve R_{tuz} değerleri sabitlenmeye başlamıştır.
- Boya ve tuz içeren çözelti ile yapılan deneylerde akı değerleri DL membranında daha yüksek çıkmıştır. Buna karşı R_{boya} ve R_{tuz} değerleri DK membranında daha yüksek bulunmuştur.
- Yapılan deneylere göre en iyi R_{boya} değerinin bulunduğu tuz cinsi NaCl tuzu, optimum sıcaklık $20^{\circ}C$, optimum NaCl konsantrasyonu 10 g/l ve optimum boya konsantrasyonu 500 mg/l olarak belirlenmiştir.
- Seçilen optimum şartlarda yapılan deneylerde KOİ ve toplam azot değerleri ölçülmüş ve bu parametrelerin giderim verimleri DK membranında daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Basıncın artması ile akı değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. R_{boya} değeri ise genelde basıncın artmasıyla azalmıştır.
- Yüksek sıcaklıkta düşük sıcaklığa göre akı değeri daha yüksek çıkmıştır. R_{boya} ve R_{tuz} değeri ise genellikle düşük sıcaklıkta daha yüksek çıkmıştır.
- Akı değeri ile R_{boya} değeri arasında ters ilişki olduğu saptanmıştır. Yani akı artmasıyla R_{boya} değerleri azalmış, akı azalmasıyla da R_{boya} değerleri artmıştır.
- Şimdiye kadar yapılmış literatürdeki çalışmalardan farklı membran ile boya çeşidi kullanılmıştır. Bu nedenle, kullanılan DL ve DK membranları ile boya (RO72) giderimi hakkında yapılan ilk bilimsel çalışma olmuştur.
- Membranların temin edilmesindeki zorluktan dolayı membranların sadece kullanımı değil, membranların yapımı hakkında da çalışmaların yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Akbari,A., J.C.Remigy ve P. Aptel. 2002. Treatment of textile dye effluent using a polyamide-based nanofiltration membrane. Chemical Engineering and Processing, 41, 601-609.

Al-Kdasi,A., A.Idris, K.Saed ve C.T.Guan. 2004. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes-A review. Global Nest: the Int. J., Vol6, No3, 222-230.

Al-Bastaki,N. 2004. Removal of methyl orange dye and Na₂SO₄ salt from synthetic waste water using reverse osmosis. Chemical Engineering and Processing, 43, 1561-1567.

Anonim. 1999. Reverse Osmosis and Nanofiltration. American Water Works Associaton. 1 st Edition p. 1-20

Arslan,İ. 1995. Treatment of Reactive Dye-Bath Effluents by Heterogeneous and Homogeneous Advanced Oxidation Processes, B.S. In Che. E., İstanbul Technical University.

Auddy,K., S.De ve S.DasGupta. 2004. Flux enhancement in nanofiltration of dye solution using turbulent promoters. Seperation and Purification Technology, 40, 31-39.

Auddy,K., S.De ve S.Dasgupta. 2005. Performance prediction of turbulent promoter enhanced nanofiltration of a dye solution. Seperation and Purification Technology, 43, 85-94.

Ballet,T.G., L.Gzara, A.Hafiane ve M.Dhahbi. 2004. Transport coefficient and cadmium salt rejection in nanofiltration membrane. Desalination, 167, 369-376.

Bandini,S., J.Drei ve D.Vezzani. 2005. The role of pH and concentration on the ion rejection in polyamide nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, 264, 65-74.

Buckley,C.A. 1992. Membrane technology for the treatment of dyehouse effluents. *Water Science Technology*, 25, 10, 203-209.

Chakraborty,S., M.K.Purkait, S.DasGupta, S.De ve J.K.Basu. 2003. Nanofiltration of textile plant effluent for color removal and reduction in COD. *Separation and Purification Technology*, 31, 141-151.

Chang,L.Y. 2001. Chrome reduction and heavy metals removal from wastewater- a pollution prevention approach. WM'01 Conference, February 25-March 1, Tucson, AZ.

Cheryan,M. 1998. *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. Technomic Publishing Company, Lancaster. 517p.

Ciardelli,G., L.Corsi ve M.Marucci. 2000. Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 31, 189-197.

Dhale,A.D. ve V.V.Mahajani. 1999. Reactive dye house wastewater treatment. Use of hybrid technology: membrane, sonication followed by wet oxidation. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 38, 2058-2064.

Dhale,A.D. ve V.V.Mahajani. 2000. Studies in treatment of dispersed dye waste: membrane-wet oxidation process. *Waste Management*, 20, 85-92.

Dickenson,T.C. 1997. *Filters and Filtration Handbook*. Elsevier Advanced Technology Publication, 4th Edition, p 133-162.

Farizoğlu,B., B.Keskinler, E.Yıldız ve A.Çakıcı. 2004. Peyniraltı sularının arıtıldığı jet loop membran biyoreaktörün membran filtrasyonu özelliklerinin araştırılması. Su Kirliliği Kontrolü Dergisi (SKKD), cilt14, Sayı2, 1-8s.

Fersi,C., L.Gzara ve M. Dhahbi. 2005. Treatment of textile effluents by membrane Technologies. Desalination, 185, 399-409.

Gomes,A.C., I.C.Gonçalves ve M.N.Pinho. 2005. The role of adsorption on nanofiltration of azo dyes. Journal of Membrane Science, 255, 157-165.

Göknil,H., İ.Toröz ve Y.Çimşit. 1984. Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi(Tekstil Endüstrisi). İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre ve Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezi.

Jiratananon,R., A.Sungpet ve P.Luangsovan. 2000. Performans evaluation of nanofiltration membranes for treatment of effluents containing reactive dye and salt. Desalination, 130, 177-183.

Kayar,M. 2003. Membran filtrasyon yöntemi ile atık sularda renk giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Koyuncu,İ. 1997. Membran teknolojisinin çevre mühendisliğinde kullanım potansiyeli ve ters osmoz ile amonyum iyonu giderimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Koyuncu,İ., E.Kural ve D.Topacık. 2001. Pilot-scale nanofiltration membrane separation for waste management in textile industry. Water Science and Technology, Vol 43, No 10, 233-240.

Koyuncu,İ. 2001. Nanofiltrasyon membranları ile tuz gideriminde organik iyon etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Koyuncu,İ. 2002. Reactive dye removal in dye/salt mixture by nanofiltration membranes containing vinylsulphone dyes: Effects of feed concentration and cross flow velocity. *Desalination*, 143, 243-253.

Koyuncu,İ. 2003. Influence of dyes, salts and auxiliary chemicals on the nanofiltration of reactive dye baths: experimental observations and model verification. *Desalination*, 154, 79-88.

Koyuncu,İ., D.Topacik ve M.R.Wiesner. 2004. Factors influencing flux decline during nanofiltration of solutions containing dyes and salts. *Water Research*, 38, 432-440.

Kim,T.-H., C.Park ve S.Kim. 2005. Water recycling from desalination and purification process of reactive dye manufacturing industry by combined membrane filtration. *Journal of Cleaner Production*, 13, 779-786.

Ku,Y., P.-L.Lee ve W.-Y.Wang. 2005. Removal of acidic dyestuffs in aqueous solution by nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 250, 159-165.

Ledakowicz,S.J., T.Koprowski, W.Machnowski ve H.H.Knudsen. 1998. Membrane filtration of textile dyehouse wastewater for technological water reuse. *Desalination*, 119, 1-10.

Lopes,N.C., J.C.C.Petrus ve H.G. Riella. 2005. Color and COD retention by nanofiltration membranes. *Desalination*, 172, 77-83.

Manttari,M., A.Pihlajamaki ve M.Nystrom. 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.

Manttari, M. ve M. Nyström. 2000. Critical flux in NF of high molar mass polysaccharides and effluents from the paper industry. *Journal of Membrane Science* 170, 257-273.

Marucci, M., G. Ciardelli, A. Matteucci, L. Ranieri ve M. Russo. 2002. Experimental campaigns on textile wastewater for reuse by means of different membrane processes. *Desalination*, 149, 137-143.

Mozia, S., M. Tomaszewska ve W. A. Marawski. 2005. A new photocatalytic membrane reactor (PMR) for removal of azo-dye Acid Red 18 from water. *Applied Catalysis B: Environmental*, 59, 133-139.

Shu, L., T. D. Waite, P. J. Bliss, A. Fane ve V. Jegatheesan. 2005. Nanofiltration for the possible reuse of water and recovery of sodium chloride salt from textile effluent. *Desalination*, 172, 235-243.

Sojka-Ledakowicz, J., T. Koprowski, W. Machnowski ve H. H. Knudsen. 1998. Membrane filtration of textile dyehouse wastewater for technological water reuse. *Desalination*, 119, 1-10.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998, 5220 B.

Şen, S. ve G. N. Demirel. 2003. Anaerobic Treatment of Real Textile Wastewater With A Fluidized Bed Reactor. *Water Research*, 37, 1868-1878.

Tang, C. ve Chen, V. 2002. Nanofiltration of textile wastewater for water reuse. *Desalination*, 143, 11-20.

Qaisar, M., Z. Ping, S. M. Rehan, I. Ejazul, A. M. Rashid, ve H. Yousaf. 2005. Anatomical studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) under the influence of textile wastewater. *Journal of Zhejiang University Science*, 6B(10), 991-998.

Timmer, Johannes M.K. 2001. Properties of nanofiltration membranes; model development and industrial application. Technische Universiteit Eindhoven, ISBN 90-386-2872-2

Turk, S., M. Simonic ve I. Petrinic. 2005. Wastewater Treatment After Reactive Printing. *Dyes and Pigments*, 64, 147-152.

Van der Bruggen, B., B. Doems, D. Wilms ve C. Vandecasteele. 2001. Mechanisms of retention and flux decline for the nanofiltration of dye baths from the textile industry. *Separation and Purification Technology*, 22-23, 519-528.

Viero, A.F., A.C.R. Mazzarollo, K. Wada ve I.C. Tessaro. 2002. Removal of hardness and COD from retanning treated effluent by membrane process. *Desalination*, 149, 145-149.

Yu, S., C., Gao, H. Su ve M. Liu. 2001. Nanofiltration used for desalination and concentration in dye production. *Desalination*, 140, 97-100.

<http://www.osbuk.org/atiksu.asp>

<http://www.osmolabstore.com>

<http://mimoza.marmara.edu.tr/~cahit/Yayin/belge/ista/index.html>

http://www.tezcansuaritma.com/sayfalar/su_aritma_terimleri_sozlugu.htm

EKLER

EK 1. Farklı konsantrasyonlarda NaCl - boya çözeltilerinin hazırlanması

Boyarmadde : Reactive Orange 72

Tuz Cinsi : NaCl

Çözelti no	NaCl kons (g/l)	Boya kons (g/l)	Stok boya çöz, alınan hacim ^(*) (ml)	Tartılan tuz miktarı (g)	Hazırlanan hacim (ml)	EC (ms/cm)
1	0,5	0,05	5	0,10	100	1,084
2	0,5	0,50	50	0,10	100	1,342
3	0,5	1,00	100	0,10	100	1,604
4	0,5	1,20	120	0,10	100	1,742
5	0,5	1,50	150	0,10	100	1,887
6	1,0	0,05	2,5	0,10	100	2,110
7	1,0	0,50	12,5	0,05	50	2,400
8	1,0	1,00	25	0,05	50	2,640
9	1,0	1,20	30	0,05	50	2,670
10	1,0	1,50	37,5	0,05	50	2,930
11	5,0	0,05	2,5	0,50	100	9,450
12	5,0	0,50	12,5	0,25	50	9,800
13	5,0	1,00	25	0,25	50	10,010
14	5,0	1,20	30	0,25	50	10,100
15	5,0	1,50	37,5	0,25	50	10,480
16	10,0	0,05	2,5	1,0	100	18,050
17	10,0	0,50	12,5	0,50	50	18,540
18	10,0	1,00	25	0,50	50	18,970
19	10,0	1,20	30	0,50	50	18,870
20	10,0	1,50	37,5	0,50	50	19,180
21	20,0	0,05	2,5	2,0	100	34,100
22	20,0	0,50	12,5	1,0	50	35,200
23	20,0	1,00	25	1,0	50	35,800
24	20,0	1,20	30	1,0	50	35,800
25	20,0	1,50	37,5	1,0	50	35,800

^(*) Stok boya çözeltisi 2000 mg/l konsantrasyonunda hazırlanmıştır.

EK 2. Farklı konsantrasyonlarda Na₂SO₄ - boya çözeltilerinin hazırlanması

Boyarmadde : Reactive Orange 72

Tuz Cinsi : Na₂SO₄

Çözelti no	Na ₂ SO ₄ Kons, (g/l)	Boya Kons, (g/l)	Stok boya çöz, alınan hacim ^(*) (ml)	Tartılan tuz miktarı (g)	Hazırlanan hacim (ml)	EC (ms/cm)
1	0,05	0,05	5	0,01	200	0,129
2	0,05	0,50	50	0,01	200	0,412
3	0,05	1,00	100	0,01	200	0,726
4	0,05	1,20	120	0,01	200	0,844
5	0,05	1,50	150	0,01	200	1,006
6	0,5	0,05	2,5	0,05	100	0,892
7	0,5	0,50	25	0,05	100	1,147
8	0,5	1,00	50	0,05	100	1,418
9	0,5	1,20	60	0,05	100	1,533
10	0,5	1,50	75	0,05	100	1,721
11	1,0	0,05	2,5	0,10	100	1,630
12	1,0	0,50	12,5	0,05	50	1,896
13	1,0	1,00	25	0,05	50	2,160
14	1,0	1,20	30	0,05	50	2,250
15	1,0	1,50	37,5	0,05	50	2,410
16	5,0	0,05	2,5	0,50	100	6,800
17	5,0	0,50	12,5	0,25	50	7,090
18	5,0	1,00	25	0,25	50	7,340
19	5,0	1,20	30	0,25	50	7,410
20	5,0	1,50	37,5	0,25	50	7,560
21	10,0	0,05	2,5	1,0	100	12,370
22	10,0	0,50	12,5	0,50	50	12,830
23	10,0	1,00	25	0,50	50	13,250
24	10,0	1,20	30	0,50	50	13,120
25	10,0	1,50	37,5	0,50	50	13,250
26	20,0	0,05	2,5	2,0	100	22,300
27	20,0	0,50	12,5	1,0	50	22,900
28	20,0	1,00	25	1,0	50	23,000
29	20,0	1,20	30	1,0	50	23,200
30	20,0	1,50	37,5	1,0	50	23,100

(*) Stok boya çözeltisi 2000 mg/l konsantrasyonunda hazırlanmıştır.

EK 3. Değişkenler ve Elde Edilen Sonuçlar

No	Membran	Tuz Cinsi	Basınç (Bar)	Sıcaklık (°C)	Boya (RO72) kons. (mg/l)	Tuz kons. (g/l)	Akı (l/m ² -sa)	R _{BOYA} (%)	R _{TUZ} (%)	R _{KOI} (%)	R _{Top.Azot} (%)
1	DL	-	2	20	-	-	28	-	-	-	-
2	DL	-	3	20	-	-	47	-	-	-	-
3	DL	-	4	20	-	-	67	-	-	-	-
4	DL	-	5	20	-	-	87	-	-	-	-
5	DL	-	2	40	-	-	54	-	-	-	-
6	DL	-	3	40	-	-	90	-	-	-	-
7	DL	-	4	40	-	-	132	-	-	-	-
8	DL	-	5	40	-	-	172	-	-	-	-
9	DK	-	2	20	-	-	12	-	-	-	-
10	DK	-	3	20	-	-	18	-	-	-	-
11	DK	-	4	20	-	-	24	-	-	-	-
12	DK	-	5	20	-	-	32	-	-	-	-
13	DK	-	2	40	-	-	20	-	-	-	-
14	DK	-	3	40	-	-	30	-	-	-	-
15	DK	-	4	40	-	-	38	-	-	-	-
16	DK	-	5	40	-	-	52	-	-	-	-
17	DL	-	2	20	50	-	23,33	49,63	-	-	-
18	DL	-	4	20	50	-	51,44	52,29	-	-	-
19	DL	-	5	20	50	-	63,70	54,21	-	-	-
20	DL	-	2	40	50	-	46,32	48,34	-	-	-
21	DL	-	4	40	50	-	93,67	53,55	-	-	-
22	DL	-	5	40	50	-	117,75	55,71	-	-	-
23	DK	-	3	20	50	-	10,37	93,04	-	-	-
24	DK	-	4	20	50	-	15,50	88,51	-	-	-
25	DK	-	5	20	50	-	22,00	83,85	-	-	-
26	DK	-	3	40	50	-	18,67	86,75	-	-	-
27	DK	-	4	40	50	-	26,33	86,68	-	-	-
28	DK	-	5	40	50	-	36,38	85,98	-	-	-

EK 3. (Devam) Değişkenler ve Elde Edilen Sonuçlar

No	Membran	Tuz Cinsi	Basınç (Bar)	Sıcaklık (°C)	Boya (RO72) kons. (mg/l)	Tuz kons. (g/l)	Akı (l/m ² -sa)	R _{BOYA} (%)	R _{TUZ} (%)	R _{KOI} (%)	R _{Top.Azot} (%)
29	DL	NaCl	2	20	50	10	14,00	53,51	1,68	-	-
30	DL	NaCl	4	20	50	10	33,17	48,04	2,97	-	-
31	DL	NaCl	5	20	50	10	38,00	46,77	4,15	-	-
32	DK	NaCl	3	20	50	10	8,53	89,35	4,66	-	-
33	DK	NaCl	4	20	50	10	14,67	81,51	5,70	-	-
34	DK	NaCl	5	20	50	10	22,67	75,35	6,05	-	-
35	DL	NaCl	2	40	50	10	34,00	32,87	0,76	-	-
36	DL	NaCl	4	40	50	10	83,83	27,55	1,66	-	-
37	DL	NaCl	5	40	50	10	116,50	25,04	1,55	-	-
38	DL	NaCl	2	20	50	1	24,67	58,86	3,74	-	-
39	DL	NaCl	4	20	50	1	58,25	42,59	5,05	-	-
40	DL	NaCl	5	20	50	1	85,33	31,88	4,90	-	-
41	DK	NaCl	3	20	50	1	11,33	85,89	18,81	-	-
42	DK	NaCl	4	20	50	1	17,33	76,81	20,31	-	-
43	DK	NaCl	5	20	50	1	25,33	71,50	21,43	-	-
44	DL	Na ₂ SO ₄	2	20	50	10	16,71	46,02	10,76	-	-
45	DL	Na ₂ SO ₄	4	20	50	10	38,33	46,40	17,49	-	-
46	DL	Na ₂ SO ₄	5	20	50	10	48,92	44,62	18,57	-	-
47	DK	Na ₂ SO ₄	3	20	50	10	2,34	40,61	10,40	-	-
48	DK	Na ₂ SO ₄	4	20	50	10	4,38	38,19	12,05	-	-
49	DK	Na ₂ SO ₄	5	20	50	10	7,33	46,67	28,46	-	-
50	DL	Na ₂ SO ₄	2	40	50	10	30,83	28,04	10,76	-	-
51	DL	Na ₂ SO ₄	4	40	50	10	74,67	24,69	17,49	-	-
51	DL	Na ₂ SO ₄	5	40	50	10	98,33	22,56	18,57	-	-
53	DK	Na ₂ SO ₄	3	40	50	10	5,13	35,51	13,13	-	-
54	DK	Na ₂ SO ₄	4	40	50	10	8,98	29,83	16,96	-	-
55	DK	Na ₂ SO ₄	5	40	50	10	12,67	38,45	22,86	-	-
56	DL	Na ₂ SO ₄	2	20	500	10	11,33	59,51	9,55	-	-
57	DL	Na ₂ SO ₄	4	20	500	10	26,58	61,74	15,97	-	-
58	DL	Na ₂ SO ₄	5	20	500	10	33,83	62,98	18,98	-	-

EK 3. (Devam) Değişkenler ve Elde Edilen Sonuçlar

No	Membran	Tuz Cinsi	Basınç (Bar)	Sıcaklık (°C)	Boya (RO72) kons. (mg/l)	Tuz kons. (g/l)	Akı (l/m ² -sa)	R _{BOYA} (%)	R _{TUZ} (%)	R _{KOI} (%)	R _{Top.Azot} (%)
59	DL	NaCl	2	20	500	10	10,67	55,90	2,01	-	-
60	DL	NaCl	4	20	500	10	12,00	65,49	0,33	-	-
61	DL	NaCl	5	20	500	10	12,67	78,91	0,67	25,74	69,94
62	DK	NaCl	2	20	500	10	5,60	92,25	3,08	-	-
63	DK	NaCl	4	20	500	10	7,47	94,05	3,63	-	-
64	DK	NaCl	5	20	500	10	9,10	93,96	5,42	62,76	91,91

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince beni her konuda destekleyen, bu tezin gerçekleştirilmesinin her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, yardım ve desteğini esirgemeyen Sayın Danışman Hocam Doç. Dr. Yücel Taşdemir'e;

Çalışmalarımın başlangıcından sonuna kadar her aşamada yanımda olan, her türlü yardım ve desteği veren Sayın Araş. Gör. Sıdık CİNDORUK'a;

Bu tezin yapılmasını destekleyen OPCW (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, Removal of Azodyes from Textile Wastewater by Membrane Filtration, Proje No: L/ICA/ICB/61879/02, Hollanda) kuruluşuna, TÜBİTAK Bursa Test ve Analiz Laboratuvar'ında çalışma imkânını veren TÜBİTAK-BUTAL Müdürü Sayın Prof. Dr. Şeref GÜÇER'e;

Membran Filtrasyon Sisteminin kurulmasında büyük rol oynayan, deneylerimin yapılması sırasında tüm bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, bana her konuda destek veren Sayın Yük Müh. Hilal AZAK'a;

TÜBİTAK Bursa Test ve Analiz Laboratuvar'ında deneylerimin yapılması aşamasında bana her türlü yardım, destek ve dostluklarını esirgemeyen tek tek Çevre, Kimya ve Gıda Laboratuvarlarında çalışan herkese;

Bu günlere gelmemi sağlayan, maddi-manevi her konuda desteklerini her zaman arkamda hissettiğim Sevgili annem Hafife EVREN, babam Haşim EVREN ve tüm aile fertlerine, çalışmam süresince beni yalnız bırakmayıp tüm sıkıntı ve nazımı sabırla çeken, her türlü desteği vererek beni cesaretlendiren Sevgili Eşim Zekeriya ÇEVİK'e;

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

Nagihan Çevik, 26.05.1980 yılında Bursa/Orhangazi’de doğdu. İlköğrenimini 1986-1991 yılları arasında Bursa Mehmet Akif Ersoy İlkokulu’nda tamamladı. 1991-1997 yılları arasında Bursa Atatürk Lisesi’nde orta ve lise öğrenimini tamamladı. 1998 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2003 yılında mezun oldu. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans yapmaya başladı. 2006 yılı Mayıs ayından beri Bursa Nilüfer Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü’nde Çevre Sorumlusu olarak görevine devam etmektedir.