

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUZ GÖLÜNDEN ENTEGRE MEMBRAN
SİSTEMLERİ İLE TUZ ELDE EDİLMESİ

ÇAĞLA KÖSEOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2013

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUZ GÖLÜNDEN ENTEGRE MEMBRAN
SİSTEMLERİ İLE TUZ ELDE EDİLMESİ

ÇAĞLA KÖSEOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. SALİM ÖNCEL

GEBZE
2013

FD-030 (Rev. 06-01-2003) *Toshiba, Moscow, Toshiba, 01.02.2005*

ÖZET

Bu çalışmada, Tuz gölünden alınan tuz numunelerinde bütünleşik membran sistemleri kullanılarak yemeklik tuzun kalitesini bozan (+2) değerlikli iyonların uzaklaştırılması ve böylece (+1) değerlikli iyonların bulunduğu tuzların üretimini sağlayacak şartların belirlenmesi ve sistemin performansını gösteren bulguların elde edilmesi sağlanmıştır. Türkiye’de elde edilen tuzun büyük bir kısmı 1600 km²’lik alana sahip olan Tuz Gölünden karşılanmaktadır. Gölde, tuz üretimi belirli tuzlulardan geleneksel buharlaştırma yöntemi ile yapılmaktadır. Fakat bu yöntem ile üretilen tuzda yemeklik tuzun kalitesini bozan (+2) değerlikli iyonlar bulunabilmektedir. Bu noktadan hareketle, bu çalışmada bütünleşik membran sistemleri kullanılarak (+2) değerlikli iyonların uzaklaştırıldığı tuzun elde edilmesi incelenmiştir. Çalışmada, ilk olarak gölden alınan tuz numuneleri dört farklı yüzde oranında (%3-5-7-9) çözelti haline getirilmiştir. Daha sonra hazırlanan bu tuz çözeltileri öncelikle ileri osmoz (İÖ) membran sisteminde belirli oranlarda seyreltilmiş, ardından nanofiltrasyon (NF) membran sisteminde (+2) değerlikli iyonların uzaklaştırılması sağlanıp sodyum içeriği yüksek tuzun elde edilmesi sağlanmıştır. İÖ membran sisteminde ilk olarak en iyi membran çalışma modu (ters/normal mod olarak) belirlenmiş, NF membran sisteminde ise sabit basınç altında sistemin performansı membran türlerinin (NF270, NF200 ve NP010) fonksiyonu olarak incelenmiştir. Hem İÖ hemde NF sisteminde gerçekleştirilen her bir deney setinde giriş ve çıkış sularındaki katyonlar ICP cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra İÖ sisteminin performansının göstergesi olan pH, iletkenlik, TDS, osmolalite, viskozite ve yoğunluk parametreleri deney süresince belirli aralıklarda ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda, İÖ membran sistemi ile ön seyreltmeleri gerçekleşmiş olan tuzlu suların NF sistemi ile saflaştırılması gerçekleştirilmiş ve bu önerilen bütünleşik membran sistemi ile yerinde uygulanabilecek bir arıtım teknolojisi kullanarak kaliteli tuz elde edilmesinin mümkün olunabileceği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tuz gölü; membran sistemler; nanofiltrasyon; ileri osmoz; tuz üretimi.

SUMMARY

In this study, we presented evidence for the suitable conditions and data that shows the performance of the system components to reduce the amount of bivalent ions, detrimental to the quality of common salts, to monovalent ions using integrated membrane system. Salt production from the lake is being performed using the traditional evaporation technics. However, using this method of production salt with bivalent ions can mainly be obtained. Thus, we investigated the salt production technique called integrated membrane system in order to remove the bivalent ions. First the salt solutions with the different percentages were prepared and then they were diluted using forward osmosis membrane system in specific proportions. Nanofiltration membrane system provided the removal of monovalent ions of the salt and we obtained a high content of sodium. In forward osmosis membrane system first we defined the best performance procedure, in nanofiltration membrane system we studied the performance of that system as a function of the different types of membrane (NF270, NF200 and NP010) under the durable pressure. Amount of cations in both feed and draw water were measured in each experimental settings performed in systems. The performance of FO was measured during the experiments with certain periods.

As a result of this study, we found out that with this proposed integrated membrane system it is possible to produce fine quality common salt using the appropriate treatment techniques with performed pre diluted brine with a FO membrane system, after that we purified with a NF membrane system.

Key Words: Salt Lake; membrane systems; nanofiltration; forward osmosis; salt production.

TEŞEKKÜR

Sayın hocam Doç.Dr.Salim ÖNCEL’e tez çalışmam boyunca bana sağladığı imkanlar ve desteği için sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında bana laboratuvar imkanlarını sağlayan ve bilgi ve deneyimlerine başvurduğum sayın hocam Doç.Dr.Coşkun AYDINER’e ve sevgili ablam Dr.Derya Yüksel İMER’e yardımları ve paylaşımları için çok teşekkür ederim.

Laboratuardaki çalışmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen çok sevgili çalışma arkadaşlarım Proje asistanı Ali Oğuzhan Narcı ve Tuğbanur Yılmaz’a destekleri için içten teşekkür ederim.

Ve her konuda bana destek olan sevgili aileme ve eşim Onur AYDIN’a binlerce teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve İçeriği	1
2. TUZ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER	3
2.1. Tuzun Tanımı	3
2.2. Tuzun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	4
2.3. Tuz Kaynakları	5
2.3.1. Deniz Tuzu	5
2.3.2. Göl Tuzu	6
2.3.3. Kaya Tuzu	7
2.4. Tuz Üretim Yöntemleri	7
2.4.1. Kaya Tuzundan Tuz Üretimi	8
2.4.2. Tuzlu Sudan Tuz Elde Etme Yöntemleri	9
2.4.2.1. Yüzeydeki Sulardan Tuz Üretimi	9
2.4.2.2. Derindeki Tuz Depolarından veya Tuzlu Su Kaynaklarından Tuz Üretimi	12
2.5. Tuz Gölü ve Havzası	13
2.5.1. Kaldırım Tuzlası	15
2.5.2. Kayacık Tuzlası	16
2.5.3. Yavşan Tuzlası	16
3. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER	17
3.1. Genel Membran Tanımlamaları	17
3.2. Membranların Kullanım Alanları	19
	vii

3.3. Membran Sistemlerinin Sınıflandırılması	19
3.4. İleri Osmoz Membran Sistemleri	21
4. MATERYAL ve METOD	24
4.1. Tuz Numunelerinin Hazırlanması	24
4.2. Analitik Yöntemler	24
4.3. Kullanılan Membranlar	26
4.4. Çalışılan Sistemler	27
4.4.1. İleri Osmoz (İO) Membran Sistemi	27
4.4.2. Nanofiltrasyon (NF) Membran Sistemi	29
5. DENEYSEL SONUÇLAR	32
5.1. İO Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar	32
5.1.1. Membran İşletim Modunun Seçimi	32
5.1.2. Tuz Konsantrasyonunun İO Performansına Etkisi	39
5.1.3. İO Deneylerinde Gerçekleştirilen ICP Analiz Sonuçları	49
5.2. NF Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar	50
5.2.1. NP010 Membranı ile Gerçekleştirilmiş Deneylerin Sonuçları	50
5.2.2. NF200 Membranı ile Gerçekleştirilmiş Deneylerin Sonuçları	56
5.2.3. NF270 Membranı ile Gerçekleştirilmiş Deneylerin Sonuçları	62
5.3. İO+NF Bütünleşik Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar	68
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
ED	: Elektrodializ
İO	: İleri osmoz
MF	: Mikrofiltrasyon
MS	: Milattan sonra
MTA	: Maden Tetkik Arama
MÖ	: Milattan önce
NF	: Nanofiltrasyon
TDS	: Toplam çözünmüş katı
TO	: Ters osmoz
UF	: Ultrafiltrasyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Tuz gölü havzası haritası	13
3.1: Bir membran tarafından ayrılmış iki fazlı bir sistemin gösterimi	17
3.2: İleri (forward) osmoz prosesi	22
4.1: Alınan tuz örneği ve %3-5-7-9 tuz çözeltilerinin hazırlanması	24
4.2: Analizlerde kullanılan masaüstü cihazların fotoğrafları a) Multiparametre ölçer b) Osmometre c) Yoğunlukölçer d) Viskozitemetre	25
4.3: ICP cihazının genel görünümü	26
4.4: İleri osmoz deney düzeneği	27
4.5: Filtrasyon sisteminin genel görüntüsü	30
4.6: Filtrasyon hücresinin deneye hazırlanması	31
5.1: İO prosesiyle distile su kullanılarak %3 tuzlu suyun seyreltilmesinde membran işletme moduna bağlı olarak İO prosesinde sürücü kuvvet etkisinin zamanla değişimi a) normal mod b) ters mod (akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.)	33
5.2: İO prosesinde distile su kullanılarak %3 tuzlu suyun seyreltilmesi üzerine membran işletme modunun etkisi a) çekme çözeltisine geçen su hacmi b) çekme çözeltisinde hacimsel seyrelme oranı c) su akısı ve d) tuz akısı (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak)	34
5.3: Membran işletme modunun İO prosesinin performansına etkisi a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak)	36
5.4: İO prosesiyle musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde tuz konsantrasyonuna bağlı olarak İO prosesinde sürücü kuvvet etkisinin zamanla değişimi a) %3 tuzlu su b) %5 tuzlu su c) %7 tuzlu su d) %9 tuzlu su (akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 4 saat)	39
5.5: İO prosesinde musluk suyu kullanılarak %3-5-7-9 oranında tuz içeren suların seyreltilmesinde çekme çözeltisindeki tuz oranının proses performansına etkisi a) çekme çözeltisine geçen su hacmi b) çekme	41

çözeltisinde hacimsel seyrelme oranı c) su akısı d) tuz akısı (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak)	
5.6: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %3 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %3 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.)	43
5.7: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %5 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %5 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.)	45
5.8: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %7 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %7 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.)	46
5.9: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %9 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %9 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.)	48
5.10: İO deneyinde çekme çözeltisinde gerçekleştirilmiş katyon analizi	50
5.11: NP010 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı b) %5 tuz oranı c) %7 tuz oranı d) %9 tuz oranı	51
5.12: NP010 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan katyon tutunumları a) Ca^{+2} tutunumu b) Mg^{+2} tutunumu c) Na^{+} tutunumu	54
5.13: NP010 ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkışta ölçülen parametrelerin değerleri a) İletkenlik b) TDS c) Osmolalite	55
5.14: NF200 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı b) %5 tuz oranı c) %7 tuz oranı d) %9 tuz oranı	57

5.15: NF200 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan katyon tutunumları a) Ca^{+2} tutunumu b) Mg^{+2} tutunumu c) Na^{+} tutunumu	59
5.16: NF200 ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkışta ölçülen parametrelerin değerleri a) İletkenlik b) TDS c) Osmolalite	61
5.17: NF270 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı b) %5 tuz oranı c) %7 tuz oranı d) %9 tuz oranı	63
5.18: NF270 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan katyon tutunumları a) Ca^{+2} tutunumu b) Mg^{+2} tutunumu c) Na^{+} tutunumu	65
5.19: NF270 ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkışta ölçülen parametrelerin değerleri a) İletkenlik b) TDS c) Osmolalite	67
5.20: İO prosesinde zamana bağlı olarak gerçekleşmiş NF270 filtrasyon deneylerinde elde edilen akı-zaman grafiği	68
5.21: İO prosesinde zamana bağlı olarak yapılmış NF270 filtrasyon deneylerinde gerçekleştirilmiş katyon analizi sonuçları	69

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Halid grubunda yer alan başlıca mineraller	5
2.2: Deniz suyu kaynakları ve tuz içerikleri	6
2.3: Türkiye kaya tuzu rezervleri	7
2.4: Dünya'daki önemli tuzlu göller	11
3.1: Ayırma potansiyeli bakımından membran prosesleri	18
3.2: Su ve atıksu arıtımında kullanılan membran proseslerin sınıflandırılması	20
4.1: Deneylerde kullanılan membranlar ve özellikleri	26
4.2: Filtrasyon sisteminin teknik özellikleri	29
5.1: Giriş çözeltilerindeki katyon konsantrasyonları	50
5.2: NP010 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan akı değerleri	53
5.3: NP010 ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları	55
5.4: NF200 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan akı değerleri	59
5.5: NF200 ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları	60
5.6: NF270 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan akı değerleri	64
5.7: NF270 ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları	66
5.8: Dört saatlik İO prosesi ardından dört saatlik NF270 filtrasyonu sonunda ölçülen çıkış suyundaki katyon konsantrasyonları	69

1.GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı ve İçeriği

Dünyada ve Türkiye’de nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlerin gelişmesi sonucunda, hem yemeklik kullanımda hem de sanayi alanında tuz ihtiyacı artmaktadır. Türkiye’nin en büyük tuz üretiminin yapıldığı yer olan Tuz Gölü’nde bu ihtiyacı karşılamak ve mevcut durumu korumak adına, son yıllarda Tuz Gölü havzasını koruma planları hazırlanmış ve buna göre bölgedeki tuz üretimi ve mevcut alanı koruma adına yeni teknolojilerin uygulanması sağlanmaya çalışılmıştır.

Klasik tuz üretim teknolojisi, tuzlu suyun özel havuzlarda doğal evaporasyon yöntemi ile kurutulması ve ardından rafinerasyonudur. Dünyada modern teknolojilerden yararlanılan kimi tekniklerde, daha yenilikçi ve kaliteli tuz üretiminin yapılması da mümkündür. Geleneksel yöntemlerden çok daha verimli olacağı düşünülen bu teknolojiler arasında daha yüksek saflıkta tuzun üretilmesini sağlayan membran teknolojileride yer almaktadır. Mevcut sisteme entegre edilerek ya da tek başına uygulanabilen membran sistemleri ile istenilen kalitede ve içerikte tuzların üretilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir. Bu noktadan hareket ile tez çalışmasında, Tuz Gölünden alınan tuz numunelerinin bütünleşik membran sistemleriyle (ileri osmoz/nanofiltrasyon) saflığının ve dolayısıyla kalitesinin artırılması incelenmiştir. Tuzun kalitesini azaltan (+2) değerlikli Ca ve Mg gibi iyonların tuzun içinden yıkanması ve daha yüksek oranda Na içeren tuzların üretilmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamında, alınan tuz numunelerinin laboratuvar ortamında belirli oranlarda çözelti haline getirilmesi sonrasında ileri osmoz (İO) membran sistemi ile en uygun işletim şartlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak İO sisteminde membran çalışma modu (normal ve ters mod olarak) belirlenmiştir. İleri Osmoz (İO) membran sisteminin işletilmesi sonrasında nanofiltrasyon (NF) membran sistemi çalışmalarına geçilmiş, burada sabit deneysel şartlar altında en iyi membran türüne karar verilmiştir. Bu çalışmaların sonunda da ileri osmoz sisteminin optimum çalışma süresini belirlemek amacıyla iki membran sistemi birlikte kullanılmıştır. Deneyler süresince membran sistemlerinin giriş ve çıkış numunelerinde zamana bağlı olarak pH, sıcaklık, iletkenlik, toplam çözünmüş katı

(TDS), viskozite, yoğunluk, osmolalite, sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{+2}) ve magnezyum (Mg^{+2}) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, iyi kalitede tuz elde edilmesi için en uygun deneysel şartlar belirlenmiştir.

2. TUZ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Tuzun Tanımı

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından 23.01.2008 tarihinde yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Sofra ve Gıda Sanayii Tuz Tebliği'nin tanımlar kısmında işlenmiş tuz, ana maddesi sodyum klorür olan ve ham tuzdan insan tüketimine uygun nitelikte üretilen ürün olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanında tüketim amacına göre dörde ayrılmıştır; sofrata tuzu, gıda sanayi tuzu, iri salamura tuzu ve sofrada öğütme tuzu.

Sofra tuzu; doğrudan tüketiciye sunulan, ince öğütülmüş, iyotla zenginleştirilmiş, rafine edilmiş veya edilmemiş tuzu,

Gıda sanayi tuzu; Gıda sanayinde kullanılan, doğrudan tüketiciye sunulmayan, iyotlu veya iyotsuz olarak üretilen tuzu,

İri salamura tuz; Doğrudan tüketiciye sunulan, özellikle evlerde konserve, turşu, salamura ve benzeri ürünlerin yapımında gıda muhafaza amaçlı olarak kullanılan, iyot içermeyen tuzu

Sofrada öğütme tuz; Tüketici tarafından sofrada öğütülmek üzere tüketiciye sunulan, kristal halde bulunan, iyot ilave edilmeyen tuzu ifade eder.

Yine aynı tebliğde ürün olarak sunulan tuzun taşınması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanmıştır [1];

- Tuz beyaz renkte olmalı ve yabancı madde içermemelidir.
- Rafine edilerek veya yıkanarak temizlenmemiş tuz, işlenmiş tuz olarak piyasaya sunulamaz.
- Bu Tebliğde geçen tuzlarda rutubet miktarı kütlece en çok %0.5 olmalıdır.
- Bu Tebliğde geçen tuzlarda Sodyum klorür miktarı; kuru maddede en az %98 olmalıdır.
- Bu Tebliğde geçen tuzlarda asitte çözünmeyen madde miktarı, kütlece en çok %0.5 olmalıdır.
- Bu Tebliğde geçen tuzlarda suda çözünmeyen madde miktarı, kütlece en çok % 0.5 olmalıdır.

Sofra tuzu;

- Homojen olmalı, tane büyüklüğü; göz açıklığı 1000 μm 'lik elekten tamamı, 210 μm 'lik elekten ise en çok % 20'lik kısmı geçecek büyüklükte olmalıdır.
- Sofra tuzuna 25-40 mg/kg oranında potasyum iyodat katılması zorunludur. İyot için belirlenmiş üst limit + 3 mg/kg farklılık gösterebilir.
- İyot tüketmemesi gereken kişiler için iyotsuz tuz üretimi yapılabilir.

Gıda sanayi tuzu;

- İyot eklenmesi zorunlu değildir.
- İyot eklenmesi durumunda sofra tuzu için belirlenen ürün özellikleri sağlanmalıdır.
- Gıda sanayi tuzu, perakende satış yerlerinde doğrudan tüketiciye sunulamaz; ancak, üretim yerleri ve gıda toptancılarında satışa sunulabilir.
- İri salamura tuzu; tane büyüklüğü, göz açıklığı en az 6000 μm 'lik elekten tamamı, 2000 μm 'lik elekten ise en çok %10'luk kısmı geçecek büyüklükte olan işlenmiş tuzdur.
- Sofrada öğütme tuzu; tane büyüklüğü, göz açıklığı en az 4000 μm 'lik elekten tamamı, 1000 μm 'lik elekten ise en çok %10'luk kısmı geçecek büyüklükte olan işlenmiş tuzdur.

2.2. Tuzun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Tuz saf halde iken yaklaşık % 40 Sodyum, % 60 Klordan oluşur. Sertliği 25 olup, özgül ağırlığı $2.1-2.35 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir. Erime noktası 800.8°C , kaynama noktası ise 1412°C dır. Doğadan üretildiği şekliyle rengi gri, sarı, kırmızı hatta mavi ve yeşildir. Ancak saf halde iken tuz, renksizdir [2]. Kimyasal açıdan tuz, asitlerin bünyesindeki Hidrojen atomunun ayrılması ve yerini bir bazın almasıyla oluşan bileşimdir. Yeryüzünü oluşturan minerallerin yapısında çeşitli metallerin tuzları yer alır. Buna karşılık tatlandırıcı olarak kullanılan mineral tuzlar sayıca daha sınırlıdır. Mineralojik açıdan bu tuzlar Halid Grubu olarak tanımlanır (Tablo 2.1). Halid grubunda 10'a yakın mineral yer almaktadır. Bunlardan en bilineni ise, Halit'tir [3].

Tablo 2.1: Halid grubunda yer alan başlıca mineraller.

Adı	Kimyasal formülü
Halit	NaCl
Silvin	KCl
Karnalit	KMgCl ₃ .6H ₂ O
Florit	CaF ₂
Kriyolit	Na ₃ AlF ₆
Kerargirit	AgCl
Atakamit	Cu ₂ OHCl
Mendipit	Pb ₃ O ₂ Cl ₂
Kloroksifit	Pb ₃ CuCl ₂ O ₂ (OH) ₂

2.3. Tuz Kaynakları

Ekonomik bir değer taşıyan tuz kaynakları katı ve sıvı olarak ikiye ayrılmaktadır. Tuz sıvı halde denizlerde veya göller gibi tuzlu su kaynaklarında ve katı halde de kaya tuzu şeklinde bulunmaktadır.

2.3.1. Deniz Tuzu

Bitmez ve tükenmez tuz kaynağı olan denizler dünyamızın en büyük tuz rezervlerini oluşturmaktadırlar. Denizlerdeki tuzluluk derecesi; denizlerin tatlı su alıp almadıklarına, coğrafik durumlarına ve iklim koşullarına göre değişik miktarlardadır. Örneğin tuz miktarı Baltık Denizinde 1 m³ suda 17 kg iken, Kızıldenizde 45 kg'a kadar çıkmaktadır. Kapalı denizlerde tuzluluk derecesi fazla olmasına karşın, okyanuslarla açık denizlerde hemen hemen aynıdır. Denizlere göre, 1 m³ deniz suyunda erimiş tuz miktarı Tablo 2.2'de verilmiştir [2].

Tablo 2.2: Deniz suyu kaynakları ve tuz içerikleri.

Deniz suyu kaynağı	Tuz miktarı (kg/L m ³ suda)
Baltık Denizi	17
Hazar Denizi	6
Kuzey Denizi	30-35
Pasifik Okyanusu	32-35
Atlantik Okyanusu	32-36
Akdeniz	38-40
Kızıldeniz	43-45

Deniz suyunda erimiş olarak bulunan maddeler çok çeşitlidir, örneğin; bir metreküp Akdeniz suyu içinde 31.4 kg sodyum klorür, 3.3 kg magnezyum klorür, 2.7 kg magnezyum sülfat, 1.4 kg kalsiyum hidroksit, 0.6 kg sodyum bromür ve 0.4 kg kalsiyum karbonat bulunmaktadır [2].

Deniz tuzu rezervi sonsuz olmasına rağmen, üretim havuzlama tesislerinin kapasitesine ve iklim koşullarına bağlıdır. Ülkemizde deniz tuzlası olarak Ayvalık ve Çamaltı tuzlaları işletilmekte olup, bölge ikliminin son derece uygun olması nedeniyle gerekli yatırımların yapılması durumunda Çamaltı tuzlasının kapasitesi 1.000.000 ton/yıl'a ulaşma olanağına sahiptir. Ancak, şu andaki fiili üretim miktarları ortalama 500.000 ton/yıl dolaylarında gerçekleşmektedir. Yurdumuzun üç tarafının denizlerle çevrili olması, deniz tuzlası işletmeciliği açısından son derece şanslı olduğumuzu göstermektedir. Buradan da, deniz tuzlalarının sonsuza giden rezervi ile bu konuda nedenli rakipsiz olduğu açıkça anlaşılmaktadır [4].

2.3.2. Göl Tuzu

Göl tuzlaları Tuz gölü çevresinde bulunan Yavşan, Kaldırım ve Kayacık tuzlalarıdır. Kesin rezervi ortaya koyacak veriler olmamasına rağmen, Tuz gölünün çok büyük bir potansiyele sahip olduğu bilinmektedir. Tuz gölünün yıllık yüzey rezervi şu şekilde bir yaklaşımla hesaplanabilir. Gölün tüm alanı 1665 km² dir. Gölün sürekli su altında kalan doğu kesimi ile önemsiz derecede tuz çökelen yerler çıkarılırsa yaklaşık 1200 km²'lik bir alan tuz bölgesidir. Gölde oluşan tuz tabakasının kalınlığı 3-20 cm arasında değişmekte olup ortalama 8 cm dir. Bu durumda;

Göldeki yüzey rezervi = 0.08 m (Kalınlık) x 1200.106 m² (Alan) x 2.2 t/m³ (Yoğunluk) = 211.200.000 ton/yıl NaCl olarak bulunabilir [4].

2.3.3. Kaya Tuzu

Ülkemiz, jeolojik yapısı nedeniyle büyük tuz yataklarına sahiptir. Özellikle ikinci zamanın Eosen, Oligosen ve Miyosen devirlerinde geniş çökelmeler meydana gelmiştir. İç Anadolu'da Çankırı'dan başlayarak Çorum, Yozgat, Sivas, Erzincan, Erzurum ve Kars üzerinden İran'a bağlanan tuz yataklarında 30'u aşkın kaya ve kaynak tuzlaları yer almaktadır. Ayrıca Adana havzası ve Siirt yöresinde de yeraltı tuz oluşumları mevcuttur. Ayrıca Kars, Çayırli, Adana, Sivas gibi bölgelerde de petrol sondajları sırasında büyük kaya tuzu birikimlerinin olduğu ortaya çıkmıştır. Sondaj yapılarak üç boyutu ile belirlenen görünür rezerv toplamı 1.000.000.000 tonu geçmektedir. Muhtemel ve mümkün rezervler ile birlikte Türkiye'nin çok büyük bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Türkiye kaya tuzu rezervleri Tablo 2.3'de görülmektedir [4].

Tablo 2.3: Türkiye kaya tuzu rezervleri.

Tuzlanın Adı	Yeri	Görünür (Ton)	Muhtemel (Ton)	Mümkün (Ton)
Sekili	Yozgat	107.000.000	359.000.000	300.000.000
Çankırı		821.000.000	358.000.000	-
Tepesidelik	Kırşehir	-	-	20 000.000
Tuzluca	Iğdır	-	-	100.000.000
Kağızman	Kars	-	-	60.000.000

2.4. Tuz Üretim Yöntemleri

Kaya tuzu veya suda eriyik halinde bulunabilen tuzun ekonomik olarak tüketilebilir hale getirilmesinde üç temel yöntemden biri kullanılmaktadır. Bunlar;

- Geleneksel bir üretim biçimi olan kaya tuzu madenlerinin işletilmesi,
- Deniz suyu veya tuzlu göl sularının buharlaştırılması,
- Yerin altındaki tuzlu suların veya tuzlu çökellerin eritilmesiyle oluşturulan tuz yoğunluğu yüksek suların yeryüzüne çıkarılarak buharlaştırılmasıdır [3].

Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre, değişik oranlarda teknoloji eklenmiş olmakla beraber günümüzde de tuz üretiminde kullanılan yöntemler, eski dönemlerde kullanılan yöntemlere büyük ölçüde benzemektedir. Sıcak iklim bölgelerinde tuzlu kaynaklar veya tuzlu göllerin sığ kesimlerinde oluşturulan tuzlalarda güneşten gelen enerji ile tuz elde ediliyordu. Örnek olarak eskiden Babil’de tuz, çukur alanlardaki sular, Kapadokya’da ise tuzlu kaynak suları bu amaçla kullanılıyordu. Ancak bu yöntem ılıman veya soğuk iklim bölgelerinde, tuzlu su yeterince buharlaşmadan yağmur vb. nedenlerle yeniden su eklendiği için kullanılamıyor, bunun yerine alternatif üretim şekillerine başvuruluyordu [3].

Çin’de basınçlı su kullanılarak tuz üretilmesine yönelik tekniklerin geliştirilmesinden yaklaşık 1000 yıl sonra batıda bu teknik kullanılmaya başlamıştır. Aynı şekilde Çin’de tuzlu su kaynakları yakınındaki doğalgaz, suyun buharlaştırılması için ısıtmada kullanılmasından yüzyıllar sonra batıda bu teknoloji uygulama alanı bulmuştur. Bunun örneklerini çoğaltmak mümkündür. Aşağıda tuz üretiminde kullanılan yöntemler hakkında kısaca bilgi verilecektir [3].

2.4.1. Kaya Tuzundan Tuz Üretimi

Tarih öncesi devirlerden beri en yaygın olarak kullanılan tuz üretim sistemi kaya tuzu yataklarının işletilmesidir. Kaya şeklinde bulunan tuz yatakları, yüzeyde veya yüzeye yakın olduklarında, diğer madenlerde olduğu gibi, açık maden işletmeciliği uygulanarak üretim yapılmaktadır. Kaya tuzu yatağı yerin yeterince altında ise üretim, galeri madenciliği şeklinde sürdürülmektedir. Bilinen en eski kaya tuzu yatakları arasında İspanya’da Katolonya bölgesindeki Cardona, Polonya’nın Wieliczka ve Bochnia bölgesi, Dürnberg ve Hallein tuz madenlerinin yer aldığı Reichenhall yakınındaki tuz dağı sayılabilir. Buradaki madenlerde M.Ö. 3500’de dahi tuz üretimi yapılıyordu [3].

Günümüzde kaya tuzu kaynaklarından çok azı, herhangi bir saflaştırmaya gerek duyulmadan kullanılabilir. Tuz genellikle bünyesinde başka mineralleri de bulundurur. İşletilen maden saf bir tuz madeni yatağı ise elenerek, başka maddeler ile karışık halde ise önce eritip yeniden kristalleştirildikten sonra kullanıma uygun hale getirilir.

Kaya tuzu genellikle dom adı verilen kubbemsi yapılar meydana getirmiştir. Tuz üretmek için işletilen tuz domları 1 km veya daha çok yarıçapa sahiptirler. Tuz domlarına daha çok ABD’de Teksas ve Louisiana’da, Karpatların eteklerinde, kuzey Almanya ovasında, İran, Kafkaslar, Mısır, Fas ve Cezayir’de rastlanır [3].

Tuz madenciliğinde galerilerin kazılması büyük önem taşımaktadır. Galeriler genellikle 210 cm gibi bir yükseklikte kazılmaktadır. Önceleri bir insanın rahatlıkla geçebileceği yüksekliğe sahip olan bu galeriler, zaman içinde tavanda oluşan basınç nedeniyle bozulmaya başlamaktadır. Buna en güzel örnek Dürnberg tuz madenidir. 400 yıl önce açılmış olan galeriler günümüzde 45 cm yüksekliğe, 17. yüzyılda açılmış bir başka galeri ise 90 cm yüksekliğe inmiştir. Birden fazla katlı olarak işletilebilen kaya tuzu yataklarında, tuzdan kalın duvarlar bırakarak, bir üstte yeni bir galerinin açılması mümkün olmaktadır. Günümüzde galeri madenciliği şeklinde tuz üretimi yapılan birçok maden mevcuttur [3].

2.4.2. Tuzlu Sudan Tuz Elde Etme Yöntemleri

Eski dönemlerden beri kullanılan başlıca tuz üretim metotlarından biri tuzlu suların işlenmesidir. Bu sular arasında deniz, göl veya bazı kaynak suları sayılabilir. Tuz üretmek için buharlaşma ile suyun ortamdan uzaklaştırılması ve salamura adı verilen eriyik haldeki tuzun kristalleştirilmesi gerekir [3].

2.4.2.1. Yüzeydeki Sulardan Tuz Üretimi

Kristalleştirme işlemlerinde kullanılan yöntemler; bulunulan iklim kuşağına, ülkelerin teknolojik gelişme durumuna göre çeşitlilik gösterir. Kristalleştirmede genellikle tuzlu su, önce kanallar vasıtasıyla sığ havuzlara alınır. İçindeki kil, sodyum hidroksit, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri gibi yabancı maddelerin çökmesi için bekletilir. Kristalleşmeye başlayan bu tuzlu su, temizlenmek amacıyla yeniden kaynak suları ile işleme tabi tutulur. Ardından suyun buharlaşması beklenilir. Bu sistemde üretilen tuza solar tuz adı verilmektedir. Güneş ışınları ile gerçekleşen buharlaşma işlemi ılıman kuşakta yer alan Meksika körfezi kuzey kıyılarında ve Hindistan’ın Pencap Eyaletinde olduğu gibi, dünyanın birçok yerinde kullanılmaktadır. Güneş ışınlarının yetersiz olduğu yerlerde ise, buharlaşmayı

sağlamak için ayrıca ısıtmaya da gerek vardır. Isıtma ile sürekli üretim yapmak mümkündür. Ancak bu daha çok sanayileşmiş ülkelerde, sanayi hammaddesi olarak kullanılan tuzun üretiminde uygulanan bir yöntemdir [3].

Yüzey sularından tuz üretmede denizler ve göller büyük önem taşır. Deniz kıyısında yer alan sığ havuzlar, yıl içinde deniz basmalarına maruz kalan geniş düz ovalar tuzun kristalleştirilebileceği yerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Deniz tuzundan üretim güneş radyasyonuna ve rüzgârın buharlaşmayı arttırmasına bağlı olarak doğal şartlarda meydana gelir. Tuz üretilebilecek deniz suyunun litresinde 25 gram sodyum klorür bulunmalıdır. Tuzlu su yeterince doymuş hale geldiğinde kristalleşmeye başlar. Bu şekilde elde edilen tuzlarda yaklaşık %4 oranında su kalmıştır. Bu tuz önce kurutulur, ardından öğütülerek sanayide kullanılır hale getirilir. Deniz kıyısında ve akarsu ağzında yer alan bataklıklar ile turbalıklar tuz üretimi yapılabilen yerler arasındadır. Hindistan ile Pakistan sınırındaki bataklıklar, kuzey Hollanda'nın deniz kıyısında bulunan tuzlu bataklıklar tuz üretiminin yapıldığı alanlar arasında sayılabilir [3].

Tuz üretiminde kullanılan bir diğer yüzey suyu kaynağı göllerdir. Göllerdeki tuz oranları da bulundukları iklim kuşağına, beslenme havzasındaki kayaçlara ve derinliğine bağlı olarak değişmektedir (Tablo 2.4). Dünyada tuz üretimi yapılan başlıca göller; Amerika Birleşik Devletleri'nin batısında yer alan Salt Lake, Türkiye'de Tuz Gölü ve Ortadoğu'daki Ölüdeniz (Lûd gölü) dir. Bu göllerden Ölü denizin tuzluluk oranı ‰340, Tuz gölünün ‰329, Salt Lake'in ise ‰270 dolayındadır [3].

Tablo 2. 4: Dünya'daki önemli tuzlu göller.

Göl	Tuzluluk (g/L)	Yüzölçümü (km ²)
Great Salt Lake	150-280	4.400
Salton	33	891
Pyramid	5.3	446
Big Quill	43-53	307
Mono	95	158
Walker	10.6	150
Natron	340	900
Magadi	114	95
Nakuru	10-120	40
Bogoria	50	33
Elmenteita	29.5	20
Hazar	10-12	422.000
Aral	8-10	66.000
Balkaş	0.5-7	22.000
Işık	5-6	6.300
Canı	1.5-4	3.245
Ala	5-7	2.650
Tengiz	3-19	1.590
Koko (Quinghai)	12.5	4.600
Lop Nor	5	3.010
Namu	3	1.961
Selin	19	1.628
Zarınanmu	12	996
Dabuxun	380	184-334
Dalay	5.5	238
Urmiye	300+	5.000+
Van	24	3.600
Niriz	7-56	1.810
Tuzgölü	300+	1.600
Ölüdeniz	300+	940
Eyre	(-50)-(+300)	8.430
Corangamite	30-50	233
Bullen Meri	9	4.9

2.4.2.2. Derindeki Tuz Depolarından veya Tuzlu Su Kaynaklarından Tuz Üretimi

Yerin derinliklerindeki tuzlu su kaynakları, genellikle bir tuzlu serinin erimesiyle meydana gelmiştir. Bu tuzlu sular kaynak halinde yüzeye çıkabildikleri gibi yer altında tuzlu su depoları da oluşturabilirler. Doğal olarak oluşan bu tuzlu suyun yanında, çok derindeki kaya tuzunu eriterek de yoğun tuzlu su elde edilebilmektedir. Doğal olarak oluşan tuzlu sular yüzeye kendiliğinden de çıkabilir. Ancak tuz depolarının eritilmesi ile oluşturulan tuzlu suların yüzeye çıkarılması, bir dizi beşeri sürece ihtiyaç gösterir. Bu tür kaynaklardan elde edilen tuza buharlaştırılmış tuz adı verilmektedir [3].

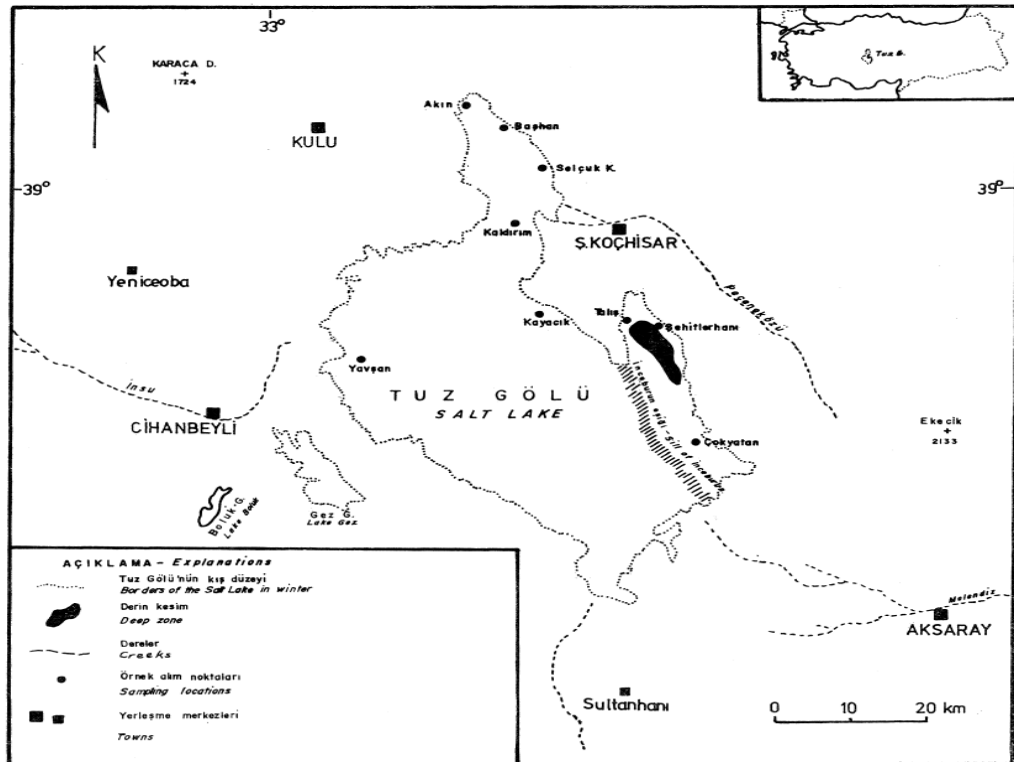
Çin’de tuzlu su kuyularından tuz üretme yöntemleri MÖ. 252’de geliştirilmeye başlamıştır. Açılan kuyular ilk başta yer yer 100 m’yi aşan derinliğe sahipti ve açık maden ocaklarını andırıyordu. Ancak MÖ. 1. yüzyılda Sichuan ve Şansi eyaletlerinde bu kuyularda çalışanların sık sık hastalanması, düşüp ölmeleri ve patlamaların meydana gelmesi, bu olaylara kötü ruhların yol açtığına inanılmasına neden olmuş, onlara adaklar verilerek ölümlerin önüne geçilmeye çalışılmıştır. MS. 100’de bu olayların sebebinin doğal gaz olduğunun belirlenmesinin ardından, bu gaz denetim altına alınarak, tuzlu suyun buharlaştırılmasında yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. MS. 200’de de artık buharlaştırma demir kaplarda yapılıyordu. Üretimi de arttıran bu yöntemler nedeniyle tuz üretimi daha yaygınlaşmıştır [3].

Galeri ile işletilemeyecek kadar derin tuz madenleri ile tuzlu su kaynaklarının işletilmesinde bu yöntemin kullanımı ise batıya daha yakın zamanlarda gelmiştir. Bu sistem hızla makineleşmiş ve modern bir uygulama haline dönüşmüştür. Tulumcaya benzer bir yöntem kullanılan bu üretim sistemi ile 1812’de tek yönlü, 1834 yılında ise bir yandan su basarken diğer yandan tuzlu suyun geri alınması şeklinde çift yönlü olarak tuz üretimine başlanmıştır. Başlangıçta deneme amacıyla uygulanan bu yöntemle 1887’den beri sanayi için tuz üretimi yapılmaktadır. 1859 yılında Pennsylvania’da bir Amerikalının 21 metre sondaj yapması büyük bir başarı olarak alkışlanmıştır. Batıda bu tekniğin geliştirilmesinden çok daha önceleri Çin’de bu biliniyordu. 1835 yılında Çin’in ünlü tuz üretim merkezlerinden Zigong’da Shen Hai kuyusunda sondaja başlandığında 810 m’de doğal gaza, 890 m. de doğal salamuraya (tuzlu suya) rastlandı. Kuyu 990 m’ye kadar açılmaya devam edildi. Bu o zaman sondajla inilen en derin kuyu olma özelliğini taşıyordu. 1966 yılında ise Shen Hai

kuyusunda tuz üretimi için 1280 m'ye inilmiştir. Günümüzde sondaj ile çok daha derinlere inilerek üretim yapılabilir. Tuz üretim sahaları adeta eski petrol üretim sahalarını andırmaktadır [3].

2.5. Tuz Gölü ve Havzası

Tuz Gölü 38°43'K ve 33°22'D koordinatları içinde olup rakım yaklaşık 905 m'dir. Tuz gölü kapalı havzası KB-GD uzantılı olup Tuz Gölü dışında Tersakan Gölü, Bulak Gölü ve Kulu Gölünü de içerir. Tuz Gölü'nü besleyen akarsu ve çaylar; doğuda Peçeneközü deresi, Güneyde Bağlıca suları ile birlikte Esmekaya kaynakları, batıda İnsuyu deresi, güneybatıda ise Tersakan çayıdır (Şekil 2.1). Bu akarsu ve çaylar yaz aylarında tamamen kuruduklarından göle ulaşamazlar. Tuz Gölü'nde özellikle kış aylarında çok sayıda kuş cinsi barınmaktadır. Bu cinslerden bazıları Sakarca kazı, Suna, Angut, Çamurcun, Büyük yağmuncun, Kocagöz, İnce gagalı martı, Gümüş martı olarak sıralanabilir. Ayrıca Tuz Gölü flamingo kolonilerine kuluçka alanı olması bakımından da önem arz etmektedir [5].



Şekil 2. 1: Tuz gölü havzası haritası.

Tuz Gölü Havzası İç Anadolu'da Ankara ilinin güneyi ile Konya ilinin kuzey-doğusunda yer almış olup, karalar arası kapalı bir havza konumundadır. Ankara, Konya ve Aksaray il sınırları içerisinde bulunmaktadır. Kuzeyinde Paşadağ yükseltisi, doğusunda Ş.Koçhisar-Aksaray kenar yükseltisi ile güneyinde Sultanham platosu ile çevrelenmiştir. Havzanın yağış alanı yaklaşık 18 000 km² tutar. Bu alanı çevreleyen yer üstü su bölümü havzanın kenarındaki tepe ve dağ sınırlarının doruklarından geçmektedir. Havzanın en önemli gölü Tuz Gölü'dür. Dışarıya akıntısı olmayan bu gölün deniz seviyesinden yüksekliği 905 m'dir. Kuzeyde ve Doğuda dar, Batıda ve Güneyde oldukça genişleyen bir ovanın zeminini kaplamaktadır. Göl alanı 1665 km²'dir. İç Anadolu'nun en az yağış alan bir bölümünü oluşturan Tuz Gölü havzasının yıllara göre ortalama yağış miktarı 300 mm'dir. Yağış dağılımı bakımından havza kendi içinde genel olarak homojen olup, yüzey şekillerine bağlı olarak bazı farklılıklar göstermektedir. Örneğin havzanın güneydoğusunda ekstrem bir yükselti teşkil eden Hasandağ'ının çevresinde yağışlar 458 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Buna karşılık, en az yağış alan bölge Tuz Gölü'nün batısındaki Yeniceoba düzlükleri olup, ortalama yağış 276 mm'dir. Tuz Gölü havzasında mevcut olan istasyonların uzun yılları kapsayan ölçümlerine göre, ortalama sıcaklık 11.2 °C'dir. Yıllık sıcaklık dalgalanmaları havzanın karasal iklimini karakterize etmektedir. Tuz Gölü havzası, Kuzey (Yıldız), Kuzeybatı (Karasal) ve Doğu'dan esen rüzgarların etkisi altında bulunmaktadır. Hakim rüzgarların Tuz Gölü'ndeki su hareketlerine etkileri ilgi çekicidir. Bazen göl suyunun yüzlerce metre çekilmesi ile göl sahil şeridinin susuz kaldığı olmaktadır [6].

Tuz Gölü'ndeki tuzluluk oranı yazın %32.9 gibi en yüksek orana ulaşmaktadır. Göldeki NaCl oranı magnezyum klorür ve sodyum sülfat oranlarından oldukça yüksektir. Göldeki tuz birikiminin birçok faktöre bağlı olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Göl çevresindeki jips ve tuz tabakaları içeren Oligosen formasyonun bulunuşunun gölün tuzlaşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Tuzlu göl sularından tuz üretimi, suların güneş altında buharlaşmasıyla tuzun kristallenmesi esasına dayanmaktadır. Tuz Gölü sularında tuz yoğunluğunun oldukça fazla olması nedeni ile tuz üretimi kolaylaşmakta ve tuz yaz mevsiminde kendiliğinden oluşmaktadır. Ağustos ayında başlayan tuz üretimi Aralık ayına kadar devam etmektedir [7].

Gölün büyük bir bölümünde yaz ve kış mevsimleri arasında 1-1.5 m su derinliği farkı vardır ve sığdır. Bu sığ bölümü tamamen kurur ve 5-30 cm

kalınlığında bir tuz tabakası ile kaplanır. Tuz Gölünden çok saf gıda sınıfı tuzu (NaCl) elde edilir (Tuz Gölü 2.9 tuz konsantrasyonuna sahip, Ölü Deniz'den sonra dünyanın ikinci tuzlu gölüdür). Tuz bolluğu bilim adamları tarafından çeşitli şekillerde açıklanmaktadır. En çok üstünde durulan neden doğu-kuzeydoğu kıyısındaki jipsli bölümlerden geçen akarsuların tuzu taşınması ve yaz aylarında oluşan buharlaşmalarla gölün altında kalan tuzun ortaya çıkmasıdır. Bu görüş desteklemektedir ki Tuz Gölü Neojen göl kalıntısıdır ve tuzluluk nedeni jipsli sular ile beslenmesidir. Ancak, bu görüşün dikkatle değerlendirilmesi gerekir. Bölgedeki göller yanındaki suların bileşimine sahiptir ve çevreden gelen su ve buharlaşmalar göl sularındaki yabancı maddelerin konsantrasyonlarındaki artıştan sorumludur. MTA tarafından yürütülen araştırmalar işaret etmektedir ki tuz 1200 km²'lik alanı kapsayan Tuz Gölü'nün yüzeyinde oluşmaktadır ve eğer kalınlık 8 cm kabul edilirse 210 milyon ton tuz varsayılabilir. Neojenden bu yana kapalı bir havza olan gölde NaCl oluşumu muhtemelen uygun jeokimyasal koşullar altında kaya tuzunun yağışlarla birlikte ve uzun süre göle giren Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının sürekli birikmesiyledir. Ek olarak, tabanda bulunan tuz domlarına ve tektonik hatlar boyunca tuz duvarlarına katkıda bulunan tuzlu su yüksek tuz konsantrasyonu için bir başka nedendir. Evaporasyon yöntemiyle Kaldırım, Kayacık ve Yavşan Tuzlularından elde edilen tuz, Türkiye'nin tuz ihtiyacının %70'ini karşılamaktadır [8].

2.5.1. Kaldırım Tuzlası

Tuz Gölü'nün en eski tuzlularından Kaldırım Tuzlasında; havuzlama sistemi olmadığından 1998 yılına kadar, doğal şartlara bağlı üretim yapılıyordu. Yağışların fazla olduğu dönemlerde üretim şartları olumsuz yönde etkileniyor ve 15-30 cm'ye ulaşan su seviyesi içinde üretim yapmak zorunda kalınıyordu. Yılda 8-10 cm arasında tuz oluşabilmekte, üretim hedefini gerçekleştirebilmek için çok fazla alanın taranması gerekmekte idi. Bu da yığın yerlerinden oldukça uzak 10-14 km mesafelere gidilmesini gerektiriyordu. Ancak, 1997 yılı içinde başlatılan havuzlama sistemi ile işletmeye 1-3 km boyutlarında toplam 12 km² alana sahip 4 adet havuz yapılmıştır. Ayrıca bu havuzların yapımı sırasında ana şeddenin de sınır olması nedeniyle, bir havuz da kendiliğinden elde edilmiş olup; 1999 üretim döneminde bu havuzdan da yararlanılmıştır. Yapılan bu havuzlama ile Yavşan ve Kayacık

Tuzlalarında olduğu gibi, istenen kalınlıkta tuz tabakası oluşturulabildiğinden, doğa koşullarının etkileri minimum düzeye indirilerek ağır ve eski bir sistem olan raylı sistemin 10-12 km²'lik mesafelere uzaması önlenmiştir. Havuzlama sisteminin yapılmasından sonra 1999 ve 2000 yıllarında üretimin tamamına yakın kısmı bu havuzlardan sağlanmış, gerek kalitede iyileştirme ve gerekse kapasitede önemli artışlar olmuştur [6].

2.5.2. Kayacık Tuzlası

Kayacık Tuzlası tabiat şartlarından en az etkilenen tuzla olup, yaklaşık 3 km²'lik alanı olan dört üretim havuzu ile toplam 12 km²'lik üretim alanına sahiptir. Oluşan tuz tabakasının daha kalın ve verimli olması amacı ile üretim havuzlarında her yıl buharlaşmanın başladığı nisan ayı içinde 25 L/sn kapasiteli motor pompalarla gölden, tuzlu su pompalanmaktadır. Yıllık kapasite 500.000 ton olup, yıllara göre değişen talebe ve stok durumuna göre üretim yapılmaktadır [6].

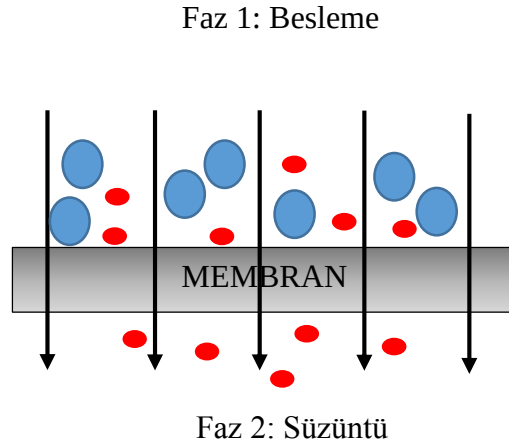
2.5.3. Yavşan Tuzlası

Yavşan Tuzlasında üretim göl içerisinde kurulu havuzlarda yapılmaktadır. Toplam 13 adet üretim havuzu yaklaşık 8 km² sahayı kaplamaktadır. Yıllık kapasite 400.000 ton olup, üretim yıllara göre değişen ve talebe bağlı olarak tespit edilen üretim hedeflerine göre yapılmaktadır [6].

3. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. Genel Membran Tanımlamaları

Membran, bir çözelti ortamında bulunan ayrılması istenilen maddenin diğer maddelere göre seçici olarak tutulmasını ve diğer maddelerin ise daha kolay gözeneklerinden geçebildiği ve bu nedenle ayırım prosesinin temelini oluşturan seçici geçirgen ince bir zar olarak tanımlanabilmektedir. Başka bir tanımla membran yarı seçici bariyer ya da iki faz arasındaki ara yüzey olarak tarif edilebilir. Klasik bir membran ayırım sisteminin gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir. Faz 1; besleme (feed) veya üst akışı, faz 2; süzüntü (permeate) ya da alt akışı ifade eder.



Şekil 3.1: Bir membran tarafından ayrılmış iki fazlı bir sistemin gösterimi.

Su ve atıksu arıtımında kullanılacak olan membran sistemlerinin seçiminde ve tasarımında en önemli parametre, membran türünün ve uygulanacak membran sisteminin arıtılacak suya uygun olarak seçilmesidir. Membran sistemlerinin performansı seçicilik ve akı parametreleri ile ifade edilmektedir. Akı, birim alan ve zamanda membrandan geçen su hacmi olarak tanımlanır. Hacimsel olarak ifade edilen akının birimi genellikle L/m^2sa , $L/m^2gün$ ve cm^3/cm^2sa olarak verilir. Akı genel olarak basınca, sıcaklığa, çapraz akış hızına, filtre edilecek ortamın içeriğine ve çözeltideki partikül madde miktarına bağlıdır [9]. Süzüntü akışı yani akı, sürücü kuvvete bağlı olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanır [10];

$$J = -A \cdot \frac{dX}{dx} \quad (3.1)$$

dX/dx ; sürücü kuvveti ifade eder.

A; akı ve sürücü kuvvete bağlı bir katsayıdır.

Membrandaki sürücü kuvvetler konsantrasyon, sıcaklık, basınç ve elektrik potansiyeli olabilir. Çeşitli membran sistemlerindeki sürücü kuvvetler ile çözelti ve süzüntü fazları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3. 1: Ayırma potansiyeli bakımından membran prosesleri.

Membran prosesi	Ayırma potansiyeli	İtici kuvvet	Tercihen geçen komponent
Ters osmoz	-Sulu düşük M_w çözelti -Sulu organik çözelti	Basınç Farkı ≤ 100 bar	Çözücü
Ultrafiltrasyon	-Makromoleküler çözeltiler, emülsiyonlar	Basınç Farkı ≤ 10 bar	Çözücü
Mikrofiltrasyon	-Süspansiyonlar , emülsiyonlar	Basınç Farkı $\leq$ 5 bar	Sürekli Faz
Gaz Permeasyon	-Gaz karışımları, gaz buhar karışımları	Basınç Farkı $\leq$ 80 bar	Tercihen geçen komponent
Pervaporasyon	-Organik karışımlar, su organik karışımları	Kısmi basınçlarının fazlarına oranı	Tercihen geçen komponent
Osmosis	-Sulu çözeltiler	Konsantrasyon Farkı	Çözünen madde veya iyonlar

3.2. Membranların Kullanım Alanları

Membran proseslerin en çok kullanıldıkları alanlar ayırma ve saflaştırma prosesleridir ve özellikle son yıllarda maliyetlerdeki düşüş nedeniyle su ve atıksu arıtımında ve geri kazanım proseslerinde hızla artan oranlarda tercih edilmektedir. Membran proseslerinin kullanıldığı başlıca endüstri alanları şunlardır: kimya, petrokimya, maden, endüstriyel cevherler, otomotiv, ilaç, gıda, günlük gıdalar, meyve konsantresi, kağıt, tekstil, elektronik ve diğer benzer endüstriler. Membran proseslerinin çeşitli sektörlerdeki kullanım amaçları, ana hatlarıyla aşağıda verilmiştir [11]:

- Yüzeysel veya yeraltı sularının arıtımıyla içme suyu temini,
- Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımı ve proses suyu kullanım amaçlı geri kazanımı,
- Evsel atıksuların arıtımı ve zirai sulama, akifer enjeksiyonu/beslemesi, rekreasyon alanlarının sulanması, yangın suyu, yıkama, vs amaçlı geri kullanımı,
- Endüstriyel atıksulardan değerli metal geri kazanımı,
- Endüstriyel atıksulardan çeşitli kimyasal bileşiklerin geri kazanımı ve proseste geri kullanımı (atıksulardan asit, baz, solvent, boya ve çeşitli organiklerin ayrımı ve geri kazanımı),
- Hafif tuzlu sulardan ve deniz sularından tuz giderilmesiyle içme suyu temini (desalinasyon),
- Peynir, kazein, peynir altı suyu ve süttten büyük protein moleküllerinin konsantrasyonu ve geri kazanımı,
- Meşrubat endüstrisinde konsantre ürün eldesi,
- İnsan kanının saflaştırılması, temizlenmesi (dializ),
- Tıp ve medikal ürünlerin, bira, şarap ve meşrubatların sterilizasyonu.

3.3. Membran Sistemlerinin Sınıflandırılması

Ticari olarak kullanılan mevcut membran materyalleri çok farklılık göstermektedir. Membranlar hem fiziksel hem de kimyasal yapılarına göre ayrılabilir. Fakat en temel ve en önemli özelliği, ayırma işleminin en uygun şartlarda gerçekleştiği seçici geçirgen mekanizmadır. Bu esasa bağlı olarak,

membranlar hem yoğunluğuna hem de gözenek boyutuna göre Tablo 3.2’de gösterdiği gibi sınıflandırılabilir [12].

Tablo 3.2: Su ve atıksu arıtımında kullanılan membran proseslerin sınıflandırılması.

Yoğun	Gözenekli
Membran Ayırma Prosesleri	
Ters Osmoz (TO) Suda çözünmüş türlerin ve suyun çözünürlük ve difüzyon hız özelliğiyle ulaşılan ayırma işlemi	Ultrafiltrasyon (UF) Hem çözünmüş makromoleküllerini hemde askıda kolloidal partiküllerini ayırma işlemi
Elektrodiyaliz (ED) İyon değiştirme membranlarını kullanarak farklı iyon boyutu, çözelti iyonlarının yükü ve yük yoğunluğu ile ulaşılan ayırma işlemi	Mikrofiltrasyon (MF) Suda askıda maddeleri ayırma işlemi
Nanofiltrasyon (NF)	
Yük tutulması, çözünürlük-difüzyon ve eleme kombinasyonları ile ulaşılan ayırma işlemi	
Membran Materyalleri	
Polimerik materyallerle sınırlı	Polimerik ve inorganik materyaller mevcut

Ters Osmoz; basınçla çalışan bu proseste, su geçerken hemen hemen bütün iyonlar tutulur. Ters osmozda, yarı geçirgen membrana uygulanan basınç, tuzlu solüsyonun osmotik basıncını aşar ve suyun içindeki çözünmüş tuzu tutarak temiz suyun membrandan çıkmasını sağlar. Ters osmoz sistemlerde genel olarak yatay akışlı filtrasyon prensibi kullanılmakta ve yatay akışın membran yüzeyinde sürekli bir temizleme etkisi bulunmaktadır.

Nanofiltrasyon; gözenek boyut dağılımı ultrafiltrasyon ile ters osmoz arasında bulunmaktadır. Az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyondan daha yüksek fakat ters osmozdan düşük basınçla çalışmaktadır. Nanofiltrasyon membranları ters osmozdan farklı olarak daha büyük gözenek boyutlarına sahiptir. Bu sistemler mikrokirletici gideriminde, atıksu

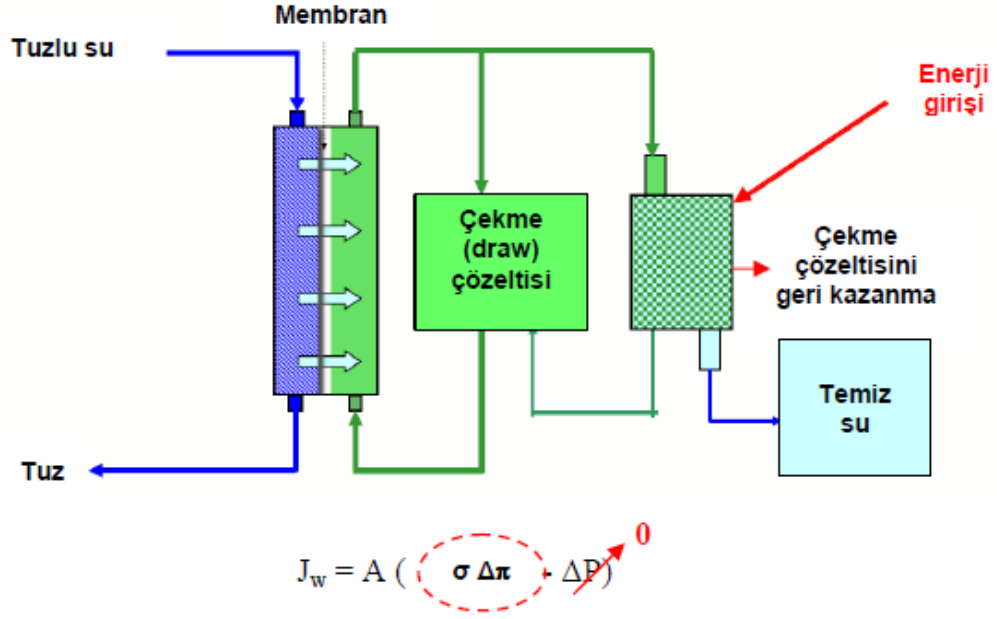
arıtımında ve kuyu sularının arıtılmasında kullanılmaktadır. Yalnızca 1 nm'den küçük partiküllerin geçişine izin verir. Nanofiltrasyon membranları, klasik ters osmoz membranlarından daha yüksek moleküler kesme değeri sınırlarında çalışır ve kalsiyum (Ca^{+2}) , magnezyum (Mg^{+2}) gibi iki değerli iyonların geçişine karşı büyük bir direnç gösterir.

Ultrafiltrasyon: yüksek molekül ağırlığına sahip çözünmüş maddeleri, kolloidler, mikroorganizmaları ve askıda katı maddeleri çözeltiden ayırma özelliğine sahip olup, ters osmoz ve nanofiltrasyona göre daha düşük basınçta çalışan bir membran ayırma prosesidir. Suda bulunan çözünmüş tuzlar bu yöntemle arıtilamamaktadır. Ultrafiltrasyon, membranın moleküler ağırlık kesme özelliği sayesinde iyonik olmayan maddeleri tutarak, iyonik maddelerin geçişine izin verir. Ultrafiltrasyonda membran gözenek çapı 0.05- 1 μm arasında değişir. Tuz giderimi, atıksu ve endüstriyel amaçlı su arıtımında ters osmoz ve nanofiltrasyon öncesi ön arıtma prosesi olarak yer almaktadır.

Mikrofiltrasyon: 0.1–2 μm arası partiküllerin arıtılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemle askıda katı maddeler, büyük kolloidler giderilirken, çözünmüş maddeler giderilemez. Uygulamada karşılaşılan en büyük sorun yüksek yenileme maliyetine sebep olacak şekilde hızlı tıkanma ve dolayısıyla zamanla akıda meydana gelen azalmadır. Mikrofiltrasyon membranlar, ultrafiltrasyon ve ters osmoza göre daha düşük basınçta (2–4 bar) işletilmektedir. Bir çözeltinin, içindeki mikrometre veya daha küçük boyutlardaki parçacıklardan membran içinden geçirilerek ayrıştırılmasıdır. Mikrofiltrasyonda çözünmüş sıvı veya su fitreden geçirilirken askıda maddeler veya mikroorganizmalar yüzeyde veya içerde tutularak temizlenir. Mikrofiltrasyon makro moleküllerin membrandan geçmesine izin verirken 100 μm boyutundan büyük partiküllerin membrandan geçmesini engeller [13],[14].

3.4. İleri Osmoz Membran Sistemleri

Osmoz, çözücü maddelerin az yoğun ortamdan çok yoğun ortama seçici geçirgen bir zardan enerji harcanmadan geçişidir. İleri osmoz ise oldukça yüksek seviyelerdeki konsantre akışın seyrelmesi ve besleme akımının konsantre hale gelmesiyle sonuçlanan bir işlemdir. İleri osmoz prosesinin şematik gösterimi Şekil 3.2'de verilmiştir [15].



Şekil 3.2: İleri (forward) osmoz prosesi.

İleri osmoz işleminde etkin gücün kaynağı, membranın süzöntü tarafındaki konsantre çözeltisidir. Bu çözeltiye draw solüsyon, osmotik ajan, osmotik ortam, etkin solüsyon, osmotik motor, örnek solüsyon veya tuzlu su gibi isimler verilmiştir. Etkin gücün kaynağı olması dolayısıyla çekme çözeltisi seçilirken uygulamaya bakılmaksızın inert, kararlı, nötr veya nötr pH'a yakın ve toksik olmama gibi genel kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek osmotik basınca sahip olabilmesi için düşük moleküler ağırlıkta olması ve suda ki çözünme oranının yüksek olması gerekmektedir. Aynı zamanda, membrana kimyasal (reaksiyon, çözünme veya adsorbsiyon aracılığıyla) veya fiziksel olarak zarar vermemesi, çevreye veya insan sağlığına minimum etkilere sahip olması da istenir. Ayrıca ucuz olması, yüksek çözünmeye ve besleme çözeltisinden daha yüksek osmotik basınca sahip olması aranan özelliklerdendir. İleri osmoz için diğer önemli bir kriter, işletim sırasında seyreltilen çekme çözeltisini tekrar konsantre edecek uygun bir prosesin bulunmasıdır. Bunun için yüksek çözünmeye sahip ve ters osmoz işlemiyle yüksek konsantrasyona tekrar konsantre edilmesi daha basit olduğu için genellikle NaCl çözeltisi kullanılır [16].

İleri osmoz işleminin temel avantajları, düşük kirlenme eğilimine sahip olması, hidrolik basıncın oldukça küçük olmasından dolayı kirlenme etkisinin az olması, kirlenici maddeleri çok yüksek oranda reddetme kapasitesine sahip olması, besleme

özeltilerinin geniş aralıkta kullanılıyor olması, enerji gereksiniminin ve dizayn maliyetlerinin az olması şeklinde sıralanabilir. Basınç sürücülü membran proseslerde, kirleticiler basıncın etkisinden dolayı membran üzerinde birikir, bu durum membran yüzeyinde bir sıkışma meydana getirir. İleri osmoz sistemlerinde bu avantaj, hidrolik basıncın etkin olduğu membran sistemlerine göre daha düşük membran problemlerinin görülmesine neden olmuştur. İleri osmoz sisteminin en büyük dezavantajı, çekme çözeltisinin tekrar konsantre edilme ihtiyacıdır. Bu dezavantaj da ileri osmoz ve ters osmoz sistemlerinin kombine edilmesiyle ortadan kaldırılmaktadır.

İleri osmoz sistemleri atıksu arıtımında nihai bir işlem olmaktan çok saflaştırma işlemi öncesinde bir ön arıtım işlemi olarak görev almıştır. İleri osmoz kullanılarak yapılan toplam çözünmüş katı madde giderim çalışmasında kirleticilerin yüksek oranda membrandan geçişine engel olunduğu ve su geri kazanımının % 94-96 oranında sağlandığı görölmüştür. Son yıllarda kullanılan saflaştırma işlemleri, su kaynaklarının azalmasına bağılı olarak deniz suyu ve hafif tuzlu su gibi alternatif kaynaklardan temiz su elde etmeyi amaçlamaktadır. Saflaştırma uygulamaları, ters osmoz sonucu ortaya çıkan konsantre atığın bertaraf maliyeti ve alıcı ortam üzerine olan olumsuz etkileri nedeniyle sınırlanmaktadır. Kıyı bölgelerinde işlem sonucu ortaya çıkan konsantre atık denize deşarj edilmektedir. Ancak iç kesimlerde, saflaştırma sistemleri, atık hacmini azaltmak için atığın kanalizasyona veya yüzey sularına verilmesi, elektrodializ kullanarak konsantre edilmesi gibi çeşitli arıtım opsiyonları kullanılmaktadır. Bu saflaştırma işlemleri özellikle sahilden uzak iç kesimlerde toplam saflaştırma maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır [17].

4. MATERİYAL ve METOD

4.1. Tuz Numunelerinin Hazırlanması

Tuz gölünden alınan katı özellikteki tuz numuneleri uygulanacak filtrasyon sistemlerine göre Şekil 4.1’de gösterildiği gibi çözelti haline getirilmişlerdir. Ham tuz numuneleri kütlece %3, %5, %7 ve %9’luk oranlarda musluk suyu ile hazırlanmışlardır. Hazırlanan numuneler filtrasyon öncesinde kirli partiküllerden arındırmak için kaba filtre kağıdından geçirilmiştir.



Şekil 4.1: Alınan tuz örneği ve %3-5-7-9 tuz çözeltilerinin hazırlanması.

Ham tuz numunelerden hazırlanmış çözeltilerin karakterizasyonlarını belirlemek için ph, iletkenlik, TDS (toplam çözünmüş katı), viskozite, yoğunluk, osmolalite, sıcaklık ve ICP ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

4.2. Analitik Yöntemler

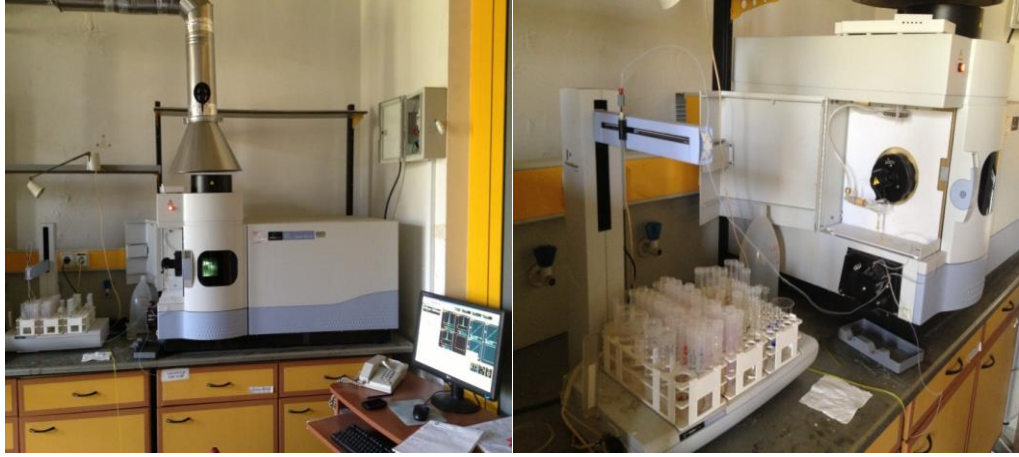
Çalışmada, hem besleme çözeltisi olarak kullanılan musluk suyu hem de çekme çözeltisi olarak kullanılan tuzlu suda su kalite analizleri, cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2’de gösterildiği gibi a) sıcaklık b) pH c) iletkenlik d) TDS parametreleri Hach-Lange HQ440D-multi masaüstü parametre ölçer ile ölçülmüştür. İleri osmoz sistemindeki çekme ve besleme çözeltisi arasındaki osmotik

basınç farkını ölçmek için kullanılan osmolalite parametresinin ölçümü, Osmometer 3250 marka ozmometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk KEM KYOTO Electronics marka yoğunlukölçer ile yapılmıştır. Viskozite ölçümleri AND marka Vibro-viscometre SV-10 cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2: Analizlerde kullanılan masaüstü cihazların fotoğrafları a) Multiparametre ölçer b) Osmometre c) Yoğunlukölçer d) Viskozitemetre.

Besleme ve çekme çözeltilerindeki temel katyonlar olan sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{+2}) ve magnezyum (Mg^{+2}) ölçümleri Perkin Elmer marka ICP cihazında gerçekleştirilmiştir. Cihazın kalibrasyonu analitik saflıktaki standartları ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: ICP cihazının genel görünümü.

4.3. Kullanılan Membranlar

Deneyisel çalışmalarda kullanılan membranlardan İO ileri osmoz membranı olup diğerleri nanofiltrasyon membranlarıdır. Membranlara ilişkin bilgiler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Deneylerde kullanılan membranlar ve özellikleri.

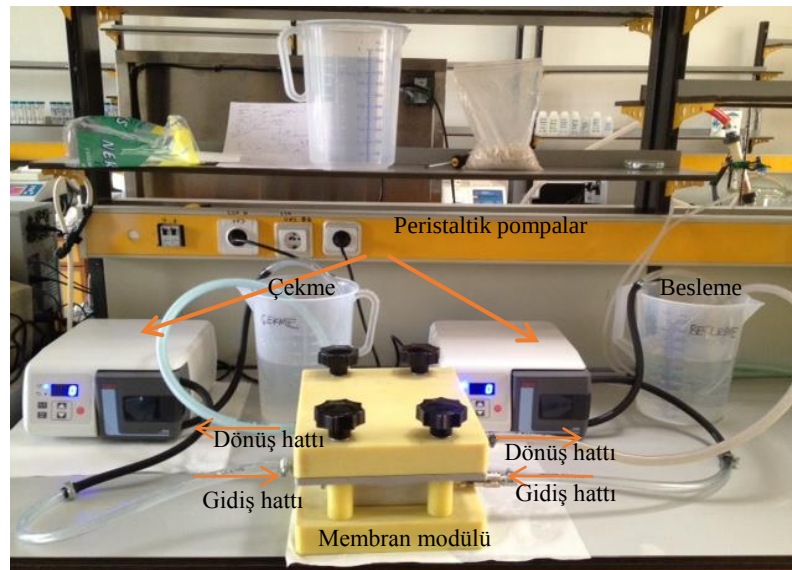
Membran	Üretici firma	Membran malzemesi	Filtrasyon performansları	
			Tuz süzüntü akışı (m ³ /gün)	Tuz tutunumu (%)
İO	Hydration	Selüloz triasetat	-	-
NF270	Dow-Filmtec	Polyamide Thin-Film Composite	CaCl ₂ için: 55.6 MgSO ₄ için:47.3	CaCl ₂ için: 40-60 MgSO ₄ için: 97
NF200	Dow-Filmtec	Polyamide Thin-Film Composite	CaCl ₂ için: 30.3 MgSO ₄ için:25.7	CaCl ₂ için: 35-50 MgSO ₄ için: 97
NP010	Microdyn-Nadir	Polyethersulfone (PES)	-	Na ₂ SO ₄ için:25-40

4.4. Çalışılan Sistemler

Membran sistemlerinde kullanılan ön arıtma prosesleri membranların uzun ömürlü olması ve sorunsuz bir şekilde çalışması için gereklidir. Bu yüzden tez kapsamında öncelikli olarak ileri osmoz sistemi, daha sonra ise nanofiltrasyon membran sistemleri kullanılmıştır.

4.4.1. İleri Osmoz (İO) Membran Sistemi

Deneyisel çalışmalar, Şekil 4.4’de gösterilen laboratuvar ölçekli FO düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Membran modülü çapraz akış prensibi ile çalışan membranın orta kısma yerleştirildiği o-ringler ile sızdırmazlığın sağlandığı simetrik özel yapım bir modüldür. Modül malzemesi delrin asetale reçine olarak seçilmiş ve etkin membran alanı 140 cm² olarak hesaplanmıştır. Düzenek, membran üzerindeki gerilimi azaltmak amacıyla, membran modülde her iki kanaldaki hidrokinamik akış aynı yönde olacak şekilde işletilmiştir. Çekme ve besleme çözeltilerin akışı için iki adet akış kontrollü peristaltik pompa (Thermo Scientific marka) kullanılmıştır. Besleme ve çekme hatları üzerinde aynı akış hızlarını sağlamak amacıyla her bir peristaltik pompa aynı değerlere ayarlanmış ve benzer tipte hortum bağlantıları kullanılmıştır. FO testleri boyunca besleme ve çekme çözeltileri oda sıcaklığında kullanılmışlardır.



Şekil 4.4: İleri osmoz deney düzeneği.

İleri osmoz membran sisteminde CTA (Selüloz triasetat-Hydration marka) membranı kullanılmıştır. Membran yüzeyindeki akışı arttırmak amacıyla 47 mil spacer kullanılmıştır. Besleme ve çekme çözeltilerinin akış hızları 300 L/sa olarak ayarlanmıştır. Çalışma modu olarak hem normal hem de ters modda membran performans değerlendirmesi yapılmıştır. Normal işletim modu membran aktif tabakasının çekme çözeltisine doğru olan çalışma şeklidir, ters mod ise membran aktif tabakasının besleme suyuna doğru olan çalışma şeklidir. Besleme çözeltisi olarak 3 L'lik musluk suyu ve çekme çözeltisi olarak da 3 L'lik tuz çözeltisi kullanılmıştır. İO sisteminin proses performansı aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır;

Bir membran sistemde süzüntü akışı, su hacmi üzerinden Eşitlik (4.1)'e göre hesaplanmaktadır.

$$J_w = \frac{1}{A} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (4.1)$$

İO sisteminde besleme çözeltisinden çekme çözeltisine geçen su hacmi ve buna bağlı su akıları, hem besleme hem de çekme çözeltilerinin iletkenlik ve osmolalitelerinin deney süresi boyunca belli zaman aralıklarında alınan numunelerde ölçümleri neticesinde, kütle dengesi üzerinden hesapla belirlenmiştir. Bu şekliyle hesap edilen su hacmi değişimleri, aynı numunelerdeki toplam çözünmüş katılar (TDS) konsantrasyonlarının ölçümü ile elde edilen sonuçların kütle dengesi üzerinden hesabı ile ayrıca teyit edilmiş ve sonuçların birbirleriyle uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. İO proste hesap edilen beslemeden çekmeye geçen su hacmi ve beslemede ve çekmede ölçülen tuz konsantrasyonlarından hareketle tuz akıları, aşağıdaki formül kullanılarak saptanmaktadır.

$$J_s = \frac{1}{A} \cdot \frac{\Delta(C_t \cdot V_t)}{\Delta t} \quad (4.2)$$

Proste net osmotik basınç farkı, besleme ve çekme çözeltileri arasındaki osmotik basınç farkını ifade etmektedir. Net osmotik basınç farkı, her iki çözelti osmolalitelerinin ölçülmesi ve bu değerlerin Van't Hoff denkleminde yerine konarak belirlenen çözelti osmotik basınçları farkından hesaplanmaktadır.

$$\Delta\pi_{net} = \pi_c - \pi_b \quad (4.3)$$

İO prosesinde kullanılan ham deniz suyunun MF veya UF prosesi ile ön arıtmadan geçirilmesi sonrasında İO prosesinde çekme çözeltisi olarak kullanıldığı çalışmalarda MF ve UF proseslerinin süzüntü akısı performansı Eşitlik (4.1), ve rejeksiyon performansı ise Eşitlik (4.4) kullanılarak belirlenmiştir.

$$R(\%) = 100 \times \left(\frac{C_b - C_s}{C_b} \right) \quad (4.4)$$

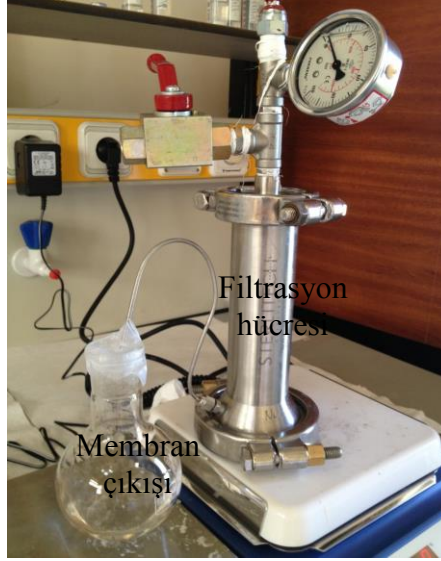
Denklemden C_b ve C_s sırasıyla, basınç sürücülü proseste besleme ve süzüntü akımlarında ölçülen konsantrasyonları ifade etmektedir.

4.4.2. Nanofiltrasyon (NF) Membran Sistemi

Filtrasyon deneylerinde azot gazı ile basıncın ayarlandığı Sterlitech HP4750 marka manyetik karıştırıcı (membran yüzeyinde çapraz akış yaratmak amacıyla) klasik filtrasyon hücresi kullanılmıştır. Kullanılan filtrasyon sisteminin üretici firma tarafından belirtilen genel özellikleri Tablo 4.2’de ve genel görüntüsü de Şekil 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4. 2: Filtrasyon sisteminin teknik özellikleri.

Parametre	Değer
Membran çapı	49 mm
Aktif membran alanı	14.6 cm ²
Hacim	300 mL
Maksimum basınç	69 bar
Maksimum sıcaklık	121 ⁰ C



Şekil 4. 5: Filtrasyon sisteminin genel görüntüsü.

Filtrasyon sisteminin deneye hazırlanma aşamaları Şekil 4.6'da verilmiş ve filtrasyon deneyleri 9 bar basınç altında ve oda sıcaklığında gerçekleşmiştir. NF sisteminde üç farklı özellikte membranlar denenmiştir. Deneylere başlamadan önce membranlar saf su içerisinde bekletilmişlerdir. Membran yüzeylerinde kirlilik tabakasının oluşmaması için filtrasyon hücresi karıştırma aparatıyla birlikte kullanılmıştır. Deneyler sonunda giriş ve çıkış numunlerinde ICP cihazı kullanılarak sodyum, kalsiyum ve magnezyum analizleri yapılmıştır.



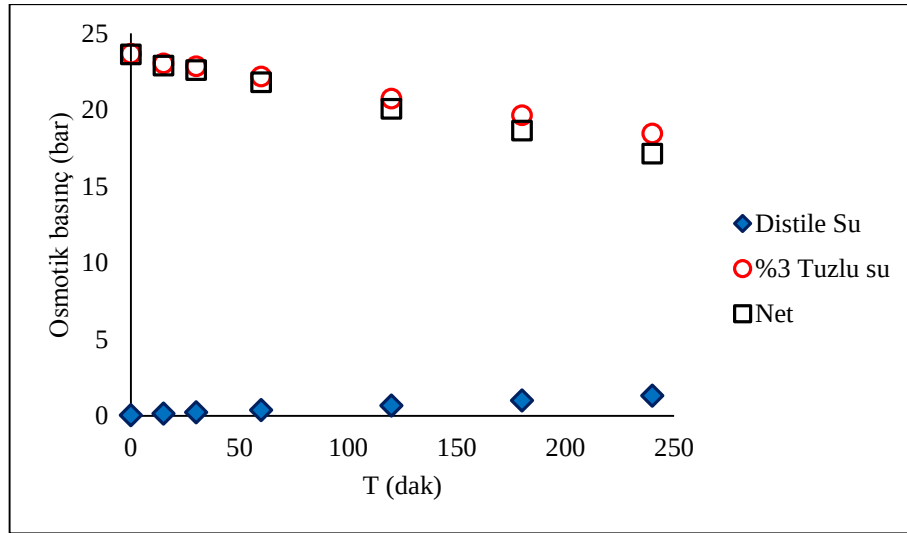
Şekil 4. 6: Filtrasyon hücresinin deneye hazırlanması.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

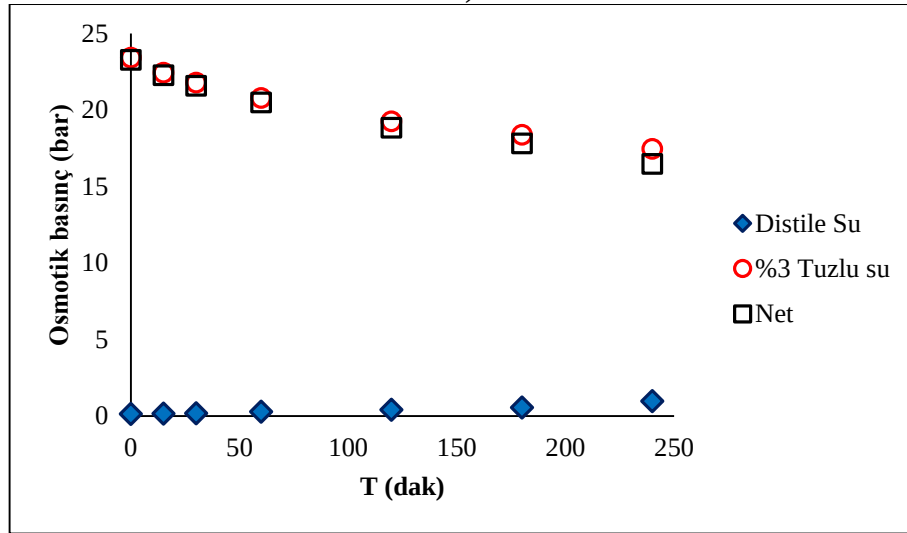
5.1. İO Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar

5.1.1. Membran İşletim Modunun Seçimi

İO prosesinde ilk olarak %3 tuz içeren çözelti kullanılarak, çekme çözeltisinin seyreltilmesine membran işletme modunun etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda normal ve ters mod deneyleri yapılmıştır. Normal işletim modu; proseste membran aktif tabakasının çekme çözeltisine (%3 tuz çözeltisi), destek tabakasının ise besleme suyuna (distile su) teması halinde işletimi ve ters işletim modu ise proseste membran aktif tabakasının besleme suyuna, çekme çözeltisinin ise destek tabakasına temas halinde işletimini ifade eder. İşletme moduna bağlı besleme, çekme ve net (çekme-besleme) osmotik basınçların zamanla değişimleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Membran işletim moduna bağlı distile su ile %3 tuz içeren çözeltinin seyreltilmesi deneylerinde İO prosesi sürücü kuvveti olan net osmotik basınç farkının, normal mod ve ters mod deneylerinde yaklaşık 24 bar’lık başlangıç değerinden, 17-18 bar civarına azaldığı görülmüştür. Çekme çözeltisi olan tuzlu sudan besleme çözeltisi olan distile suya doğru gerçekleşen su taşınımı ile buna ters yönde gerçekleşen besleme çözeltisine çözünmüş madde taşınımına bağlı olarak zamanla beslemedeki osmotik basınç değerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Buna rağmen, prosesin uzun işletim şartları için ihtiyaç duyacağı net basınç farkının halen daha sürdürülebileceği görülmüştür.



a)

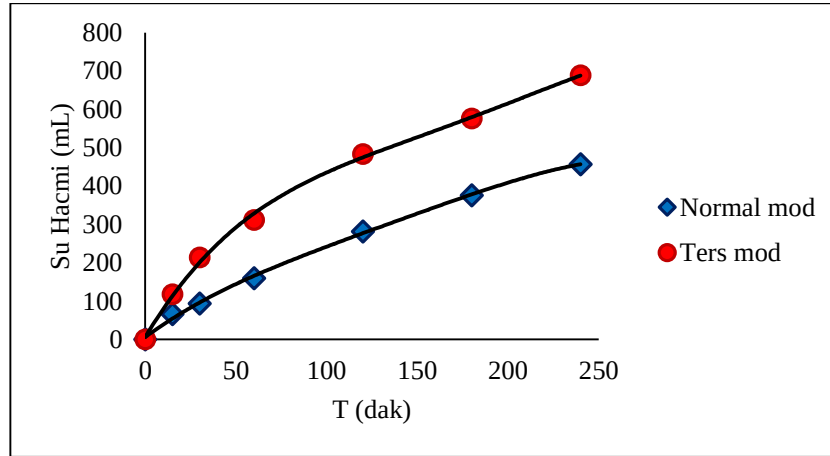


b)

Şekil 5.1: İO prosesiyle distile su kullanılarak %3 tuzlu suyun seyreltilmesinde membran işletme moduna bağlı olarak İO prosesinde sürücü kuvvet etkisinin zamanla değişimi a) normal mod b) ters mod (akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.).

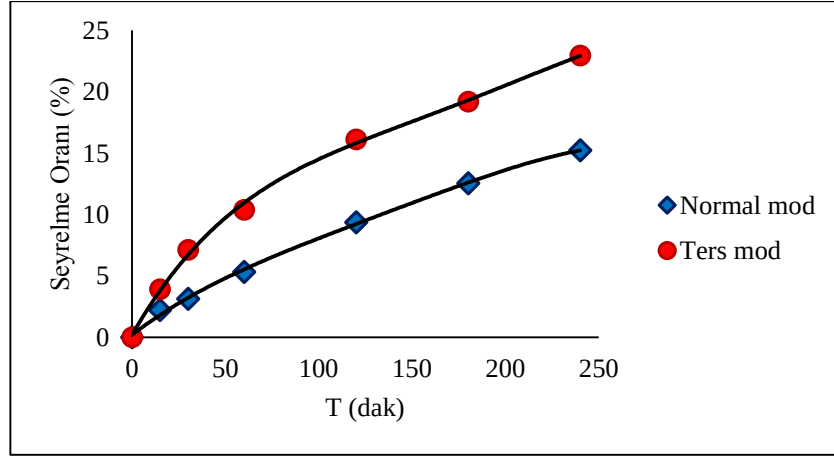
İO proses performansını ifade eden, çekme çözeltisine geçen su hacmi, çekme çözeltisinde hacimsel seyrelme oranı, su akısı ve tuz akısı parametrelerinin zamanla değişimleri ise Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Proseste membran aktif tabakasının distile suya (besleme çözeltisine) teması ile işletimini ifade eden ters işletim modunda, tuzlu suyun daha yüksek distile su geçiş hacmi ve akısı ile seyreltilebildiği belirlenmiştir. Bu duruma etkin osmotik basınç farkı neden olmaktadır. Beslemeden çekmeye geçen su, membran içerisinde aktif tabaka ile temas haldeki besleme çözeltisi hali için aktif tabaka ara yüzeyinde, normal (aktif tabaka çekme çözeltisi ile temas halinde) işletim moduna kıyasla artmış iç konsantrasyon polarizasyonu ve seyrelmiş dış

konsantrasyon polarizasyon etkilerini oluşturmakta; bu da aktif tabaka ara yüzeyindeki etkili osmotik sürücü kuvvet etkisinin ters modda daha yüksek seviyede kalması sebebiyle daha fazla su geçişi performansını beraberinde getirmektedir. Bununla beraber, İO prosesinde konveksiyonla su ve difüzyonla çözünmüş madde taşınımları besleme ve çekme çözeltileri arasında eş zamanlı olarak zıt yönlü olarak gerçekleşmektedir. Artan difüzyonal çözünmüş madde taşınımı etkisinin, beraberinde daha fazla su kütlesinin çekmeye taşınmasını getirdiği, genel İO performansı olarak beklenen bir durumdur. 240 dak'lık deney süresi sonunda normal ve ters modlar için sırasıyla yaklaşık 607 ve 793 mL'lik su geçişleri ile başlangıç 3 L çekme çözeltisinin deney sonunda sırasıyla %20 ve %26 seviyelerinde seyreltilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla 11 ve 14 L/m².sa deney sonu su akısı tespit edilen normal ve ters mod işletimlerinde, çekmeden beslemeye geçen çözünmüş madde akılarının ise sırasıyla 12.9 ve 12.7 g/m².sa gibi yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Ters işletim modunun daha iyi performans sağlamış ve deneylerin 120-240 dak'sı zarfında su akısı azalması değişimlerinin kararlı aşamayı temsil edebilecek yavaş akı azalma fazına ulaşmış olması sebepleriyle bu aşamadan sonraki deneyler, ters modda işletilen İO membran yerleşim modunda ve 4 saat (240 dak) süresince yürütülmüştür.

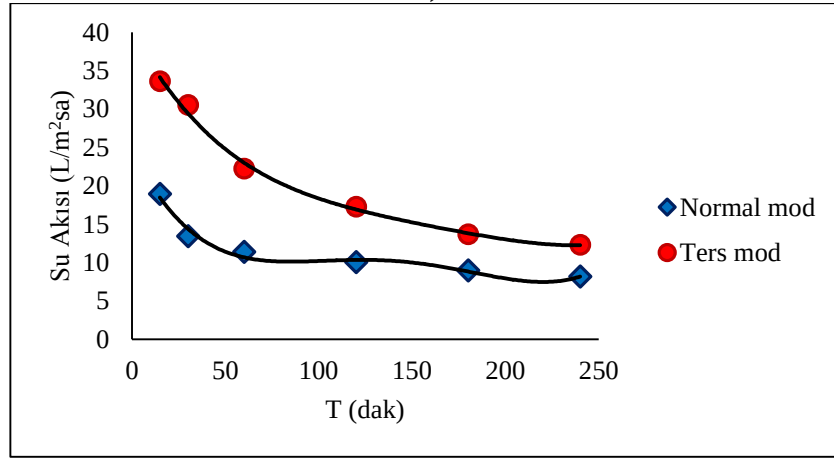


a)

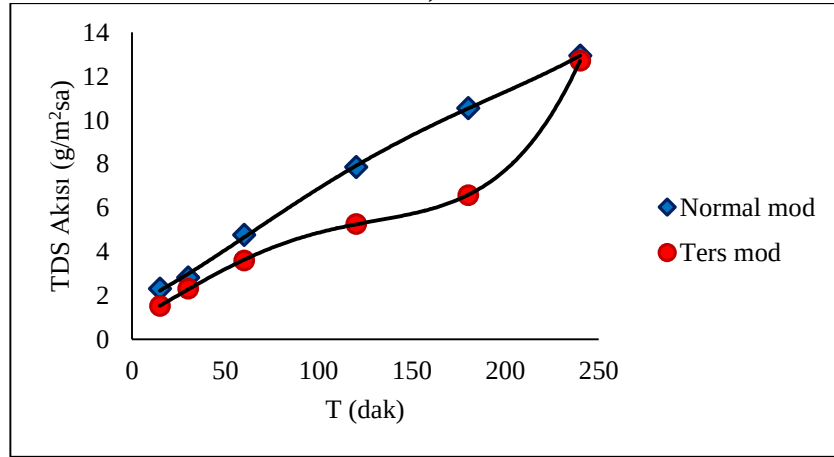
Şekil 5.2: İO prosesinde distile su kullanılarak %3 tuzlu suyun seyreltilmesi üzerine membran işletme modunun etkisi a) çekme çözeltisine geçen su hacmi b) çekme çözeltisinde hacimsel seyrelme oranı c) su akısı ve d) tuz akısı (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak).



b)



c)



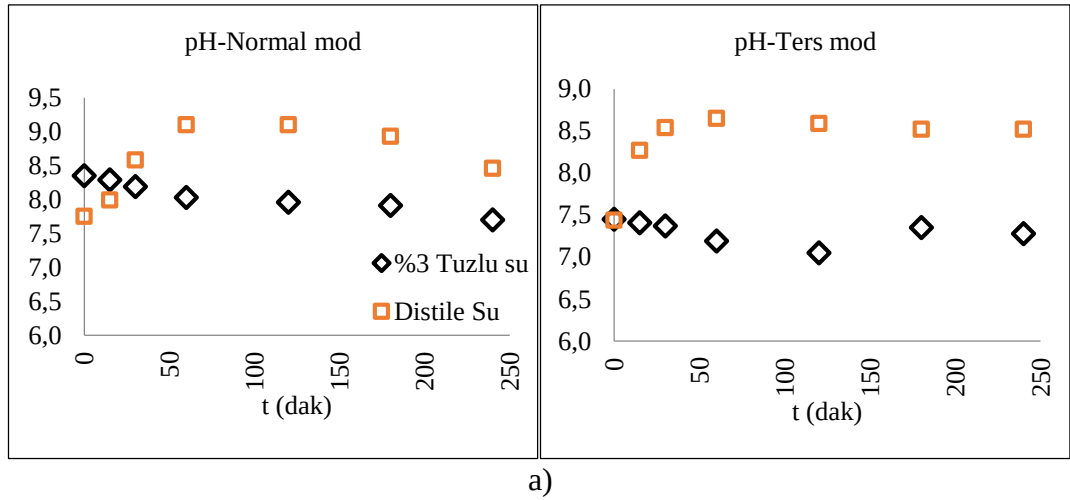
d)

Şekil 5.2: İO prosesinde distile su kullanılarak %3 tuzlu suyun seyreltilmesi üzerine membran işletme modunun etkisi a) çekme çözeltisine geçen su hacmi b) çekme çözeltisinde hacimsel seyrelme oranı c) su akısı ve d) tuz akısı (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak) (devamı).

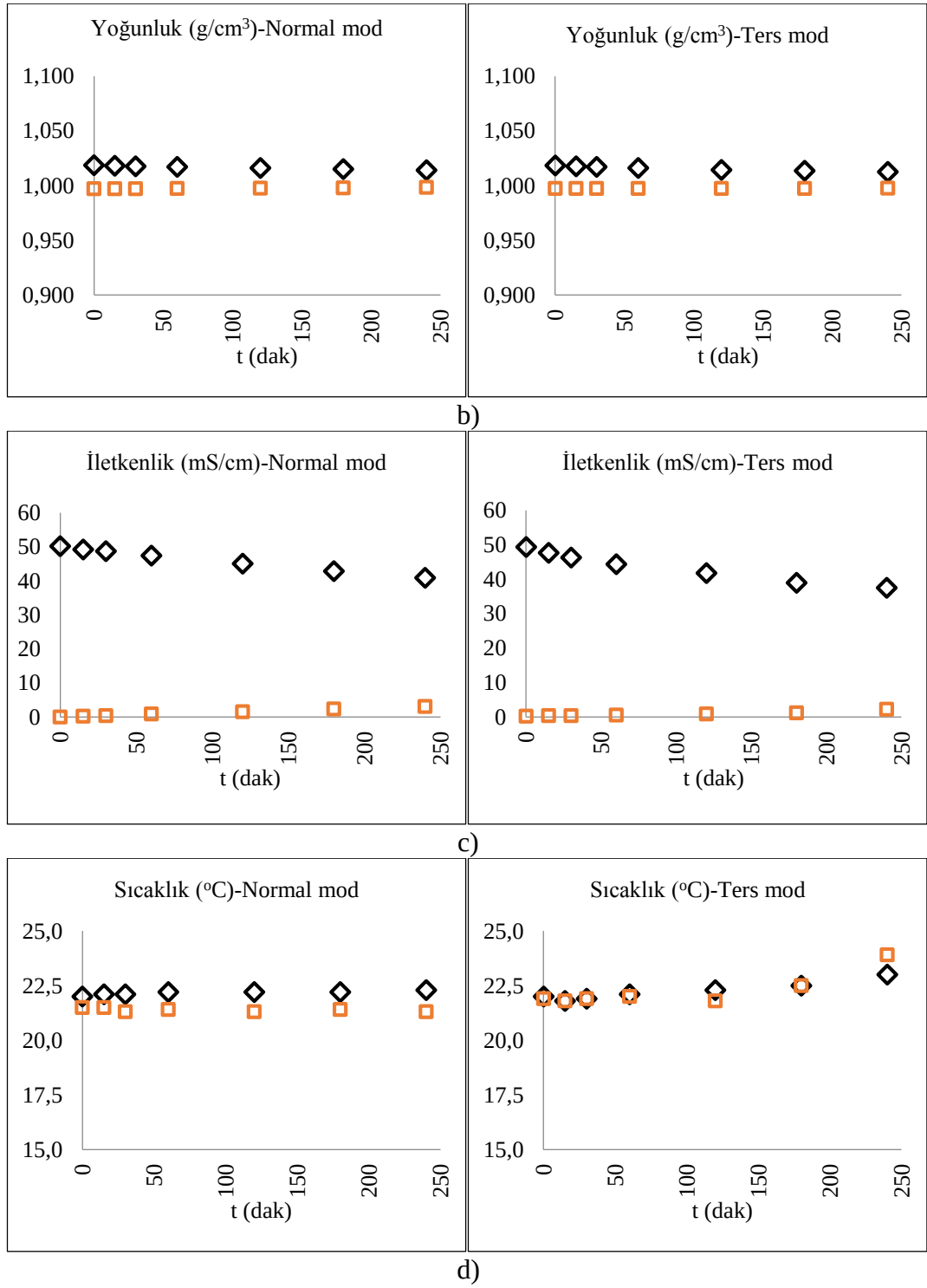
Deney süresince izlenen besleme ve çekme çözeltileri su kalite parametrelerinin (pH, yoğunluk, iletkenlik, sıcaklık, viskozite, osmolalite ve TDS (toplam çözünmüş katılar) zamanla değişimleri ise, normal ve ters işletim modları

için Şekil 5.3’de sunulmuştur. Distile su ile tuzlu suyun normal ve ters modda işletimindeki deneyler süresince izlenmiş su kalite parametreleri değişimlerinden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

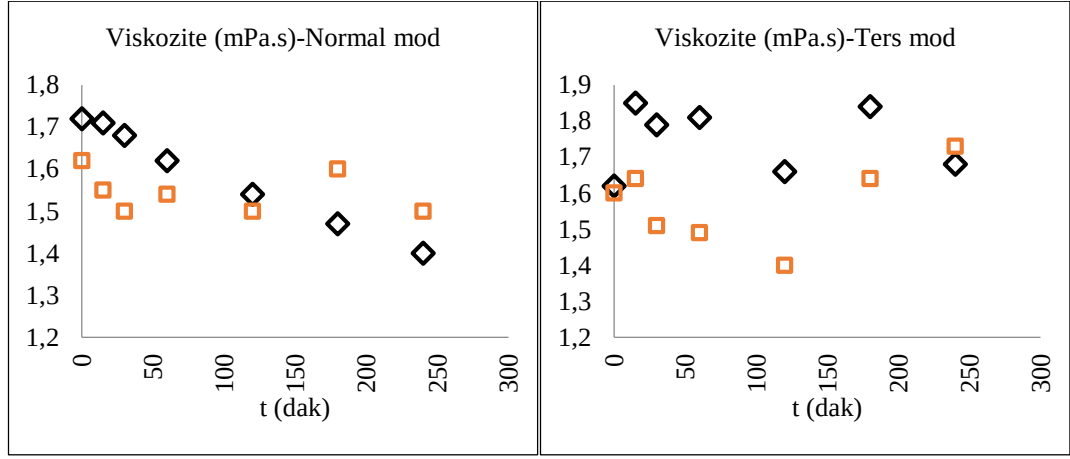
- Proses, besleme ve çekmede eşdeğer istenen sabit sıcaklık değerinde (izotermal şartlarda) işletilmiştir. Tuzlu suda pH 7.5-8.0 değerlerinde sabit kalmış, distile suda deney süresince artış göstererek yaklaşık 8.5 değerinde sabitlenmiştir.
- Tuzlu suyun osmolalitesi, yoğunluğu, iletkenliği ve toplam çözünmüş katıları, distile suya doğru çözünmüş madde taşınımı ve distile sudan geçen su ile seyrelme sebebiyle, su ve tuz akılarına bağlı olarak deney süresince azalmıştır. Buna karşın, distile suya çözünmüş katıların taşınımı, distile su tarafı olan besleme akımında bu parametre değerlerinin bir miktar artmasına neden olmuştur. Normal ve ters modda distile sudaki deney sonu iletkenlik ve TDS değerleri sırasıyla 3.05 mS/cm ve 1.6 g/L ile 2.3 mS/cm ve 1.16 g/L değerlerine ulaşmıştır. Tuzlu suda başlangıçta 940 mmol/kg civarında olan tuzlu su osmolalitesi, distile su tarafında normal ve ters mod deneyleri süresi sonunda 54 ve 40 mmol/kg değerlerine ulaşmıştır.
- Tuzlu su ve distile suyun viskozite değerlerinde her iki modda da zamanla bir miktar azalmalar gözlenmiştir.



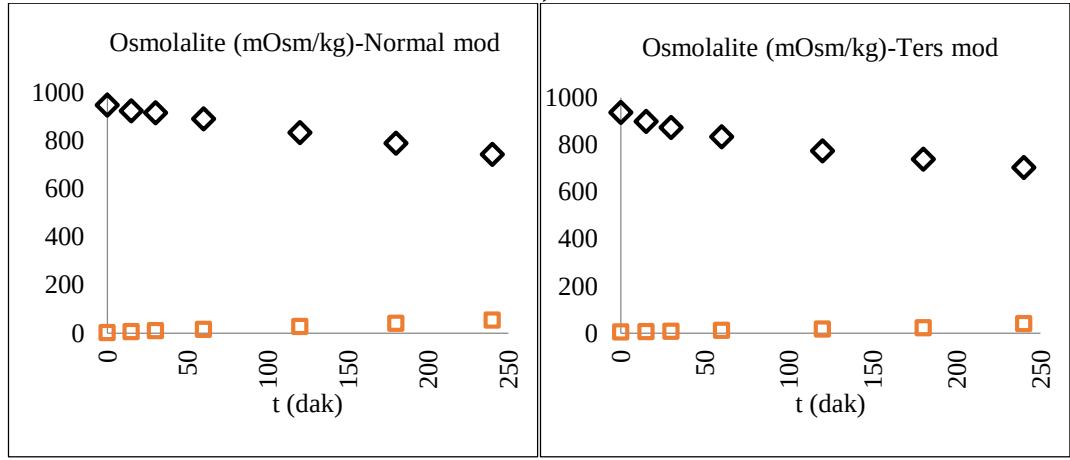
Şekil 5.3: Membran işletme modunun İO prosesinin performansına etkisi a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak)



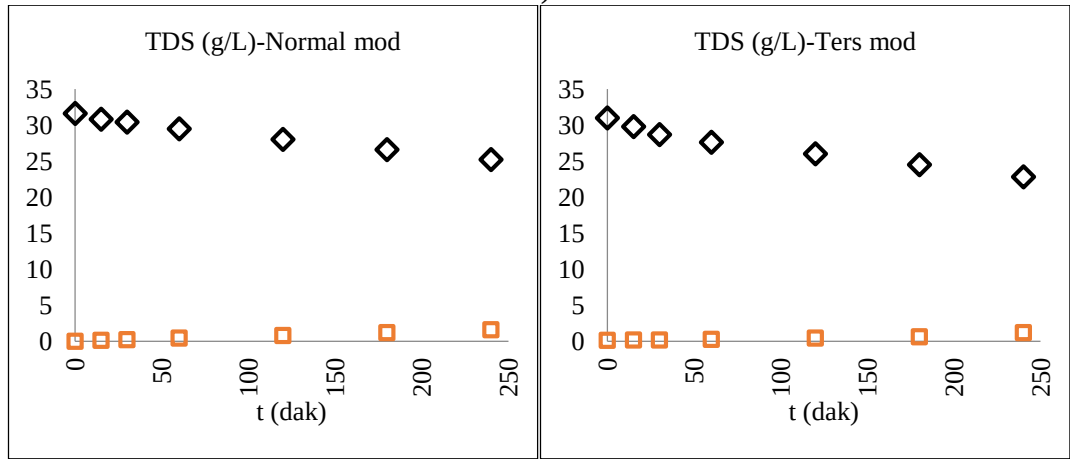
Şekil 5.3: Membran işletme modunun İO prosesinin performansına etkisi a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak) (devamı).



e)



f)

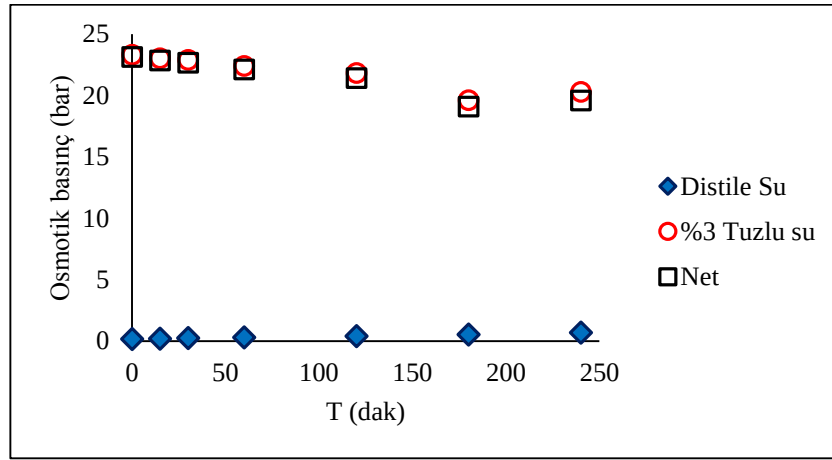


g)

Şekil 5.3: Membran işletme modunun İO prosesinin performansına etkisi a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak) (devamı).

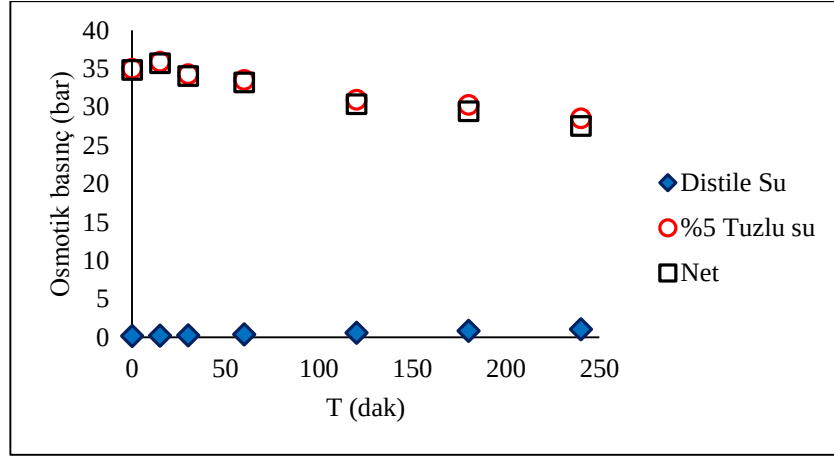
5.1.2. Tuz Konsantrasyonunun İO Performansına Etkisi

İO prosesinde, en uygun membran yerleşim modu belirlendikten sonra hazırlanan farklı konsantrasyondaki tuz çözeltilerinin İO performansları belirlenmiştir. Bu kapsamda ters modda %3-5-7-9 oranında tuz içeren çözeltilerin deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tuz oranlarına bağlı besleme, çekme ve net (çekme-besleme) osmotik basınçların zamanla değişimleri Şekil 5.4’de verilmiştir. Tuz konsantrasyonuna bağlı musluk suyu ile farklı oranlarda tuz içeren çözeltilerin seyreltilmesi deneylerinde İO prosesi sürücü kuvveti olan net osmotik basınç farkının, %3, 5, 7 ve 9 oranındaki tuz çözeltilerine göre 23, 35, 56 ve 72 bar’lık başlangıç değerlerinden, 20, 28, 40 ve 48 bar civarına azaldığı görülmüştür. Çekme çözeltisi olan tuzlu sudan besleme çözeltisi olan musluk suyuna doğru gerçekleşen su taşınımı ile buna ters yönde gerçekleşen besleme çözeltisine çözünmüş madde taşınımına bağlı olarak zamanla beslemedeki osmotik basınç değerinde artış meydana geldiği görülmüştür.

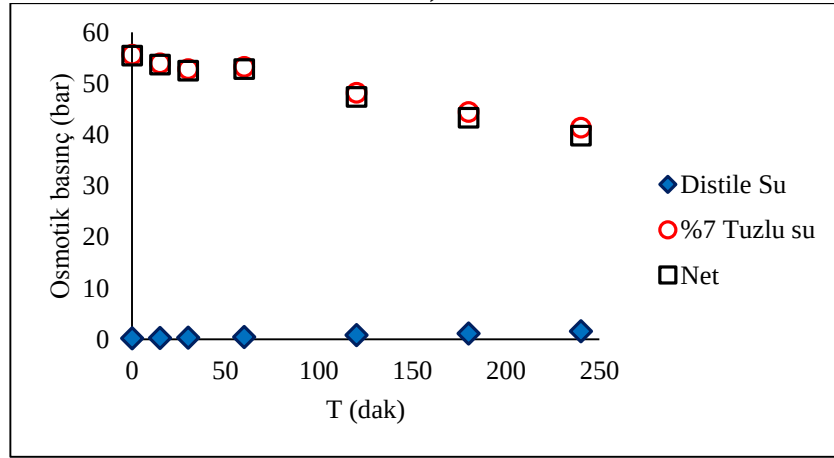


a)

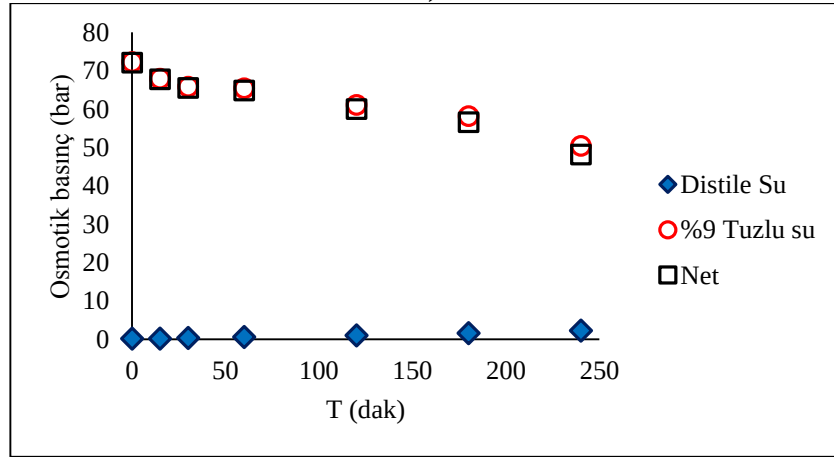
Şekil 5.4: İO prosesiyle musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde tuz konsantrasyonuna bağlı olarak İO prosesinde sürücü kuvvet etkisinin zamanla değişimi a) %3 tuzlu su b) %5 tuzlu su c) %7 tuzlu su d) %9 tuzlu su (akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 4 saat).



b)



c)

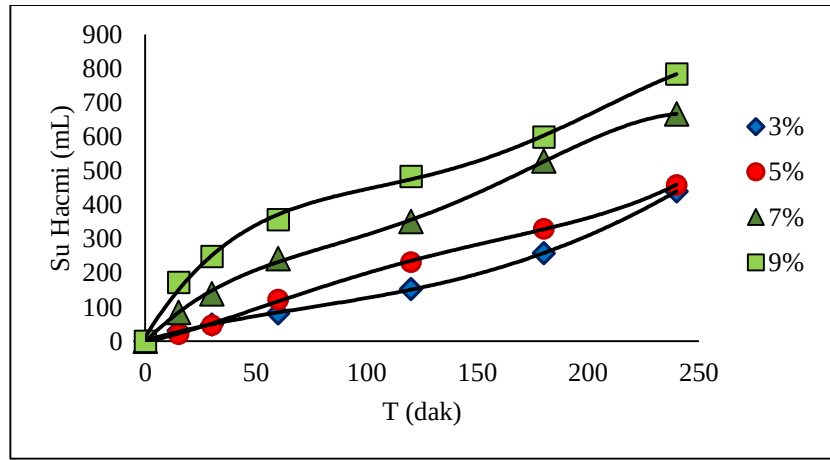


d)

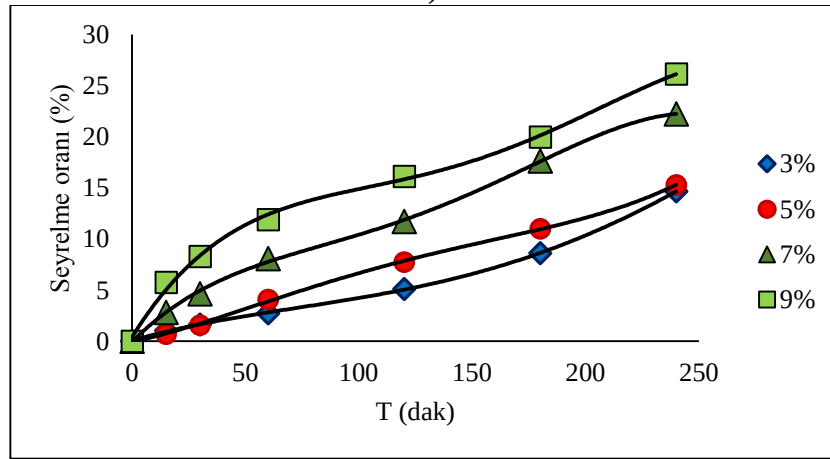
Şekil 5.4: İO prosesiyle musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde tuz konsantrasyonuna bağlı olarak İO prosesinde sürücü kuvvet etkisinin zamanla değişimi a) %3 tuzlu su b) %5 tuzlu su c) %7 tuzlu su d) %9 tuzlu su (akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 4 saat) (devamı).

İO proses performansını ifade eden, çekme çözeltisine geçen su hacmi, çekme çözeltisinde hacimsel seyrelme oranı, su akısı ve tuz akısı parametrelerinin zamanla değişimleri ise Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Proseste artan tuz konsantrasyonlarının

daha yüksek musluk su geçiş hacmi ve akısı ile tuzlu suyu seyreltebildiği belirlenmiştir. 240 dak'lık deney suresi sonunda artan tuz konsantrasyonları için sırasıyla yaklaşık 440, 528, 642 ve 649 mL'lik su geçişleri ile başlangıç 3 L ekme çözeltisinin deney sonunda sırasıyla %15, 18, 21 ve 22 seviyelerinde seyreltilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Artan tuz konsantrasyonlarında sırasıyla 7.9, 9.4, 11.5 ve 11.64 L/m².sa deney sonu su akısı ölm ve çekmeden beslemeye geçen çözünmüş madde akıları ise sırasıyla 4.8, 10.5, 20.0 ve 30.1 g/m².sa değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Artan tuz oranlarında su ve tuz akıları artış göstermiştir.

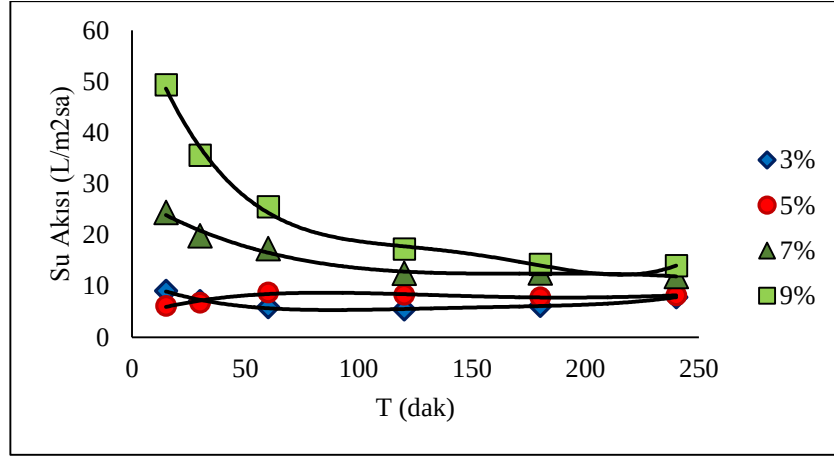


a)

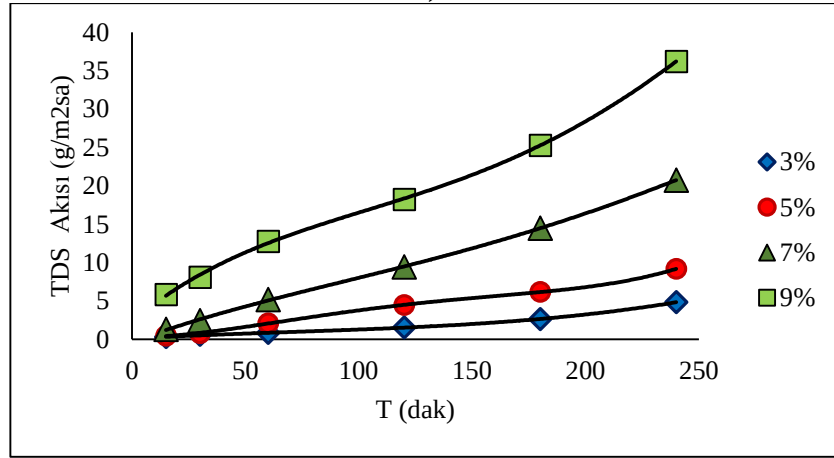


b)

şekil 5.5: İÖ prosesinde musluk suyu kullanılarak %3-5-7-9 oranında tuz içeren suların seyreltilmesinde çekme çözeltisindeki tuz oranının proses performansına etkisi a) ekme çözeltisine geçen su hacmi, b) ekme çözeltisinde hacimsel seyrelme oranı c) su akısı ve d) tuz akısı (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney suresi: 240 dak).



c)



d)

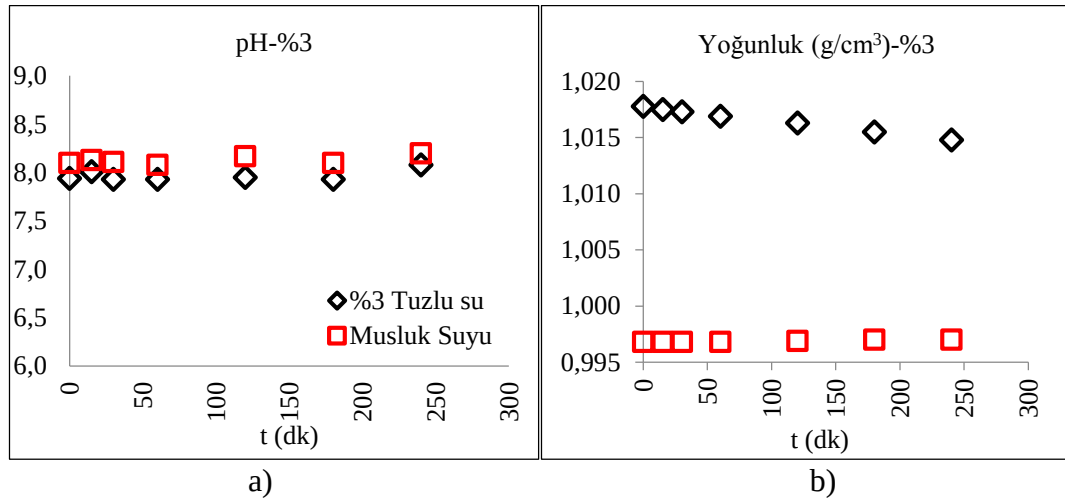
Şekil 5.5: İO prosesinde musluk suyu kullanılarak %3-5-7-9 oranında tuz içeren suların seyreltilmesinde çekme çözeltisindeki tuz oranının proses performansına etkisi a) çekme çözeltisine geçen su hacmi, b) çekme çözeltisinde hacimsel seyrelme oranı c) su akısı ve d) tuz akısı (işletme şartları: akış hızı: 300 L/sa, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak) (devamı).

Deney süresince izlenen besleme ve çekme çözeltileri su kalite parametrelerinin (pH, yoğunluk, iletkenlik, sıcaklık, viskozite, osmolalite ve TDS (toplam çözünmüş katılar) zamanla değişimleri ise, farklı tuz oranları için Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da sunulmuştur. Farklı tuz oranlarında işletilen İO deneyleri süresince izlenmiş su kalite parametreleri değişimlerinden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

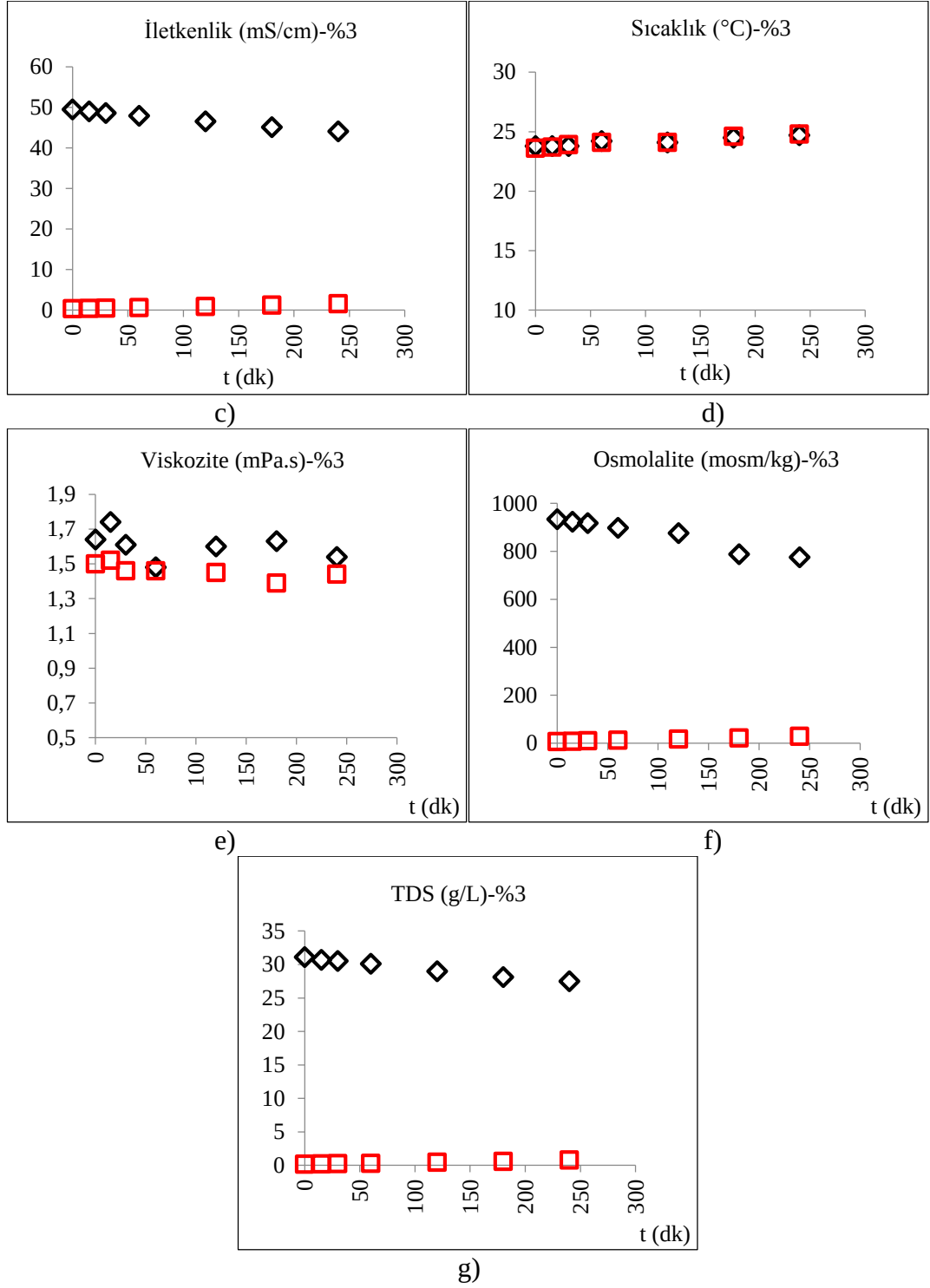
- Proses, besleme ve çekmede eşdeğer istenen sabit sıcaklık değerinde (izotermal şartlarda) işletilmiştir. Tuzlu suda pH 7.5-8.0 değerlerinde sabit kalmış, musluk suyunda deney süresince artış göstererek yaklaşık 8.5 değerinde sabitlenmiştir.
- Farklı oranlarda tuz içeren tuzlu suyun osmolalitesi, yoğunluğu, iletkenliği ve toplam çözünmüş katıları, musluk suyuna doğru çözünmüş madde taşınımı ve

musluk suyundan geçen su ile seyrelme sebebiyle, su ve tuz akılarına bağlı olarak deney süresince azalmıştır. Tuz oranlarına bağlı olarak bu parametrelerin başlangıç değerleri de birbirlerinden farklı olmuştur. Başlangıç iletkenlik değerleri artan tuz oranlarında sırasıyla 49.5, 74.2, 116.4 ve 139.4 mS/cm olarak ölçülmüştür. TDS konsantrasyonları 31.1, 49.0, 74.6 ve 91.2 g/L olarak ölçülmüştür. Deney süresince musluk suyuna çözünmüş katıların taşınımı, besleme akımında bu parametre değerlerinin bir miktar artmasına neden olmuştur. Artan tuz oranlarına göre beslemedeki deney sonu iletkenlik değerleri sırasıyla 1.58, 2.57, 3.82 ve 5.28 mS/cm ve TDS değerleri sırasıyla 0.79, 1.3, 1.97 ve 2.78 g/L değerlerine ulaşmıştır. Artan tuz oranlarında çekme çözeltisindeki başlangıç osmolalite değerleri yine sırasıyla 934, 1385, 2170 ve 2786 mOsm/kg olarak ölçülmüştür. Musluk suyu tarafında deney süresi sonunda 28, 42, 64 ve 91 mmol/kg değerlerine ulaşmıştır.

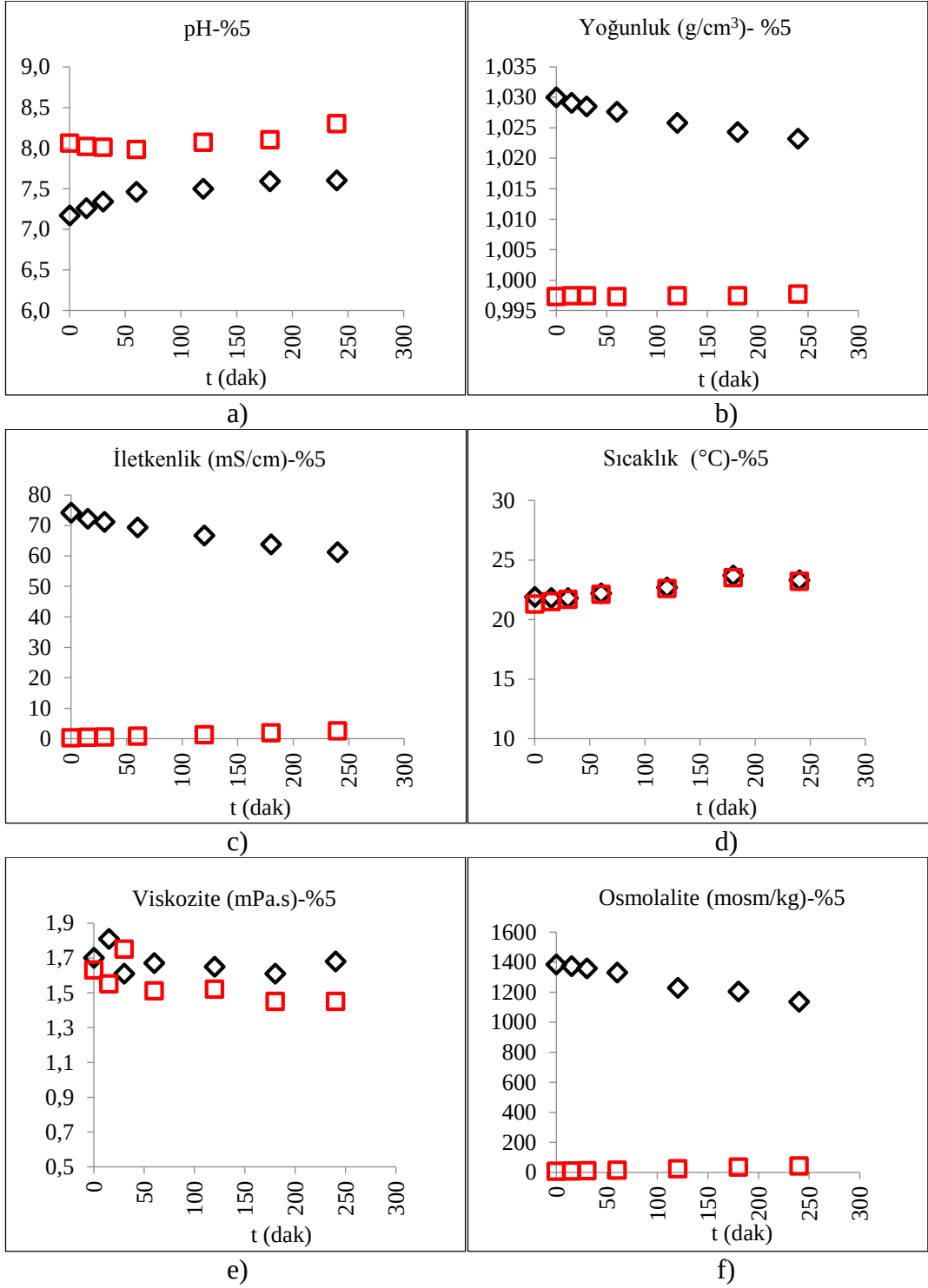
- Tuzlu su ve musluk suyunun viskozite değerlerinde tüm deneylerde zamanla bir miktar azalmalar gözlenmiştir.



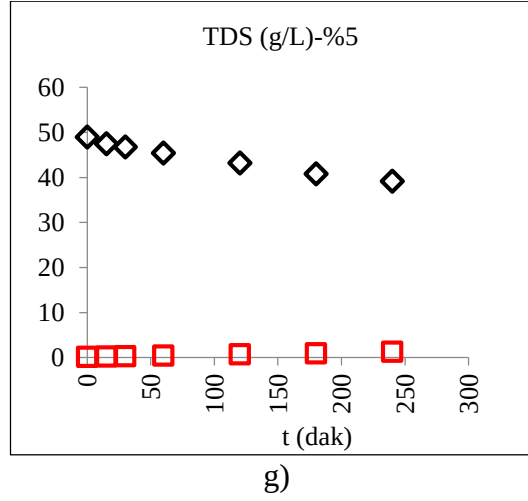
Şekil 5.6: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %3 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %3 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.).



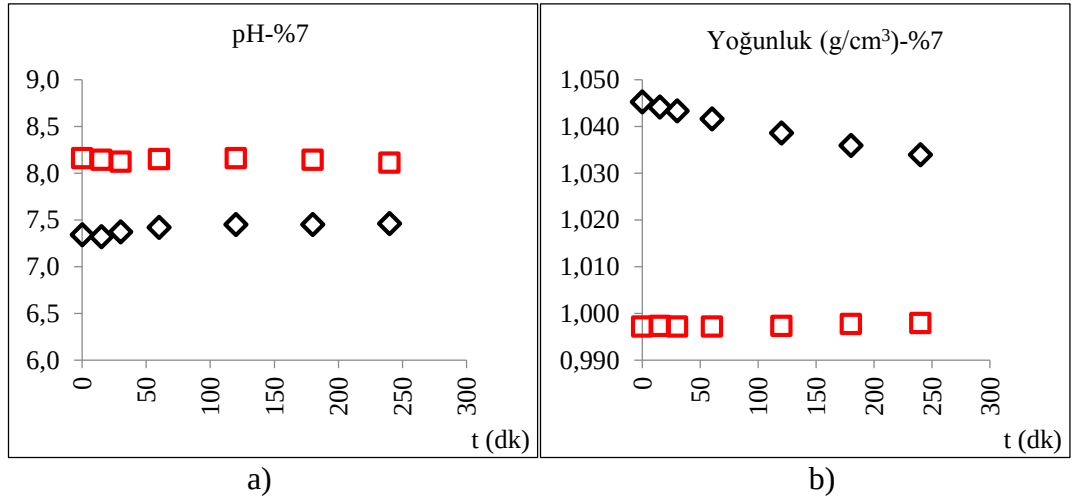
Şekil 5.6: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %3 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %3 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.) (devamı).



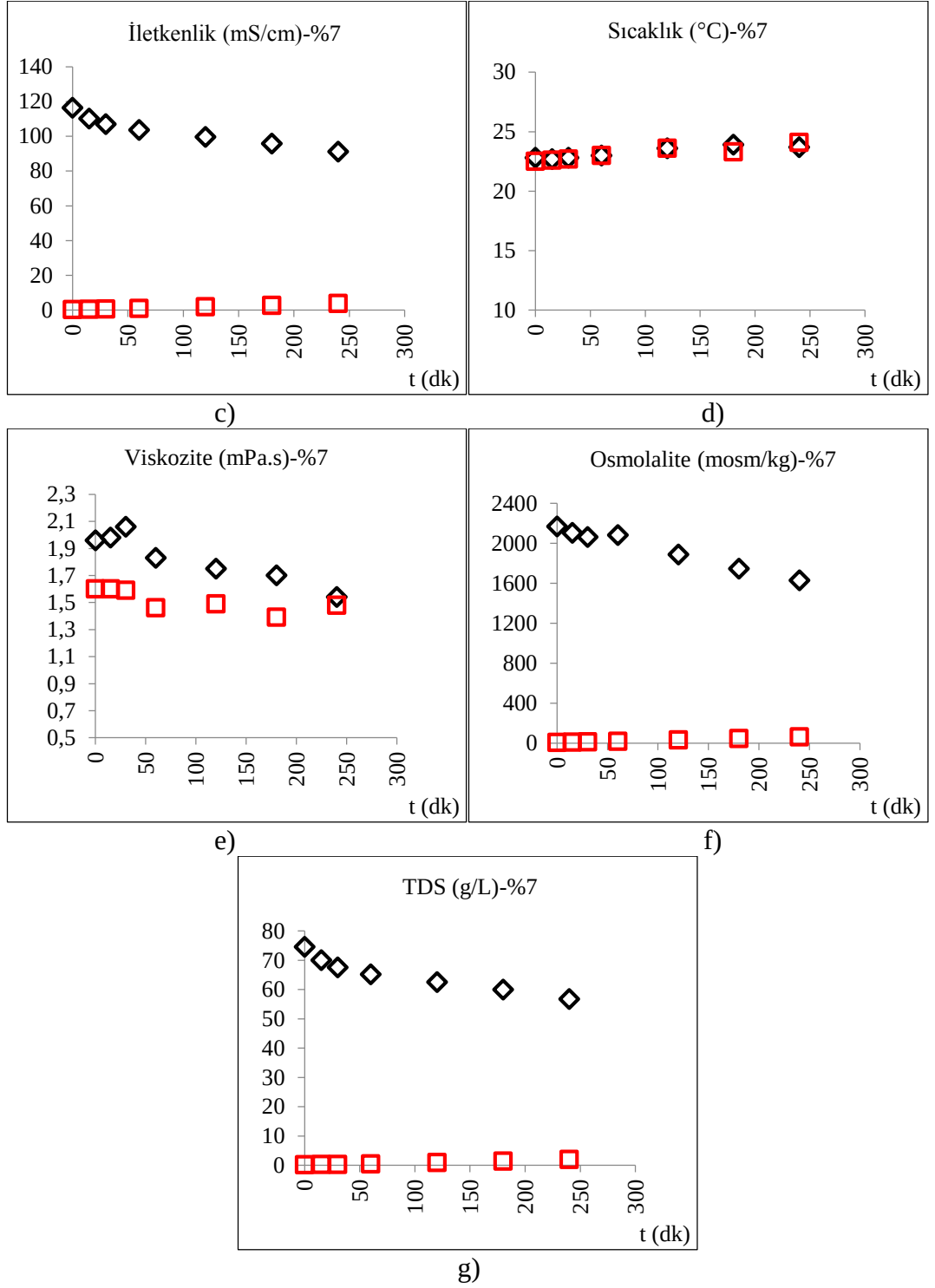
Şekil 5.7: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %5 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller ◇ ve □ sırasıyla %5 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g)TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.).



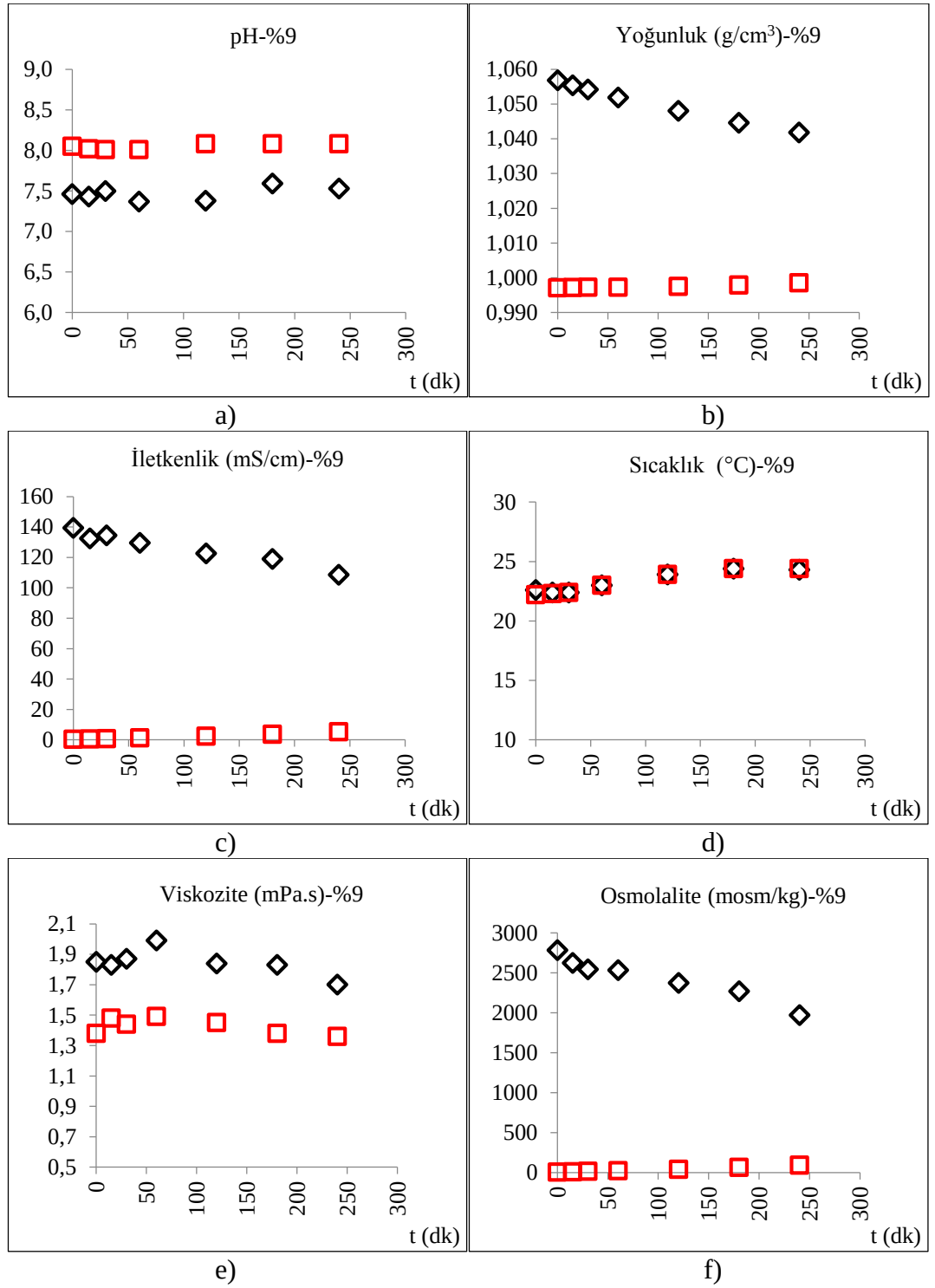
Şekil 5.7: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %5 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %5 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.) (devamı).



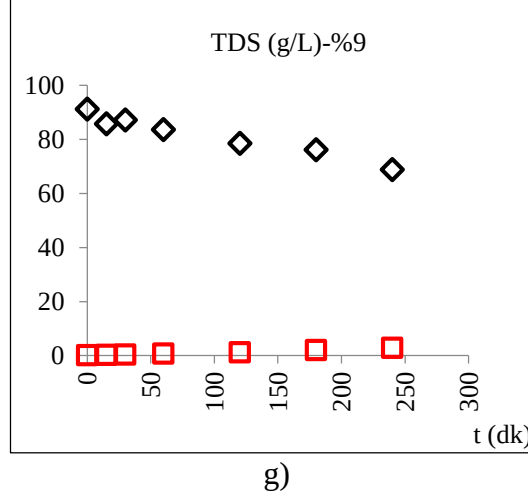
Şekil 5.8: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %7 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %7 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.).



Şekil 5.8: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %7 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller ◇ ve □ sırasıyla %7 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.) (devamı).



Şekil 5.9: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %9 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %9 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.).



Şekil 5.9: Musluk suyu kullanılarak tuzlu suyun seyreltilmesinde %9 tuzlu su ile işletilen İO prosesinin performansı (Semboller $\diamond$ ve $\square$ sırasıyla %9 tuzlu su ve musluk suyudur) a) pH b) yoğunluk c) iletkenlik d) sıcaklık e) viskozite f) osmolalite g) TDS (membran yerleşimi: ters mod, sıcaklık: 25 °C, deney süresi: 240 dak.) (devamı).

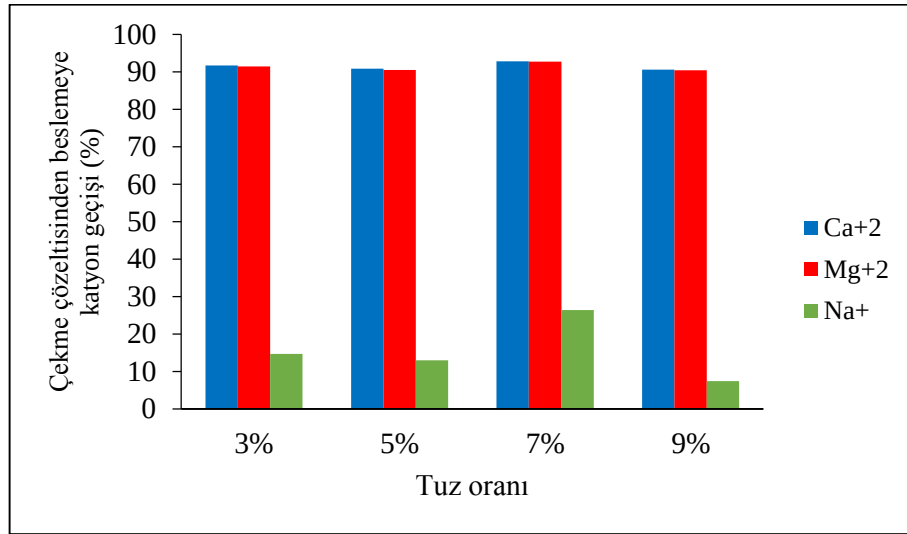
5.1.3. İO Deneylerinde Gerçekleştirilen ICP Analiz Sonuçları

Farklı tuz oranlarında hazırlanmış giriş çözeltilerin katyon konsantrasyonları Tablo 5.1’de verilmiştir. Tüm oranlarda kütlece yüzde hesabı yapıldığında toplam tuz kütlelerinin yaklaşık %35.8’i sodyum (Na^+), %1.7’si magnezyum (Mg^{+2}) ve %3.6’sı kalsiyumdan (Ca^{+2}) oluşmaktadır. İO sisteminde bu katyon içeriğine sahip farklı tuz oranlarındaki çözeltiler ile gerçekleştirmiş deneyler sonunda çekme çözeltilisinde katyon analizleri (Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Na^+) gerçekleştirilmiştir. Deney süresince tuz oranlarına bağlı olarak çekme çözeltilisinden besleme tarafına katyon geçişi olmuştur. Analiz sonuçları, grafiksel olarak Şekil 5.10’da gösterilmiştir.

Grafikten de görülebileceği gibi, tüm tuz oranlarındaki deneylerde özellikle Ca^{+2} ve Mg^{+2} katyonlarının yaklaşık %90’u besleme tarafına yani musluk suyu tarafına geçmiştir. Bu esnada bir miktar Na^+ ’da besleme tarafına geçiş yapmıştır. Fakat tuzun saflığını bozan (+2) değerlikli katyonların İO sistemi ile tuz çözeltilisinden böyle yüksek oranlarda yıkanması prosesin istenildiği şekilde işletildiği sonucunu göstermektedir.

Tablo 5.1: Giriş çözeltilerindeki katyon konsantrasyonları.

Tuz oranı	Katyon konsantrasyonu (mg/L)		
	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}
%3	1420	500	11400
%5	1640	800	16400
%7	2310	1330	27800
%9	2870	1490	29600



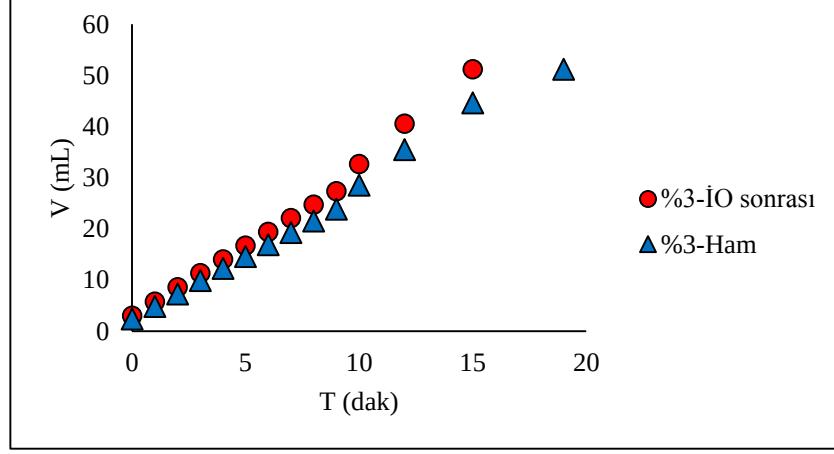
Şekil 5.10: İO deneyinde çekme çözeltisinde gerçekleştirilmiş katyon analizi.

5.2. NF Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar

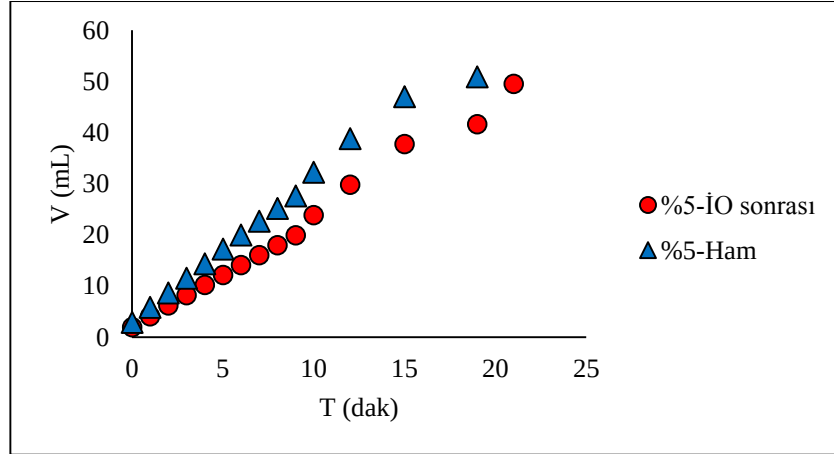
5.2.1. NP010 Membranı ile Gerçekleştirilmiş Deneylerin Sonuçları

NP010 membranı ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde toplanmış süzüntü hacmi grafikleri zamana bağlı olarak Şekil 5.11'de verilmiştir. NF deneyleri sabit hacimde hem İO prosesinde işlenmeyen ham tuz çözeltisinde gerçekleştirilmiş ve hem de İO sonrası seyreltilmiş çekme çözeltilerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler İO sonrası ve Ham kodlamaları ile gösterilmiştir. Aynı hacimde işletme yapılması nedeniyle NP010 deneyleri kısa bir sürede gerçekleşmiştir. Şekil 5.11 a) ve Şekil 5.11 d)'de görülebileceği gibi %3 ve %9 tuz oranındaki çözeltilerde İO sonrası gerçekleştirilen NF filtrasyonu deneylerinde 50 mL'lik süzüntü hacmi değerlerine direkt NF filtrasyonundan daha kısa sürede ulaşılmıştır. Şekil 5.11 b) ve Şekil 5.11

c)'de ise %5 ve %7 tuz oranlarında ise İO sonrası gerçekleştirilmiş NF filtrasyonunda direkt NF filtrasyonuna göre daha uzun sürelerde aynı hacim değerlerine ulaşılmıştır.

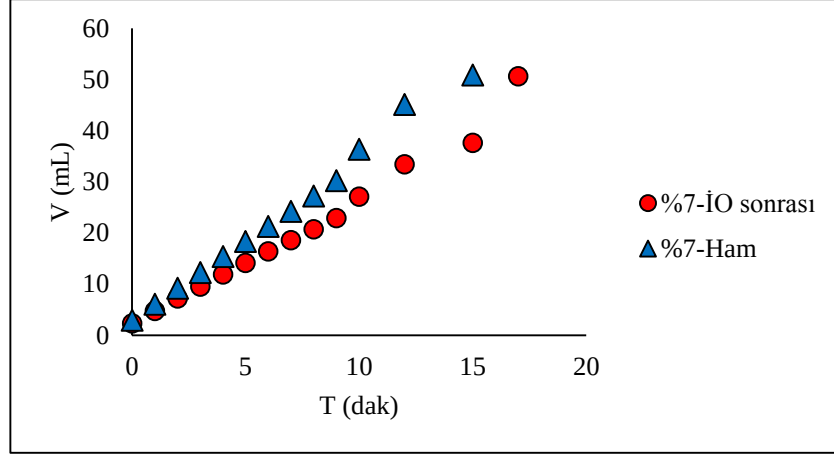


a)

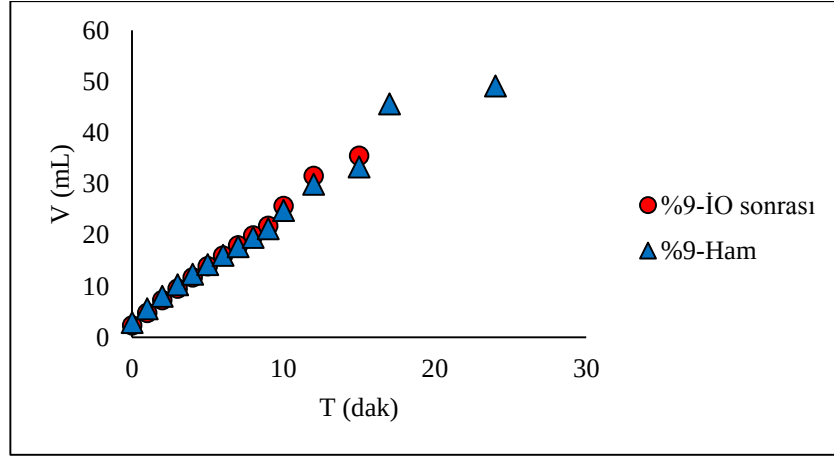


b)

Şekil 5.11: NP010 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı için b) %5 tuz oranı için c) %7 tuz oranı için d) %9 tuz oranı için.



c)



d)

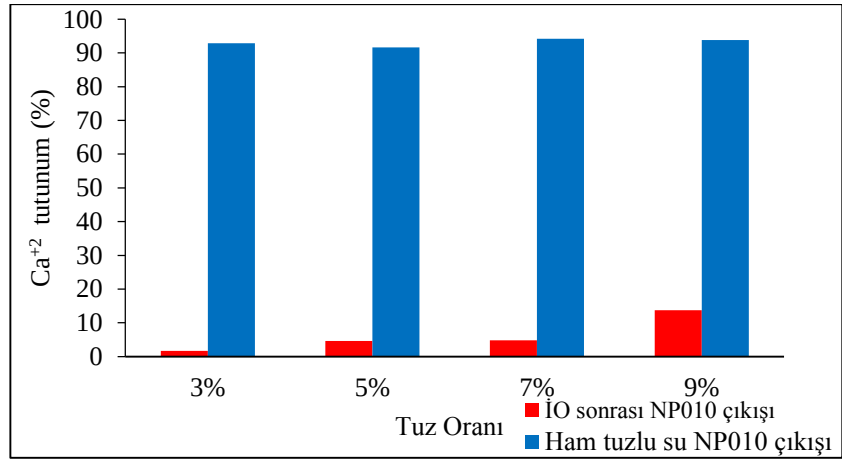
Şekil 5.11: NP010 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı b) %5 tuz oranı c) %7 tuz oranı d) %9 tuz oranı (devamı).

NP010 ile gerçekleştirilmiş filtrasyon deneylerinde hesaplanmış akı değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir. Görüldüğü gibi İO sonrası gerçekleştirilmiş filtrasyon deneylerinde akı değerleri artan tuz oranlarında azalmıştır. Yine grafiklerde de verildiği gibi %3 ve %9 tuz oranlarında gerçekleştirilmiş deneylerde İO sonrası NF deneylerinde elde edilen akı değerleri direkt NF deneyinde elde edilen akı değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

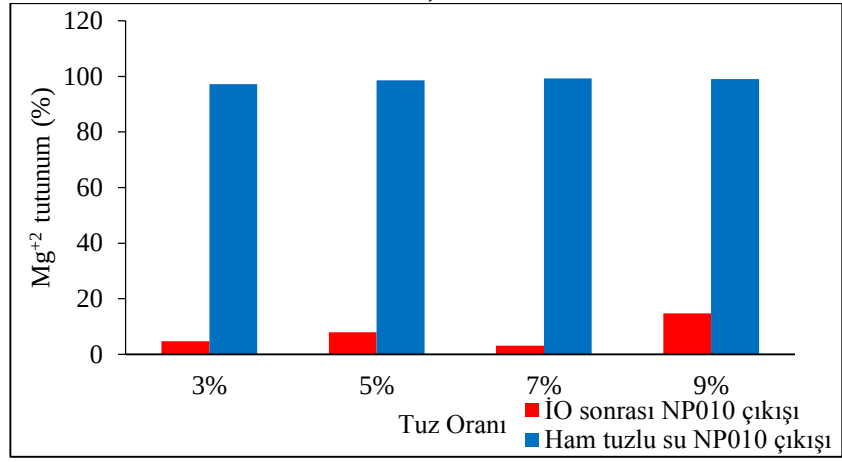
Tablo 5.2: NP010 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan akı değerleri.

Tuz oranı	Denge akı değerleri (L/m ² sa)	
	İO sonrası NP010 çıkışı	Ham tuzlu su NP010 çıkışı
%3	109	95
%5	80	102
%7	89	122
%9	82	73

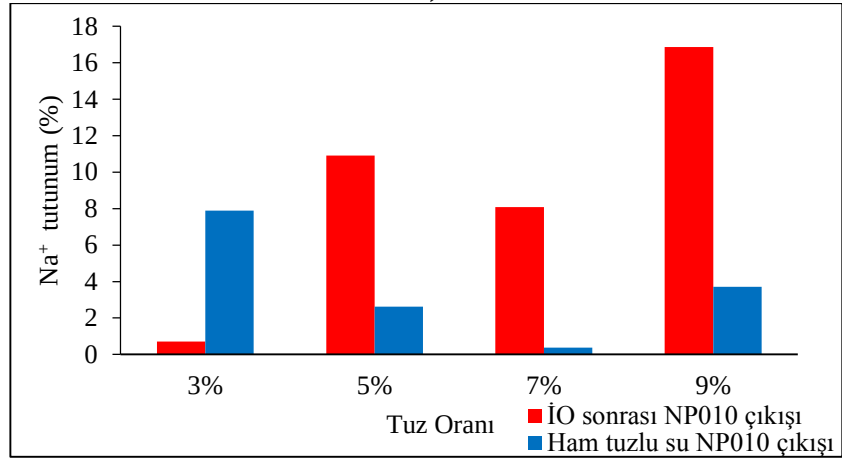
Deneyler sırasında toplanan giriş ve çıkış numunelerinde gerçekleştirilmiş katyon analizleri sonucunda hesaplanan % tutunum değerleri grafiksel olarak tuz oranlarına göre Şekil 5.12’de verilmiştir. Beklenildiği üzere direkt ham tuzlu suda gerçekleştirilmiş NF deneylerinde elde edilen tutunum değerleri İO sonrası gerçekleştirilen NF deneylerindeki tutunum değerlerinden çok yüksek olmuştur. Çünkü direkt NF filtrasyonunda giriş konsantrasyonu oldukça yüksektir. Karşılaştırma yapılması adına NP010 deneyleri sonucunda çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları Tablo 5.3’de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi Ca^{+2} değerleri iki proses içinde (İO sonrası NF ve direkt NF) benzer hatta İO sonrası NF deneylerinde bir miktar daha düşük çıkmış buna karşın Mg^{+2} değerleri İO sonrası NF deneylerinde direk proses göre daha yüksek çıkmıştır. Na^{+} değerlerinde de İO prosesindeki seyrelmeye bağlı olarak bir miktar azalma olduğu için İO sonrası NF deneylerinde Na^{+} değerleri daha düşük değerlerde olmuştur.



a)



b)



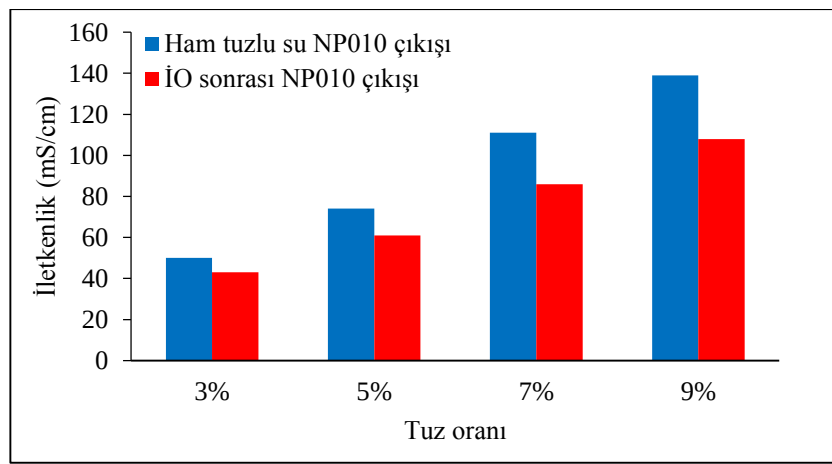
c)

Şekil 5.12: NP010 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan katyon tutunumları a) Ca^{+2} tutunumu b) Mg^{+2} tutunumu c) Na^{+} tutunumu.

Tablo 5.3: NP010 ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları.

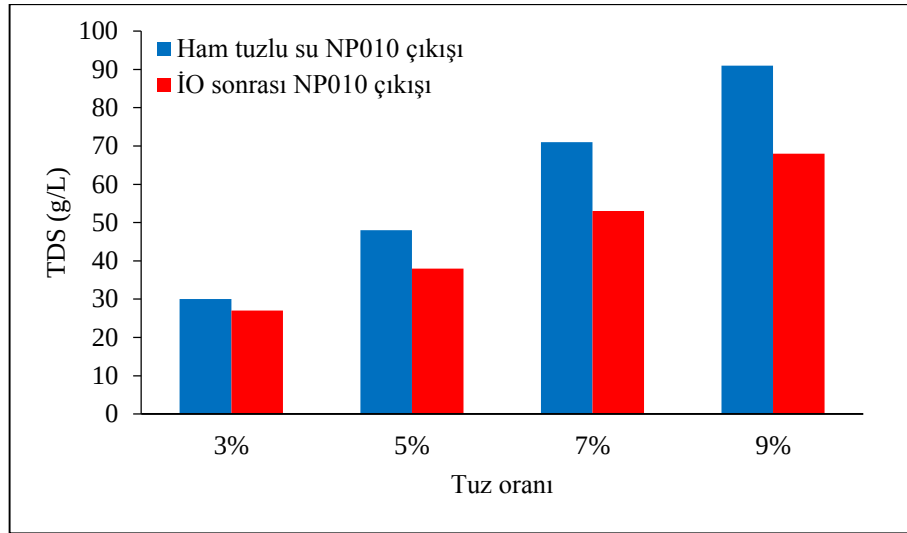
Tuz oranı	Çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları (mg/L)		
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺
	Direkt ham tuz çözeltilerinde gerçekleştirilmiş NF deneyi		
%3	101	14	10780
%5	136	11	19080
%7	133	10	27490
%9	176	14	32160
	İÖ sonrasında gerçekleştirilmiş NF deneyi		
%3	116	41	9910
%5	70	70	15190
%7	94	94	18760
%9	122	122	25710

NP010 membranı ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkış sularında ölçülmüş iletkenlik, TDS ve osmolalite değerleri grafiksel olarak Şekil 5.13'de verilmiştir. Çıkış değerleri tüm parametreler için İÖ sonrası gerçekleştirilmiş NF deneylerinde daha düşük ölçülmüştür. Artan tuz oranlarında ise çıkış değerleri lineer olarak artış göstermiştir.

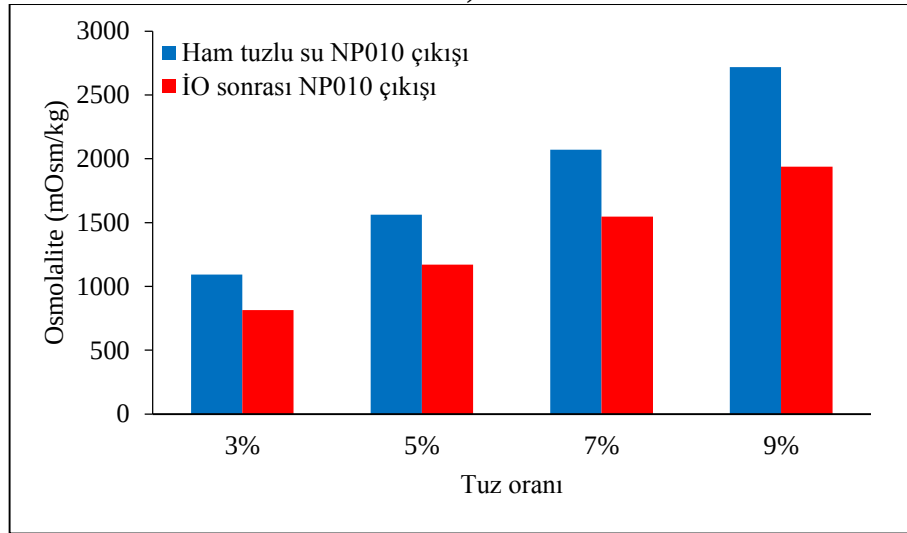


a)

Şekil 5.13: NP010 ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkışta ölçülen parametrelerin değerleri a) İletkenlik b) TDS c) Osmolalite.



b)



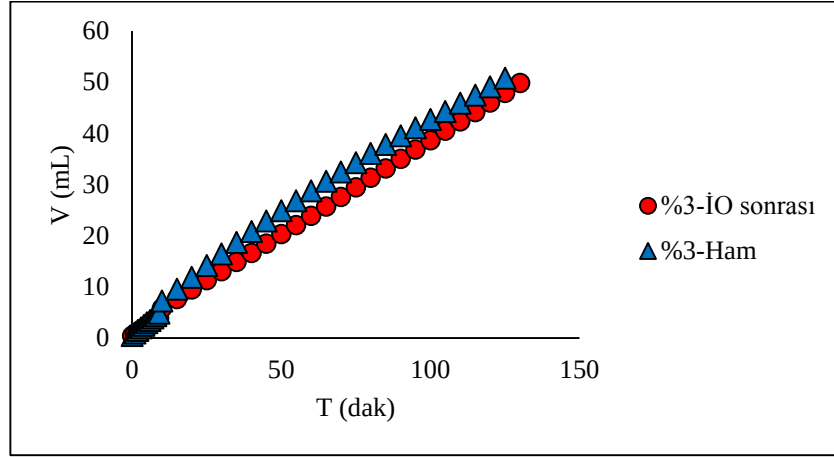
c)

Şekil 5.13: NP010 ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkışta ölçülen parametrelerin değerleri a) İletkenlik b) TDS c) Osmolalite (devamı).

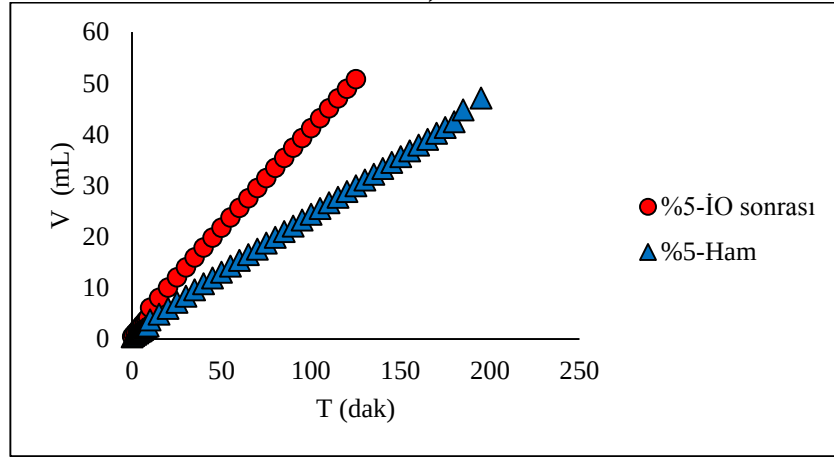
5.2.2. NF200 Membranı ile Gerçekleştirilmiş Deneylerin Sonuçları

NF200 membranı ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde toplanmış süzüntü hacmi grafikleri zamana bağlı olarak Şekil 5.14'de verilmiştir. NF200 deneyleri de sabit hacimde, hem İO prosesinde işlenmeyen ham tuz çözeltisinde gerçekleştirilmiş ve hem de İO sonrası seyreltilmiş çekme çözeltilerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler İO sonrası ve Ham kodlamaları ile gösterilmiştir. NF200 membranı ile gerçekleştirilmiş deneyler NP010 membranı ile yapılmış deneylerden çok daha uzun sürede tamamlanmıştır. Şekil 5.14 b), Şekil 5.14 c) ve Şekil 5.14 d)'de görülebileceği gibi %3 tuz oranı hariç diğer tuz oranlarında İO sonrası

gerçekleştirilen NF filtrasyonu deneylerinde 50 mL’lik süzüntü hacmi değerlerine direkt NF filtrasyonundan belirgin bir şekilde daha kısa sürede ulaşılmıştır. Şekil 5.14 a)’da görülebileceği gibi %3 tuz oranında ise İO sonrası ve direkt NF yapılmasında hemen hemen aynı sürede dengeye ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre İO prosesi ile tuzlu suyun ön işleme alınması diğer bir deyişle seyreltilmesi NF200 membranının filtrasyon performansını arttırmıştır.

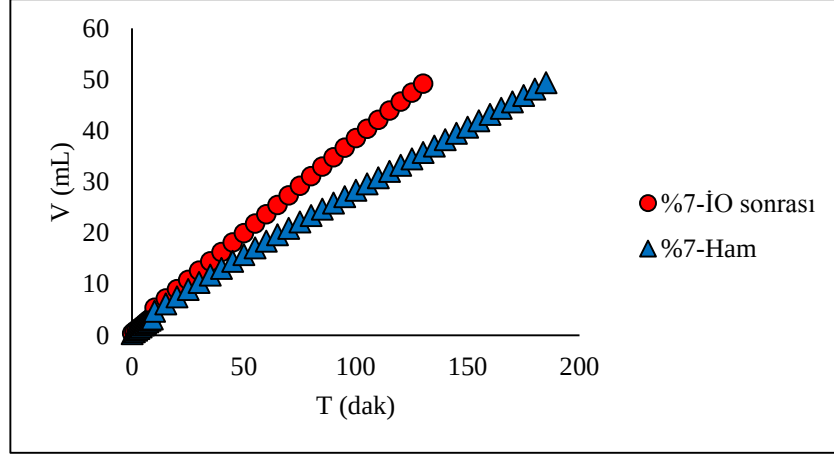


a)

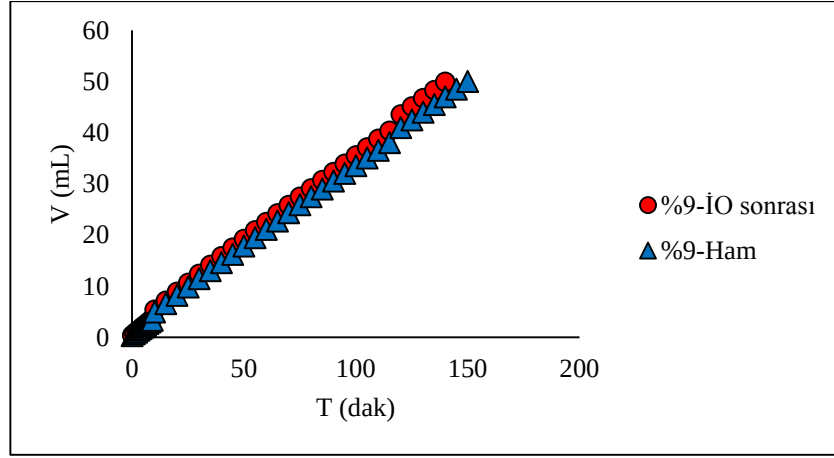


b)

Şekil 5.14: NF200 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı b) %5 tuz oranı c) %7 tuz oranı d) %9 tuz oranı.



c)



d)

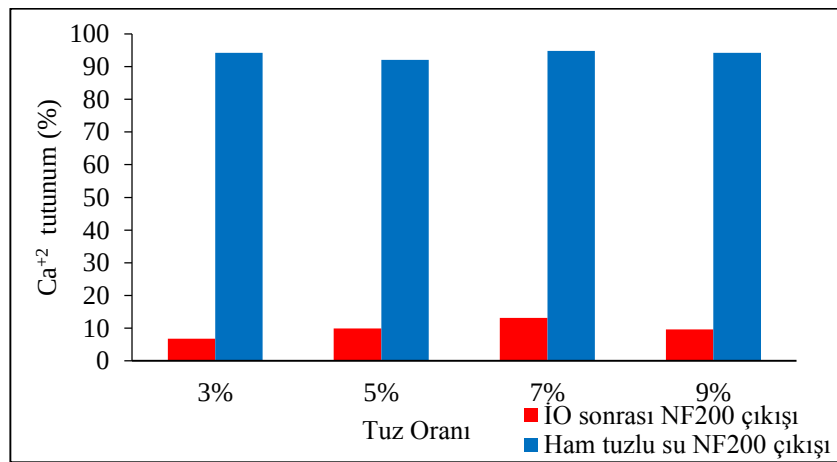
Şekil 5.14: NF200 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı b) %5 tuz oranı c) %7 tuz oranı d) %9 tuz oranı (devamı).

NF200 ile gerçekleştirilmiş filtrasyon deneylerinde hesaplanmış akı değerleri Tablo 5.4'de verilmiştir. Görüldüğü gibi İÖ sonrası gerçekleştirilmiş filtrasyon deneylerinde akı değerleri artan tuz oranlarında azalmıştır. Yine grafiklerde de verildiği gibi tüm tuz oranları için İÖ sonrası NF deneylerinde elde edilen akı değerleri direkt NF deneyinde elde edilen akı değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 5.4: NF200 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan akı değerleri.

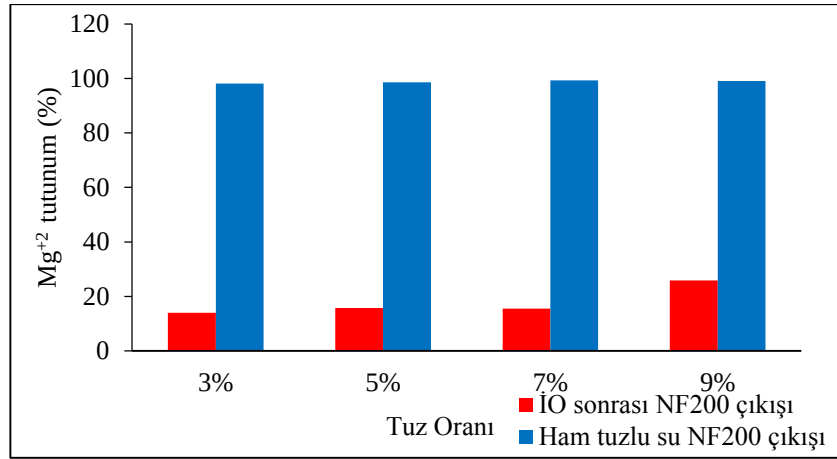
Tuz oranı	Denge akı değerleri (L/m ² sa)	
	İÖ sonrası NF200 çıkışı	Ham tuzlu su NF200 çıkışı
%3	15	13
%5	16	9
%7	15	10
%9	13	12

Deneyler sırasında toplanan giriş ve çıkış numunelerinde gerçekleştirilmiş katyon analizleri sonucunda hesaplanan % tutunum değerleri grafiksel olarak tuz oranlarına göre Şekil 5.15’de verilmiştir. Burada da NP010 deneylerine benzer şekilde direkt ham tuzlu suda gerçekleştirilmiş NF deneylerinde giriş konsantrasyonu oldukça yüksek olduğu için elde edilen tutunum değerleri İÖ sonrası gerçekleştirilen NF deneylerindeki tutunum değerlerinden çok yüksek olmuştur. Karşılaştırma yapılması adına NF200 deneyleri sonucunda çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları Tablo 5.5’de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerleri İÖ sonrası NF deneylerinde direkt NF prosesine göre daha yüksek çıkmıştır. Na^+ değerlerinde de İÖ prosesindeki seyrelmeye bağlı olarak bir miktar azalma olduğu için İÖ sonrası NF deneylerinde Na^+ değerleri daha düşük değerlerde olmuştur.

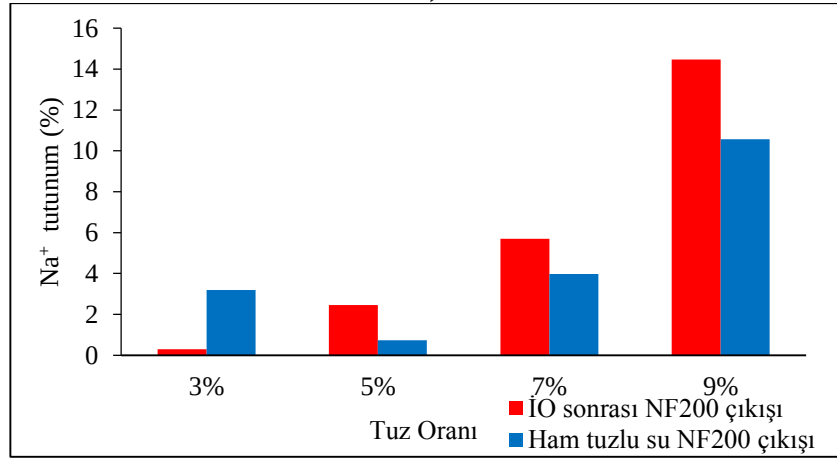


a)

Şekil 5.15: NF200 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan katyon tutunumları a) Ca^{+2} tutunumu b) Mg^{+2} tutunumu c) Na^+ tutunumu.



b)



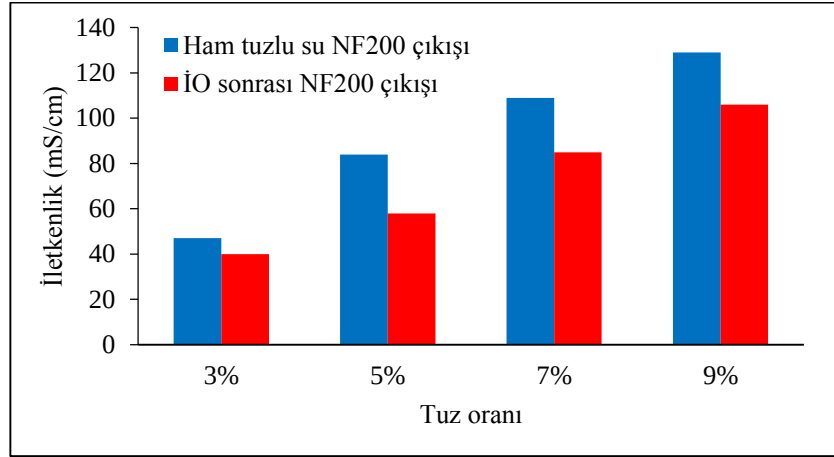
c)

Şekil 5.15: NF200 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan katyon tutunumları a) Ca²⁺ tutunumu b) Mg²⁺ tutunumu c) Na⁺ tutunumu (devamı).

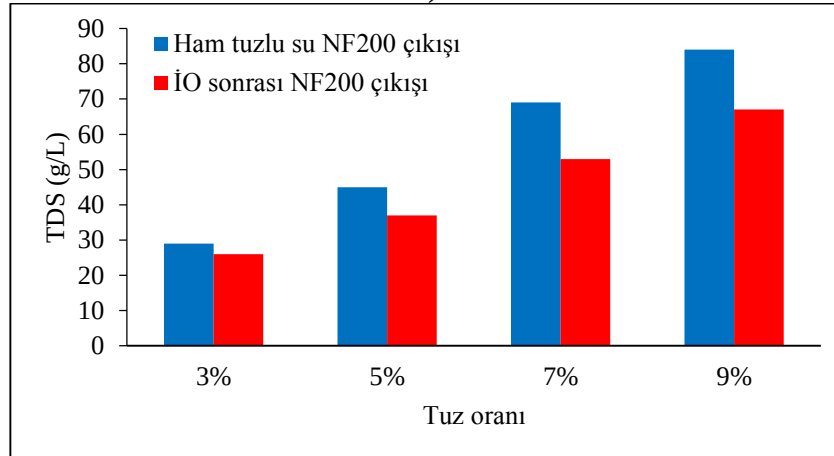
Tablo 5.5: NF200 ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları.

Tuz oranı	Çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları (mg/L)		
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Direkt ham tuz çözeltilerinde gerçekleştirilmiş NF deneyi			
%3	82	9	11330
%5	130	12	19450
%7	119	10	26500
%9	165	15	29870
İO sonrasında gerçekleştirilmiş NF deneyi			
%3	110	37	9951
%5	136	64	16631
%7	145	82	19153
%9	244	106	26447

NF200 membranı ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkış sularında ölçülmüş iletkenlik, TDS ve osmolalite değerleri grafiksel olarak Şekil 5.16'da verilmiştir. Çıkış değerleri tüm parametreler için İO sonrası gerçekleştirilmiş NF deneylerinde daha düşük ölçülmüştür. Artan tuz oranlarında ise çıkış değerleri lineer olarak artış göstermiştir.

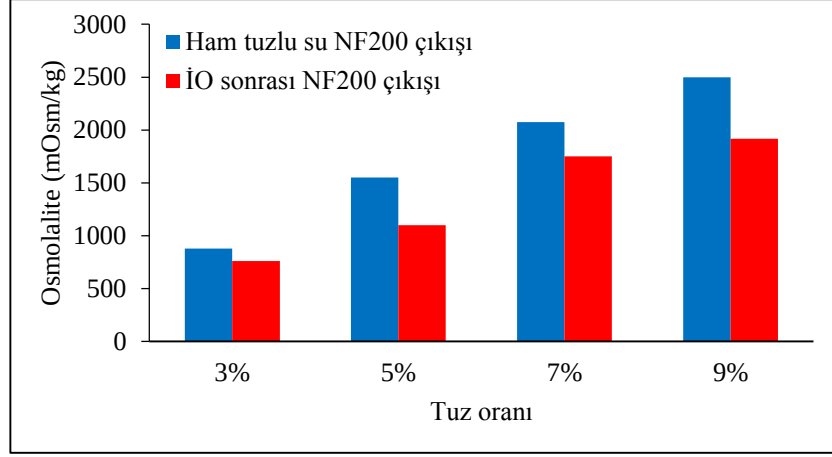


a)



b)

Şekil 5.16: NF200 ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkışta ölçülen parametrelerin değerleri a) İletkenlik b) TDS c) Osmolalite.

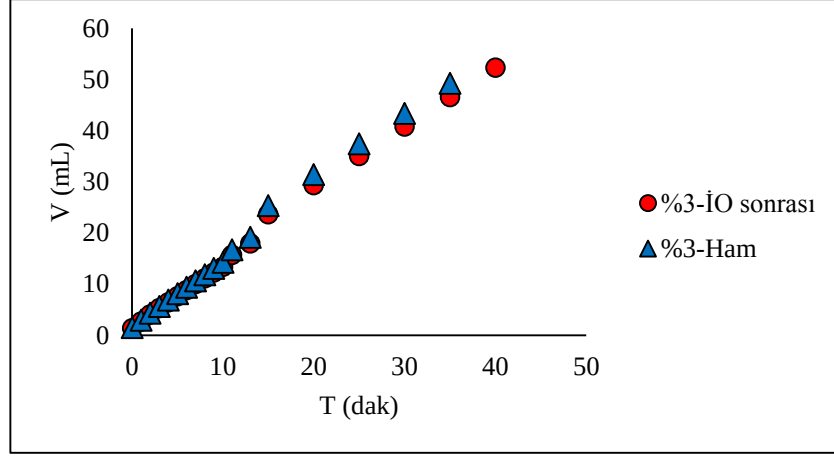


c)

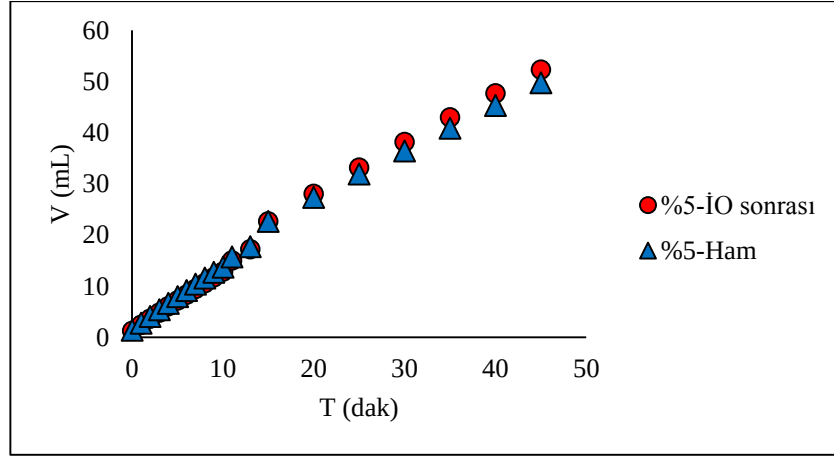
Şekil 5.16: NF200 ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkışta ölçülen parametrelerin değerleri a) İletkenlik b) TDS c) Osmolalite (devamı).

5.2.3. NF270 Membranı ile Gerçekleştirilmiş Deneylerin Sonuçları

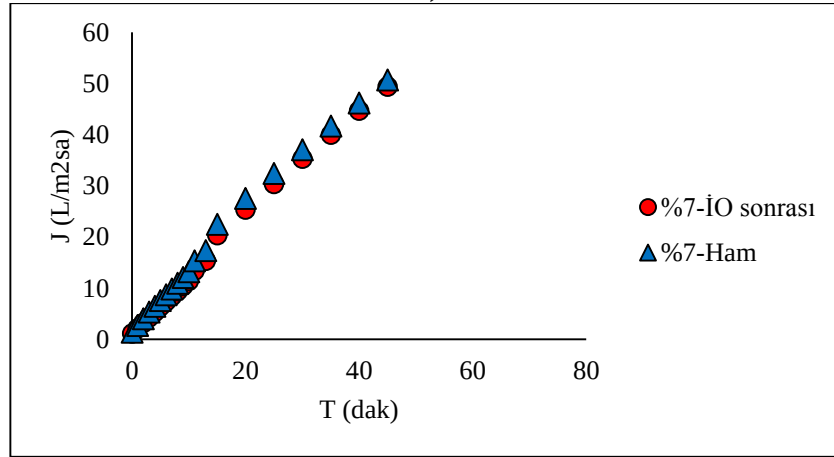
NF270 membranı ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde toplanmış süzüntü hacmi grafikleri zamana bağlı olarak Şekil 5.17’de verilmiştir. NF270 deneyleri de sabit hacimde, hem İO prosesinde işlenmeyen ham tuz çözeltisinde gerçekleştirilmiş ve hem de İO sonrası seyreltilmiş çekme çözeltilerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler İO sonrası ve Ham kodlamaları ile gösterilmiştir. NF270 membranı ile gerçekleştirilmiş deneyler NP010 membrana göre uzun fakat NF200 membranı ile yapılmış deneylerden çok daha kısa sürede tamamlanmıştır. Grafiklerden görülebileceği gibi tüm tuz oranlarında 50 mL’lik süzüntü hacmi değerlerine her iki proseste benzer sürelerde ulaşılmıştır.



a)

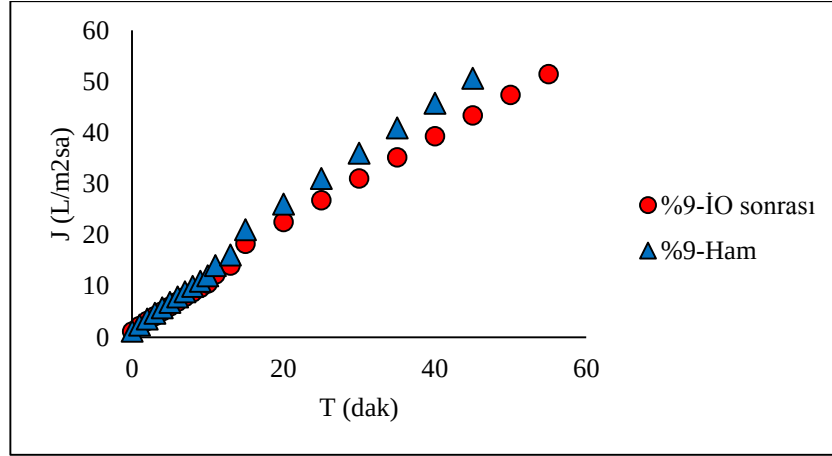


b)



c)

Şekil 5.17: NF270 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı b) %5 tuz oranı c) %7 tuz oranı d) %9 tuz oranı.



d)

Şekil 5.17: NF270 membranı ile gerçekleştirilmiş NF filtrasyon deneylerinde elde edilmiş hacim-zaman grafikleri a) %3 tuz oranı b) %5 tuz oranı c) %7 tuz oranı d) %9 tuz oranı (devamı).

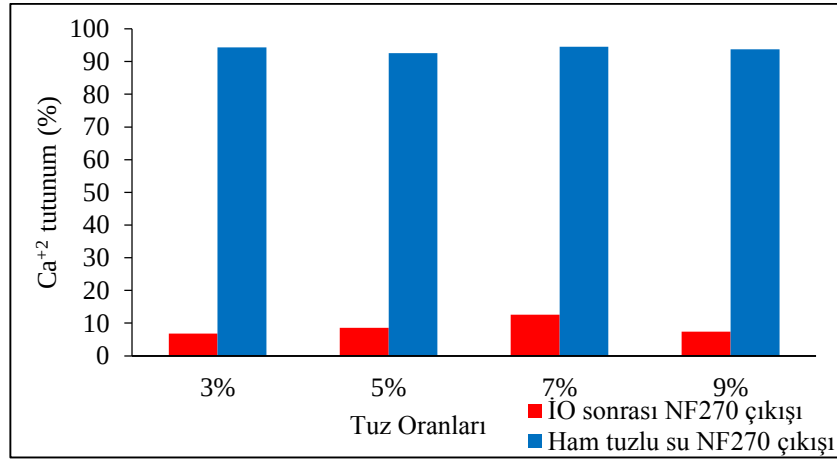
NF270 ile gerçekleştirilmiş filtrasyon deneylerinde hesaplanmış akı değerleri Tablo 5.6'de verilmiştir. Görüldüğü gibi İÖ sonrası gerçekleştirilmiş filtrasyon deneylerinde akı değerleri bu membranda da artan tuz oranlarında azalmıştır. Yine grafiklerde de verildiği gibi tüm tuz oranları için her iki proseste birbirlerine yakın çıkmış hatta %5 ve %7 tuz oranlarında İÖ sonrası NF prosesindeki akı değerleri direkt NF prosesine göre bir miktar daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 5.6: NF270 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan akı değerleri.

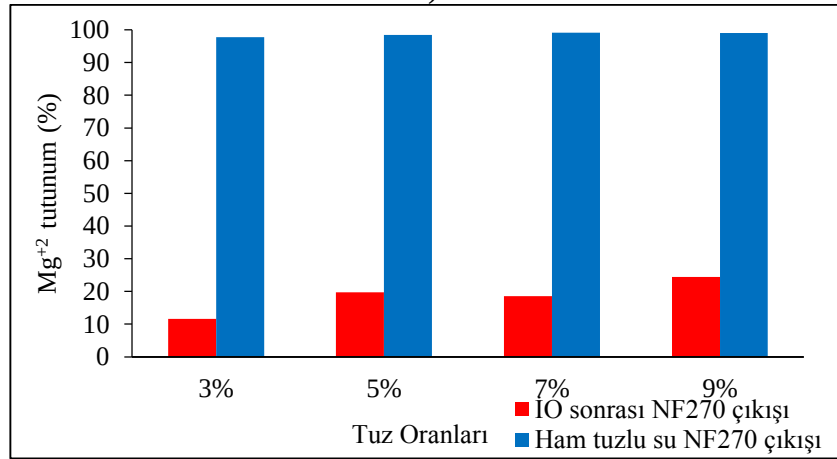
Tuz oranı	Denge akı değerleri (L/m ² sa)	
	İÖ sonrası NF270 çıkışı	Ham tuzlu su NF270 çıkışı
%3	47	48
%5	39	36
%7	39	37
%9	34	39

Deneyler sırasında toplanan giriş ve çıkış numunelerinde gerçekleştirilmiş katyon analizleri sonucunda hesaplanan yüzde (%) tutunum değerleri grafiksel olarak tuz oranlarına göre Şekil 5.18'de verilmiştir. Burada da yine diğer NF deneylerine benzer şekilde direkt ham tuzlu suda gerçekleştirilmiş NF deneylerinde giriş konsantrasyonu oldukça yüksek olduğu için elde edilen tutunum değerleri İÖ sonrası

gerçekleştirilen NF deneylerindeki tutunum değerlerinden çok yüksek olmuştur. Karşılaştırma yapılması adına NF270 deneyleri sonucunda çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları Tablo 5.7’de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerleri İO sonrası NF deneylerinde direkt NF prosesine göre daha yüksek çıkmıştır. Na^+ değerlerinde de İO prosesindeki seyrelmeye bağlı olarak bir miktar azalma olduğu için İO sonrası NF deneylerinde Na^+ değerleri daha düşük değerlerde olmuştur. NF270’de elde edilen çıkış değerleri NP010 ve NF200 membranlarda elde edilenler ile karşılaştırıldığında NF270 membranının daha düşük Ca^{+2} ve Mg^{+2} çıkışı ve daha yüksek Na^+ çıkışı sağladığı görülmektedir. Bu ve diğer sonuçlar gözönüne alındığında en iyi performansı NF270 membranının gösterdiği söylenebilir.

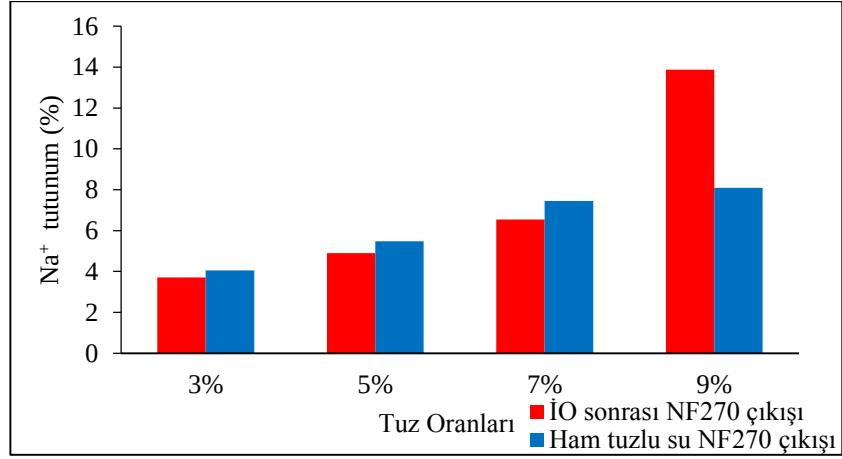


a)



b)

Şekil 5.18: NF270 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan katyon tutunumları a) Ca^{+2} tutunumu b) Mg^{+2} tutunumu c) Na^+ tutunumu.



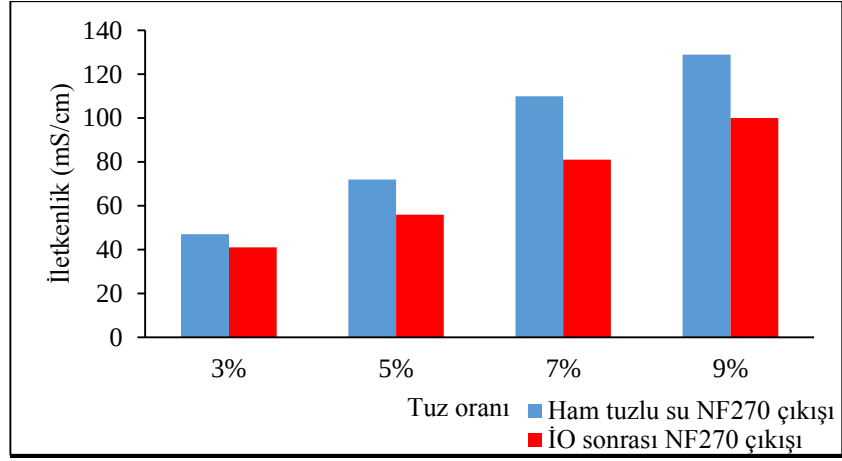
c)

Şekil 5.18: NF270 ile gerçekleştirilmiş deneylerde hesaplanan katyon tutunumları a) Ca^{+2} tutunumu b) Mg^{+2} tutunumu c) Na^{+} tutunumu (devamı).

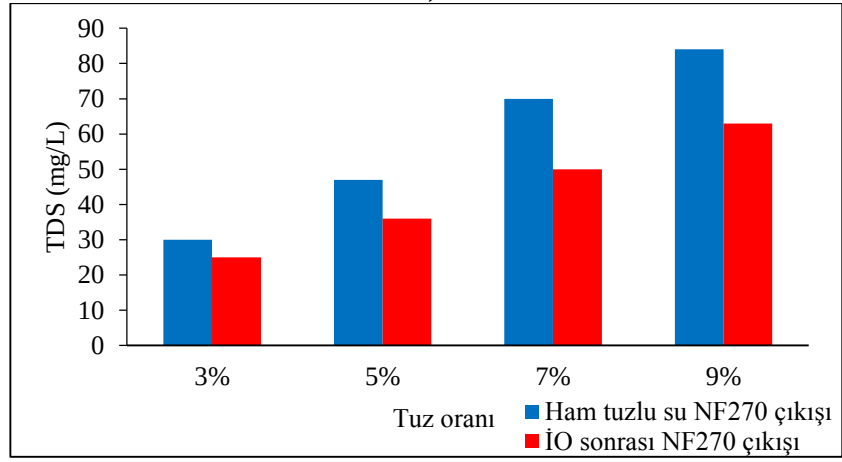
Tablo 5.7: NF270 ile gerçekleştirilmiş NF deneylerinde çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları.

Tuz oranı	Çıkış sularında ölçülmüş katyon konsantrasyonları (mg/L)		
	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}
Direkt ham tuz çözeltilerinde gerçekleştirilmiş NF deneyi			
%3	72	11	11230
%5	80	12	18520
%7	86	11	25540
%9	95	15	33380
İO sonrasında gerçekleştirilmiş NF deneyi			
%3	51	17	10051
%5	63	14	17813
%7	61	22	20981
%9	67	30	29629

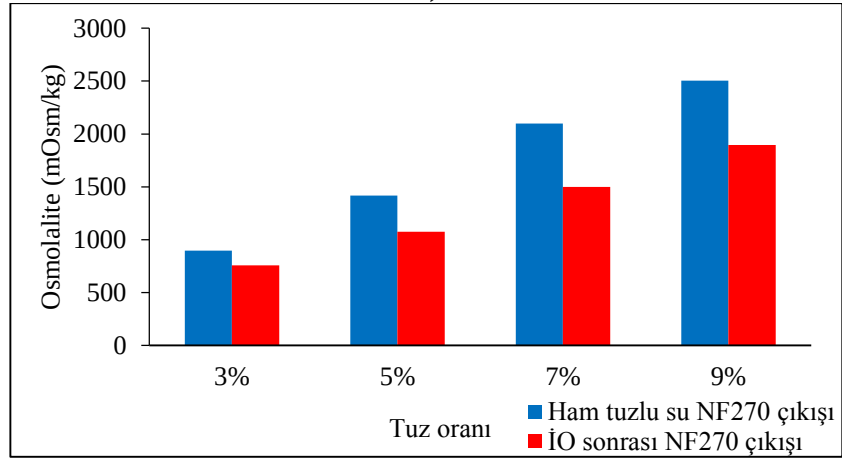
NF270 membranı ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkış sularında ölçülmüş iletkenlik, TDS ve osmolalite değerleri grafiksel olarak Şekil 5.19'da verilmiştir. Çıkış değerleri tüm parametreler için İO sonrası gerçekleştirilmiş NF deneylerinde daha düşük ölçülmüştür. Artan tuz oranlarında ise çıkış değerleri lineer olarak artış göstermiştir.



a)



b)

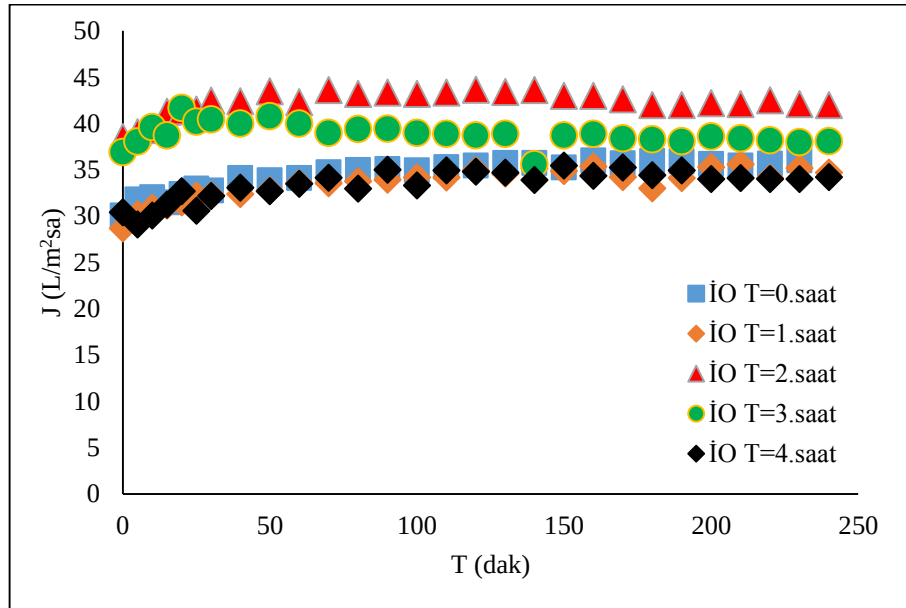


c)

Şekil 5.19: NF270 ile gerçekleştirilmiş deneylerde çıkışta ölçülen parametrelerin değerleri a) İletkenlik b) TDS c) Osmolalite.

5.3. İO+NF Bütünleşik Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar

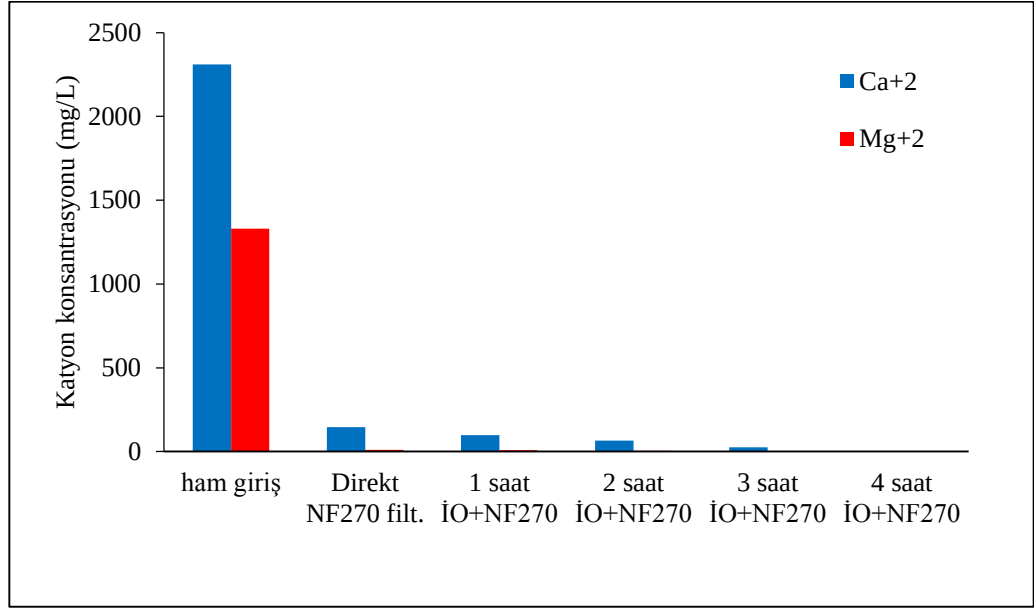
Yapılan tekli İO ve NF deneylerinden sonra bu sistemlerin birlikte kullanıldığı uzun süreli deneyler gerçekleştirilmiştir. İO sistemi çalışırken saat başı çekme çözeltisinden alınmış olan sularda NF deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde tek bir tuz oranı (%7) kullanılmıştır. Yukarıda da anlatıldığı gibi en iyi performansı gösteren nanofiltrasyon membranı NF270 olduğu için bu başlıktaki deneyler bu membran kullanılarak uzun süreli (4 saat) NF filtrasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu deneye ait akı-zaman grafiği Şekil 5.20’de verilmiştir. Bu deneyde en yüksek akı değerlerine İO prosesinin ikinci saatinde alınan çekme çözeltisinde ulaşılmıştır. Birinci ve dördüncü saatte alınan çekme çözeltisinin NF270 filtrasyonunda ise en düşük akı değerleri görülmüştür. Deneylerde hesaplanan denge akı değerleri 0., 1., 2., 3. ve 4. saatlerde sırasıyla 35, 35, 42, 38 ve 34 L/m²sa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.20: İO prosesinde zamana bağlı olarak gerçekleşmiş NF270 filtrasyon deneylerinde elde edilen akı-zaman grafiği.

Deneyler sırasında gerçekleştirilmiş katyon analizlerinin sonuçları Şekil 5.21’de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi İO prosesinin işletim süresinin artması NF270 membranındaki uzun süreli filtrasyondaki katyon tutunumunu arttırmakta ve membran çıkışında Ca⁺² ve Mg⁺² içeriği düşük tuzlu suyun elde

edilmesini sağlamaktadır. Bu grafiğe göre, İO prosesinin uzun süreli işletilmesinin çıkıştaki istenmeyen iki değerlikli katyonların giderilmesini sağladığı söylenebilir.



Şekil 5.21: İO prosesinde zamana bağlı olarak yapılmış NF270 filtrasyon deneylerinde gerçekleştirilmiş katyon analizi sonuçları.

Bu deneylere göre dört saatlik İO işletilmesi ardından yine dört saatlik NF270 filtrasyonu sonunda çıkış suyunda ölçülen katyon konsantrasyonları Tablo 5.8’de verilmiştir. Bu değerlere bakıldığında İO/NF bütünleşik membran sisteminin optimum şartlarda işletilmesiyle tuzun kalitesini bozan iki değerlikli katyonların tuzdan yıkanması sağlanabilmektedir.

Tablo 5.8: Dört saatlik İO prosesi ardından dört saatlik NF270 filtrasyonu sonunda ölçülen çıkış suyundaki katyon konsantrasyonları.

	Katyon konsantrasyonları (mg/L)		
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺
Ham giriş	2310	1330	27596
Direkt NF270 filtrasyonu	145	10	25540
4 saatlik İO sonrası	167	97	20310
4 saatlik İO ardından+4 saatlik NF270 çıkışı	3	0.04	19000

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Tuz gölünden alınan tuz numunelerinde bütünleşik membran sistemleri kullanılarak yemeklik tuzun kalitesini bozan (+2) değerlikli iyonların uzaklaştırılması ve böylece (+1) değerlikli iyonların bulunduğu tuzların üretimini sağlayacak şartların belirlenmesi ve sistemin performansını gösteren bulguların elde edilmesi sağlanmıştır.

Proseste ilk olarak İO performansının ana belirleyici unsuru olan membran yerleşim modunun etkisi ters ve normal mod olarak çalışılmıştır. Bu deneylerin sonucunda membran aktif tabakasının distile suya (besleme çözeltisine) teması ile işletimini ifade eden ters işletim modunda, normal moduna göre tuzlu suyun daha yüksek distile su geçiş hacmi ve akısı ile seyreltilebildiği belirlenmiştir. Bu duruma etkin osmotik basınç farkının bu modda daha yüksek olması neden olmaktadır. Ters işletim modunda daha iyi performans sağlanmıştır ve deneyler 120-240 dak aralığında su akısı azalması değişimleri kararlı aşamaya ulaşmıştır. Bu deneyler süresince tuzlu suyun osmolalitesi, yoğunluğu, iletkenliği ve toplam çözünmüş katıları, distile suya doğru çözünmüş madde taşınımı ve distile sudan geçen su ile seyrelme sebebiyle, su ve tuz akılarına bağlı olarak deney süresince azalmıştır. Buna karşın, distile suya çözünmüş katıların taşınımı, distile su tarafı olan besleme akımında bu parametre değerlerinin bir miktar artmasına neden olmuştur.

Farklı konsantrasyonda hazırlanmış (%3-5-7-9) tuz çözeltilerinin İO performansları ters modda gerçekleştirilmiştir. Çekme çözeltisindeki artan tuz oranlarında proseste net osmotik basınç, su ve tuz akıları da artış göstermiştir. Çekme çözeltisindeki tuzlu suyun osmolalitesi, yoğunluğu, iletkenliği ve toplam çözünmüş katıları, musluk suyuna doğru çözünmüş madde taşınımı ve musluk suyundan geçen su ile seyrelme sebebiyle, su ve tuz akılarına bağlı olarak deney süresince azalmıştır. Bu parametrelerin yanında, deney başında çekme çözeltisinde gerçekleştirilmiş katyon analizi ile kütlece yüzde hesabı yapıldığında toplam tuz kütlelerinin yaklaşık %35.8'inin sodyum (Na^+), %1.7'sinin magnezyum (Mg^{+2}) ve %3.6'sının kalsiyumdan (Ca^{+2}) oluştuğu görülmüştür. Deney süresince tuz oranlarına bağlı olarak çekme çözeltisinden besleme tarafına katyon geçişi olduğu görülmüştür. Tüm tuz oranlarında özellikle Ca^{+2} ve Mg^{+2} katyonlarının yaklaşık %90'nın besleme tarafına yani musluk suyu tarafına geçtiği belirlenmiştir. Bu esnada bir miktar Na^+ da

besleme tarafına geçiş yapmıştır. Fakat tuzun saflığını bozan (+2) değerlikli katyonların İO sistemi ile tuz çözeltisinden böyle yüksek oranlarda yıkanması prosesin istenildiği şekilde işletildiği sonucunu göstermiştir.

İO deneyleri sonunda sabit hacimde NF deneyleri gerçekleştirilmiştir. NF deneyleri hem İO prosesinde işlenmeyen ham tuz çözeltisinde gerçekleştirilmiş ve hem de İO sonrası seyreltilmiş çekme çözeltisinde yapılmıştır. Kullanılan NF membranları arasında membran işletim performansı açısından en yüksek performansı NF270 membran göstermiştir. Katyon tutunumları analizinde ham tuzlu suda gerçekleştirilmiş direkt NF deneylerinde beklenildiği üzere elde edilen tutunum değerleri İO sonrası gerçekleştirilen NF deneylerindeki tutunum değerlerinden çok yüksek olmuştur. Çünkü direkt NF filtrasyonunda giriş konsantrasyonu oldukça yüksek değerlerdedir.

Yapılan tekli İO ve NF deneylerinden sonra bu sistemlerin birlikte kullanıldığı uzun süreli deneyler gerçekleştirilmiştir. İO prosesi toplam dört saat işletilmiş ve saat başı çekme çözeltisinden alınan numuneler dört saat NF270 membranından filtre edilmiştir. Deneylerde tek bir tuz oranı (%7) kullanılmıştır. İO prosesinin işletim süresinin artması NF270 membranındaki uzun süreli filtrasyondaki katyon tutunumunu arttırmakta ve membran çıkışında Ca^{+2} ve Mg^{+2} içeriği düşük tuzlu suyun elde edilmesini sağlamaktadır. Bu sonuçlara göre, İO prosesinin uzun süreli işletilmesinin çıkıştaki istenmeyen iki değerlikli katyonların giderilmesini sağladığı saylenebilir.

Gerçekleştirilen İO/NF bütünleşik membran sistemi çalışmasında yapılan analizler ve membran performans değerlendirmelerine göre tuz gölünde bulunan ve tuzun kalitesini bozan (+2) değerlikli katyonların bu sistem ile tuzdan uzaklaştırılabilildiği sonucuna varılmıştır. Mevsimsel değişimler ve evsel/endüstriyel kirlilik baskısı Tuz gölündeki tuzun kalitesini değiştirmekte ve çoğu zaman kötü yönde etkilemektedir. Klasik tuz üretim yöntemlerindeki doğal evaporasyon işlemleri tuzun kalitesini iyileştirici yöntemlere çoğu zaman izin vermemektedir. Önerilen bu yöntemde tuz gölünden alınan tuzlu su direkt kullanılabilmekte, ilk olarak İO prosesi ile optimum koşullarda istenilen tuz seviyesine inilebilmekte ve ardından uygulanacak NF prosesi ile (+2) değerlikli katyonların yıkanması sağlanabilmektedir. Önerilen bu sistem ile istenilen karakterde tuzların üretiminin sağlanacağı düşünölmektedir. Ön işlem olarak İO prosesinin kullanılması basınçlı membran sisteminin yükünü azaltmış ve daha ekonomik bir işletim sağlamıştır. İleride

yapılması planlanan maliyet analizleriyle desteklenmesi düşünölen bu sonuç ile birlikte İO/NF bütünleşik sistemin gerçek ölçekte de uygulanabilir olduğu düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ResGaz, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Türk Gıda Kodeksi Tuz Tebliği 23 Ocak 2008 tarih ve 2007/53 numaralı tebliğ.
- [2] Ergin Z., (1988), “Tuzun üretim Teknolojisi ve İnsan Sağlığındaki Yeri”, Madencilik, 27 (1), 9-30.
- [3] Avcı S., (2003), “Ekonomik Coğrafya Açısından Önemli Bir Maden: Tuz”, Coğrafya Dergisi, 11, 21-45.
- [4] Yalçın E., Ertem M.E., (1997) “Deniz Tuzlalarının Türkiye Tuz Potansiyelindeki Yeri”, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 208-215, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- [5] Tosun D., (2012), “Tuz Gölü Tuzundan Mg ve Ca İyonlarının Uzaklaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- [6] Kılıç A. M., Uyanık E., (2001) “Tuz Gölü'nde Oluşan Kirlenmenin Göl Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 136-139, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim.
- [7] Kılıç Ö., Kılıç A. M., (2001) “Tuz Gölü'nden Tuz Yan Ürünleri Üretiminin Araştırılması”, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 136-139, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim.
- [8] Güner Ö., (2011), “Determination of Elemental Concentration Profiles in Tuz Lake Sediments”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- [9] Koyuncu I., Topacik D., Wiesner M.R., (2004), “Factors influencing flux decline during nanofiltration of solutions containing dyes and salts”, Water Research, 38, 432-440.
- [10] Mulder M., (1996), “Basic principles of membrane technology”, Kluwer Academic Publishers.
- [11] Yiğit N., (2007), “Membran biyoreaktörü (MBR) ile evsel atıksu arıtımı”, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [12] Hasar H., (2001), “Batık membran-aktif çamur sistemlerinin arıtma kapasitesinin geliştirilmesi ve modellenmesi”, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi.
- [13] Akdemir S., (2012), “Çöp suyunun membran bioreaktör prosesindeki biyokütle susuzlaştırmasında polielektrolit türünün ve dozajının belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi.
- [14] Kurt E., (2012), “Tekstil Endüstrisi Ayrılmış Atıksularının Pilot Ölçekli Membran Sistemi ile Arıtımı ve Geri Kazanımı”, Yüksek lisans tezi, İstanbul

Teknik Üniversitesi.

- [15] Cath Y.T., Childress A.E., Elimelech M. (2006), “Forward osmosis: principles, applications, and recent developments”, *Journal of Membrane Science*, 281, 70-87.
- [16] Aydın C., (2013), “İleri Osmoz Kullanılarak Peynir Altı Atıksularından Su Geri Kazanımı ve Peynir Altı Suyu Tozu Üretimi”, *Tubitak-Çaydag Proje No: 109Y300*.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Düziçi’nde doğan Çağla Köseoğlu, ilköğrenimini İstanbul Cemal Diker ilkokulunda, orta öğrenimini İstanbul Kazım Karabekir İlköğretim okulunda ve lise öğrenimini de İstanbul Kenan Evren Anadolu Lisesinde tamamladı. 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde üniversite eğitime başladı. 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başladı. Bu sürede özel bir şirkette Kalite Kontrol/ Güvence mühendisi olarak çalışmıştır.