



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



# **ELEKTRODİYALİZ (ED) YÖNTEMİ İLE PEYNİRALTI SUYU DEMİNERALİZASYONU VE PROSES OPTİMİZASYONU**

**Yüksek Lisans Tezi**

Neslihan KAYA

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir  
2019



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**ELEKTRODİYALİZ (ED) YÖNTEMİ İLE  
PEYNİRALTI SUYU DEMİNERALİZASYONU VE  
PROSES OPTİMİZASYONU**

**Neslihan KAYA**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ**

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

**İZMİR**

**2019**





Neslihan KAYA tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Elektrodiyaliz (ED) Yöntemi ile Peyniraltı Suyu Demineralizasyonu ve Proses Optimizasyonu” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 28.02.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**Jüri Başkanı** : Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ  
**Raportör Üye** : Prof. Dr. Nalan KABAY  
**Üye** : Prof. Dr. Ergun KÖSE

**İmza**

  
.....  
Nalan Kabay  
.....  
Ergun Köse  
.....

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Elektrodiyaliz (ED) Yöntemi ile Peyniraltı Suyu Demineralizasyonu ve Proses Optimizasyonu**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

28/02/2019

Neslihan KAYA







**ÖZET****ELEKTRODİYALİZ (ED) YÖNTEMİ İLE PEYNİRALTI SUYU  
DEMİNERALİZASYONU VE PROSES OPTİMİZASYONU**

KAYA, Neslihan

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ

Şubat, 2019, 90 sayfa

Peyniraltı suyu (PAS), süt endüstrisinin yüksek hacimli bir yan ürünüdür. İçeriğinin %70'lik kısmını laktoz oluştururken, özellikle biyolojik değeri yüksek protein ve mineral bakımından zengindir. İçeriğindeki yüksek organik bileşen derişimi sebebi ile biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri oldukça yüksektir. Bu sebeple alıcı ortama atık olarak doğrudan verilmesi çevreyi olumsuz etkilemektedir.

Bu tez çalışması kapsamında UF+ED ve NF+ED ardışık membran uygulamaları kullanılarak PAS'ın demineralizasyon verimi incelenmiştir. SEPA CF-II (GE Osmonics) test sistemi kullanılarak UF ve NF membran testleri gerçekleştirilmiştir. Deney süresince besleme, konsantre ve süzüntü örneklerinde iletkenlik, tuzluluk, toplam çözünmüş katı (TÇK) ve pH ölçümleri yapılmıştır. Uygulamalarda süzüntü, konsantre ve besleme örneklerinde protein ve laktoz analizleri yapılmıştır. Elde edilen süzüntüler Neosepta iyon değıştirici membranlarını içeren Tokuyama TS-1-10 ED ve Ralex membranlarını içeren Mega EDR-10x4-0.8 ED sistemlerine verilmiştir. UF-GM membran süzüntüsü ile Mega EDR-10x4-0.8 ED sisteminde voltaj (5 ve 10 V) ve akış hızı (15 ve 70 L/s) denemeleri gerçekleştirilmiştir. ED uygulaması sonucunda sağlanan iyon giderimleri hesaplanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Peyniraltı suyu (PAS), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), demineralizasyon, elektrodializ (ED)



**ABSTRACT****DEMINERALIZATION OF CHEESE WHEY BY  
ELECTRODIALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE PROCESS**

KAYA, Neslihan

MSc. in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Semih OTLES

February 2019, 90 pages

Cheese whey is a high-volume by-product of the dairy industry. A 70% of its content is lactose also it is also rich in protein and mineral content. Biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) values are very high due to high organic component concentration. For this reason, direct discharge to receiving bodies is considered to be a harmful for the environment.

In this thesis, demineralization of cheese whey was investigated by using UF + ED and NF + ED sequential applications. UF and NF membrane applications were performed by using SEPA CF-II (GE Osmonics) test system. Conductivity, salinity, total dissolved solids (TDS) and pH measurements in feed, concentrate and permeate samples were performed during the experiments. Lactose analyzes and protein analyzes were done in the feed, concentrate, and permeate samples. The obtained permeates were fed to the EDR-10x4-0.8 ED systems containing Ralex membrane and Tokuyama TS-1-10 ED with Neosepta membrane. In the Mega EDR-10x4-0.8 ED system with UF-GM membrane permeate, electrical of 5,10 V and flow rate of 15 and 70 L/s were applied. The ion removal as a result of ED application was calculated.

**Keywords:** Cheese whey, ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF), demineralization, electro dialysis (ED)





## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında çevre göz önüne alındığında zararı büyük olan peyniraltı suyunun gıda alanında değerlendirilmesini arttırmak yahut sağlanan değerlendirmelere yeni bakış açıları kazandırmak amaçlanmıştır.

Öncelikle TÜBİTAK-NASU projesi (Proje No:114M551) kapsamında yapılan ön çalışmalara dayalı olarak bu çalışmanın yürütülmesini öneren Sayın Prof. Dr. Nalan KABAY'a ve tez danışmanın Sayın Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ'e teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmamla ilgili yardımcı olan ve hiçbir bilgisini esirgemeyen İrem ÖZDEMİR'e içten teşekkürlerimi sunarım. Ege Üniversitesi BAP komitesi'ne de sağladığı destekten dolayı teşekkür ederim (Proje No: 18-MÜH-012).

İZMİR

.../02/2019

Neslihan KAYA



**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK.....	ii
KABUL ONAY SAYFASI .....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET .....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ .....	xi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xvii
TABLolar DİZİNİ .....	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Peynir Üretimi ve Peyniraltı Suyu (PAS) Eldesi .....	2
1.2. PAS'ın Bileşimi .....	4
1.3. PAS'ın Beslenme Açısından Değeri.....	5

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
1.4. PAS'ın Değerlendirilme Nedenleri.....	6
1.4.1. Ekonomik nedenler .....	6
1.4.2. Çevresel nedenler.....	6
1.5. PAS'ın Değerlendirilmesi ve Kullanım Alanları.....	7
1.5.1. PAS'ın sıvı olarak kullanımı.....	7
1.5.2. PAS tozu .....	7
1.5.3. PAS protein konsantrati .....	9
1.5.4. PAS protein izolati.....	10
1.5.5. Laktoz üretimi.....	11
1.5.6. Peynir üretimi.....	11
1.5.7. Alkollü-alkolsüz PAS içecekleri.....	12
1.5.8. Organik asit üretimi .....	12
1.5.9. Etanol üretimi.....	13
1.5.10. Hidrolizatlar .....	13

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
1.5.11. Tek hücre proteini üretimi .....	13
1.5.12. Biyogaz üretimi.....	14
1.6. PAS'ın Değerlendirme Yolları .....	14
1.6.1. Mikrofiltrasyon (MF).....	16
1.6.2. Ultrafiltrasyon (UF) .....	16
1.6.3. Nanofiltrasyon (NF).....	17
1.6.4. Ters osmoz (RO).....	17
1.6.5. Elektrodializ (ED).....	18
1.6.6. İyon değiştirme (İD) .....	19
2. ÖNCEKİ ÇALIşMALAR .....	21
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	29
3.1 Materyal .....	29
3.2 SEPA CF-II Sistemi ile Membran Testleri .....	29
3.2.1 Düz tabaka membran test ünitesi .....	31

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
3.3 UF ve NF Membranları.....	37
3.4 ED Testleri.....	38
3.4.1 Tokuyama TS-1-10 ED sistemi .....	38
3.4.2 Mega EDR sistemi .....	39
3.5 Ölçüm Ekipmanları.....	41
3.5.1 Elektrokimyasal ölçüm aletleri .....	41
3.5.2 Kjeldahl Azot-Protein cihazı.....	42
3.5.3 Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC).....	42
3.5.4 Atomik absorpsiyon cihazı (AAS).....	42
3.6 Analiz Yöntemleri.....	43
3.6.1 Toplam azot analizi.....	43
3.6.2 Laktoz analizi.....	44
3.6.3 Mineral analizi .....	45
3.6.4 SPC (Spesifik Güç Tüketimi) analizi.....	45

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	46
4.1 Maybi'den Temin Edilen PAS tozu Kullanılarak Hazırlanan Çözelti ile Yapılan UF-ED Testleri.....	46
4.1.1. GH-UF ve GM-UF membranları ile yapılan kapalı döngü testler.....	46
4.1.2. GM-UF membranı ile yapılan açık döngü çalışma.....	54
4.1.3. UF+ED Testleri.....	54
4.2. Gürsüt'ten Temin Edilen PAS ile Yapılan NF+ED Testleri.....	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	84
TEŞEKKÜR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	89

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Dünya'daki süt üretiminin ürünsel dağılımı (OECD/FAO,2016).....	2
1.2 Peynir ve PAS üretim şeması (Walstra et al., 1999).....	3
1.3 PAS tozu üretim akışı (Anonim, 2013).....	8
1.4 PAS protein konsantresi üretim akışı (Çelik, 2016) .....	10
1.5 Laktoz üretim akışı (Çelik, 2016) .....	11
1.6 Membran uygulaması ayırma prensibi(Çelik, 2016) .....	15
1.7 Membranların gözenek boyutuna göre çözeltideki bileşenleri ayırma şematığı (Aslan, 2016).....	15
1.8 Farklı membran uygulamaları ile farklı PAS ürünlerinin akış şeması (Lipnizki and Dupuy, 2013).....	16
1.9 ED yönteminin çalışma prensibi (Lipnizki and Dupuy, 2013).....	18
3.1 Sepa CF-II membran test sistemi.....	30
3.2 Sepa CF-II Sistemi, PAS besleme ve süzüntü tankları.....	31
3.3 Sepa CF-II Sistemi, düz tabaka membran test ünitesi .....	31
3.4 CF-II membran test sistemi, düz tabaka membran test ünitesi ve manometre	32
3.5 Sepa CF-II membran test sistemi, düz tabaka membran test ünitesi üst gövdesi .....	32



**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.6 Sepa CF-II membran test sistemi, düz tabaka membran test ünitesi ve hücre tutucu.....	33
3.7 Sepa CF-II Sistemi, düz tabaka membran test ünitesi, hücre tutucu ve hidrolik el pompası .....	33
3.8 Besleme tankı.....	35
3.9 Yüksek basınç pompası.....	36
3.10 Kontrol paneli (a) ve frekans ayarlama (b) sistemi.....	36
3.11 Tokuyama TS-1-10 sistemi.....	38
3.12 Tokuyama TS-1-10 ED sisteminde akım-voltaj ölçer .....	38
3.13 Mega EDR sistemi .....	39
3.14 Mega EDR sistemi kontrol paneli.....	40
3.15 Mega EDR sistemi pH-iletkenlik ölçerleri ve membran sistemi .....	40
3.16 Taşınabilir Hach-Lange HQD.....	41
3.17 Gerhardt Vapodest 20S yakma ünitesi ve destilasyon cihazı .....	42
3.18 Agilent Technologies 1200 HPLC cihazı .....	42
3.19 Shimadzu AA-7000 Atomik Absorpsiyon cihazı .....	43
3.20 HPLC cihazının çalışma şeması.....	45

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.21 AAS cihazının çalışma şeması.....	45
4.1 UF membran uygulamaları akım şeması .....	46
4.2 GH-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı pH değişimi.....	47
4.3 GH-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı iletkenlik değişimi.....	47
4.4 GH-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarının zamana bağlı TÇK değişimi.....	47
4.5 GH-UF membranı süzüntü ve konsantre zamana bağlı tuzluluk değişimi .....	47
4.6 GM-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı pH değişimi.....	48
4.7 GM-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı iletkenlik değişimi.....	48
4.8 GM-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı TÇK değişimi.....	49
4.9 GM-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı tuzluluk değişimi.....	49
4.10 GH-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı iletkenlik giderimlerinin karşılaştırılması .....	50
4.11 GH-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı TÇK giderimlerinin karşılaştırılması .....	50

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12 GH-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı tuzluluk giderimlerinin karşılaştırılması.....	51
4.13 GH-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı süzüntü akılarının karşılaştırılması.....	51
4.14 GH-UF ve GM-UF membranları ile zamana karşı protein giderimi .....	52
4.15 GH-UF ve GM-UF membranlarıyla zamana karşı laktoz giderimi .....	53
4.16 Tokuyama ED sistemi kullanıldığında GM-UF süzüntüsü ile elde edilen zamana karşı EC/EC <sub>0</sub> grafiği .....	56
4.17 Mega EDR sistemi kullanıldığında GM-UF süzüntüsü ile elde edilen zamana karşı EC/EC <sub>0</sub> grafiği .....	56
4.18 GM-UF süzüntü akımı ile ED uygulamalarında zamana karşı iletkenlik giderimi .....	57
4.19 PAS'ın GM-UF süzüntüsü ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimi.	59
4.20 PAS'ın GM-UF süzüntüsü ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimi.	59
4.21 PAS'ın GM-UF süzüntüsünün ED yöntemi ile demineralizasyonunda akış hızının etkisi.....	60
4.22 PAS'ın GM-UF süzüntüsünün ED yöntemi ile demineralizasyonunda elektriksel potansiyel 10 V iken elde edilen zamana karşı iletkenlik değişimi .....	62
4.23 PAS'ın GM-UF süzüntüsünün ED yöntemi ile demineralizasyonunda elektriksel potansiyel 5 V iken elde edilen zamana karşı iletkenlik değişimi .....	62

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.24 PAS'ın GM-UF süzütüsünden ED yöntemiyle iletkenlik gideriminde elektriksel potansiyelin etkisi.....	63
4.25 GM-UF süzütü ile farklı koşullarda gerçekleştirilen ED çalışmaları için hesaplanan SPC değerleri .....	65
4.26 NF uygulamalarına ilişkin akım şeması.....	65
4.27 NF-270 konsantre ve süzütü örneklerinin pH değerlerinin zamana karşı değişimi.....	66
4.28 NF-270 konsantre ve süzütü örneklerinin iletkenlik değerlerinin zamana karşı değişimi .....	67
4.29 NF-270 konsantre ve süzütü örneklerinin tuzluluk değerlerinin zamana karşı değişimi .....	67
4.30 NF-270 konsantre ve süzütü örneklerinin TÇK değerlerinin zamana karşı değişimi.....	68
4.31 NF-90 konsantre ve süzütü örneklerinin pH değerlerinin zamana karşı değişimi.....	68
4.32 NF-90 konsantre ve süzütü örneklerinin iletkenlik değerlerinin zamana karşı değişimi .....	69
4.33 NF-90 konsantre ve süzütü örneklerinin tuzluluk değerlerinin zamana karşı değişimi.....	69
4.34 NF-90 konsantre ve süzütü örneklerinin TÇK değerlerinin zamana karşı değişimi.....	69

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.35 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimleri.....	70
4.36 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı TÇK giderimleri .....	70
4.37 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı tuzluluk giderimleri.....	71
4.38 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı süzüntü akısı değişimleri.....	71
4.39 NF-270 ve NF-90 membranları ile PAS'dan protein giderimi .....	72
4.40 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı laktoz giderimleri.....	73
4.41 PAS'ın NF-270 süzüntüsü ile farklı ED sistemlerinde elde edilen zamana karşı iletkenlik değişiminin kıyaslanması.....	76
4.42 PAS'ın NF-90 süzüntüsü ile farklı ED sistemlerinde elde edilen zamana karşı iletkenlik değişiminin kıyaslanması.....	77
4.43 PAS'ın NF-270 ve NF-90 süzüntüleri kullanılarak Mega ED sistemiyle elde edilen zamana karşı iletkenlik gideriminin kıyaslanması .....	77
4.44 PAS'ın NF-270 ve NF-90 süzüntüleri kullanılarak Tokuyama ED sistemiyle elde edilen zamana karşı iletkenlik gideriminin kıyaslanması .....	78
4.45 PAS'ın NF süzüntülerinin farklı ED sistemleriyle demineralizasyonu için enerji tüketimi .....	80

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

4.46 UF ve NF süzüntüleri ile farklı ED uygulamalarında gerekli olan enerji ihtiyacı.....82



**TABLolar DİZİNİ**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 PAS'ın bileşimleri (Dinçoğlu ve Ardıç, 2012) .....	5
1.2 PAS'ın Protein Bileşimi (Dinçoğlu ve Ardıç, 2012) .....	5
1.3 NF, ED ve İD uygulamalarının avantaj ve dezavantajları .....	20
2.1 Literatürdeki PAS için MF, UF, NF Uygulamaları .....	21
2.2 Literatürdeki PAS için ED Uygulamaları .....	22
2.3 NF'den gelen PAS'ı demineralize eden işletmeye ait veriler (Greiter et al., 2002) .....	25
3.1 Maybi firmasından temin edilen PAS tozu bileşimi .....	29
3.2 Progıda firmasından temin edilen PAS'ın bileşimleri .....	29
3.3 Membran test ünitesi çalışma parametreleri. ....	34
3.4 Sepa CF-II membran test ünitesinin malzemeleri .....	34
3.5 Sepa CF-II membran test ünitesi bölümlerinin boyutları ve ağırlıkları .....	34
3.6 Üst sıcaklık limitleri .....	35
3.7 Kullanılan UF membran özellikleri (Lenntech, 2019) .....	37
3.8 Kullanılan NF membran özellikleri (Dow, 2019) .....	37
Tablo 3.9 Neosepta membranlarının özellikleri (Astom, 2019) .....	39

## TABLOLAR DİZİNİ (devam)

Tablo	Sayfa
3.10 Ralex membranlarının özellikleri (Mega, 2019).....	41
4.1 UF membranlarının besleme, süzüntü ve konsantre kısımlarında ölçülen protein değerleri.....	52
4.3 UF membranları besleme, konsantre ve süzüntü akımları ölçülen laktoz değerleri.....	53
4.4 GM-UF membranı ile gerçekleştirilen açık döngü çalışmasında besleme, konsantre ve süzüntüdeki protein değerleri.....	54
4.5 GM-UF membranı ile gerçekleştirilen açık döngü çalışmasında besleme, konsantre ve süzüntüdeki laktoz değerleri.....	54
4.6 GM-UF süzüntüsü kullanılarak gerçekleştirilen ED çalışmalarında iki farklı ED sistemi için elde edilen iletkenlik değerleri.....	55
4.7 Tokuyama-ED ve Mega-EDR sistemlerinde GM-UF süzüntüsü ile elde edilen ortalama laktoz değerleri.....	56
4.8 Tokuyama-ED ve Mega EDR sistemlerinde GM-UF süzüntüsü ile elde edilen mineral giderim değerleri.....	57
4.9 PAS'ın GM-UF süzüntüsünün demineralizasyonunda farklı akış hızlarında elde edilen zamana bağlı iletkenlik değerleri.....	58
4.10 PAS'ın GM-UF süzüntüsünün ED yöntemi ile demineralizasyonu aşamasında seyreltik ve konsantre bölmesindeki ortalama laktoz değerleri.....	60
4.11 PAS'ın GM-UF süzüntüsünün ED yöntemiyle demineralizasyonunda iyon giderimleri.....	60



## TABLOLAR DİZİNİ (devam)

Tablo	Sayfa
4.12 PAS'ın GM-UF süzütüsünün ED ile demineralizasyonunda farklı elektriksel potansiyellerde elde edilen zamana bağlı iletkenlik değerleri .....	61
4.13 PAS'ın GM-UF süzütüsünden ED yöntemi ile iyon giderimi .....	63
4.14 PAS'unun GM-UF süzütüsünden ED ile farklı koşullarda laktoz giderimi	64
4.15 PAS'unun GM-UF süzütüsünden ED yöntemiyle farklı koşullarda farklı iyonların giderimi.....	64
4.16 NF-270 ve NF-90 membranları için besleme, süzütü ve konsantre örneklerindeki protein değerleri.....	72
4.17 NF-270 ve NF-90 membranları için besleme, konsantre ve süzütü örneklerinde ölçülen laktoz değerleri.....	73
4.18 NF-270 ve NF-90 membranları ile PAS'dan Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> iyon giderimleri.....	74
4.19 PAS'ın NF-270 süzütüsü kullanılarak farklı ED sistemlerinin seyreltik ve konsantre bölmelerinde zamana karşı ölçülen iletkenlik değişimleri .....	75
4.20 PAS'ın NF-90 süzütüsü kullanılarak farklı ED sistemlerinin seyreltik ve konsantre bölmelerinde zamana karşı ölçülen iletkenlik değişimleri .....	76
4.21 PAS'ın NF-270 ve NF-90 süzütüleri ile farklı ED sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen iyon giderimleri .....	79
4.22 PAS'ın UF ve NF membranları ile muammele edilmesi sonucunda elde edilen konsantre ve süzütü örneklerindeki protein değerleri .....	80
4.23 PAS'ın UF ve NF membranları ile muammele edilmesi sonucunda elde edilen konsantre ve süzütü örneklerindeki laktoz değerleri.....	81

**TABLolar DİZİNİ (devam)**TabloSayfa

4.24 PAS'ın UF ve NF süzüntüleri kullanılarak yapılan ED uygulamasında elde edilen iyon giderimler .....81



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
R(%)	Giderim (%)
$C_p$ derişimi	Herhangi bir t anında alınan süzüntü içindeki çözünen madde derişimi
$C_0$	Besleme çözeltisinin başlangıç derişimi
t	Zaman
I	Akım
V	Volt
H	Hacim
E	Elektriksel potansiyel
LMH	Süzüntü Akısı (L/s/m <sup>2</sup> )

### Kısaltmalar

PAS	Peyniraltı Suyu
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MF	Mikrofiltrasyon
UF	Ultrafiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
RO	Ters Osmoz

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ED	Elektrodiyaliz
ID	İyon Değiştirme
EDI	Elektrodeiyonizasyon
TÇK	Toplam Çözünmüş Katı
SPC	Spesifik Güç Tüketimi



## 1. GİRİŞ

Artan nüfus sonucu yaşanan ve artarak yaşanabilecek olan açlık, hastalık, küresel ısınma, doğada yaratılan hasar gibi birçok olumsuz durum karşısında çözümsel yaklaşım sağlayabilmek için, besinsel değeri arttırılmış gıda üretimi, daha düşük maliyetli gıda üretimi, çevre kirliliğinin azaltılması, günlük besinsel ihtiyacın karşılanmasına yönelik alternatif, inovatif denemeler günümüzde oldukça önem taşımaktadır. Özellikle kaliteli beslenme düşünüldüğünde süt ve süt ürünlerinin besin değeri açısından ve tatsal-duyusal olarak sağlıklı yaşam sürdürebilmek için çok önemli besin kaynağıdır. Örneğin 250 ml süt tüketen 5-6 yaşındaki bir çocuk günlük proteinin ortalama %48'lik kısmını, mikro besin bileşeni olarak ise %9'luk kısmını karşılamış bulunmaktadır (FAO, 2015).

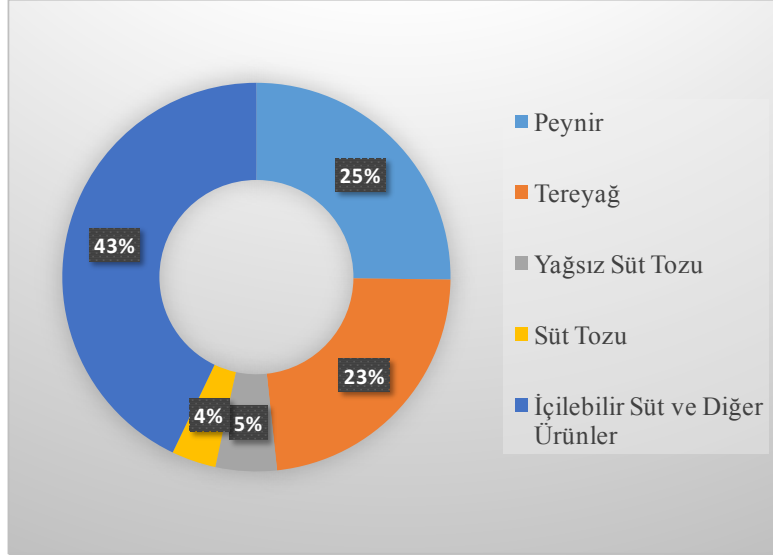
Dünya üzerinde 6 milyardan fazla insan süt ürünleri tüketimi gerçekleştirmektedir. 1960'lardan günümüze özellikle gelişmekte olan ülkelerde kişi başına düşen süt tüketimi iki kat artış göstermiştir. 2017 Dünya'daki süt miktarı 811 milyon tondur, 2018 yılında ise 827 milyon ton ile %2'lik artış gözlenmiştir (FAO, 2018).

Süt endüstrisi, oluşan talep sebebi ile günden güne büyüyen bir sektör koludur. FAO'nun verilerine göre Dünya'da süt üretimi son 30 yılda %50'den fazla artış göstermiştir. Özellikle Güney Asya ülkelerinde fazla artış dikkat çekmektedir. 1986 yılından 2016 yılına kadar Asya'da süt üretimi konusunda %241 artış göstermiştir. Dünya çapında ise bu oran %53'tür. 2016 verilerine göre süt üretiminde %20'lik kısmı Hindistan sağlamaktadır. Ardından %12 ile ABD, %5 ile Pakistan ve Çin takip etmektedir. Türkiye ise Dünya süt üretiminde %2'lik yer tutabilmiştir.

Özellikle 1980 yıllarında süt sektörü ürün çeşitliliği açısından değişiklik göstermeye başlamıştır. Daha önceki yıllarda yoğun olarak tereyağı ve peynir üretimi yapılırken, sonrasında süt tozu, PAS tozu, yoğurt, ayran gibi ürünlerin üretiminde artış gözlenmiştir. Günümüzde ise süt miktarının neredeyse yarısından fazlası endüstriyel üretim için kullanılmaktadır (TEPAV, 2012).

Dünya'da üretilen peynir verilerine bakıldığında 15 yılda %30 büyüme göstermiştir (FAO,2013). 2013 verilerine göre Dünya'da 21,279.401 ton peynir üretilmektedir. Türkiye'nin 2013 peynir üretim verileri ise, 192.364 tondur. 2018 verilerine göre Türkiye'de peynir üretimi hızla artış göstererek 490.195 bin ton peynire ulaşmıştır (TÜİK,2018).

Yüksek rakamlarda yer alan bu süt üretiminin 2016 yılı ürünsel dağılımı Şekil 1.1'de ifade edilmiştir.



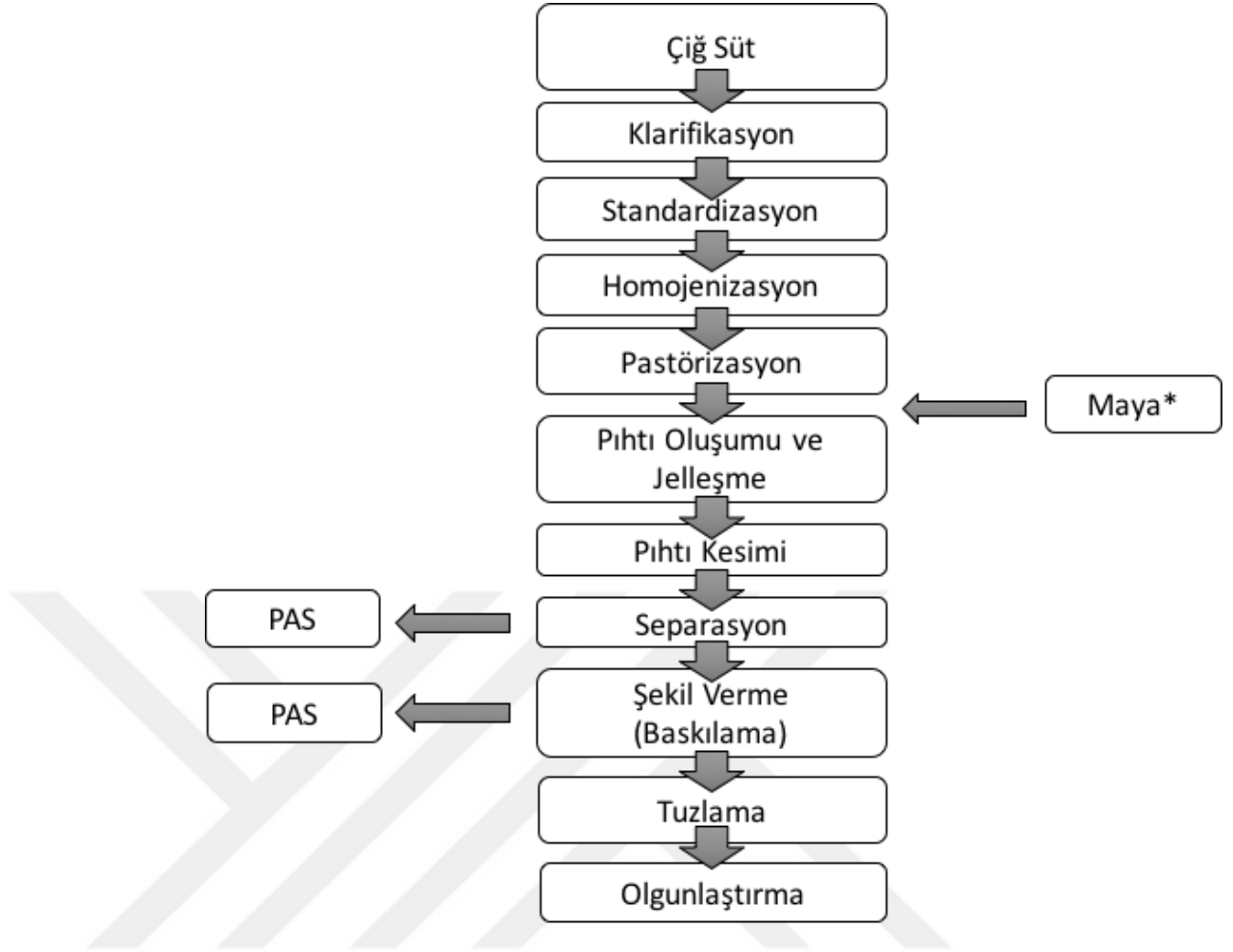
Şekil 1.1 Dünya'daki süt üretiminin ürünel dağılımı (OECD/FAO,2016)

Peynir üretimi sırasında, 10 L süte karşılık yaklaşık 9 L peyniraltı suyu (PAS) adı verilen sıvı elde edilmektedir. PAS; sarımtırak.yeşilimsi atık bir su olmakla beraber, besinsel değer olarak oldukça zengindir. Özellikle içeriğindeki serum proteinlerinin varlığı ve günümüzde beslenme açısından hayvansal proteinlere duyulan talep göz önüne alındığında; PAS değerlendirmesi dikkat çeken bir konu olmaktadır. Bunun yanı sıra PAS'ın KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) ve BOİ (biyolojik oksijen ihtiyacı) değerleri ön işleme tabii tutulmadan atık olarak direkt değerlendirilmeye uygun değildir. Peynir üretimindeki bu hızlı artış ile Türkiye'de yılda ortalama 6,210.00 ton PAS üretilmektedir.

### 1.1. Peynir Üretimi ve Peyniraltı Suyu (PAS) Eldesi

Süt besinsel zenginliği ve yüksek su içeriği sebebi ile çabuk bozunma gösteren bir gıdadır. Bu sebep ile geçmişten günümüze sütün kullanımının ve korunmasının sağlanabilmesi adına süt işlenerek birçok ürüne dönüştürülmektedir. Bu ürünlerin başında ise peynir gelmektedir.

Fazla sayıda peynir çeşidi bulunmasına birçok etken sebep olmaktadır. Ancak peynir yapımı kısaca aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.



Şekil 1.2 Peynir ve PAS üretim şeması (Walstra et al., 1999).

\*Maya olarak ifade edilen rennin enzimidir.

İşletmeye gelen süt, peynir üretimi için aşağıdaki süreçlere maruz tutulur.

- **Çiğ Süt Ön İşlemleri:** Çiğ süt sağım sırasında bulaşan saman, ot, toprak, gübre vb. yabancı maddelerin yarattığı kirlilik ve mikrobiyal bozulma riskinden dolayı öncelikle kaba filtrelerden geçirilir.
- **Klarifikasyon:** Santrifüj yöntemi ile kaba filtrede ayrılamayan epitel ve hücre parçalarını, kontaminasyonu uzaklaştırmak için uygulanır.
- **Standardizasyon:** Sütün içerisindeki yağ miktarının ayarlanması işlemidir. Böylelikle mevsimsel, çevresel koşullardan kaynaklanan sütteki farklılık minimize edilmektedir.
- **Homojenizasyon:** 60°C'de 200 bar basınç ile gerçekleşir. Sütün içerdiği yağ moleküllerinin boyut küçültülmesi ve eşitlenmesi sağlanır. Böylelikle heterojen bir karışım oluşmaz.

- **Pastörizasyon:** 72°C'de 2 dakika ısıtma işlemi uygulanması ya da 85°C'ye çıkıldığında işlemin tamamlanması şeklinde uygulamaları mevcuttur. Sütün içeriğindeki mikroorganizma yükünü azaltmak ana amaç olmakla beraber, patojen mikroorganizmaları uzaklaştırma ve standart ürün sağlama sebepleri ile de uygulanır.
- **Pıhtı oluşumu-Jelleşme:** Farklı uygulamalar bulunsa da, süt istenilen SH ve pH değerlerine getirilip (starter kültür, katkı maddesi ilavesi vb.), proteolitik enzimler (rennet, rennin (kimozen) vb.) ile 28-32°C'de 1,5-2 saat pıhtı oluşumu sağlanır.
- **Pıhtı kesimi:** Uygun sertlik oluştuğunda, peynir olabildiğince az parçalanarak kesilir.
- **Separasyon:** Pıhtı kesiminden sonra PAS'ın süzülmesi için yarım saat süzme işlemi sağlanır.
- **Şekil verme-Baskıya alma:** Cendere bezleri kullanılarak peynir baskı uygulanarak 2-3 saat PAS'dan arındırılması sağlanır.
- **Tuzlama:** Teleme elastik yapı kazanınca, kalıplar halinde kesilip salamura suyuna yerleştirilir. 15-30°C, 14-16 bomeli salamurada 8-10 saat tutulup, suyunu salması için çıkarılıp yaklaşık 4 saat süzülür.

Peynir üretimi sırasında elde edilen PAS ise, separasyon ve baskılama işlemleri süresince açığa çıkan, peynir üretim yöntemine ve sütün bileşimine bağlı olarak farklılık gösteren ancak bileşimi hakkında genelleme yapılacak olursa Tablo 1.1'de olduğu gibi ifade edilmiştir.

Yaygın olarak kullanılan peynir üretim şekillerine bakıldığında, maya kullanılarak ya da asit ilavesi ile protein denaturasyonu sağlanarak üretim yapıldığı görülmektedir. Maya kullanılarak üretilen peynirden elde edilen PAS tatlı PAS iken, asit ilavesi ile üretilen peynirden elde edilen PAS ekşi PAS olarak adlandırılır.

## 1.2. PAS'ın Bileşimi

PAS, üretilen peynirin özelliğine göre, farklı özellikler göstermekle beraber, ekşi ve tatlı PAS'a göre farklılık gösteren bileşimler Tablo 1.1'de gösterilmiştir.



Tablo 1.1 PAS'ın bileşimleri (Dinçoğlu ve Ardıç, 2012)

<b>Bileşen</b>	<b>Tatlı PAS (g/L)</b>	<b>Ekşi PAS (g/L)</b>
Toplam Kuru Madde	63-70	63-70
Laktoz	46-52	44-46
Protein	6-10	6-8
Yağ	3-3.5	2-2.5
Kalsiyum	0.4-0.6	1.2-1.6
Fosfat	1-3	2-4.5
Laktat	2	6.4
Klorür	1.1	1.1

Peynir üretimi sırasında elde edilen PAS'ın özellikleri; kullanılan sütün kalitesine, sütün çeşidine, mevsime, laktasyon dönemine, hayvanın beslenme/yem çeşidine, peynir üretim koşullarına ve yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. PAS'ın ortalama bileşime göre su içeriği %93'tür (Yerlikaya vd., 2010).

Peynir üretiminde kazein miselleri birbirine tutunup, peynir denilen yapıyı oluştururken, sütün bileşiminde bulunan serum proteinleri PAS'ta kalır. Bu proteinler hayvansal protein yapısında olduklarından dolayı beslenme ve besleyicilik açısından oldukça önemlidir.

Tablo 1.2 PAS'ın Protein Bileşimi (Dinçoğlu ve Ardıç, 2012)

<b>Protein</b>	<b>Derişim (g/L-süt)</b>
$\beta$ -Laktoglobulin	3.2
$\alpha$ -Laktalbumin	1.2
Immunoglobulin	0.8
Kan-serum albumini	0.4
Laktoferrin	0.2
Laktoperoksidaz	0.03
Proteaz-pepton	$\geq 1$

### 1.3. PAS'ın Beslenme Açısından Değeri

PAS içeriğindeki serum protein zenginliği beslenme açısından önemli bir yer tutmaktadır. İçeriğindeki bu proteinlerin biyolojik değeri, en zengin protein kaynağı olarak bilinen gıda olan yumurtadan bile %15 dolaylarında daha fazladır. Sistein, metiyonin gibi sülfür içeren aminoasitlerce zengindir. Bu proteinler vücudumuz için önemli olan glutation miktarının artışıını sağlarlar. Glutation, vücudun bağışıklık sistemi için oldukça önemli bir antioksidandır. Bu proteinlerdeki yüksek orandaki sistein glutation sentezine teşvik etmektedir. Böylelikle vücudun antioksidan kapasitesi artmaktadır. Ayrıca içeriğindeki

laktoferrin ve laktoferrisin de antioksidan etki göstermektedir (Demir, 2016; Türkdai, 2017; Ramos et al., 2016).

Laktoferrin demir bağlayan bir proteindir. Demir taşınımı, antibakteriyel özellik gösterimi, toksin bağlayıcılık, immun sistemi düzenleme, antioksidan etki gibi birçok olumlu etkisi bulunan bir proteindir. Özellikle demir absorpsiyonunu arttırmak için bebek mamalarına eklenmektedir (Ramos et al., 2016).

PAS'ın %70'lik kuru madde kısmını ise laktoz oluşturmaktadır. Laktoz sindirim sistemini rahatlatan, probiyotik özellik gösteren bir bileşendir.

Sütün içerdiği vitaminlerin bir kısmı da PAS'a geçmektedir. Özellikle sütün riboflavin (B<sub>2</sub>) içeriğinin büyük bir kısmı PAS'a geçer ve böylece PAS sarımsak-yeşilimsi rengini kazanır (Demir, 2016).

Sütün mineral içeriğinin bir kısmını PAS içermekle beraber, peynir üretiminde yer alan tuzlama aşamasında kullanılan tuz çeşidi ve miktarına bağlı olarak yüksek miktarda çözünür tuz ve mikro element içermektedir.

Kalsiyum ve fosfat kazein protein miseline bağlı olduğundan büyük bir kısmı katı kısımda (peynirde) bulunsa da, peynir oluşum sırasında yaşanan misel bozulumu ile PAS'a geçişleri de olabilmektedir. Bu iyonların miktarı asit yardımı ile üretimi sağlanan peynirden elde edilen PAS'ta daha yüksek oranda bulunmaktadır (Demir, 2016, Türkdai, 2017).

#### **1.4. PAS'ın Değerlendirilme Nedenleri**

PAS'ın değerlendirilmesi 2 ana nedene dayanmaktadır. Bunlar:

##### **1.4.1. Ekonomik nedenler**

10 L süte karşılık 9 L PAS elde edilmesi ve bu PAS'ın %93 oranında sudan oluşuyor olması sorun teşkil etmektedir. Hacimsel olarak depolamaya müsade etmemekte ve çabuk bozunma göstermektedir. Bu kadar yüksek oranda üretilen ve içerisinde serum proteinleri gibi oldukça zengin gıda bileşenleri bulunduran bir yan ürünün deşarj edilmesi ya da imha edilmesi ekonomik açıdan büyük dezavantaj yaratmaktadır.

##### **1.4.2. Çevresel nedenler**

PAS yüksek oranda BOİ ve KOİ değerlerine sahiptir. Çevre konusunda özellikle BOİ değeri dikkat çekmektedir. BOİ değeri, deşarj edilen sulardaki organik bileşenlerin parçalanabilmesi için mikroorganizmaların ihtiyacı olan oksijen miktarıdır. PAS'ın BOİ değeri 32.000 mg O<sub>2</sub> /L'dir. KOİ değeri ise 60.000 mg O<sub>2</sub>/L'dir. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre 1 L PAS'ın çevreye verdiği zarar ortalama 40-45 kişinin yarattığı zarar ile eşdeğerdir. Bakanlık

tavsiyesine göre PAS; içeriği zengin bu ürün değerlendirilmeli (PAS tozuna çevrilmeli vb.), lor peynir üretimi yapılmalı ve krom-nikel tanklarda depolanmalıdır. Kesinlikle kanalizasyonlara deşarj edilmemelidir (ÇED,2018).

Atıklar ile sularda artan mineral miktarı canlıların zehirlenmesine yol açabilir. Ayrıca atık içerisindeki proteinin parçalanması-oksidasyonu ile canlılar üzerinde toksik etki oluşabilir (Kurt ve Gülümser, 1987).

PAS içeriğindeki yağ, protein, laktoz, mineral gibi maddelerin eldesi sağlandıktan sonra, deşarj edildiğinde çevreye zarar vermeyecek forma dönüştürülüp atık olarak değerlendirilmelidir. İlk üretim hali ile PAS bir yan ürün olarak görülmeli ve değerlendirilmelidir.

## **1.5. PAS'ın Değerlendirilmesi ve Kullanım Alanları**

PAS'ın yüksek su içeriği sebebi ile genellikle değerlendirilme amaçlı kurutma işlemi tercih edilmektedir. Süt sektöründe en yaygın kullanılan kurutucu tipi, püskürtme tipi kurutuculardır. Bu kurutucularda belli sıcaklık ve basınç uygulanarak sıvı halden toz hale geçiş sağlanır. Böylelikle; ürünün raf ömründe artış sağlanırken depolama ve taşıma için ağırlık ve hacim azalması da sağlanmış olur (Wyatt, 2015).

### **1.5.1. PAS'ın sıvı olarak kullanımı**

Peynir üretimi sonucunda elde edilen PAS, sıvı haldeyken işlem uygulanmadan hayvan suyuna ya da yemine karıştırılabilir. Böylelikle hayvan beslenmesinde kullanılabilir. Farklı bir kullanımı ise gübre olarak değerlendirilip toprağa karıştırılmasıdır. Ancak içeriğindeki yüksek tuz miktarı toprağa olumsuz etki yapmaktadır. Tarımsal verimlilikte gelecek süreçte zorluklar gözlenebilir (Yiğit, 2007).

Bunun yanı sıra sıvı halde taşınması hem zor hem de maliyetli olduğundan dolayı, işlem uygulamadan sıvı olarak değerlendirmek doğa ve sürerlilik açısından iyi bir seçenek değildir (Yiğit, 2007; Türkdıy,2017).

### **1.5.2. PAS tozu**

Peynir üretimi sırasında elde edilen PAS belli işlemlerden geçirilip, kurutularak PAS tozu elde edilir. Şekil 1.3'de üretim şeması verilmiştir.

Türk Gıda Kodeksi peynir tebliğine göre PAS tozu; pıhtıdan ayrılan PAS'ın uzaklaştırılmasıyla elde edilen ve son üründeki nem içeriğinin ağırlıkça en fazla %5 oranında olduğu toz ürün olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2014).

TS 11860'e göre tatlı PAS tozu, peynir mayası kullanılarak peynir yapımı sırasında kazein ve yağın pıhtı olarak ayrılmasından sonra, geri kalan ve bileşimi peynir çeşidine ve yapım tekniğine bağlı olarak değişen sıvının toz haline getirilmesiyle elde edilen mamul olarak tanımlanmaktadır (TSE, 1995).

TS 11860'e göre ekşi (asitli) PAS tozu ise sütün asit ile çöktürülmesi sonucu oluşan çöküntüden teknolojisine göre süzülerek elde edilen sıvının toz haline getirilmesiyle elde edilen mamuldür (TSE, 1995).



Şekil 1.3 PAS tozu üretim akışı (Anonim, 2013)

- **Klarifikasyon:** PAS'ta yer alan tortuların membran sisteminde tıkanmaya yol açmaması için ilk işlem olarak santrifüj yöntemi ile bu ayırım sağlanır.
- **Separasyon:** Peynir üretimi sırasında PAS'a belli oranda yağ geçişi olmaktadır ancak ürün kalitesi için yağ PAS'dan ayrılır.
- **Pastörizasyon:** Mikrobiyal gelişmeyi kontrol altına almak için pastörizasyon işlemi uygulanır.
- **Soğuk depolama:** PAS kullanılabildiği kadar 5°C'nin altında soğuk hava depolarında bekletilir.
- **Evaporasyon:** PAS içeriğindeki kuru madde oranı %40-60 arttırılmak amacıyla içeriğindeki su buharlaştırılır.
- **Kurutma:** Püskürtmeli kurutucular ile konsantre edilmiş PAS'ın dehidre edilip katı forma ulaşması işlemidir.

PAS tozu asidik, tatlı, demineralize, laktozsuz, yağca zenginleştirilmiş gibi birçok farklı formatta üretilip, kullanılmaktadır. Genellikle hayvan yemi ya da insan gıdalarına küçük ölçeklerde katılma yolu ile tüketimi tercih edilmektedir. Gıda sektöründe; dondurma, yoğurt, çikolata, bisküvi, bebek maması, sporcu içecek ve yiyecekleri, puding gibi birçok paketli üründe kullanılmaktadır. Elde edilen tozun hayvan yemlerine karıştırılarak kullanımı da mevcuttur (Anonim, 2013).

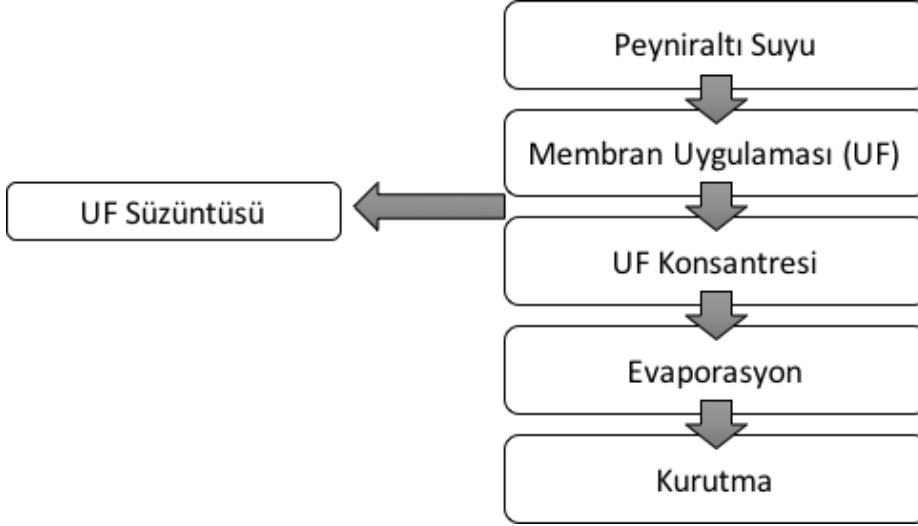
Fırıncılık sektöründe de PAS tozunun yaygın kullanımı mevcuttur. Üretilen ekmeğin besinsel değerinin artırılması, hacimsel kazanç sağlaması, ekmeğin kabuğunda müşterinin talep ettiği renksel getiri sağlaması gibi sebepler ile yaygın kullanıma sahiptir. Bu sektörde içeriğindeki tuz miktarı sebebi ile kısmi demineralize PAS tozu daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Et ve balık ürünlerinde, özellikle sosis, salam üretiminde yaygın kullanıma sahiptir. PAS tozu kullanımı ile üründe peynir tat ve kokusu sağlanabildiğinden dolayı, makarna, cips ya da soslarda kullanımına sık rastlanmaktadır.

Toz ürünler kullandıkları gıdanın yapısını, yoğunluğunu, ısı stabilitesini, köpük oluşumunu, emülgatör özelliğini, su aktivitesini, yapışkanlık özelliğini olumlu etkiler (Ünal ve Akalın, 2014).

FAO, (2013) verilerine göre Dünya’da 2.5 milyon ton PAS tozu üretilmiştir. 2000 yılından bu yana bu sayı artış göstermektedir.

### **1.5.3. PAS protein konsantratu**

%25-80 aralığında PAS proteini içeren konsantre üründür. Genellikle yüksek basınç altında uygulanan mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO) ya da bu membran sistemlerinin bütünleşik uygulaması ile elde edilir. Bu yöntemlerin yanı sıra elektro membran uygulamaları olan elektrodializ (ED) ve elektrodeiyonizasyon (EDI) yöntemleri de diğer seçeneklerdir (Ramos et al., 2016).



Şekil 1.4 PAS protein konsantresi üretim akışı (Çelik, 2016)

Uygulanan membran uygulaması ile konsantre ve süzüntü olarak iki akım elde edilmektedir. Uygulanan basınç ile beraber membrandan geçemeyen kısım konsantreyi, membrandan geçen kısım ise süzüntüyü oluşturmaktadır. UF membranlarının gözenek yapısından dolayı konsantre kısım proteince zengin iken, süzüntü kısım daha küçük molekül yapısındaki laktoz ve minerallerce zengindir. İçeriğindeki zengin serum proteinleri sebebi ile protein konsantratinin gıda katkı maddesi olarak kullanımı oldukça yaygındır. Aminoasit zenginliği ve biyolojik açıdan yumurta proteininden bile daha zengin protein içeriğine sahip olması sebebi ile bu ürün toz haline getirilerek, proteince zengin ürün eldesinde kullanılmaktadır. Özellikle sporcu yiyecek ve içeceklerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. PAS protein yapıları dallanmış aminoasit içeriğince zengindir. Bu aminoasitler özellikle kas yapımı için olumlu etki sağlamaktadır (Çelik, 2016; Ramos et al., 2016).

PAS tozu gibi, protein konsantrati da fırıncılık sektöründe besin değerinde artış sağlaması sebebi ile tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra dondurma üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca yoğurt üretiminde pastörizasyon öncesinde yoğurdun kalitesini arttırmak için uygulanan kuru madde artırma işlemleri arasında evaporasyona alternatif olarak süt tozu, PAS tozu yahut PAS protein konsantre ilavesi de uygulanabilmektedir (Demir, 2016).

#### 1.5.4. PAS protein izolatu

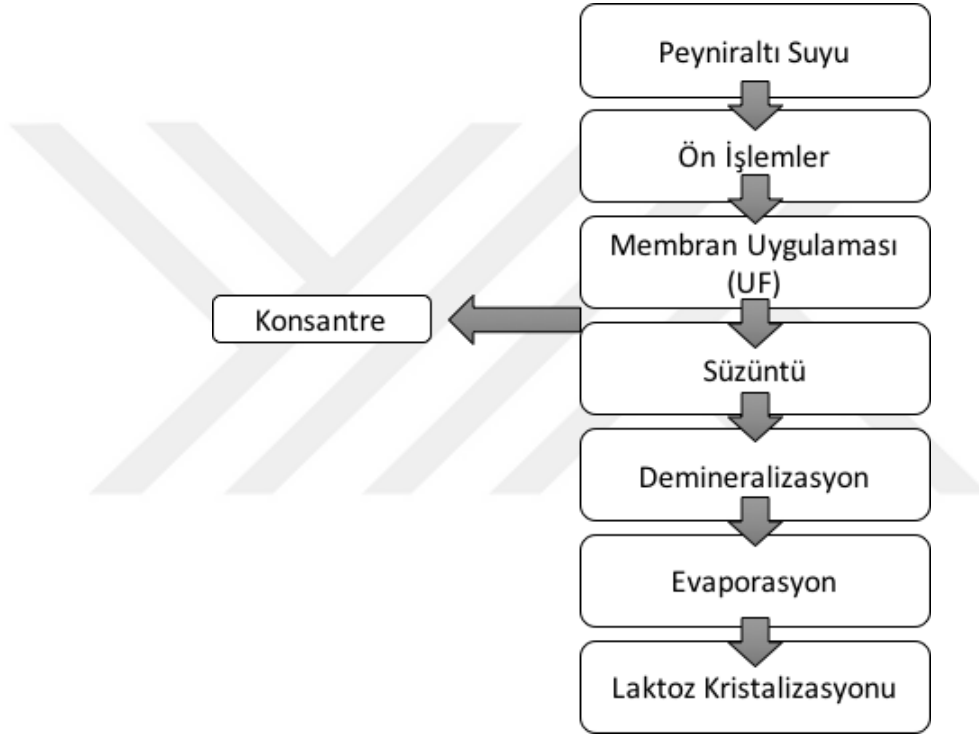
%90 oranında protein içeren PAS ürünüdür. İyon değişim kromatografisi ile üretimi gerçekleştirilir. Sporcu ürünlerinde kullanılmaktadır. Yüksek protein içeriğinden dolayı; su bağlama, jelleşme özelliklerince gelişmiştir. Protein ilaveli birçok gıda da kullanılan takviye PAS protein izolatıdır (Çelik, 2016; Güzeler vd. 2017).

### 1.5.5. Laktoz üretimi

PAS'ın kuru maddesinin %70'ini oluşturan laktozun değerlendirilmesi oldukça önemlidir. PAS'dan laktoz giderimi ile BOİ değeri yüksek oranda düşürülebilmektedir.

PAS içeriğindeki protein, yağ, mineraller ayrıldıktan sonra kristalleştirme yöntemi ile laktoz eldesi sağlanabilirken, protein ayrımı sağlanmadan da bu işlem gerçekleştirilmektedir.

Protein eldesi için, UF ya da ısıtma-denaturasyon (95°C) işlemi uygulanır (Anonim, 2018a; Çelik, 2016).



Şekil 1.5 Laktoz üretim akışı (Çelik, 2016)

Laktoz önemli bir karbonhidrat olduğundan dolayı gıdalarda özellikle bebek mamalarında, ilaç endüstrisinde, penisilin üretiminde kullanılmaktadır.

### 1.5.6. Peynir üretimi

Ülkemizde özellikle lor peyniri, Dünya'da ise Ricotta, Mysost gibi farklı peynir üretimlerinde PAS kullanılmaktadır. Elde edilen PAS, asitliği düşürülerek ya da ısıtılarak içeriğindeki proteinlerin maya etkisi ile jelleşmesi sağlanabilir. Elde edilen peynir verimi, PAS bileşimine bu da sütün kalitesi ve üretilen peynir yöntemine göre oldukça farklılık göstermektedir (Yiğit, 2007).

### 1.5.7. Alkollu-alkolsüz PAS içecekleri

Peynir üretimi sırasında üretilen PAS pastörize edilip, deoderize (koku alma) işlemlerine tabii tutulup isteğe göre meyve konsantresi, şeker, tatlandırıcı, stabilizatör ilavesi ile alkolsüz PAS içeceği üretimi sağlanabilir. Özellikle turunçgil ilavesi ile tatsal olarak başarılı ürün eldesi sağlandığı bilinmektedir. Bu işlem öncelikle PAS proteinleri ayrılıp daha sonra içecek olarak değerlendirme şeklinde de uygulanabilmektedir. Bu amaçla protein izoelektrik noktasına yakın pH değeri (4.6) için asitlendirme yapıp, 90°C’de gerçekleşen ısı işlem ile protein denaturasyonu sağlanır. Filtrasyon ya da santrifüj ile protein ayrımı gerçekleştirilir ve elde edilen köpüklü sıvı ile içecek dizaynları gerçekleştirilebilir.

Alkollü ürün üretimi için, proteinlerinden ayrıştırılmış PAS konsantresi fermentörlerde mayalamaya alınır. İçeriğindeki laktoz ile eklenen maya türleri (*Saccharomyces lactis*, *Kluyveromyces fragilis*) ile fermentasyon sağlanır. Alkol oranı genellikle %1’den az olduğundan alkol yüzdesini arttırmak için fermentöre sakkaroz ya da şeker şurubu ilavesi yapılmaktadır. İsteğe bağlı olarak tatlandırıcı, koku ya da aroma maddesi ilaveleri yapılabilmektedir. Polonya ve Rusya’da üretilen ve tüketilen içeceklerdir.

Proteinlerinden ayrılmış PAS konsantresinden düşük alkollü içeceklerin yanı sıra bira ve şarap üretimi de gerçekleştirilebilmektedir. Bunun için, proteini alınmış ve demineralize edilmiş PAS konsantresi ve laktozun hidrolizi gerekmektedir. Laktoz hidroliz edilerek galaktoz ve glikoz elde edilerek fermentasyon işlemi kolaylaştırılmakta ve alkol yüzdesi arttırılmış olmaktadır (Anonim,2018b; Yerlikaya vd., 2010).

### 1.5.8. Organik asit üretimi

PAS taze iken ısı işlemine tabii tutulup, mikrobiyal yük azaltımı sağlandıktan sonra içeriğindeki laktozun laktik asit bakterileri (*Lactobacillus*, *Laktococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*) ile biyoreaktörde fermentasyonu ile laktik asit eldesi gerçekleştirilir (Çelik, 2016; Şener ve Ünal, 2008).

Laktik asit gıda, ilaç, tekstil gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Asitlendirici olarak meyve suları, şekerlemeler, reçeller gibi kullanım alanına sahiptir. Koruyucu olarak turşu, zeytin salamurası gibi kullanım alanları mevcuttur.

Günümüzde laktik asit, polilaktik asit üretimi için hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu da laktik asit ihtiyacını arttırmaktadır. Polilaktik asit ise, özel ilaçlarda ve biyoplastik üretiminde kullanılmaktadır.

Benzer şekilde UF ile elde edilen süzüntü laktozca zengindir. Maya fermentasyonuna tabii tutulup sonrasında üretilen alkol *Aceto* bakteriler ile okside edilirse, asetik asit eldesi sağlanmaktadır.



Laktozun *Aspergillus niger* ile fermentasyonu ile sitrik asit üretimi de sağlanabilir. 1L PAS'dan 8.3 g sitrik asit eldesi sağlanmaktadır (El.Holi and Al.Delaimy, 2003).

### 1.5.9. Etanol üretimi

Son yıllarda laktoz fermentasyonu ile etanol üretimi önemli bir hal almıştır. Laktoz fermentasyonunda verimli olan ve direkt dönüşüm sağlayabilen *Kluyveromyces marxianus* türleri %90-95 oranında laktoz dönüştürebilmektedir. Gerçekleşen reaksiyon verimi 0.538 kg etanol/laktoz'dur. Etanol üretimi için kullanılacak PAS'taki laktoz olabildiğince derişik hale getirilip fermentasyon başlatılmalıdır (Demir, 2016).

Laktozu direkt olarak işleyemeyen ancak galaktoz ve glikoza hidrolize ettikten sonra etanol üretimi gerçekleştiren türlerde mevcuttur. En bilineni *Saccharomyces cerevisiae* mayasıdır. Diğer seçeneğe göre daha düşük verim elde edilmektedir. Ayrıca, laktoz hidrolizi için kullanılan  $\beta$ -galaktosidaz enzimi yüksek maliyetlidir (Yiğit, 2007).

### 1.5.10. Hidrolizatlar

Hidrolize PAS proteinleri oldukça fazla kullanılan bir fonksiyonel üründür. Enzim, asit gibi yöntemlerle PAS proteinleri kısmi olarak hidrolize edilerek daha iyi emilim özelliğine sahip hale getirilirler (Çelik, 2016; Demir, 2016).

Hidrolize PAS daha iyi emilim gösterdiğinden ve alerjenitesi daha düşük olduğundan dolayı bebek mama formülasyonlarında tercih edilmektedir.

Kozmetik ürünlerde fazlaca kullanılan hyalunorik asit ile hidrolize PAS yapısal olarak oldukça benzerlik göstermektedir. Bu sebeple cilt nemlendirici kremlerde ya da bebek losyon ve şampuanlarında kullanımı mevcuttur.

PAS'ın sağladığı köpükleşme ile şampuan ve saç koruyucu-köpüklerinde kullanımı da yaygın olarak tercih edilmektedir (Demir, 2016).

### 1.5.11. Tek hücre proteini üretimi

Artan nüfus ile Dünya üzerinde açlık ve yetersiz beslenme gibi olumsuz durumların yaşanıyor olması gıda konusunda inovatif yaklaşımlara sebep olmuştur. Bu yaklaşımlardan birisi tek hücre proteindir. Özellikle beslenmedeki protein miktarını kolay ve uygun olarak sağlayabilmek amacıyla üretilmektedir.

Tek hücre proteini hazır yemek sektörü, vitamin ve diyet takviyesi olarak günümüzde kullanıma sahiptir. *Penicillium cyclopilum* suşu ile PAS'dan tek hücre proteini eldesi sağlanmaktadır (Şener ve Ünal, 2008). Farklı suş kullanımı ile de tek hücre proteini eldesi sağlanabilmektedir. Suş seçiminde önemli olan, laktozu parçalayabilen  $\beta$ -galaktosidaz enzimi içermeleridir (Katırcıoğlu ve Aksöz, 2003).

1940 yılından günümüze kadar PAS'dan tek hücre proteini eldesi çalışmaları devam etmektedir. Özellikle Fransa bu çalışmaların önemli bir kısmını üstlenmektedir. *Kluyveromyces lactis*, *K. Fragilis*, *Torulopsis bovine* gibi küf türleri ile üretim sağlanmaktadır. Kontaminasyon olmaması için yüksek sıcaklık ve düşük pH koşullarında çalışma gerçekleştirilir. Üretilen tek hücre proteininin %48-52 oranında protein içerdiği gözlenmiş ve içeriğindeki riboflavin ve lizin aminoasit zenginliği sebebi ile besinsel değeri oldukça yüksektir (Demir, 2016).

### 1.5.12. Biyogaz üretimi

OECD verilerine göre Türkiye son 10 yılda en hızlı enerji ihtiyacı artışı gösteren ülke olarak gösterilemektedir. Biyogaz üretimi ile enerji eldesi ve bu enerjinin kullanılabilirliği gelecek açısından önemli bir umut kaynağıdır. Fosil yakıttan elde edilen enerji yerine yenilebilir enerji olan biyogaz son yıllarda Dünya çapında önemli hale gelmiştir.

Biyogaz üretimi için melas, arpa, şeker pancarı, PAS gibi birçok farklı kaynak kullanılabilir. Elde edilen verim kullanılan hammaddeye göre değişiklik göstermektedir. PAS verimi diğer kaynaklara göre daha düşük olmak ile beraber, biyogaz potansiyeli 31 m<sup>3</sup>/ton materyaldir (Tunçez, 2018).

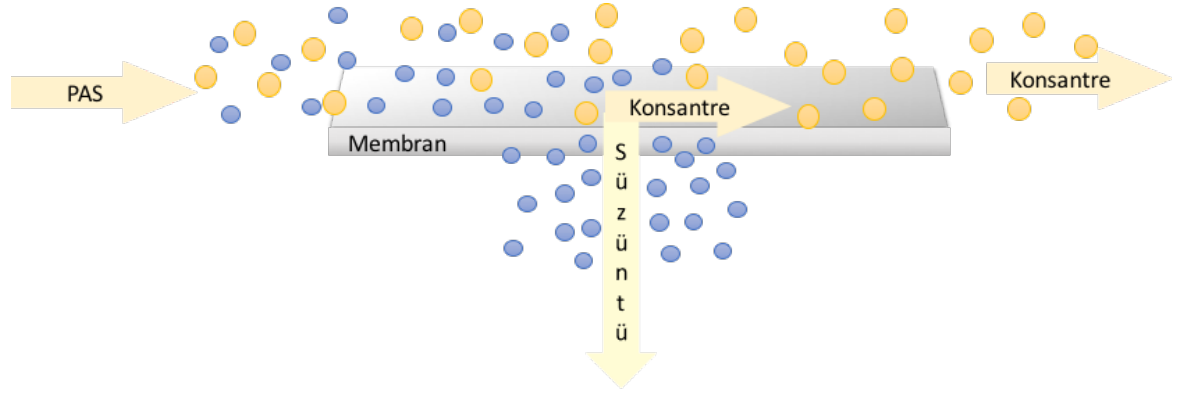
PAS'ın ana kuru madde bileşeni olan laktoz değerli bir karbonhidrat olduğundan, bu şekerin anaerobik fermentasyon işlemi ile biyogaz ve metan elde edilebilmektedir. Elde edilen biyogaz ile ışık ve ısıtma enerjisi olarak doğrudan kullanımı sağlanmaktadır. Bu işlem ile enerji üretimi sağlanırken, PAS'ın BOİ ve KOİ değerleri azalmaktadır. PAS'ın tavuk gübreleri ile karşımından verimli biyogaz üretimi sağlandığı gözlenmiştir. Tavuk gübresi yanı sıra, sığır gübreleri ile ilgili çalışmalar da mevcuttur (Demir, 2016).

Ereğli ilçesinde yapılan bir çalışmada, yılda 679.435 ton PAS eldeleri bulunmaktadır. PAS'ın tamamı biyogaz üretimi için kullanıldığında, 21.062,477 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi sağlanmaktadır. Isıl karşılığı ise, 505.499 GJ'dür (Tunçez, 2018).

## 1.6. PAS'ın Değerlendirme Yolları

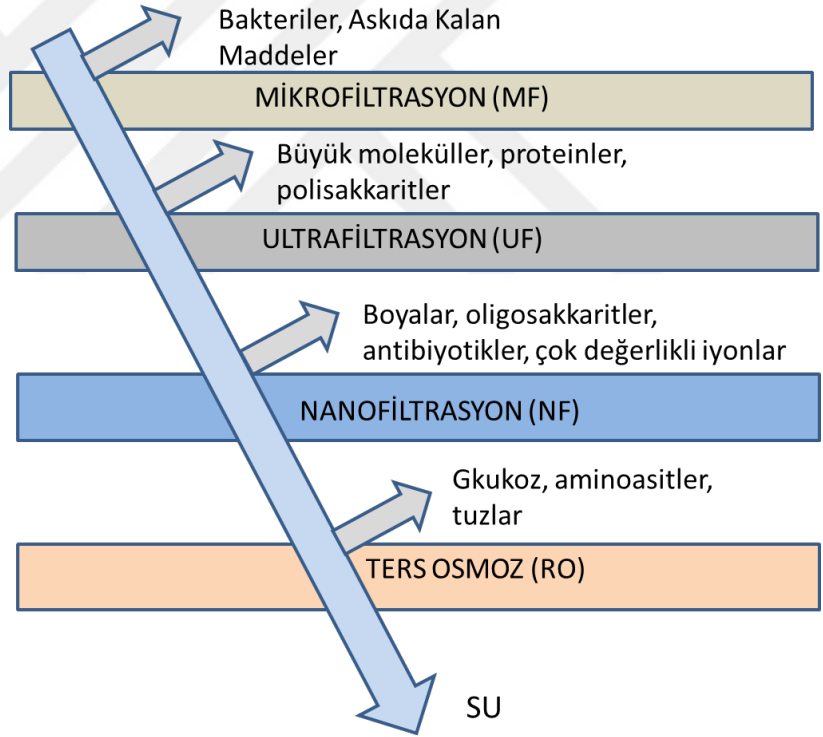
Membran uygulamaları düşük sıcaklıkta gıdayı işleme, gıdaların yüksek seçicilikte ayrılması ve konsantre edilmesi, evaporasyona göre daha az maliyet gerektirmesi gibi sebepler ile gıda işleme de farklı sektörlerde tercih edilmektedir (Lipnizki and Dupuy, 2013).

Mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO) membranları basınç uygulaması ile gözenek çap büyüklüğüne dayalı ayırım sağlamaktadır. Elektrodializ (ED) ve iyon değiştirme (İD) yöntemleri ise elektriksel kuvvet yardımı ile çok daha küçük moleküllerin ve iyonların ayırımını sağlamaktadır.



Şekil 1.6 Membran uygulaması ayırma prensibi(Çelik, 2016)

Membran uygulaması ile süzüntü ve konsantre isimleri ile adlandırabileceğimiz iki fraksiyon elde edilir. Süzüntü fraksiyonu membran gözeneklerinden geçebilecek boyuttaki molekülleri içerirken, konsantre fraksiyonu membran gözeneklerinden geçemeyen-alıkonulan molekülleri içermektedir.

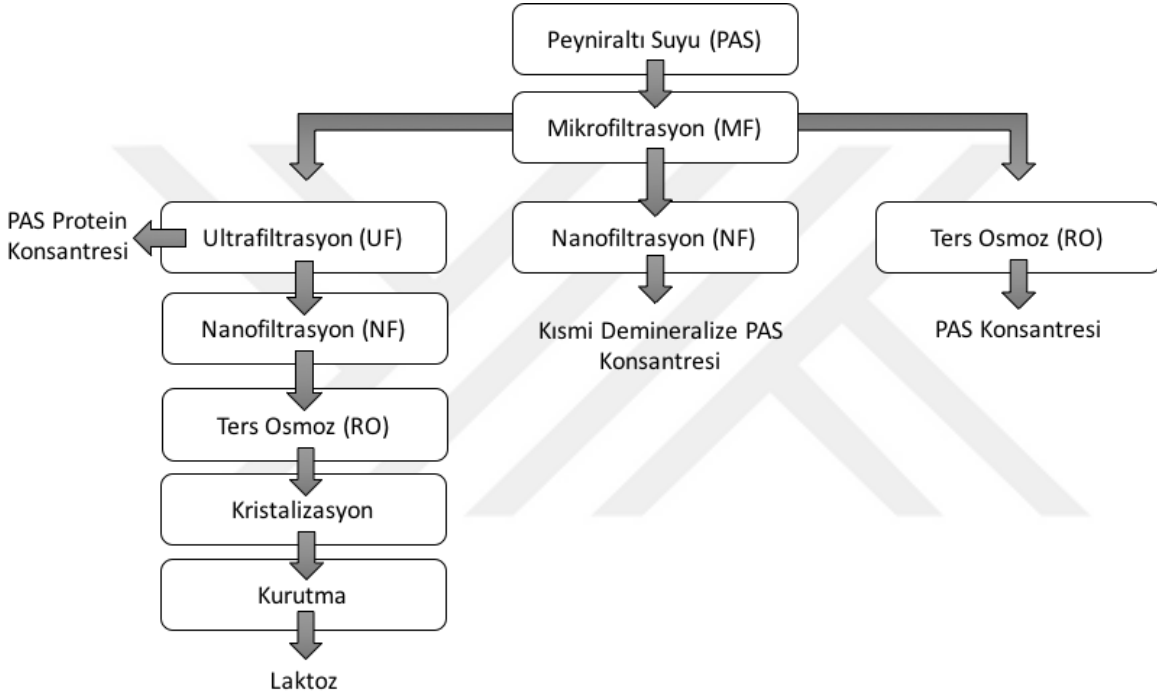


Şekil 1.7 Membranların gözenek boyutuna göre çözeltideki bileşenleri ayırma şematığı (Aslan, 2016)

Membran hammaddesi ve dayanıklılığına bağlı olarak farklı sektörler için farklı membranlar kullanılmaktadır. Membran seçiminde pH aralığı, uygulanabilecek basınç ve membran hammaddenin ürün ile reaksiyona girmemesi gibi faktörlere dikkat edilmelidir. Basınç uygulaması her membran türü için farklı aralıktadır. RO membran gözenekleri daha küçük olduğundan dolayı membran basınç dayanıklılığı daha yüksektir. Verimli membran uygulaması için ürüne uygun

membran seçimi yapılmalı ve membran için belirlenmiş aralıkta optimum proses uygulaması sağlanmalıdır (Aslan, 2016).

İçeriğinin zenginliği ve diğer etkenler sebebi ile, günümüzde PAS değerlendirilmesi için birçok membran uygulaması seçeneği mevcuttur. PAS, membran uygulamaları ile protein, laktoz, konsantre PAS gibi ürünler olarak değerlendirilebilmektedir. PAS konsantresi, PAS tozu, laktozu azaltılmış PAS tozu ve kısmi demineralize PAS tozu gibi birçok değerlendirme yolu mevcuttur (Lipnizki and Dupuy, 2013).



Şekil 1.8 Farklı membran uygulamaları ile farklı PAS ürünlerinin akış şeması (Lipnizki and Dupuy, 2013).

### 1.6.1. Mikrofiltrasyon (MF)

En geniş gözenek büyüklüğüne sahip membrandır. Bu sebeple, büyük moleküllerin ayrımı için tercih edilir. Bakterilerin, sporların, yağ globüllerinin ve PAS'ta pıhtı var ise yani kazein misellerinin ayrılmasını sağlar. Gözenek çapı 0.1-10  $\mu\text{m}$ 'dir. 100.000 Dalton'dan daha büyük moleküllerin ayrımını sağlar. Endüstride MF, bakteri yükünü azaltmak için genellikle ön işlem olarak tercih edilir (Seong-Hoon Yoon, 2015; Chandan and Kilara, 2011).

### 1.6.2. Ultrafiltrasyon (UF)

Gözenek çapı MF'a göre daha küçük olan membrandır. 0.01-0.1  $\mu\text{m}$  gözenek çapına sahiptir. Molekül ağırlıkları 1000'den büyük olan moleküller konsantre kısmında toplanırlar. Genellikle 1-10 bar gibi düşük basınç aralıklarında

uygulanır. UF uygulaması PAS işleminde tercih edilen bir membrandır. PAS'ta bulunan proteinlerin %35-85 aralığında ayrımını sağlar. Bu oran membran kalitesi, uygulanan sıcaklık, uygulanan pH, ürün kalitesi, uygulanan basınç gibi birçok etmene bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Seong-Hoon Yoon, 2015; Baldasso et al., 2016).

UF uygulaması ile süzüntüde laktoz, mineral, kısmi protein gibi moleküller yer alırken, konsantre kısmında protein, öncesinde MF uygulanıp uygulanmamasına göre de yağ globüleri içermektedir. Süzüntü fraksiyonu farklı membran uygulamalarından ya da evaporasyon işlemlerinden geçirilerek laktoz eldesi için, konsantre fraksiyonu ise protein konsantresi, izolatu gibi ürünlerin üretimi için kullanılır (Chandan and Kilara, 2011).

### 1.6.3. Nanofiltrasyon (NF)

Gözenek büyüklüğü  $10^{-3}$ - $10^{-2}$   $\mu\text{m}$ 'den küçük olan membranlar NF membranlarıdır. NF membranları molekül ağırlığı 200'den büyük olan organik bileşenlerin tutulmasını sağlar. 5-35 bar aralığında basınç uygulamasına dayanıklıdır. PAS'a NF uygulaması ile laktoz ayrımı ve kısmi demineralizasyon sağlanır. Bütünleşik membran uygulamaları ile yüksek saflıkta protein ve laktoz eldesi sağlanabilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda istenilen verim elde edilene kadar diafiltrasyon olarak adlandırılan, membrana yeniden besleme işlemi yapılmaktadır (Seong-Hoon Yoon, 2015; Baldasso et al., 2016, Pan et al., 2010).

PAS'a NF membran uygulaması ile kısmi demineralizasyon işlemi gerçekleşir. NF işleminde çok değerlikli ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) iyonların ayrılması daha iyi sağlanırken,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  gibi daha az istenen ve tuzlu tat oluşumuna sebep olan tek değerlikli iyonlar NF membranının süzüntüsünde birikmektedir (Pan et al., 2010).

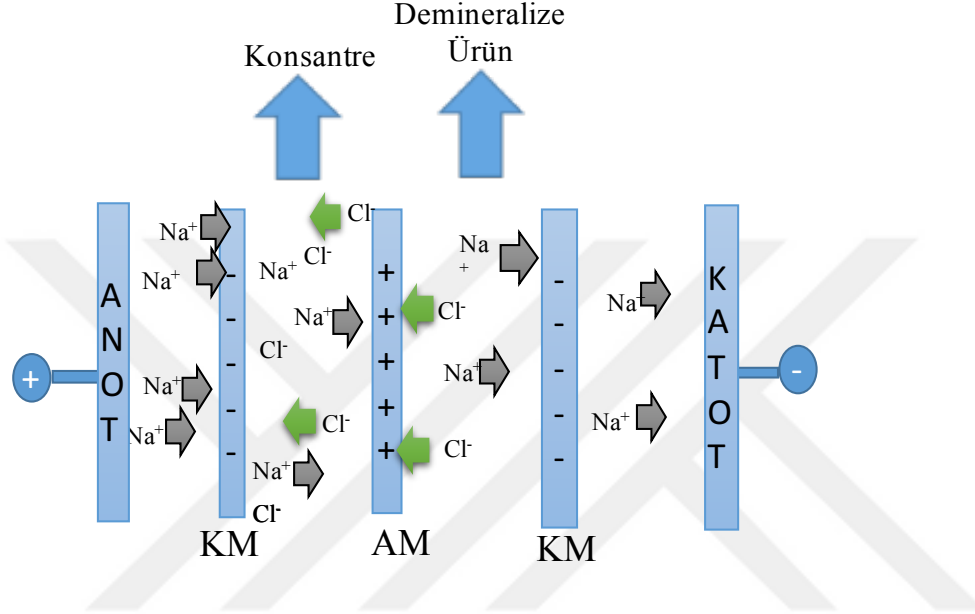
Literatürde, NF işleminin konsantre etmek ya da kısmi olarak iyonların ayrımının sağlanması amacı ile çeşitli kullanımları ve farklı membran sistemleri ile kombinasyonları mevcuttur. NF uygulaması ile maksimum %35 mineral giderimi sağlanabilmektedir ancak diafiltrasyon uygulaması ile bu giderim %45 değerlerine ulaşabilmektedir (Peinemann et al., 2010).

### 1.6.4. Ters osmoz (RO)

RO membranları  $10^{-4}$ - $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  gözenek çapına sahip ya da neredeyse gözeneksiz membranlardır. RO işleminde molekül ağırlığı 100 Da'nın altında olan moleküllerin ayrılması sağlanır. RO işlemi sonunda elde edilen süzüntü demineralize edilmiş sudur. RO işleminde diğer membran uygulamalarına göre daha yüksek basınç uygulanır. Endüstride yaygın olarak evaporasyon işlemi için kullanılmaktadır. RO sistemi deniz suyundan tuzundan arıtılmış su eldesinde, büyük çaplı olarak kullanılan bir yöntemdir. (Seong-Hoon Yoon, 2015; Wenten and Khoiruddin, 2016).

### 1.6.5. Elektrodializ (ED)

İyon değiştirici membranların anot ve katot arasında ardarda dizilimleri sonucu ED sistemi oluşmaktadır. ED işleminde tuzlu çözeltilerdeki iyonların elektriksel potansiyel uygulanarak ayrılması sağlanır. Gıda endüstrisinde PAS demineralizasyonu, şarap üretiminde  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  gibi katyon ve tartarat anyonlarını uzaklaştırarak tartarik stabilizasyonu sağlanmasında ve fermantasyon ortamından laktik asit kazanımında ED işlemi kullanılmaktadır (Lipnizki and Dupuy., 2013).



şekil 1.9 ED yönteminin çalışma prensibi (Lipnizki and Dupuy, 2013)

ED uygulamalarında membran yüzeyinde az çözünen kalsiyum tuzlarının toplanması ya da anyon değiştirici membran üzerinde protein fraksiyonu çökelmesinin (protein denaturasyonu) oluşması gibi membran kirlenmesine yol ačan ve ayırma işlemine engel olan birikmeler oluşmaktadır. Bu durum, membran polarizasyonunun değişmesine sebep olmakla birlikte, istenmeyen verim kayıpları da sebep olabilmektedir. Bu gibi istenmeyen durumları önlemek amaçlı berraklaştırma, santrifüj ya da MF uygulaması gibi bir ön adım uygulaması tercih edilmelidir. Böylelikle membran kirlenmesinin önlenmesinin yanı sıra, mikrobiyal üremenin önüne geçilmesi mümkün olabilmektedir (Prosekov et al., 2013; Houldsworth, 1980).

ED işlemi yüksek miktarda mineral içeriğine sahip çözeltilerin demineralizasyonu için uygun bir yöntemdir. Uygulama sırasında kimyasal kullanımı oldukça azdır, bu sebeple tercih edilmelidir. Ancak az mineral içeriğine sahip çözeltilerin demineralizasyon işlemi için verimli bir uygulama değildir. Çünkü elektriksel akım sıfıra doğru yaklaşır ve önemli bir verim kaybı yaşanmasına sebep olur. Bu sebep ile daha fazla mineral içeriğine sahip çözelti kullanmak için; NF ya da evaporasyon ön işlemleri ile kuru madde içeriği %20 dolaylarına

çıkarılarak çok daha verimli ve enerji tasarrufu sağlayarak ED işlemleri gerçekleştirilebilmektedir (Prosekov et al., 2013; Houldsworth, 1980).

ED oldukça hızlı ve verimli bir yöntemdir. ED işlemi ile çözümlenen sadece belli iyon değil, tüm iyonlar giderilebilmektedir. ED işlemi, NF uygulamalarında tek değerlikli iyonların süzülmesinde kalması sorununa çözüm olarak uygulanabilecek, mineral gideriminin %95 oranında gerçekleştirildiği bir süreçtir (Diblikova et al., 2010). ED uygulaması öncesinde konsantrasyon artışı sağlanmış ise, ED işleminde akım daha yüksek olacaktır ve böylelikle verim artışı sağlanabilecektir. Bu amaçla ED öncesi evaporasyon ya da NF uygulaması tercih edilebilmektedir (Simona et al., 2010).

Öte yandan, ED uygulamasında membran kirlenmesi en büyük sorunlardan birisidir. Membran yüzeyinde oluşabilecek kirlilik çalışma koşullarına göre farklılık göstermektedir.

ED ile demineralizasyonun endüstride uygulanabilmesi için; minimum organik madde kaybı, minimum enerji tüketimi ve olabildiğince minimum cihaz yatırımı gerekmektedir. Demineralizasyon işleminin optimizasyonu için; kullanılan membran tipi, kullanılan hammadde, proses koşulları (sıcaklık, elektriksel potansiyel, konsantre bileşenin iletkenliği) önemli olmaktadır (Simona et al., 2010).

### 1.6.6. İyon Değiştirme (İD)

İyon değiştirme (İD) sisteminde ise elektriksel yüke sahip reçineler ile iyon tutulması sağlanır. Reçine kapasitesine göre periyodik olarak uygun kimyasal çözelti ile reçinenin rejenere edilmesi gerekmektedir.

İD ve ED yöntemleri direkt demineralizasyon uygulamalarıdır. Her ne kadar İD sistemi ile ED işleminin ayırma mekanizmaları birbirine benziyor görünse de, İD sistemini ED işleminden ayıran en önemli farklılık, İD işleminde kullanılan reçinelerin rejenere edilmesinin gerekliliğidir. İD uygulaması sırasında anyon değiştirici reçinelerde bulunan  $\text{OH}^-$  ve katyon reçinelerde bulunan  $\text{H}^+$ , çözelti içerisindeki anyon ve katyonlar ile yer değiştirirler. Reçinelerin tekrar kullanılabilmesi için; reçinelerin çözümlenen ayırdığı minerallerin reçinelerden ayrılıp, yerlerine tekrardan  $\text{H}^+$  ve  $\text{OH}^-$  iyonlarının bağlanması gereklidir. Bu işlem rejenerasyon işlemi olarak tanımlanır ve İD işleminin uygulamasını zorlaştırmaktadır (Prosekov et al., 2013; Houldsworth, 1980).

Tablo 1.3'de PAS demineralizasyonu için kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir.

Tablo 1.3 NF, ED ve İD uygulamalarının avantaj ve dezavantajları (Prosekov et al., 2013; Lipnizki and Dupuy, 2013; Peinemann et al., 2010)

	<b>NF</b>	<b>ED</b>	<b>İD</b>
<b>Avantajlar</b>	*Kısmi demineralizasyon (sadece multivalent iyonların ortamdaki uzaklaştırılması)	*Rejenerasyon için özel kimyasal gerektirmemesi	*Tüm iyonların ortamdaki uzaklaştırılması
<b>Dezavantajlar</b>	*Süzüntüde monovalent iyonların derişiminin artması	*Konsantre bölmesinde mineral birikmesi sonucunda doygün çözelti elde edilmesi	*Yüksek hacimli atık oluşumu *Rejenerasyon için fazla miktarda kimyasal gerektirmesi



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tablo 2.1 Literatürdeki PAS için MF, UF, NF Uygulamaları

DENEYİME	PAS DERİŞİMİ	ÖN İŞLEM	KOŞULLAR		OPTİMUM KOŞUL	
			P (bar)	0.83		
pH ve sıcaklık etkisi	MF sonrası %5.5'lik PAS	Isoflux seramik MF (0.35 m <sup>2</sup> aktif alan)	Membran türü	GE Osmonics NF-DK, DL, HL	HL membranında 40°C'de, pH=3 %95 laktoz giderimi	Chandrapala et al., (2016)
			Sıcaklık	25, 40 °C		
			pH	3, 4.5, 7.3		
Cl Formunda reçine kullanımı	%8 derişimde PAS	Anyon değiştirici reçine ile Cl iyonunca zenginleştirilir	Membran türü	GE Osmonics NF membranı	%70 oranında tek değerlikli iyon giderimi	Okawa et al., (2015)
			Aktif alan (m <sup>2</sup> )	7.4		
NF uygulamasında pH etkisi	%6 derişimde PAS	X	Membran türü	TFC NF - 2540 SR	İzoelektrik noktada %72, kendi pH'ında %27 giderim	Pan et al., (2011)
			Aktif alan (m <sup>2</sup> )	2.3		
			pH	6.3, 4.6		
UF diafiltrasyon ile protein ayrılması	%6 derişimde mozeralla PAS'ı	X	Membran türü	Koch UF-6001	Sıklıkla az miktarda saf su ilavesi (diafiltrasyon) verimi arttırır. (%70 protein ayrımı)	Baldasso et al., (2011)
			Aktif alan (m <sup>2</sup> )	0.28		
			P (bar)	2		
			Sıcaklık	50°C		
NF ve diafiltrasyon işlemleri	%6.3-6.4 derişimde asit PAS	X	Membran türü	XN45 poliamid-üre NF	Tek değerlikli iyon giderimi %70-90 aralığında ve diafiltrasyonda verim daha yüksek	Roman et al., (2009)
			Aktif alan (m <sup>2</sup> )	0.046		
Hacim seyreltme faktör etkisi	%6 derişimde PAS	UF	Membran türü	GE.Osmonics NF- DS-5 ve DL	2 MPa'da hacim seyreltme faktörü=2	Cuartas-Urbe et al., (2009)
			P (MPa)	1, 2		
PAS ve UF'den geçmiş sütün NF işlemleri	%4.5-5 derişimde PAS ve %5 derişimde süt	X	Membran türü	GE Osmonics NF-DK2540C	%27-36 mineral giderimi Sütün akış hızı ve giderimleri daha yüksektir.	Suarez et al., (2009)
Membran tipinin etkisi	%6 derişimde mozeralla PAS'ı	X	Membran türü	Microdyn seramik ve oluklu lif MF	MF sonrası NF uygulaması konsantrasyon artışı amaçlı kullanılabilir	Rektor and Vatai (2004)
				Hoechst spiral bobin UF		
				Millipore R75A NF Dow HR-30		

Tablo 2.2 Literatürdeki PAS için ED Uygulamaları

DENEME	ÖN İŞLEM	KOŞULLAR		OPTİMUM KOŞUL	
Voltaj, ön işlem ve akış hızı etkisi	-Ultrafiltrasyon -Ters osmoz (Fluid Sciences Division of Unversal Oil Products) uygulanmış süzme PAS	Membran	Ionics 110BZL-219, 111EZL-219 anyon membranları ve Ionics 61CZL-813 katyon membranı	Voltaj arttıkça, demineralizasyon hızı ve miktarı da artmıştır. Harcanan enerji ise, %3-4 oranında değişiklik göstermiştir. Akış hızı ise, gözlemlenebilir bir etki yaratmamıştır. Ters osmoz ile konsantrasyon %12, UF ile %27 konsantrasyon sağlanmıştır. Bu sebep ile UF ile daha verimli giderimler sağlanmıştır.	Johnston et al., (1976)
		Akış hızı	50 ve 20 ml/dk		
		Voltaj	50, 85, 125 V		
		Hücre sayısı	18 birim		
Membran tipinin etkisi	Kağıt filtre ve 1.5 µm mikro filtre	ED Sistemi	Tokuyama TS-2-10 ED	Heterojen membranlar homojen membranlardan 0.6-0.7 mm daha kalındır ve fizikokimyasal yapılarından dolayı elektrokimyasal değişiklikler gözlenmiştir. Özellikle katyon membranda Ca <sup>2+</sup> iyonları yüzeyde kalmıştır ve seçiciliği oldukça azalmıştır.	Bleha et al., (1992)
		Membranlar	(homojen)Neosepta CM-2, AM-2 (heterojen)Ralex KK-1, VA-2 ve MKK-1T, MAK-2T		
		Hücre sayısı	10 birim		
		Aktif alan	0.4 m <sup>2</sup>		
		Sıcaklık	24-29 °C		
Sıcaklık ve akış hızı etkisi	-Sentetik olarak elde edilmiş ultrafiltrate edilmiş süt -UF edilmiş PAS konsantresi	Membran	SC-1, SA-1	Ultrafiltrate edilmiş süt, UF edilmiş PAS konsantresine göre daha hızlı giderim sağlamıştır. Bunun sebebi ise, PAS'ta yoğun haldeki Ca <sup>2+</sup> iyonlarının ve fosfatın proteinlere bağlanmasıdır. En verimli ED, 230 L/s akış hızında 35 °C'de gözlenmiştir.	Perez et al., (1994)
		Hücre sayısı	10 birim		
		Aktif alan	100 cm <sup>2</sup> /membran		
		Sıcaklık	25, 35, 45 °C		
		Akış hızı	100, 160, 230 L/s		

Membran kirlenmesi	X	Sabit akım	13 mA/cm <sup>2</sup>	Anyon membranda nötral ve asidik pH'ta protein kirlenmesi, Katyon membranda bazik pH'ta mineral kirlenmesi gözlenmiştir.	Ayala.Bri biesca et al., (2006)
		Membran türü	Neosepta anyon (AMX-SB) ve Neosepta katyon (CMX-S)		
		Aktif alan	10 cm <sup>2</sup>		
		Membran sayısı	2'şer birim		
Voltaj ve membran aralık etkisi	Santrifüj	Voltaj	35, 50, 75 V	Aralık genişliğinin ED verimine ve harcanan enerjiye önemli bir etkisi yoktur. Voltaj artması ile daha kısa sürede daha yüksek verim elde edilebilmektedir. Ancak harcanan enerji miktarı da arttığından dolayı, optimum çalışma koşulu belirlenmelidir.	Simova et al., (2010)
		Derişim	%5,5 derişimde tatlı PAS		
		Membran türü	Ralex AMH.PES, CMH.PES		
		Membran sayısı	50 birim		
		Aktif Alan	400 cm <sup>2</sup>		
		ED sistemi	Mega ED		
		Sıcaklık	15 °C		
Aralık Kalınlığı	0,8 mm, 1 mm				
Tuz etkisi	35°C'de, 0.125 MPa'da TaMI Industries seramik MF membran	Voltaj	20 V	Her iki denemede de %90 ve üzeri mineral giderimi sağlanırken, NaCl eklenmeyen daha kısa sürmüştür	Diblikova et al., (2010)
		Derişim	%5-7'lik PAS		
		Membran türü	Ralex membran		
		Membran sayısı	10 birim		
		ED sistemi	Mega ED-Z mini		
		NaCl ilavesi	%1		
Kuru madde etkisi	ARNO 700 MF membran uygulaması	Voltaj	20 V	Kuru madde oranı verimsel bir fark yaratmamıştır. %83-100 aralığında K <sup>+</sup> ve Na <sup>+</sup> ayrımı, %61-96 aralığında Mg <sup>2+</sup> ve Ca <sup>2+</sup> ayrımı sağlanmıştır.	Diblikova et al., (2013)
		Derişim	%7, 14, 21		
		Membran türü	Ralex AMH-PES ve CMH-PES		
		Aktif alan	64 cm <sup>2</sup>		
		Membran sayısı	20 birim		
		ED Sistemi	Mega ED		
Membran ve ön işlem etkisi	-Evapore edilmiş tatlı PAS -Nanofiltre edilmiş asit PAS	Voltaj	12 V	Nanofiltrasyon ön işlemi, evaporasyondan daha verimlidir. Daha fazla iletkenlik giderimi sağlanmıştır. İki membran denemesi birbirine yakın olsa da Ralex AF-CF membranı %3-5 oranında daha yüksek verime ulaşmıştır.	Ecer et al., (2015)
		Membran Türü	Ralex AF-CF- (seçiciliği ve yüzey alanı daha düşük) Ralex AMH-PES, CMH-PES		
		ED Sistemi	EDR-Z		
		Akış hızı (L/s)	58-konsantre ve seyreltik kompartmanı 50-elektrot yıkama		
		Hücre sayısı	10		

Laktat iyon giderimi ve sıcaklık etkisi	Koch UF ve santrifüj işlemlerinden geçirilir	Voltaj	7 V	45°C'de %80 laktat iyon ayrımı ve %90 toplam mineral ayrımı	Chen et al., (2016)
		Derişim	%6-7 derişimde asit PAS		
		Membran türü	Neosepta AHA ve CMB		
		Membran sayısı	2'şer birim		
		ED sistemi	FuMA-Tech GmbH FT-ED-40		
		Sıcaklık	5, 45 °C		

PAS'ın içeriği gözden geçirildiğinde içerisinde ortalama %8 mineral madde bulunmaktadır. İçerdiği bu yüksek mineral oranı sebebi ile, kullanıldığı ürünlerde çeşitli tatsal ve reolojik istenmeyen durumlar gözlenmektedir. Bunu önlemek ve özellikle bebek mamalarındaki kullanımını daha da güvenli hale getirmek amacı ile demineralizasyon işlemi uygulanmaktadır. Demineralizasyon işleminde günümüzde NF, İD ve ED sistemleri kullanılmaktadır. Sektörel boyutta düşünüldüğünde ise, yaygın olarak NF uygulamasının tercih edildiği görülmektedir. Ancak, kullanılan NF membran sistemi sadece kısmi demineralizasyon sağlamaktadır. NF işleminin 2. veya 3. tekrarı sonucunda %40-50 oranında mineral giderimi sağlanmaktadır. İD ve ED ise, NF sistemine göre yatırım maliyetlerinin daha yüksek olması ve optimizasyon çalışması gereksiniminden dolayı günümüzde sektörde yer edinememiştir. Oysa ki, ED ve İD sistemlerinin laboratuvar koşullarındaki denemeleri sonucunda %90 ve üzeri mineral giderimleri elde edilmiştir. Bu giderimler oldukça umut vaat edici olup, konu üzerinde detaylı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Roman et al., 2009, Greiter et al., 2002).

İD ve ED kıyaslaması yapıldığında ise, İD'nin enerji tüketimi ve atık su miktarı ED sisteminin neredeyse üç katı kadardır. Mineral giderimleri ise, İD uygulaması için %95 ve üzeri iken ED uygulaması için %90 ve üzeri durumundadır. Literatürde ED öncesi MF, UF ya da NF uygulamaları ve sonrasında uygulanacak olan ED işlemi ile mineral gideriminin rahatlıkla %95 üzerinde çıkarılacağı belirtilmiştir. Bu sistemlerin denenmesi ve gerçekleştirilecek maliyet hesabı ile, ED sisteminin sektörde de yer alabilmesi ve tam demineralize PAS eldesi ve kullanımı sağlanabilmesi vurgulanmıştır (Greiter et al., 2002; Greiter et al., 2004).

ED sistemi, bir elektrokimyasal membran sistemidir bu uygulama ile elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında ortalama %90 tuz giderimi ile hızlı ve etkili sonuç alınmaktadır. Bu sistem en fazla tuz içeren çedar PAS'ı demineralizasyonunda bile yüksek verimde kullanılabilir potansiyele sahiptir. ED sistemi son 20 yıllık süreçte ilgi görmeye başlamıştır. Aslında yeni bir sistem olmasından ve kurulum için yatırım gerektirmesinden dolayı kullanımı yaygın

değildir. Oysa ki NF ile 3 kere tekrarlanarak gerçekleştirilen ve süre gerektiren işlem sonucunda %40-50 mineral giderimine ulaşmak büyük bir verim kaybıdır. Çok daha kısa sürede, minimum %90 mineral giderimine ulaşmak ED sistemi ile oldukça kolaydır. Ancak bu süreçte uygulanacak voltaj, harcanacak süre ve oluşacak atık su ve atık suyun çevre kirliliği açısından değerlendirilmesini sağlayacak KOİ ve BOİ değerleri önem teşkil etmektedir.

Greiter et al. (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ED ve İD sistemlerinin kıyaslaması yapılmıştır. NF uygulaması ile %30 kül azalımı sağlanmıştır. Mineral giderimi, İD uygulaması ile %99, ED uygulaması ile %90 düzeyinde sağlanmıştır. ED sisteminde Neosepta AMX ve CMX iyon değiştirici membranları kullanılmıştır. İD ile demineralizasyon işlemi 4 saat sürerken, ED uygulaması 4.5 saat sürmüştür. ED ile gerçekleştirilen demineralizasyon işleminde İD'ye kıyasla üç kat daha az enerji harcandığı tespit edilmiştir. Çalışma sonunda NF uygulamasının verimli bir ön işlem olacağını ve daha sonrasında ED sistemi ile verimli demineralizasyon gerçekleştirilebileceğini ve bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 2.3 NF'den gelen PAS'ı demineralize eden işletmeye ait veriler (Greiter et al., 2002).

Uygulanan Proses	Parametreler	Alan/Kilo/Hacim	Gerekli Olan Enerji (kWsaat)
<b>Elektrodiyaliz</b>	Membran Yüzeyi	212 m <sup>2</sup>	
	İyon Ayrımı		242
	Pompalar		189
	KOİ Azalımı		<b>142</b>
	Atık Su	<b>56 m<sup>3</sup></b>	
	Kül	<b>365 kg</b>	
<b>İyon Değiştirme</b>	Katyon Değiştirici Reçine	4 m <sup>3</sup>	
	Anyon Değiştirici Reçine	3.6 m <sup>3</sup>	
	Pompa		6,6
	KOİ Azalımı		<b>439</b>
	Atık Su	<b>167 m<sup>3</sup></b>	
	Kül	<b>1634 kg</b>	

PAS besleyici içerik olarak zengin olsa ve tercih edilmek istense de, PAS konsantrasi oldukça yüksek miktarda tuz içermektedir. Bu tuz miktarı gıda sektöründeki kullanım alanını kısıtlamak ile beraber, bazı çekinceler yaratmaktadır. Bu amaç ile demineralizasyon dediğimiz, içeriğindeki anyon ve katyonların ayırımına dayanan işlem uygulaması yapılmalıdır. Bu amaç ile kullanılan çeşitli yöntemler olmakla beraber genel olarak; iyon değiştirici, elektrodiyaliz, nanofiltrasyon ve ters ozmos tercih edilmektedir.

Greiter et al. (2004)'nın çalışmalarında, ED ve İD sistemlerinin kıyaslaması yapılmıştır. Gerçekleştirilen ED çalışmasında yüksek molekül ağırlıklı iyonların ayırımının bile daha başarılı yapıldığı gözlenmiştir. Bunun yanında sodyum glukonat ayırımı için ED için 97-91.7 Wh/mol toplam enerji gerekirken, İD sisteminde ihtiyaç duyulan toplam enerji miktarı 291.1-190.5 Wh/mol olarak bulunmuştur. Oluşan atık suların KOİ değerlerini incelediklerinde, hem İD uygulaması sonucu üretilen atık su miktarının daha fazla, hem de KOİ değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. ED uygulamasında toplam enerji tüketimi çok daha az olduğundan dolayı ve demineralizasyon işleminden sonra İD uygulamasında evaporasyona ihtiyaç duyulmasından dolayı, İD'ye kıyasla ED uygulamasının tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Literatürde PAS ile ED ve İD uygulamaları gerçekleştirilip, karşılaştırılmaları yapılmıştır. Bu amaç ile laboratuvar boyutunda, 9 adet anyon ve kation değiştirici membran içeren ED sisteminde 18-27 V aralığında uygulama yapılmıştır. Çalışma sonucunda %50 iletkenlik giderimi ve yaklaşık %50 mineral giderimi sağlanmıştır. Uygulanan İD uygulamasında ise, %90-99 oranlarında iletkenlik ve mineral giderimi sağlanmıştır ( Prosekov et al., 2013 ).

PAS'a uygulanan NF işleminde ise ağırlıklı olarak çift değerlikli iyonların ayırımını sağlamaktadır. ED işleminde ise tek ya da çift değerlikli iyonlar ayrılabilir. Çift değerlikli iyonlar (kalsiyum, magnezyum, demir) insan sağlığı açısından önemli ve gerekli olan iyonlardır, tek değerlikli iyonlar (sodyum, klorür, potasyum) özellikle sahip oldukları tuzlu tattan dolayı gıdalarda istenmemektedir (Rice et al., 2005; Bazinet, 2005 ).

Rice et al. (2005), PAS'ın UF uygulamasının ardından süzütünün demineralizasyonu için NF ve ED sistemlerini karşılaştırmışlardır. Bildirilen sonuçlara göre, NF membranları %30-70'a kadar olan tüm iyonların uzaklaştırılmasında etkili olmuştur. Farklı iyonlar için elde edilen sıralama  $Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^{+} > K^{+}$  şeklinde olmuştur. Demineralizasyon işlemi sırasında, özellikle monovalent iyonların uzaklaştırılması için, NF işleminin gerekli performansı sağlamadığı görülmüştür. Öte yandan, tüm iyonların ED yöntemiyle giderilmesi başarılı bir şekilde gerçekleşirken, ortalama iyon giderimi %90 düzeyinde sağlanmıştır.

Suarez et al. (2009) tarafından NF denemeleri gerçekleştirilmiştir. NF membranı ile PAS ve sütün UF sonrası konsantre kısmı ile kısmi demineralizasyon denemeleri yapılmıştır ve NF uygulaması ile %27-36 oranında toplam iyon giderimi sağlanmıştır. UF'den geçirilmiş sütün NF'deki akış hızı PAS'ın akış hızına göre daha hızlı ve mineral tuz gideriminin daha fazla olduğunu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak, PAS'ın proteince daha zengin olmasından dolayı, membran üzerinde jel tabaka oluşumu meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Roman et al. (2009), tarafından gerçekleştirilen çalışmada asit PAS'ı (keçi PAS'ı) diafiltrasyon işlemine maruz bırakıldıktan sonra NF uygulaması ile

demineralizasyon denemeleri yapılmıştır. Aktif membran alanı 0.046 m<sup>2</sup> olan XN45 poliamid-üre NF membranı kullanılmıştır. Çalışmalarda tek değerlikli iyonların ayrılması %70-90 aralığında olmuştur. Uygulanan diafiltrasyonun tek değerlikli iyonların ayırımında önemli verim artışı sağladığını bildirmişlerdir.

Mineral tuzlar; gıdanın tadını, dokusunu ve kalitesini önemli oranda etkilemektedir. Diblikova et al. (2010) PAS'ı ED işlemi ile demineralize etmiştir. Bunun için PAS öncelikle 35 °C'ye ısıtılarak, MF işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonra 20 V elektriksel potansiyel altında 10 çift iyon değiştirici Ralex membranlarını içeren ED-Z mini (Mega) model ED sistemi kullanılarak demineralizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı işlem koşullarında kullanılan PAS'a %1'lik NaCl ilavesi ile işlem tekrarlanmıştır. Her iki uygulama sonucunda, %90'dan fazla mineral giderimi sağlanırken, normal PAS için işlem süresi 50 dakika, tuz ilaveli PAS için ise 65 dakika olmuştur.

Pan et al. (2011), NF ile demineralizasyon denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Aktif membran yüzey alanı 2.3 m<sup>2</sup> olan TFC 2540 SR2 membranı kullanılmıştır. %6'lık PAS farklı pH'larda NF'a tabii tutulmuştur. Ortalama olarak, mineral tuz giderimleri %27-36 aralığındayken, PAS'ın izoelektrik noktasında (pH=4.6) gerçekleştirilen NF denemesinde %72 düzeyinde demineralizasyon sağlanmıştır. Bunun sebebi olarak, izoelektrik noktada protein ve iyonlar arasındaki bağın zayıflaması ve iyon ayırımının daha kolay gerçekleşmesi olduğu düşünülmüştür. %60 oranında K<sup>+</sup> ve Na<sup>+</sup> ayrılması sağlanırken, %19 Ca<sup>2+</sup> ve %10 Mg<sup>2+</sup> ayrımı sağlanmıştır.

Diblikova et al. (2013) gerçekleştirdikleri ED çalışmalarında kuru madde ve sodyum derişiminin etkileri araştırmıştır. Bu amaçla %7, %14 ve %21 derişimde PAS çözeltileri hazırlanarak, ARNO 700 membranı ile MF uygulaması yapılmıştır. Sonrasında 20 adet Ralex AMH-PES ve CMH-PES iyon değiştirici membranlarını içeren ED-Z model ED sistemi kullanılarak 20 V elektriksel potansiyel uygulanmıştır. En hızlı %83-100 aralığında K<sup>+</sup> ve Na<sup>+</sup> iyonları için sağlanırken, Ca<sup>2+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> ayrımı %61-96 sağlanmıştır. Kuru madde oranındaki değişiklik net bir fark yaratmamıştır. %1,2 ve 3'lük NaCl ilavelerinde, NaCl konsantrasyonu artığında, daha yüksek verim elde edilmiştir. Çünkü tuz miktarının fazla olması daha fazla itici güç oluşumunu sağlamıştır. Tüm uygulamalarda 2 saatte %90 dolaylarında tuz giderimi sağlanırken, herhangi bir proses zorluğu yaşanmadığını bildirmişlerdir. ED ile demineralizasyon üzerine ve atık su miktarının azaltılması üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Okawa et al. (2015), NF ile sadece kısmi demineralizasyon sağlanabileceğini belirtmişlerdir. PAS öncelikle anyon değiştirici reçine ile Cl<sup>-</sup> iyonunca zenginleştirilmiştir. Daha sonra NF uygulaması ile %70 oranında tek değerlikli iyonların ayrımı sağlanmıştır. NF, ED ya da İD uygulamalarının kombine prosesleri ile başarılı demineralizasyon sonuçlarının elde edileceğini belirtmişlerdir.

Farklı demineralizasyon verimlerinin elde edilmesinin ana sebebi; membran üzerinde çözelti içeriğindeki protein ve tuzdan kaynaklanan sınırlayıcı tabakanın oluşmasıdır. Bu da konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılmıştır (Perez et al., 1994).

Bu tez çalışmasında, UF+ED ve NF+ED ardışık uygulamaları kullanılarak PAS'ın optimum koşullarda demineralizasyonu hedeflenmiştir.





### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

UF denemelerinde Maybi firmasından temin edilmiş PAS tozu kullanılmıştır. Bu amaçla PAS tozunun ultra saf su içinde %6'lık çözeltisi hazırlanmıştır. NF denemelerinde ise Gürsüt Progıda işletmesinden temin edilen PAS örneklerinin karışımı kullanılmıştır. Aşağıdaki tablolarda her iki PAS'ın bileşimi yer almaktadır.

Tablo 3.1 Maybi firmasından temin edilen PAS tozu bileşimi

<b>PAS tozu bileşenleri (%)</b>	
Protein	11.55
Laktoz	78.82
Yağ	0.33
Tuz	2.82
pH	6.48

Tablo 3.2 Progıda firmasından temin edilen PAS'ın bileşimleri

PAS 1						PAS 2					
pH	İletkenlik (mS/cm)	TÇK (g/L)	Tuzluluk (‰)	Protein (%)	Laktoz (%)	pH	İletkenlik (mS/cm)	TÇK (g/L)	Tuzluluk (‰)	Protein (%)	Laktoz (%)
5.27	10.60	5.81	6.01	0.44	3.81	4.47	7.19	3.81	3.96	0.76	5.51
PAS Karışım-I (PAS-1 70% + PAS-2 30%)											
pH		İletkenlik (mS/cm)	TÇK (g/L)	Tuzluluk (‰)	Protein (%)	Laktoz (%)					
5.14		9.27	5.01	5.20	0.47	4.01					
PAS Karışım-II (PAS Karışım-I + NF-270 Konsantre)											
pH		İletkenlik (mS/cm)	TÇK (g/L)	Tuzluluk (‰)	Protein (%)	Laktoz (%)					
4.52		10.00	5.51	5.68	0.59	5.68					

#### 3.2 SEPA CF-II Sistemi ile Membran Testleri

UF ve NF membran denemeleri Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan SEPA CF-II (GE Osmonics) membran test sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Sistem

üzerinde membran ünitesi, kontrol paneli, hidrolik el pompası, yüksek basınç pompası (Hydra Cell D/G-03-X Tipi ) ve besleme tankı yer almaktadır.



Şekil 3.1 Sepa CF-II membran test sistemi

Deneylerde besleme tankında bulunan PAS, yüksek basınç pompası ile basınç uygulandığında membran hücresinin alt kısmından membran hücreğine giriş yapmaktadır. Membran hücreğine gelen PAS'ın bir kısmı membran gözeneklerinden süzülerek hücre gövdesinin üzerinde yer alan çıkış hattından çıkış sağlar. Buradan sağlanan akış, süzüntü olarak toplanmaktadır. Membran gözeneklerinden geçemeyen kısım ise vananın bulunduğu kısımdan elde edilir. Bu kısım ise konsantre akım olarak adlandırılır. Yapılan çalışmalarda konsantre kısmı besleme tankına geri beslenmiş, süzüntü kısmı ise ED çalışmalarında kullanılmak üzere ayrı bir tankta toplanmıştır. Membran hücre basıncı ve konsantre akış hızı, konsantre vanası yardımıyla ayarlanmıştır.



Şekil 3.2 Sepa CF-II Sistemi, PAS besleme ve süzüntü tankları

### 3.2.1 Düz tabaka membran test ünitesi

Membran ünitesi hücre alt gövdesi, hücre üst gövdesi ve hücre tutucudan oluşmaktadır.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3.3 Sepa CF-II Sistemi, düz tabaka membran test ünitesi

#### 3.2.1.1 Hücre alt gövdesi

Hücre alt gövdesi üzerinde o-halkalar, Şekil 3.3.a'da görülmektedir. O-halkalar test sisteminde herhangi bir sızıntı olmaması amacı ile düzgün yerleştirilmelidir. Düz tabaka membran Şekil 3.3.b, besleme ayırıcı ise Şekil 3.3.c'dir. Besleme ayırıcıları hücre alt gövdesine yerleştirilir, beslemenin ilk girdiği yerde kaba filtre görevi uygularlar.

Kullanılacak olan membran hücre alt gövdede yer alan direklerden geçirilerek membranın yanlış yerleştirilmesinin ya da hücre gövdesini kapatırken herhangi bir kayma olmasını önlemektedir. Membranın aktif olan yüzeyi (parlak yüzey) besleme ayırıcısına bakacak şekilde yani aktif yüzeyi hücre alt gövdesine dönük şekilde yerleştirilmelidir.

Konsantre vanası ve manometre hücre alt gövdesi ile bağlantıya sahiptir. Konsantre hücrenin çıkışına monte edilen paslanmaz çelik konsantre akış kontrol valfi, membran yüzeyi üzerine doğru akış ve basınç kontrolünü sağlar.



Şekil 3.4 CF-II membran test sistemi, düz tabaka membran test ünitesi ve manometre

### **3.2.1.2 Hücre üst gövdesi**

Çalışmalarda süzüntü taşıyıcısı (Şekil 3.5), hücre üst gövdesi üzerine yerleştirilir.



Şekil 3.5 Sepa CF-II membran test sistemi, düz tabaka membran test ünitesi üst gövdesi

### **3.2.1.3 Hücree tutucu**

Alt ve üst hücre kapatıldığında, hücre tutucunun içerisine yerleştirilmelidir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Sepa CF-II membran test sistemi, düz tabaka membran test ünitesi ve hücre tutucu

### **3.2.1.4 Hidrolik el pompası**

Hidrolik el pompası, (Enerpac, maksimum basınç 69 bar) hücre tutucuyu basınç altında tutmak için kullanılmaktadır (Şekil 3.7). Hidrolik el pompası mekanizması ile dış basınç ayarı yapılarak (çalışılmak istenen basıncın minimum 10 bar üzerinde olmalı), hücrenin sızdırmasının önüne geçilir.



Şekil 3.7 Sepa CF-II Sistemi, düz tabaka membran test ünitesi, hücre tutucu ve hidrolik el pompası

Tablo 3.3'de Sepa CF-II düz tabaka membran test ünitesinin çalışma parametreleri verilmiştir.

Tablo 3.3 Membran test ünitesi çalışma parametreleri.

<b>Etkin Membran Alanı (cm<sup>2</sup>)</b>	140
<b>Tutma Hacmi (L)</b>	70
<b>Maksimum Basınç (bar)</b>	69
<b>Maksimum Sıcaklık (°C)</b>	177
<b>pH Aralığı</b>	Membran özelliğine bağlı

SEPA CF-II membran elemanı hücresi, hücre gövdesine gerçek sıvı akışını sınırlamak üzere tasarlanmıştır. Hücre tutucu çalışma süresince kullanılan çözelti ile temas etmez. Ancak çözeltinin dökülmesi nedeniyle oluşabilecek oksidasyon ve korozyonu önlemek için yüksek dereceli anodize alüminyumdan yapılmıştır. Test ünitesinin yapımında kullanılan malzemeler Tablo 3.4'te verilmiştir. Tablo 3.5'te ise düz tabaka membran ünitesi boyutları ve ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 3.4 Sepa CF-II membran test ünitesinin malzemeleri

<b>Membran Ünite Bölümü</b>	<b>Materyal</b>
Hücre gövdesi	Paslanmaz çelik
Hücre tutucu	Anodize alüminyum
Konsantre akış kontrol vanası	Paslanmaz çelik
Manometre	Paslanmaz çelik
O.halkalar	Viton

Tablo 3.5 Sepa CF-II membran test ünitesi bölümlerinin boyutları ve ağırlıkları

<b>Makine Bölümü</b>	<b>Bölüm Boyutları(cm)</b>	<b>Bölüm Boyutlarının Ağırlığı (kg)</b>
Hücre gövdesi	16.51 x 21.3 x 5.0	28
Hücre tutucu	20 x 28 x 20	21
Membran	19.1 x 14.0	0.5
Süzüntü Taşıyıcı	14.6 x 9.5	0.5

Tablo 3.6 Üst sıcaklık limitleri

<b>Hücre</b>	177°C
<b>Membran</b>	Membran özelliklerine bağlı
<b>Besleme Ayırıcısı</b>	82°C
<b>Süzüntü Taşıyıcısı</b>	82°C

### **3.2.1.5 Besleme tankı**

Maksimum 50 L kapasiteli yüksek yoğunluklu polietilenden yapılmış besleme tankı kullanılmıştır.

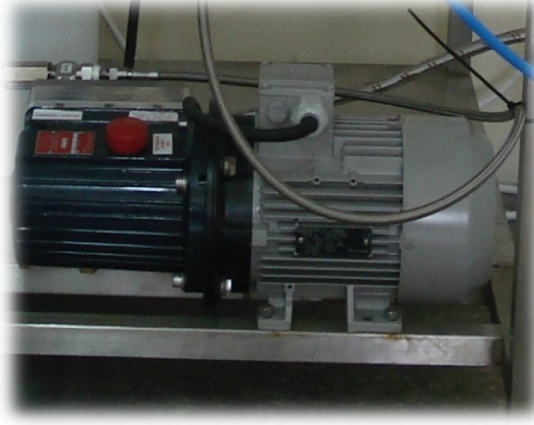


Şekil 3.8 Besleme tankı

### **3.2.1.6 Yüksek basınç pompası**

Maksimum kapasitesi 11.3 L/dak ve maksimum basıncı 70 bar olan Hydra Cell D/G-03-X tip yüksek basınç pompası sistemde yer almaktadır. Besleme akış hızının ayarının yapılabilmesi için dijital değişken enerji frekansı kullanılmaktadır.

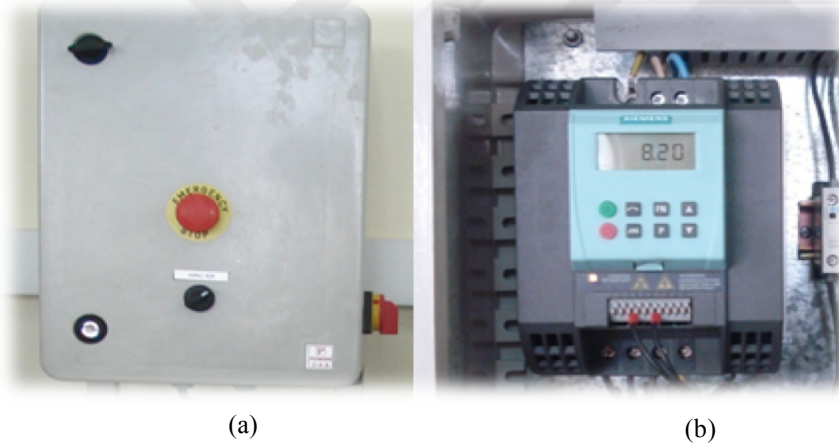




Şekil 3.9 Yüksek basınç pompası

### **3.2.1.7 Kontrol paneli**

Dijital değişken enerji frekansı, kontrol paneli içine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.10 Kontrol paneli (a) ve frekans ayarlama (b) sistemi



### 3.3 UF ve NF Membranları

Tablo 3.7 Kullanılan UF membran özellikleri (Lenntech, 2019)

Membran Türü	UF-GH	UF-GM
Üretici	GE Osmonics	GE Osmonics
Materyal	Polivinilidin Florür	Poliyeten Glikol
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	70°C	50°C
Çalışma Çalışma Basıncı	27 bar	13.8 bar
Tipik İşletme Akısı	8-34 LMH	8-34 LMH
pH Aralığı	1-11	2-10

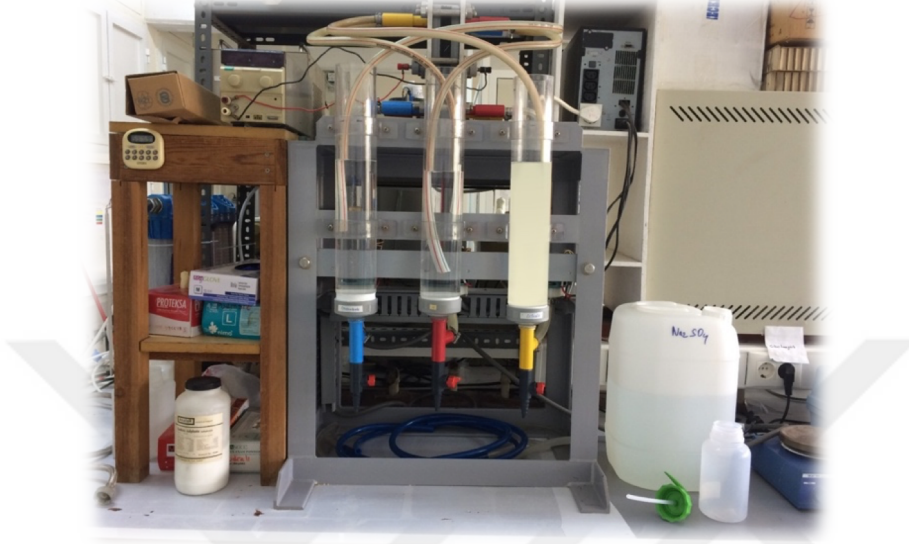
Tablo 3.8 Kullanılan NF membran özellikleri (Dow, 2019)

Membran Türü	NF-270	NF-90
Üretici	DOW Filmtec	DOW Filmtec
Materyal	Poliamid İnce Film Kompozit	Poliamid İnce Film Kompozit
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	45°C	45°C
Maksimum Çalışma Basıncı	41 bar	41 bar
pH Aralığı	3-10	2-11
Stabilize Tuz Giderimi (%)	>%97	>%97
Süzüntü Akış Hızı (m <sup>3</sup> /d)	47	7.6

### 3.4 ED Testleri

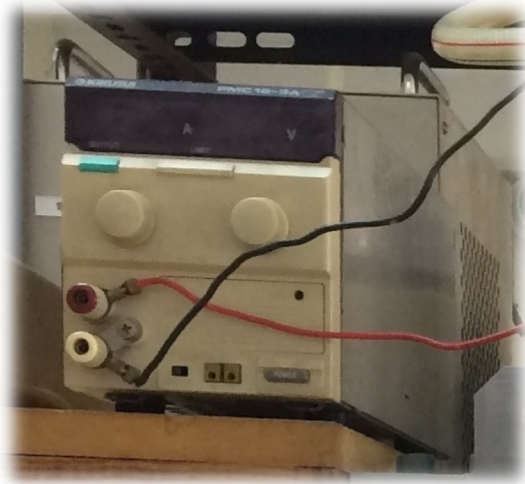
#### 3.4.1 Tokuyama TS-1-10 ED sistemi

Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Tokuyama TS-1-10 model ED sistemi Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Tokuyama TS-1-10 sistemi

Sarı rezervuar diluat denilen seyreltik akımın (demineralize edilmek istenen çözeltinin yer aldığı rezervuar), kırmızı rezervuar elektrot çözeltisinin, mavi rezervuar ise konsantre akımın toplandığı rezervuardır. Konsantre ve seyreltik bölmelerde pompa çıkışına bağlı bulunan akı ölçerler ile manuel olarak kayıt tutulmaktadır. Pompanın kapasitesine göre gerçekleşen akış hızına müdahale yapılamamaktadır.



Şekil 3.12 Tokuyama TS-1-10 ED sisteminde akım-voltaj ölçer

Şekil 3.10'da görüldüğü üzere akım ve voltaj ölçer kullanılarak sabit voltaj altında çalışma yapılmış, akım takibi yapılarak akım 0.02 A'e düşüp sabitlendiğinde deneyler sonlandırılmıştır.

Bu sistemde elektrotlar arasında katyon-anyon-katyon sıralaması ile dizilmiş 10 çift Neosepta anyon ve katyon değiştirici membranlar bulunmaktadır. Sistem içerisinde yer alan membranların özellikleri Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9 Neosepta membranlarının özellikleri (Astom, 2019)

MEMBRAN	Neosepta CMX	Neosepta AMX
<b>Kullanım Alanları</b>	-PAS demineralizasyonu -Organik saflaştırma -İnorganik konsantresi -Şeker demineralizasyonu -Yeraltı suyunun demineralizasyonu	-PAS demineralizasyonu -Organik saflaştırılması -İnorganik konsantre edilmesi
<b>İyonik Form</b>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
<b>Elektriksel Direnç (Ω .cm<sup>2</sup>)</b>	2.00-3.50	2.00-3.50
<b>Kalınlık (mm)</b>	0.16-0.20	0.14-0.18

### 3.4.2 Mega EDR sistemi

Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Mega EDR sistemi Şekil 3.13'de görülmektedir.



Şekil 3.13 Mega EDR sistemi

Sisteme bağlı halde bulunan kontrol paneli, otomatik olarak akış hızı ayarı yapmak ile birlikte her kompartmanda yer alan pH, sıcaklık ve iletkenlik problemleri ile dijital olarak okumaları sağlamaktadır.



Şekil 3.14 Mega EDR sistemi kontrol paneli

Bipolar membran uygulamasına da uygun olan Mega EDR sisteminde etiketlerde yer alan Conc 2- seyreltik, Dil 2-konsantre ve El Sol- elektrolit solüsyonunun bulunduğu bölmelerdir.

EDR-10X4-0.8 sisteminde 10 çift 4'er adet Ralex anyon ve katyon membranı bulunmaktadır. Bu membranların özellikleri Tablo 3.10'da yer almaktadır.



Şekil 3.15 Mega EDR sistemi pH-iletkenlik ölçerleri ve membran sistemi

Tablo 3.10 Ralex membranlarının özellikleri (Mega, 2019)

MEMBRAN	Ralex CMH-PES	Ralex AMH-PES
<b>Kullanım Alanları</b>	ED EDI	ED EDI
<b>İyonik Form</b>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
<b>Elektriksel Direnç (<math>\Omega \cdot \text{cm}^2</math>)</b>	<7.50	<8.00
<b>Kalınlık (mm)</b>	<0.70	<0.75

### 3.5 Ölçüm Ekipmanları

#### 3.5.1 Elektrokimyasal ölçüm aletleri

pH, iletkenlik, toplam çözünmüş katı (TÇK), tuzluluk, sıcaklık ölçümleri Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Hach-Lange HQD cihazı ile sağlanmıştır. İletkenlik, tuzluluk, TÇK, protein, laktoz ve mineral giderimleri aşağıdaki denklik ile hesaplanmıştır.

$$R (\%) = \left( 1 - \frac{c_p}{c_0} \right) * 100 \quad (1)$$

R: Giderim (%)

$C_p$ : Herhangi bir andaki süzüntüdeki konsantrasyon

$C_0$ :  $t=0$  iken beslemedeki konsantrasyon

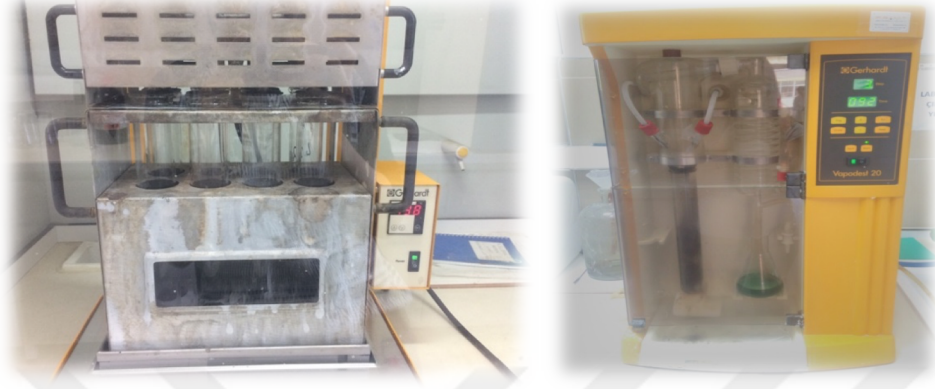


Şekil 3.16 Taşınabilir Hach-Lange HQD



### 3.5.2 Kjeldahl Azot-Protein cihazı

Gıda Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Gerhardt Vapodest 20S Kjeldahl Azot-Protein cihazı kullanılarak alınan PAS örneklerindeki toplam azot miktarı hesaplanmıştır.



Şekil 3.17 Gerhardt Vapodest 20S yakma ünitesi ve destilasyon cihazı

### 3.5.3 Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC)

Örneklerin içerisindeki laktoz miktarı, Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Agilent Technologies 1200 model sıvı kromatografisinde ölçülmüştür.



Şekil 3.18 Agilent Technologies 1200 HPLC cihazı

### 3.5.4 Atomik absorpsiyon cihazı (AAS)

Örneklerin içeriğindeki  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  iyonlarının derişimleri Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Shimadzu AA-7000 Model atomik absorpsiyon cihazı ile analizlenmiştir.



Şekil 3.19 Shimadzu AA-7000 Atomik Absorpsiyon cihazı

### 3.6 Analiz Yöntemleri

Denemeler süresinde elde edilen örneklerde uyguladığımız analizlerin prensipleri ve yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.6.1 Toplam azot analizi

Denemelerde kullanılan besleme çözeltisi ve elde edilen konsantre ve süzüntü örneklerinde sağlanan protein değişimini tespit etmek amacı ile süt ve süt ürünlerinde tercih edilen Kjeldahl yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu yöntemin prensibi, analiz için homojen hale getirilmiş örneklere katalizör (1 kg susuz  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 30 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 15 g saf selen) ve derişik  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (teknik) ilavesi ile yakma ünitesinde yaklaşık 1 gün  $450^\circ\text{C}$ 'ye kadar yavaş yavaş sıcaklık artışı sağlanarak ( $125-250-325-450^\circ\text{C}$ ) örnek içerisindeki tüm organik kütlelerin parçalanması ve oksitlenmesi ile  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dönüşümüne dayanır. Örnekler soğuduktan sonra 50 ml saf su ve 25 ml %4'lük  $\text{H}_2\text{BO}_3$  ilavesi sağlanarak %40'luk NaOH (teknik) ile destilasyon sağlanır. Böylelikle örnekteki  $\text{NH}_3$  serbest hale gelir. Örnek içerisinde azot ve amonyak oranı birbiri ile orantılıdır. Amonyak geri soğutucu yardımı ile soğutulur ve geri soğutucunun uç kısmına konan ayarlı (%4'lük) borik asit içinde tutulur. 0.1 N HCl ile titre edilerek örnek içerisindeki azot miktarı mL cinsinden bulunmuş olur. Elde edilen titrasyon hacmi (mL) AOAC Method 991-20'de belirtildiği üzere süt ve süt ürünleri için 6.38 kat sayı değeri kullanılarak toplam azot miktarı bulunmuştur. Aşağıdaki denklemde toplam azot miktarının hesaplanması gösterilmektedir (Meb, 2011).

$$\%Azot = \frac{(V1-V0)XNX0.014}{m} X100 = \dots \frac{ml}{100ml} \quad (2)$$

$$\%Protein = \%AzotXF \quad (3)$$

V1: titrasyon hacmi (mL)

V0: kör deneme titrasyon hacmi

m: örnek ml'si (10)

N: titrasyonda kullanılan HCl normalitesi (0.1)

0.014: azotun miliekivalent ağırlığı

F: Faktör

Analizde gerçekleşen koşullardan kaynaklı hatayı bulmak için, aynı örnek kullanılarak, yakma ünitesi hacmi kadar (8 örnek) analiz gerçekleştirilmiş ve paraleller arasındaki hata payı hesaplanmıştır.

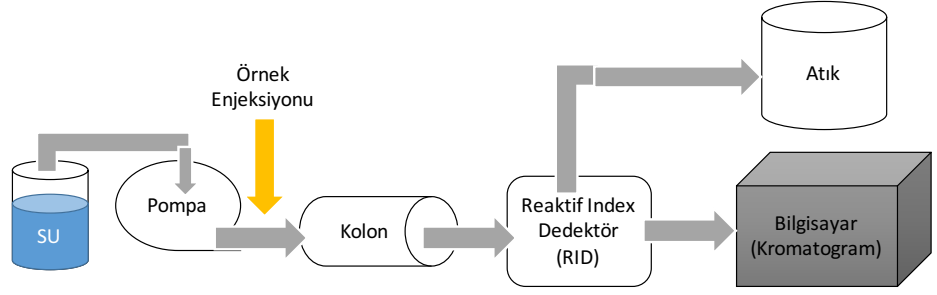
### 3.6.2 Laktoz analizi

Biorad Amin-HPX-87P polimer bazlı kolonu kullanılarak HPLC analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kolon süt ürünlerindeki glikoz, sükroz, früktoz ve laktoz tayini için kullanıma uygundur. Tavsiye edildiği gibi mobil faz olarak 0.6 mL/min akış hızı ile ultra saf su kullanılmıştır. Kolon sıcaklığı 65°C, RID dedektör sıcaklığı ise 30°C olarak ayarlanmıştır. Enjeksiyon hacmi 20 µL'dir. Kolonda kirlilik yaratmaması için örnekler enjekte edilmeden önce tek kullanımlık Micropore filtrelerinden geçirilmiştir. 7.2 dakika da laktoz piki oluşmaktadır, durdurma zamanı 30 dakika olarak belirlenmiştir.

Uygulanan membran işlemi dolayısı ile laktoz miktarının düşük ve yüksek olduğu her iki türden örneğe de sahip olduğumuzdan dolayı 100-500 ve 0-100 aralığında olmak üzere kalibrasyon eğrileri çizilmiştir. Kalibrasyon çözeltileri için Merk monohidrat laktoz (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>.H<sub>2</sub>O) kullanılmıştır. Elde edilen kalibrasyon eğrilerinin R<sup>2</sup> değerleri; 0-100 ppm için 0.9994, 100-500 ppm için 0.99988'dir. Kalibrasyon eğrilerinin detayları Ek-1'de verilmiştir. Verilen örneğe göre kalibrasyon seçimi yapılmıştır.

HPLC cihazının çalışma prensibi ise aşağıda şematize edilmiştir. Cihazda yer alan pompa mobil faz taşıyıcılığını yaparak yatay halde bulunan kolona (BioRad HPX-87P) girer. PAS örnek enjeksiyonu yapılır ve amin kolonda ayırım sağlanır. Dedektör ise pik olarak bilgisayarda görülecek olan kromatogramın oluşumunu sağlar.



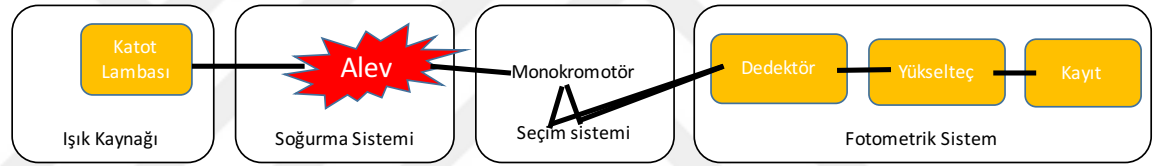


Şekil 3.20 HPLC cihazının çalışma şeması

### 3.6.3 Mineral analizi

$\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{Mg}^{2+}$  iyonlarının kalibrasyon çözeltileri cihaza okutulularak 5 noktalı gerekli kalibrasyon eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Ek-2’de verilmiştir. Eldeki PAS örnekleri gerekli seyreltmelere tabii tutularak (1/10, 1/100), Micropore şırınga ucu filtrelerden geçirilerek enjeksiyon yapılmıştır.

Cihazın çalışma prensibine göre; numunenin öncelikle elementel hale dönüşümü sağlanır ve buharlaştırılır. Kaynaktan gelen ışık demetini absorptomasına göre içeriğindeki metal miktarı ppm cinsinden bulunmuş olur.



Şekil 3.21 AAS cihazının çalışma şeması

### 3.6.4 SPC (Spesifik Güç Tüketimi) analizi

Farklı ED sistemleri ve farklı voltaj, akış hızları denemeleri yapıldığı için harcanan enerji miktarını hesaplamak için aşağıdaki denklik kullanılmıştır (İpekçi et al., 2018).

$$\text{SPC} = \frac{E * \int_0^t I dt}{H} \quad (4)$$

SPC: Spesifik Güç Tüketimi ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ )

E: Uygulanan elektriksel voltaj değeri

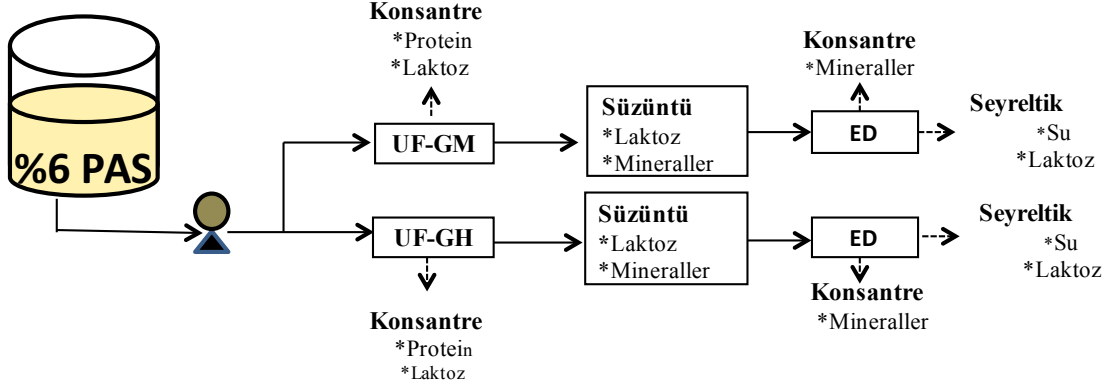
I: Zamana bağlı değişen akım değerleri

t: Zaman

H: Başlangıç hacmi ( $\text{m}^3$ )

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Maybi'den Temin Edilen PAS tozu Kullanılarak Hazırlanan Çözelti ile Yapılan UF-ED Testleri

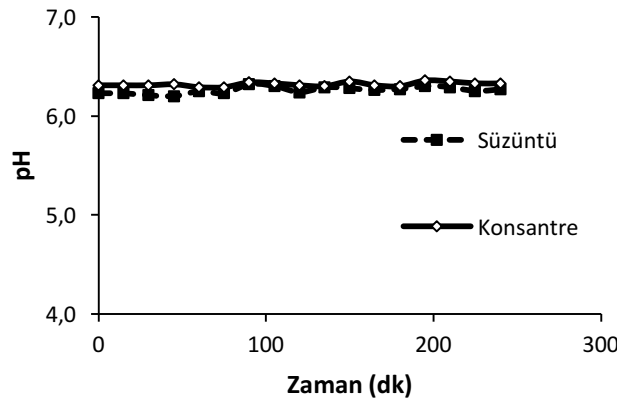


Şekil 4.1 UF membran uygulamaları akım şeması

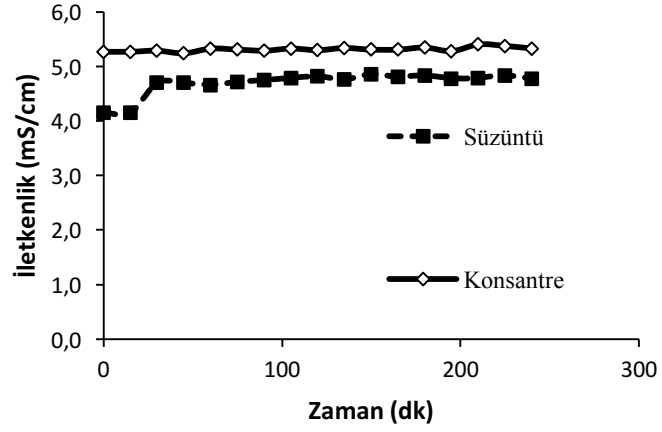
Ultra saf su ile hazırlanan %6 derişime sahip PAS, SEPA CF-II sistemi ile GE-Osmonics GM-UF ve GH-UF membranları kullanılarak UF işleme tabii tutuldu. UF membranlarının özellikleri Tablo 3.7'de belirtilmiştir. GH-UF ve GM-UF membran uygulaması için seçilen basınçlar sırası ile 7 ve 10 bardır. Bu basınçlara membran maksimum çalışma basıncı ve daha önce gerçekleştirilen denemeler sonucunda karar verilmiştir. İlk gerçekleştirdiğimiz denemelerde GH-UF ve GM-UF membranları ile kapalı döngü (konsantre ve süzüntü besleme tankına geri beslenerek) çalışılmıştır. Performans karşılaştırmasının sonucunda belirlenen membran ile süzüntü toplamak için sadece konsantre akımın besleme tankına geri beslendiği yarı-açık çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1.1. GH-UF ve GM-UF membranları ile yapılan kapalı döngü testler

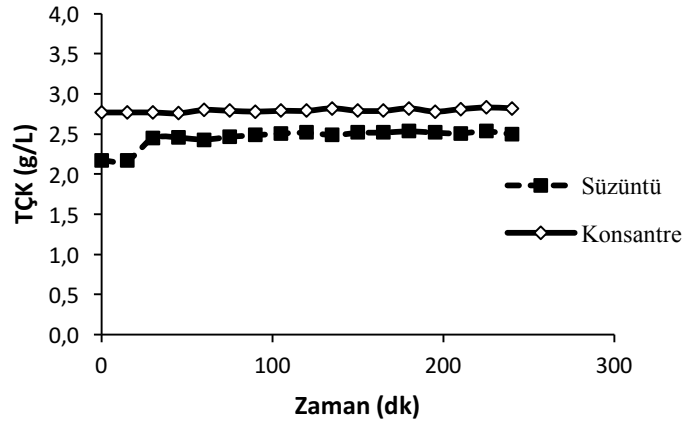
GH-UF membranı 7 bar uygulaması ile elde edilen süzüntü ve konsantre akımlarının; pH, iletkenlik, tuzluluk ve TÇK değerleri Şekil 4.2-4.5'de gösterilmiştir.



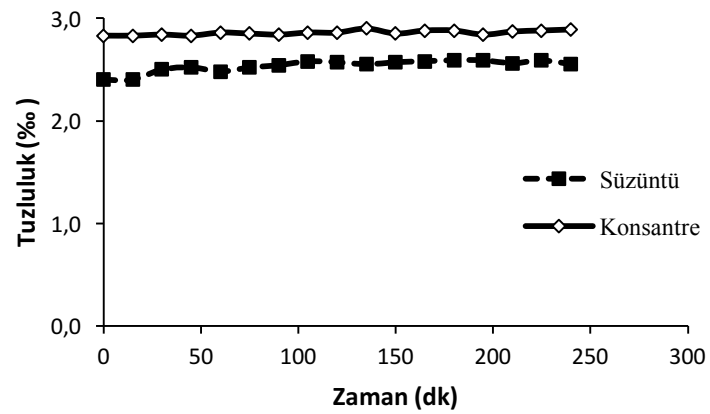
Şekil 4.2 GH-UF membranı için süzöntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı pH değışimi



Şekil 4.3 GH-UF membranı için süzöntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı iletkenlik değışimi



Şekil 4.4 GH-UF membranı için süzöntü ve konsantre akımlarının zamana bağlı TÇK değışimi

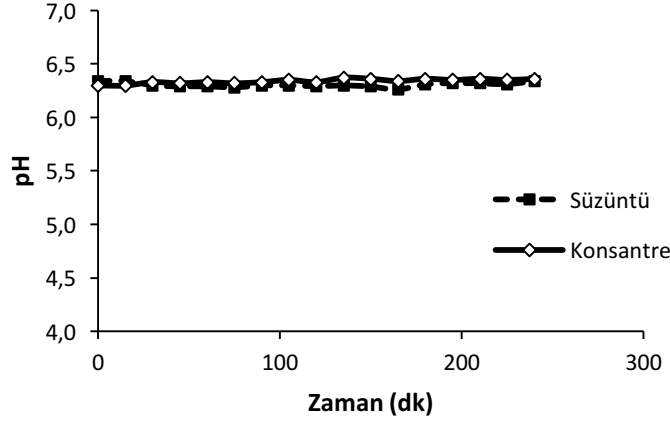


Şekil 4.5 GH-UF membranı süzöntü ve konsantre zamana bağlı tuzluluk değışimi

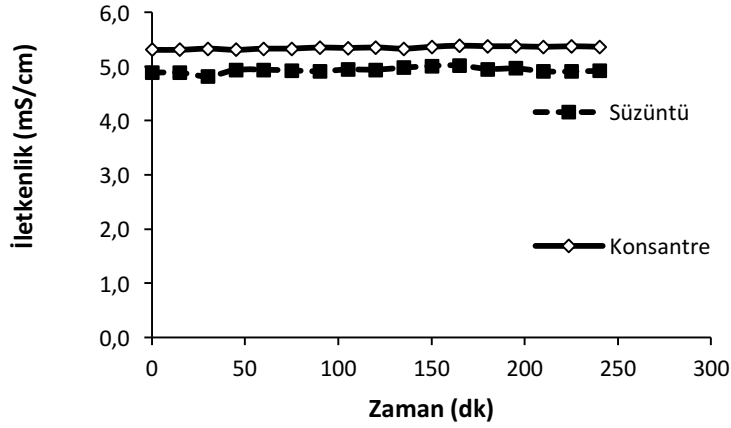
Şekil 4.2-4.5'de görüldüğü gibi süzöntü ve konsantre arasında iletkenlik, tuzluluk ve TÇK değeri açısından büyük bir farklılık görülmektedir. Elde

edilen iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimleri sırası ile; %10.7, %11.2 ve %10.8'dir.

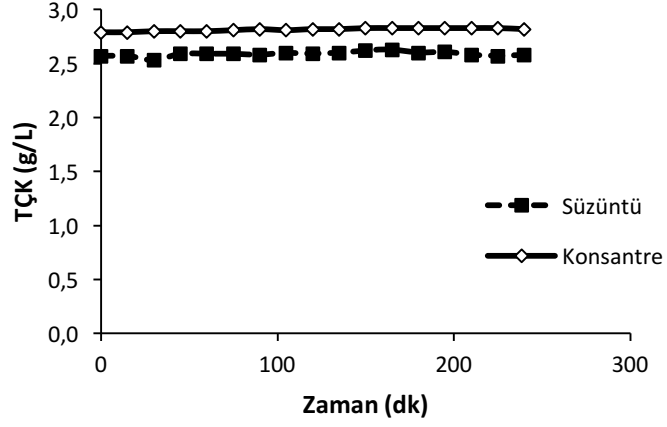
GM-UF membranı ile 10 bar basınç altında gerçekleştirilen testte elde edilen süzütü ve konsantrenin pH, iletkenlik, tuzluluk, TÇK değerleri Şekil 4.6-4.9'da gösterilmiştir.



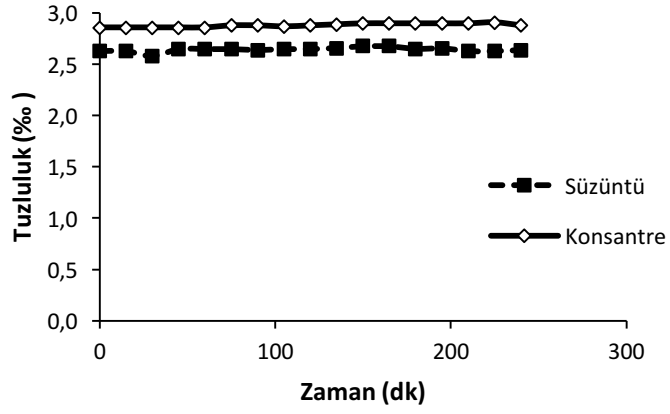
Şekil 4.6 GM-UF membranı için süzütü ve konsantre akımlarında zamana bağlı pH değişimi



Şekil 4.7 GM-UF membranı için süzütü ve konsantre akımlarında zamana bağlı iletkenlik değişimi



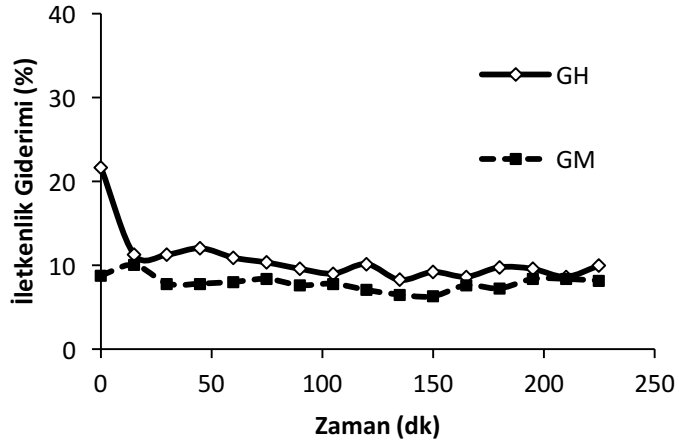
Şekil 4.8 GM-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı TÇK değışimi



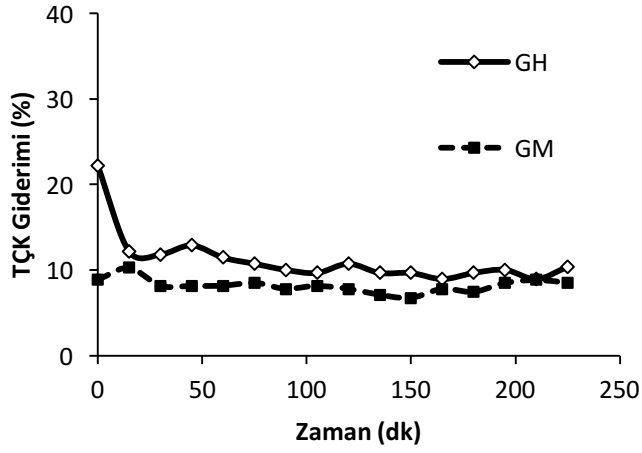
Şekil 4.9 GM-UF membranı için süzüntü ve konsantre akımlarında zamana bağlı tuzluluk değışimi

Şekil 4.6-4.9’da görüldüğü üzere; GM-UF membranı ile ortalama iletkenlik giderimi % 7.9, TÇK giderimi % 8.2 ve tuzluluk giderimi % 8.5 olarak tespit edilmiştir.

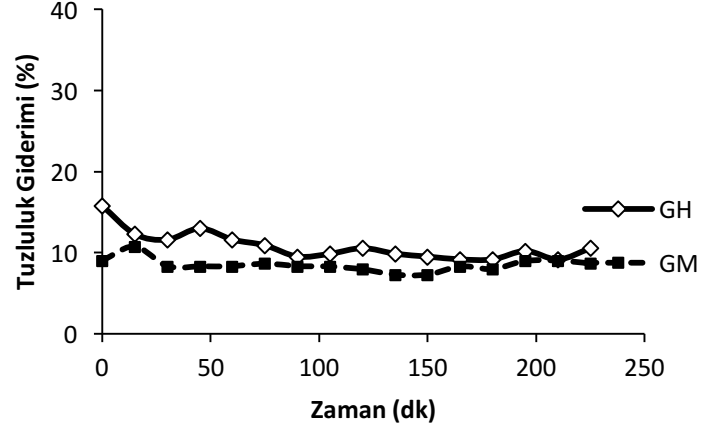
Her iki UF membranı ile elde edilen iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimleri Şekil 4.10-4.12’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.10 GH-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı iletkenlik giderimlerinin karşılaştırılması



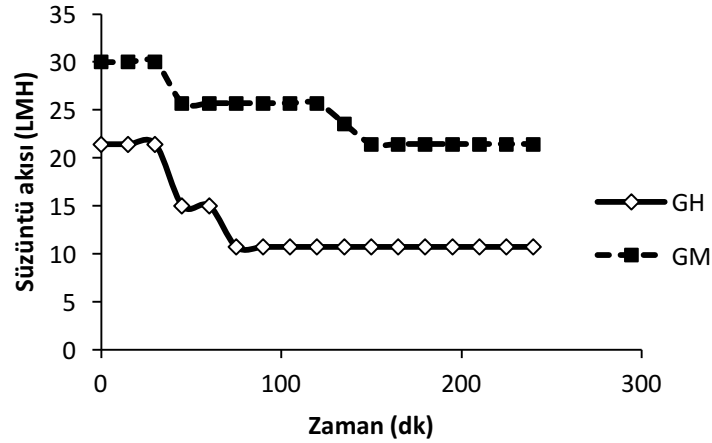
Şekil 4.11 GH-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı TÇK giderimlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.12 GH-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı tuzluluk giderimlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.10-4.12’de görüldüğü üzere GH-UF membranı ile sağlanan iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderim yüzdeleri daha yüksektir. Arada çok büyük bir fark görülmemekle beraber elde edilen değerler sırası ile -GH membranı ile %10.7, 11.2, 10.8 iken GM-UF membranı ile ise % 7.9, 8.2 ve 8.5’tir.

UF membranları test süresince sağlanan süzöntü akısına dair karşılaştırmalı grafikler Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13 GH-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı süzöntü akılarının karşılaştırılması

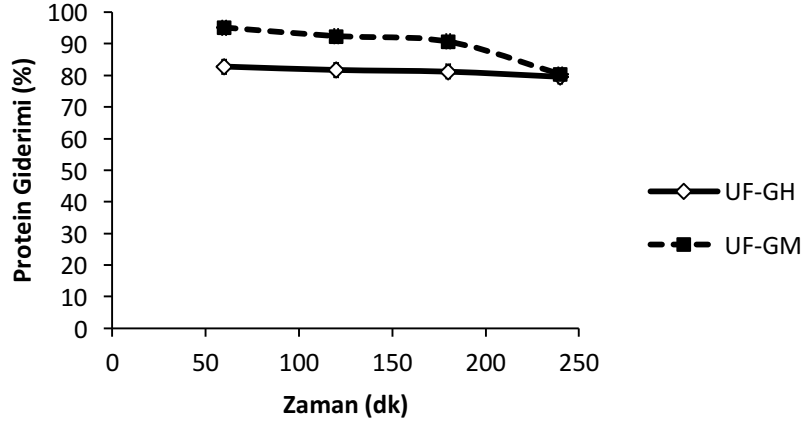
GH-UF membranı ile elde edilen ortalama süzöntü akısı 13.1 LMH’dır. GM-UF membranı ile elde edilen ortalama süzöntü akısı ise 24.58 LMH’dır.

Her iki UF membranı için ölçülen protein sonuçları ise Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 UF membranlarının besleme, süzüntü ve konsantre kısımlarında ölçülen protein değerleri

	Protein Miktarı (%)	
	GH-UF	GM-UF
Besleme	0.86±0.013	0.82±0.013
Süzüntü	0.16±0.013	0.08±0.013
Konsantre	0.82±0.013	0.77±0.013

Zamana karşı elde edilen protein giderimleri ise Şekil 4.14’de verilmiştir. GH-UF membranı ile PAS’dan sağlanan ortalama protein giderimi %81.3 iken, GM-UF membranı ile PAS’dan %89.6 düzeyinde protein giderimi sağlanmıştır.



Şekil 4.14 GH-UF ve GM-UF membranları ile zamana karşı protein giderimi

GM-UF membranı ile sağlanan protein giderim %89.6, GH-UF membranı ile sağlanan giderim ise %81.3’tür. Protein giderimi göz önüne alındığında diğer giderimlere göre GM-UF membranının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 4.14’de görüldüğü gibi, GM-UF membranı ile başlangıçta protein giderimi %90 civarında iken, ilerleyen zamanda konsantrasyon polarizasyonu nedeniyle giderim bir miktar düşmüştür. Öte yandan, GH-UF membranı ile protein giderimi test süresi boyunca sabit kalmıştır.

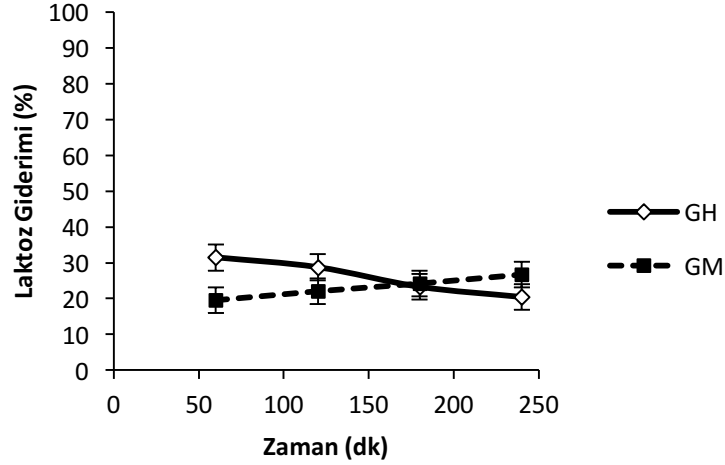
Baldasso et al. (2011), %6 derişimdeki mozeralla PAS’ından protein giderimi sağlayabilmek için Koch-UF 6001 membranı ile diafiltrasyon denemesi gerçekleştirmişlerdir. 2 bar basınç altında, 50°C’de gerçekleştirdikleri denemeler sonucunda; %70 düzeyinde protein giderimi elde etmişlerdir. Diafiltrasyon uygulaması gerçekleştirmeden, oda sıcaklığında (18°C±2) 7 ve 10 bar basınç altında %80’nin üzerinde protein ayrılması sağlanmıştır.



Tablo 4.2 UF membranları besleme, konsantre ve süzüntü akımları ölçülen laktoz değerleri

	Laktoz (g/L)	
	GH-UF	GM-UF
Besleme	32.9±3.61	38.4±3.61
Konsantre	35.1±3.61	39.6±3.61
Süzüntü	24.3±3.61	29.5±3.61

Tablo 4.3’de görüldüğü gibi, UF işleminden beklendiği gibi laktoz giderimi çok düşük düzeyde sağlanabilmiştir. UF süzüntüsündeki laktoz içeriği hala çok yüksek değerdedir. GH-UF membranı ile sağlanan laktoz giderimi ortalama %26 seviyesindedir. GM-UF membranında ise %23 seviyesinde laktoz giderimi sağlanmıştır.



Şekil 4.15 GH-UF ve GM-UF membranlarıyla zamana karşı laktoz giderimi

Laktoz analizi için standart sapma değerinin  $\pm 3.16$  olduğu düşünüldüğünde, iki membran için aradaki farkın hata payı içerisinde kaldığı bu nedenle her iki membran için laktoz gideriminin %23-26 aralığında olduğu düşünülmüştür.

İki farklı UF membranıyla elde edilen sonuçlar gözden geçirildiğinde, GH-UF membranının daha yüksek iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimleri sağladığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, GM-UF membranıyla ise daha yüksek verimde protein ayrılmasının gerçekleştiği söylenebilir. Laktoz giderimi iki membranla da birbirine yakın düzeyde ayrılmıştır.

Süzüntü akısı kıyaslandığında ise; GM-UF membranının daha iyi olduğu görülmektedir. UF çalışmalarında; her iki membran için tavsiye edilen çalışma basınçları uygulanmıştır. GM-UF membranı ile daha yüksek süzüntü akış hızı elde

edilmiştir. Bu sebep ile GM-UF membranı kullanılarak elde edilen süzüntü ile ED uygulaması gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1.2. GM-UF membranı ile yapılan açık döngü çalışma

GH-UF ve GM-UF membranları ile gerçekleştirilen kapalı döngü çalışmalarında; GM-UF membranı ile süzüntü akış hızının daha hızlı olduğu ve bu membran ile daha iyi protein giderimi elde edildiği anlaşılmıştır (Tablo 4.4 ve 4.5). Bu nedenle UF sonrası uygulanacak ED çalışması için GM-UF membranından 20 saat süreyle PAS geçirilmiş ve toplam 5 L süzüntü toplanmıştır. Bu süzüntü ile farklı çalışma koşulları sağlanarak ED denemeleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen ortalama protein giderimi %76.8'dir. Ortalama laktoz giderimi ise %22.8'dir.

Tablo 4.3 GM-UF membranı ile gerçekleştirilen açık döngü çalışmasında besleme, konsantre ve süzüntüdeki protein değerleri

	Protein Miktarı (%)	C/C <sub>0</sub>
Besleme	0.87±0.013	-
Süzüntü	0.20±0.013	0.23
Konsantre	0.91±0.013	1.05

Gerçekleştirilen protein giderimi ortalaması %76.8'dir.

Tablo 4.4 GM-UF membranı ile gerçekleştirilen açık döngü çalışmasında besleme, konsantre ve süzüntüdeki laktoz değerleri

	Laktoz (g/L)	C/C <sub>0</sub>	Konsantre Etme Oranı (%)
Besleme	38.3±3.61	-	-
Konsantre	37.7±3.61	0.98	1.59
Süzüntü	29.6±3.61	0.77	-

Laktoz giderimi ise ortalama olarak %22.8'dir.

#### 4.1.3. UF+ED Testleri

GM-UF membranı ile gerçekleştirilen 20 saatlik çalışmanın sonucunda elde edilen 5 L GM-UF süzüntüsü kullanılarak ED çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda uygulanan koşullar şunlardır:

1. Membran tipinin etkisi: Neosepta (Tokuyama ED sistemi) ve Ralex (Mega-EDR sistemi) membranları kullanılmıştır.
2. Elektriksel voltaj etkisi: 5 ve 10 V elektriksel potansiyel değerleri uygulanmıştır.
3. Akış hızı etkisi: 15 ve 70 L/s akış hızı değerleri denemeleri gerçekleştirilmiştir.

4. Tüm ED testlerinde konsantr ve elektrolit çözelti kompartmanlarında 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  çözeltisi kullanıldı. Tüm testlerde akım 0.02'de sabitlendiği deney sona erdirildi.

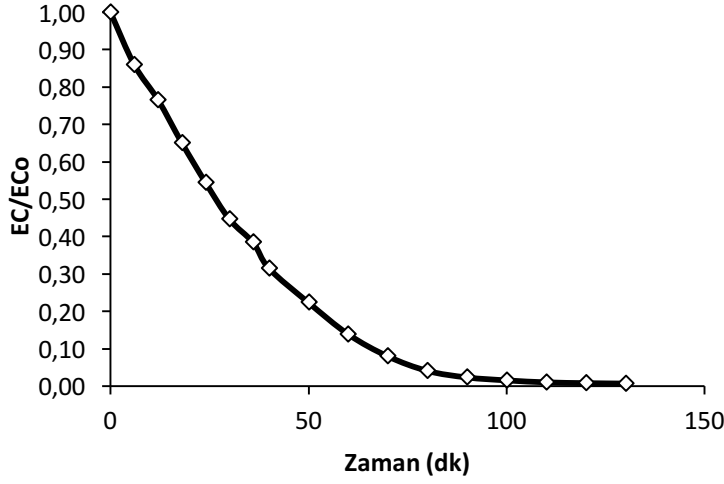
#### **4.1.3.1 PAS'ın UF süzütüsünün ED ile demineralizasyonu işleminde membran çeşidinin etkisi**

ED çalışmaları Tokuyama TS-1-10 ve Mega EDR sistemi kullanılarak, 10 V elektriksel potansiyel altında ortalama 70 L/s'lik seyreltik ve konsantr akış hızı uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her iki ED sisteminin seyreltik ve konsantr bölmelerindeki zamana karşı iletkenlik değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

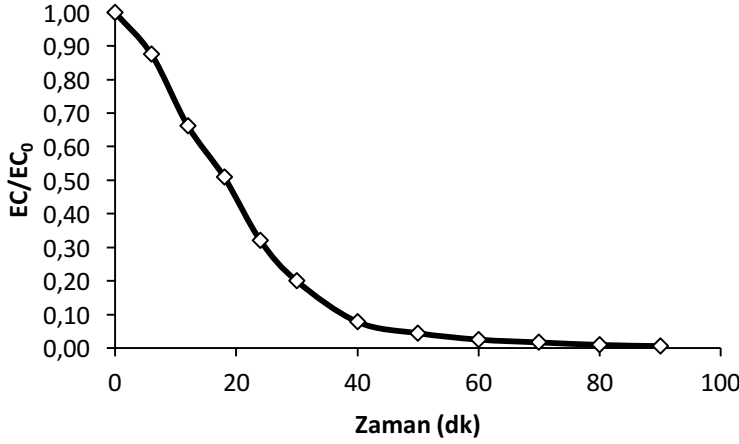
Tablo 4.6'da görüldüğü gibi; Mega-EDR sistemi ile daha kısa sürede %99.4 oranında iletkenlik giderimi sağlanmıştır. Tokuyama TS-1-10 sisteminde ise 40 dk daha uzun süren test sonucunda %99.2 düzeyinde iletkenlik giderimi elde edilmiştir.

Tablo 4.5 GM-UF süzütüsü kullanılarak gerçekleştirilen ED çalışmalarında iki farklı ED sistemi için elde edilen iletkenlik değerleri

Zaman (dk)	Seyreltik bölme iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Konsantr bölme iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	
	Tokuyama-ED	Mega-EDR	Tokuyama-ED	Mega-EDR
0	4700	4650	537	488
6	4040	4070	1251	1169
12	3600	3080	2230	2220
18	3060	2370	2580	3080
24	2560	1488	3360	4100
30	2100	929	3780	4800
40	1482	364	4530	5520
50	1051	207	5140	5810
60	654	119	5500	5950
70	377	80	5770	5980
80	195	45.1	5920	5940
90	113	28.8	5970	5900
100	76	-	5970	-
110	51	-	5960	-
120	41	-	5940	-
130	36	-	5940	-



Şekil 4.16 Tokuyama ED sistemi kullanıldığında GM-UF süzütüsü ile elde edilen zamana karşı EC/EC<sub>0</sub> grafiği



Şekil 4.17 Mega EDR sistemi kullanıldığında GM-UF süzütüsü ile elde edilen zamana karşı EC/EC<sub>0</sub> grafiği

Şekil 4.16 ve 4.17'de görüldüğü gibi, Mega EDR sistemi ile daha kısa süre uygulaması ile daha hızlı iletkenlik giderimi sağlanmıştır.

Tablo 4.6 Tokuyama-ED ve Mega-EDR sistemlerinde GM-UF süzütüsü ile elde edilen ortalama laktoz değerleri

Laktoz (%)	Tokuyama-ED	Mega-EDR
Seyreltik	36.9±3.61	37.0±3.61
Konsantre	0±3.61	0.09±3.61

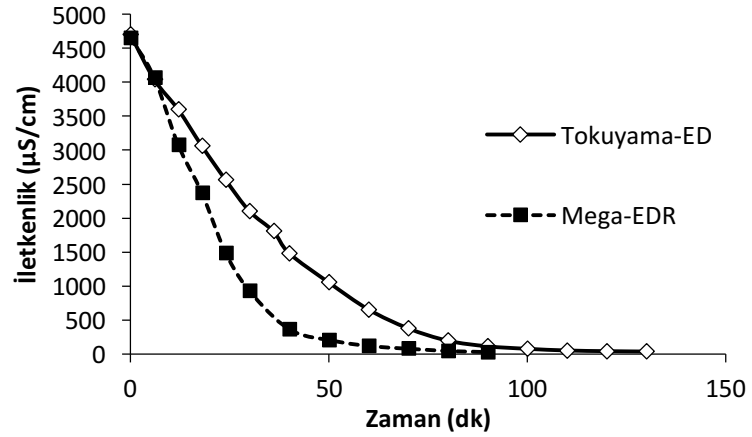
Tablo 4.7’de görüldüğü gibi; ED uygulaması sırasında konsantre bölmeye laktoz geçişi gerçekleşmemiştir.

Tablo 4.7 Tokuyama-ED ve Mega EDR sistemlerinde GM-UF süzütüsü ile elde edilen mineral giderim değerleri

Mineral Giderimi (%)	Tokuyama-ED	Mega-EDR
Na <sup>+</sup>	98.8	98.9
K <sup>+</sup>	99.2	94.3
Ca <sup>2+</sup>	76.2	73.4
Mg <sup>2+</sup>	~100	~100

Tablo 4.8’de görüldüğü üzere GM-UF süzütüsünün besleme çözeltisi olarak kullanıldığı ED uygulamasında elde edilen iyon giderimleri birbirine çok yakındır. Tokuyama TS-1-10 ED sisteminde yer alan Neosepta membranları ile kısmen K<sup>+</sup> ve Ca<sup>2+</sup> giderimleri daha yüksektir. Ancak ortalama iyon giderim verimi düşünüldüğünde iki ED sisteminde PAS’ın UF süzütüsünün demineralizasyonu için uygun olduğu söylenebilir.

ED uygulamasında tüm koşullar aynı tutulup (elektriksel potansiyel ve akış hızı) sadece ED sistemlerinde kullanılan iyon değiştirici membranların etkisi irdelendiğinde; Mega sisteminde yer alan Ralex membranları ile daha kısa sürede ve daha yüksek oranda iletkenlik giderimi elde edilmiştir (Şekil 4.18). Bu nedenle daha sonraki denemelerde Mega sistemi kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 4.18 GM-UF süzütü akımı ile ED uygulamalarında zamana karşı iletkenlik giderimi

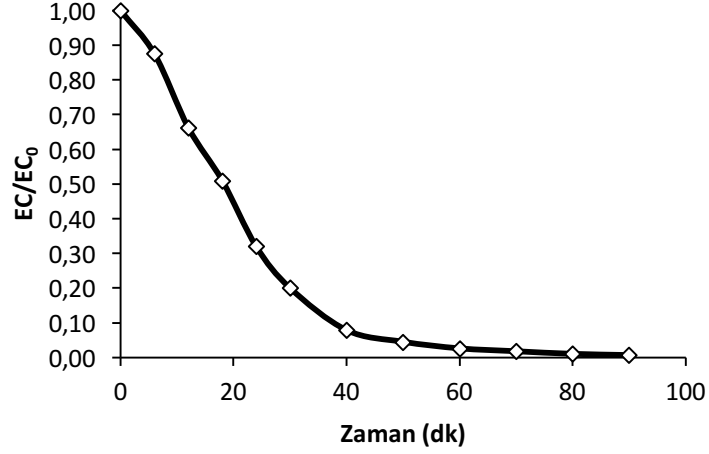
#### **4.1.3.2 PAS'ın UF süzütüsünün ED yöntemiyle demineralizasyon işleminde akış hızının etkisi**

Mega EDR sisteminde uygulanan elektriksel potansiyel 10 V olarak sabit tutularak, PAS'ın GM-UF süzütüsünün demineralizasyonunda akış hızının (konsantre ve süzütü) etkisi incelenmiştir.

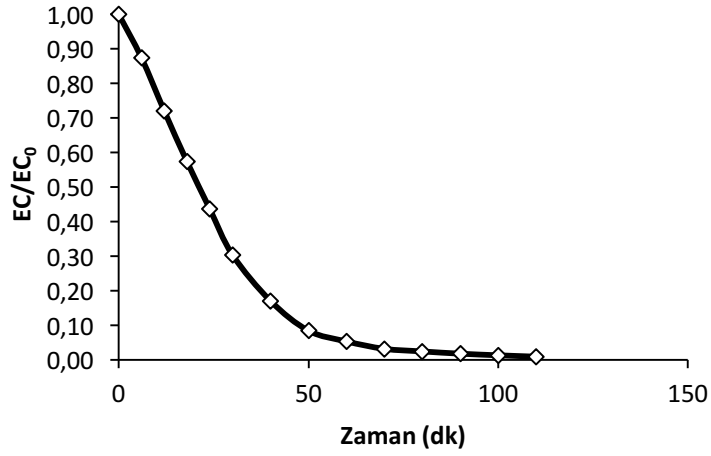
Tablo 4.8 PAS'ın GM-UF süzütüsünün demineralizasyonunda farklı akış hızlarında elde edilen zamana bağlı iletkenlik değerleri

Zaman (dk)	Seyreltik bölme iletkenlik ( $\mu\text{S/cm}$ )		Konsantre bölme iletkenlik ( $\mu\text{S/cm}$ )	
	70 L/s	15 L/s	70 L/s	15 L/s
0	4650	4690	488	541
6	4070	4100	1169	1376
12	3080	3380	2220	2400
18	2370	2690	3080	3170
24	1488	2049	4100	4030
30	929	1424	4800	4770
40	364	800	5520	5570
50	207	396	5810	6050
60	-	250	-	6280
70	-	149.1	-	6420
80	-	113.7	-	6460
90	-	82.9	-	6460
100	-	61.1	-	6450
110	-	42.4	-	6420

Tablo 4.9'da görüldüğü gibi; akış hızı arttırıldığında demineralizasyon işlemi daha kısa sürede tamamlanmıştır.



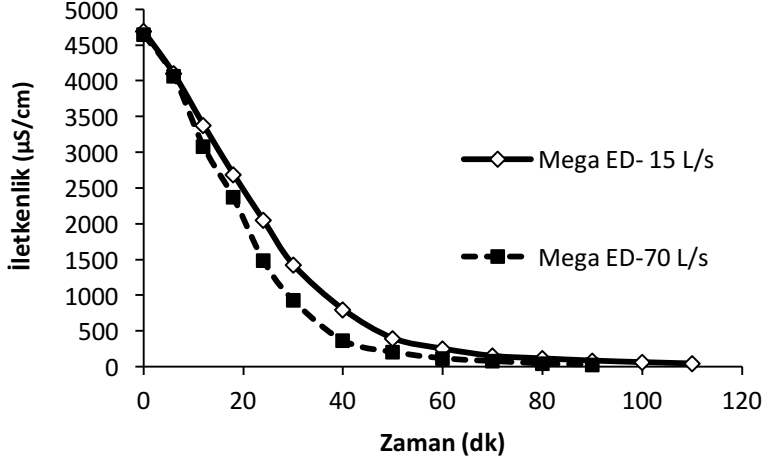
Şekil 4.19 PAS'ın GM-UF süzütüsü ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimi (Akış hızı: 70 L/s)



Şekil 4.20 PAS'ın GM-UF süzütüsü ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimi (Akış hızı: 15 L/s)

Şekil 4.19-4.20'de görüldüğü gibi akış hızının etkisi incelendiğinde; akış hızı 70 L/s olduğunda demineralizasyon işlemi akış hızının 15 L/s'de yürütülen çalışmaya göre daha kısa sürede tamamlanmıştır.

Johnston et al. (1976) Ionics 110BZL-219 ve 61CZL-813 membranlarının kullanıldığı ED çalışmasında uygulanan akış hızının (20 ve 50 mL/dk) demineralizasyon üzerinde pek etkili olmadığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.21 PAS'ın GM-UF süzütüsünün ED yöntemi ile demineralizasyonunda akış hızının etkisi

Tablo 4.9 PAS'ın GM-UF süzütüsünün ED yöntemi ile demineralizasyonu aşamasında seyreltik ve konsantre bölmesindeki ortalama laktoz değerleri

Laktoz (%)	Mega-EDR 10 V-15 L/s	Mega-EDR 10 V-70 L/s
Seyreltik	37±3.61	37.0±3.61
Konsantre	0.08±3.61	0.09±3.61

Tablo 4.10'da görüldüğü üzere her iki akış hızında da ED sisteminin seyreltik ve konsantre bölmelerinde ölçülen laktoz birbirine oldukça yakındır.

Tablo 4.10 PAS'ın GM-UF süzütüsünün ED yöntemiyle demineralizasyonunda iyon giderimleri

İyon Giderimi (%)	15 L/s	70 L/s
Na <sup>+</sup>	99.1	98.9
K <sup>+</sup>	95.7	94.3
Ca <sup>2+</sup>	82.2	73.4
Mg <sup>2+</sup>	~100	~100

Sağlanan iyon giderimlerine bakıldığında akış hızı arttırıldığında özellikle Ca<sup>2+</sup> iyonu için farklı değerler elde edilmiş, fakat diğer iyonların giderimleri hemen hemen aynı seviyede kalmıştır (Tablo 4.11).

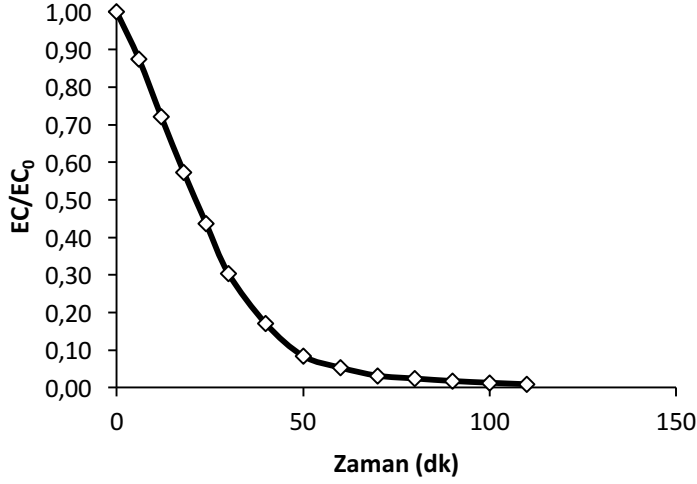


### **4.1.3.3 PAS'ın UF süzütüsünün ED yöntemiyle demineralizasyonu işleminde elektriksel potansiyel etkisi**

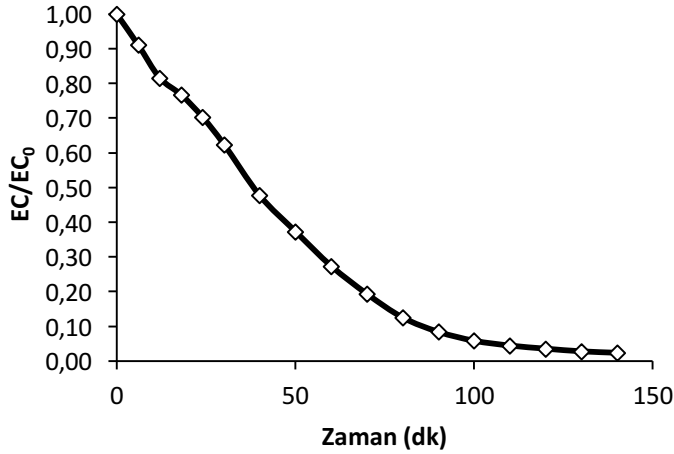
Mega EDR sisteminde 5 ve 10 V olmak üzere sabit voltaj denemesi, ortalama 15 L/s akış hızı ile denenmiştir.

Tablo 4.11 PAS'ın GM-UF süzütüsünün ED ile demineralizasyonunda farklı elektriksel potansiyelerde elde edilen zamana bağlı iletkenlik değerleri

Zaman (dk)	Seyreltik bölme iletkenlik ( $\mu\text{S/cm}$ )		Konsantre bölme iletkenlik ( $\mu\text{S/cm}$ )	
	10 V	5 V	10 V	5 V
0	4690	4950	541	501
6	4100	4510	1376	834
12	3380	4040	2400	1341
18	2690	3800	3170	1594
24	2049	3480	4030	2060
30	1424	3090	4770	2450
40	800	2360	5570	3290
50	396	1847	6050	3870
60	250	1353	6280	4490
70	149.1	955	6420	4910
80	113.7	618	6460	5260
90	82.9	414	6460	5490
100	61.1	287	6450	5630
110	42.4	218.6	6420	5720
120	-	174.1	-	5770
130	-	136.2	-	5800
140	-	115.4	-	5820



Şekil 4.22 PAS'ın GM-UF süzütüsünün ED yöntemi ile demineralizasyonunda elektriksel potansiyel 10 V iken elde edilen zamana karşı iletkenlik değişimi



Şekil 4.23 PAS'ın GM-UF süzütüsünün ED yöntemi ile demineralizasyonunda elektriksel potansiyel 5 V iken elde edilen zamana karşı iletkenlik değişimi

Şekil 4.22'de görüldüğü üzere elektriksel potansiyel 10 V olduğunda iletkenlik giderimi daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Johnston et al (1976) uygulanan elektriksel potansiyel arttıkça ED süresinin kısaldığını ancak potansiyeldeki artışın harcanan enerjide %3-4 oranında artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Simova et al. (2010) ise çalışmalarında %5.5 derişimde santrifüj edilmiş PAS kullanmışlardır. Mega ED sisteminde, Ralex AMH-PES ve CMH-PES membranlarını kullanarak 35, 50 ve 70 V ED denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Elektriksel potansiyeldeki artış ile ED süresinin kısaldığı görülmüştür. Bunun

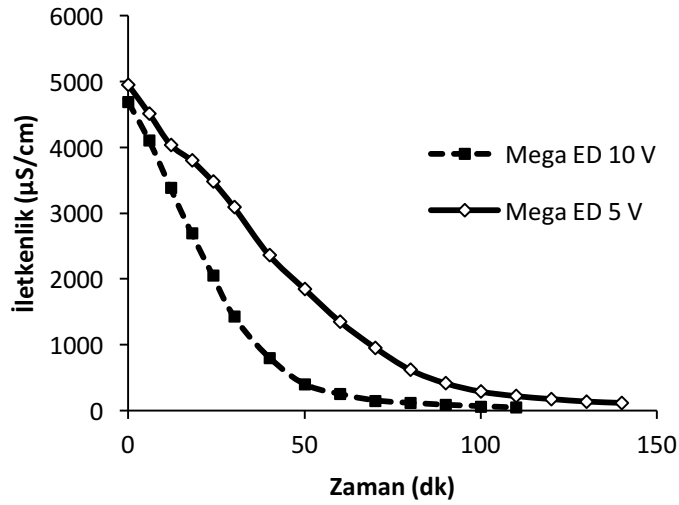
yanısıra membranlar arasındaki boşluğun ED işleminde akış hızı gibi önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Tablo 4.12 PAS'ın GM-UF süzütüsünden ED yöntemi ile iyon giderimi

İyon Giderimi (%)	5 V	10 V
Na <sup>+</sup>	96.7	99.1
K <sup>+</sup>	98.8	95.7
Ca <sup>2+</sup>	77.3	82.2
Mg <sup>2+</sup>	~100	~100

Tablo 4.13'te görüldüğü gibi; ED işleminde uygulanan elektriksel potansiyel 5 V olduğunda, 10 V'da elde edilen sonuca göre Na<sup>+</sup> ve Ca<sup>2+</sup> giderimleri daha düşük bulunmuştur. Öte yandan K<sup>+</sup> giderimi 10 V'da elde edilen değere göre daha yüksektir. Bu sonucun analiz hatasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Mg<sup>2+</sup> giderimi ise uygulanan elektriksel potansiyel artışından etkilenmemiş, hem 5 V hem de 10 V'da %100 oranında giderilmiştir.

Şekil 4-24'de görüldüğü gibi, uygulanan elektriksel potansiyel arttığında ED süresi kısalmaktadır.



Şekil 4.24 PAS'ın GM-UF süzütüsünden ED yöntemiyle iletkenlik gideriminde elektriksel potansiyelin etkisi

Mega ve Tokuyama ED sistemlerinde gerçekleştirilen çalışmalar sırasında alınan örneklerde HPLC metodu ile laktöz analizi yapılmıştır. Tablo 4.14'te görüldüğü gibi konsantre bölmesine laktöz geçişi 10 V uygulamasında çok az düzeyde gerçekleşmiştir. Ancak standart sapma değeri göz önüne alındığında örnekler arasında farkın analiz hatasından kaynaklandığı söylenebilir.

Tablo 4.13 PAS'unun GM-UF süzütüsünden ED ile farklı koşullarda laktoz giderimi

Laktoz (%)	Tokuyama-ED 10 V-70 L/s	Mega-EDR 5 V-15 L/s	Mega-EDR 10 V-15 L/s	Mega-EDR 10 V-70 L/s
Seyreltik	36.9±3.61	37.3±3.61	37±3.61	37±3.61
Konsantre	0±3.61	0±3.61	0.075±3.61	0.088±3.61

Elektrodiyaliz uygulamalarında gerçekleşen mineral giderimleri ise Tablo 4.15'de görüldüğü gibidir.

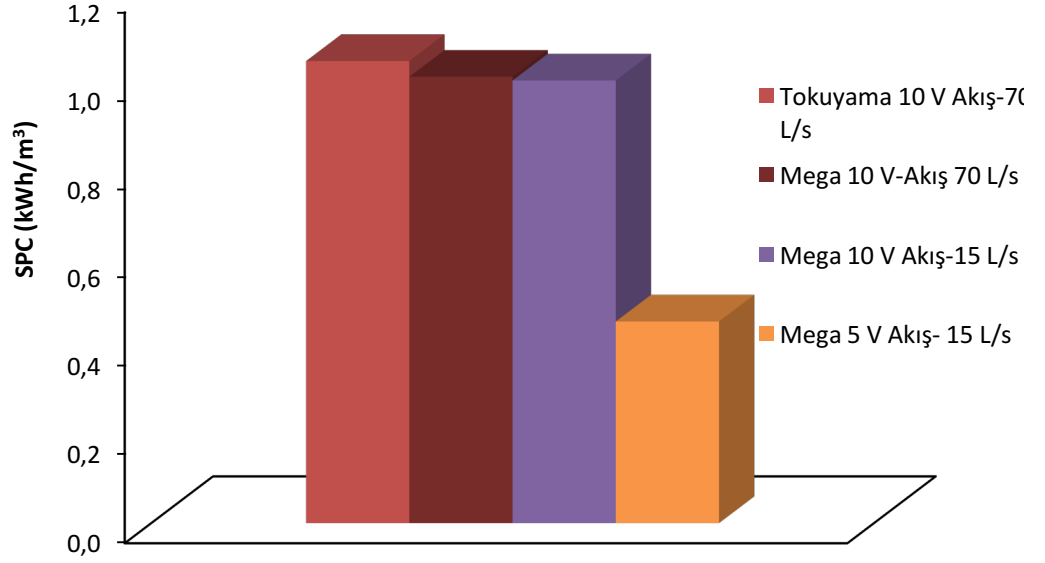
Tablo 4.14 PAS'unun GM-UF süzütüsünden ED yöntemiyle farklı koşullarda farklı iyonların giderimi

İyon Giderimi (%)	Tokuyama-ED 10 V-70 L/s	Mega-EDR 5 V-15 L/s	Mega-EDR 10 V-15 L/s	Mega-EDR 10 V-70 L/s
Na <sup>+</sup>	98.8	96.7	99.1	98.9
K <sup>+</sup>	99.2	98.8	95.7	94.3
Ca <sup>2+</sup>	76.2	77.3	82.2	73.4
Mg <sup>2+</sup>	~100	~100	~100	~100

İyon giderimi incelendiğinde değerlerdeki değişikliğin sadece Ca<sup>2+</sup> gideriminde olduğu görülmüştür. En başarılı iyon giderimi ise Mega EDR-10X4.0.8 sisteminde mevcut Ralex membranları ile 10 V elektriksel potansiyel altında ve 15 L/s konsantre ve süzütü akış hızında gerçekleşmiştir.

Farklı koşullarda gerçekleştirilen ED çalışmalarında harcanan spesifik güç tüketimi (SPC) Şekil 4.25'de gösterilmiştir.

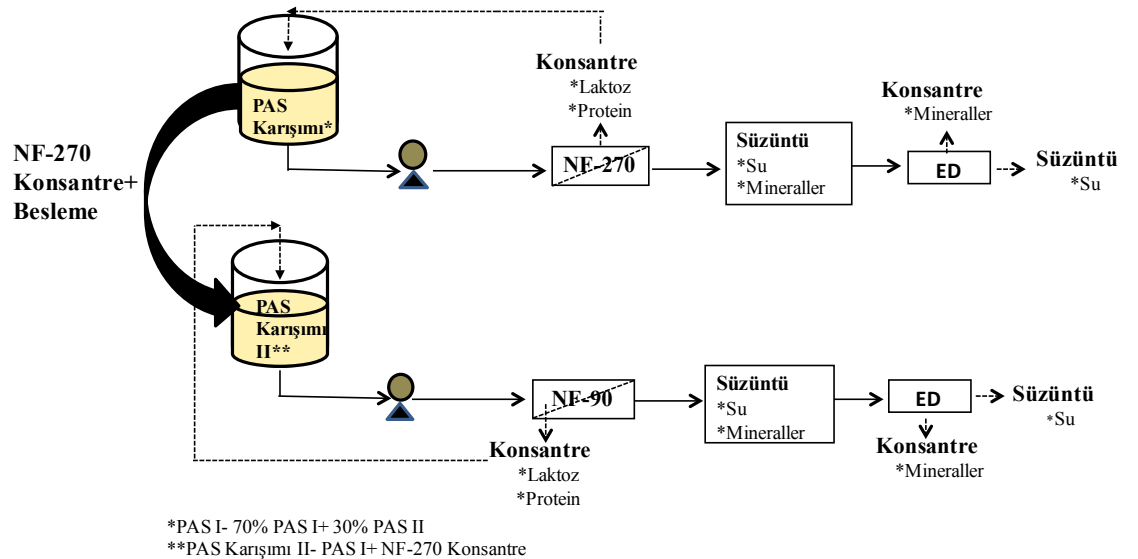
Optimum çalışma koşulunu bulabilmek adına akış hızının enerji tüketimine etkisinin göz ardı edilebileceği söylenebilir. Tokuyama ED sisteminin ve Mega EDR sistemine göre aynı elektriksel potansiyel ve akış hızı uygulandığında daha fazla enerjiye ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Mega EDR sistemi kullanıldığında elektriksel potansiyel arttırıldığında güç tüketimide artmıştır.



Şekil 4.25 GM-UF süzütü ile farklı koşullarda gerçekleştirilen ED çalışmaları için hesaplanan SPC değerleri

Mega EDR sisteminde akış hızlarının aynı olduğu sadece elektriksel potansiyelin değiştirildiği denemeler için hesaplanan SPC değerleri karşılaştırıldığında uygulanan elektriksel potansiyel arttırıldığında SPC değerlerinde önemli bir fark gözlenmemiştir. Aynı deneysel koşullarda Tokuyama sistemi için hesaplanan SPC değeri, Mega sistemi için hesaplanan değere yakın bulunmuştur.

#### 4.2.Gürsüt'ten Temin Edilen PAS ile Yapılan NF+ED Testleri



Şekil 4.26 NF uygulamalarına ilişkin akım şeması

Bu testlerde kullanılan PAS, İzmir Tire Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Gürsüt A.Ş.'ne bağlı olan Progıda firmasından temin edilmiştir. Firmadan iki tip PAS alınmıştır. Alınan PAS örneklerinin özellikleri Tablo 3.2'de görülmektedir.

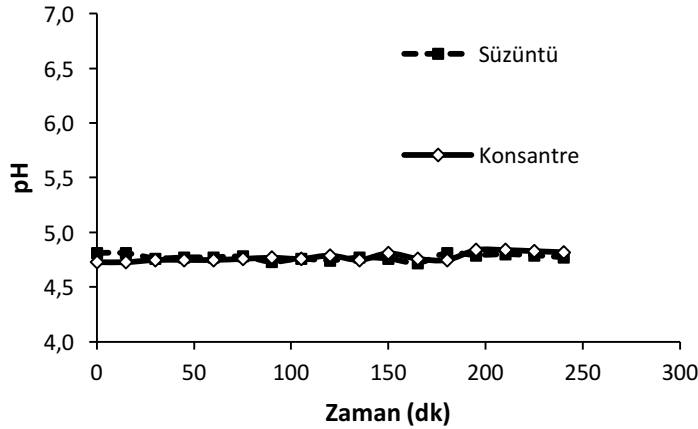
Tablo 3.2'de de görüldüğü üzere PAS 1 tatlı PAS iken, PAS 2 ekşi PAS'dır. Özellikle pH ve diğer özellikleri farklılık göstermektedir. Çalışmalar, iki farklı PAS'ın karışımı ile elde edilen 20 L örnek kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan PAS çözeltisi, oda sıcaklığında ( $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) 20 bar basınç altında NF-270 membranına beslenmiştir. Konsantre 96 L/s hızda besleme tankına geri döndürülmüş, süzüntü ise ED uygulamaları için toplanmıştır.

Besleme tankında toplanan PAS 1+ PAS 2+ NF-270 konsantresi NF-90 membranı için besleme çözeltisi olarak kullanılmıştır. 30 bar basınç altında NF-90 membranı ile yapılan çalışmada ise, konsantre 96 L/s akış hızı ile ana tanka geri beslenirken, süzüntü kısmı ayrı bir kaptaki toplanmıştır.

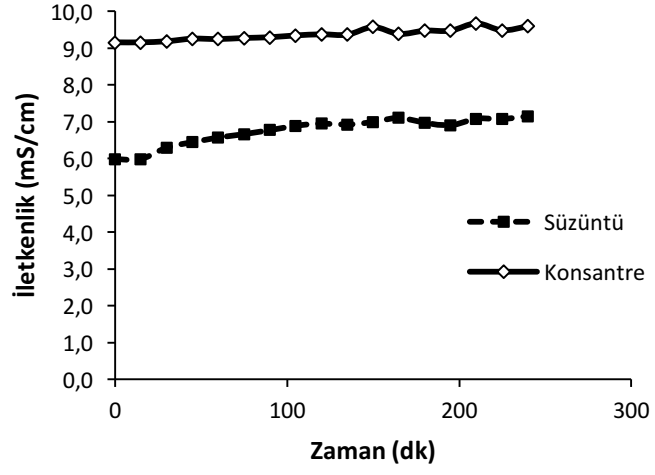
Çözeltilerin içeriğine dair detaylı bilgiler Tablo 3.2'de verilmiştir.

#### 4.2.1 NF membranları ile yapılan testler

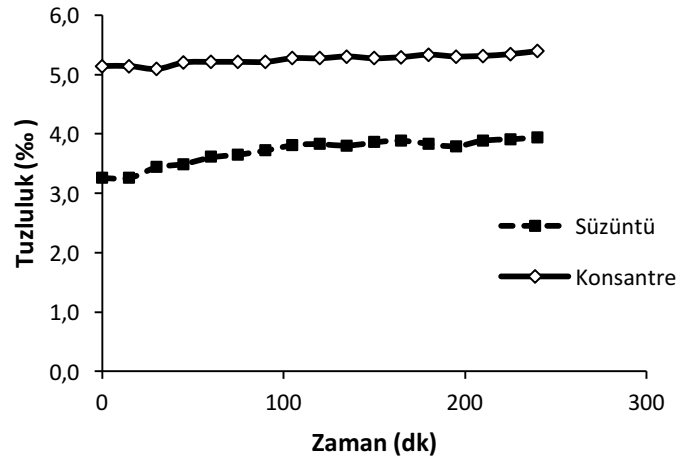
NF-270 membranı ile 20 bar basınç altında çalışılmıştır. Çalışma esnasında farklı zamanlarda alınan süzüntü ve konsantre örneklerinin pH, iletkenlik, tuzluluk ve TÇK grafikleri Şekil 4.27-4.30'da gösterilmiştir.



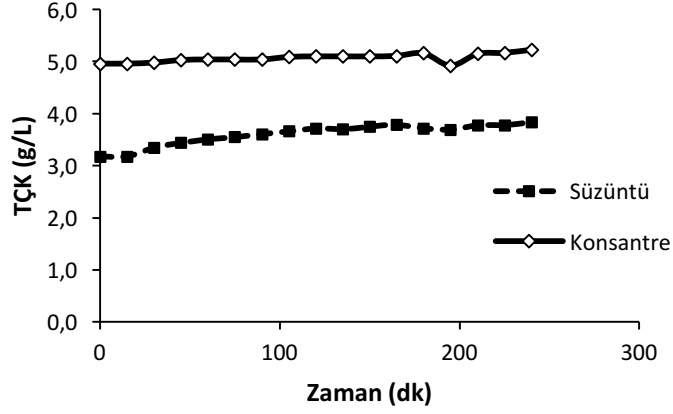
Şekil 4.27 NF-270 konsantre ve süzüntü örneklerinin pH değerlerinin zamana karşı değişimi



Şekil 4.28 NF-270 konsantre ve süzöntü örneklerinin iletkenlik değerlerinin zamana karşı değişimi



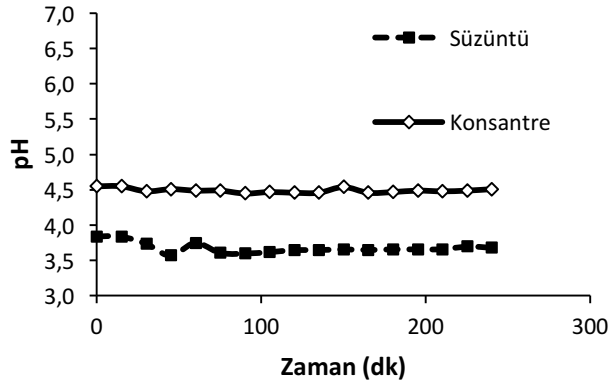
Şekil 4.29 NF-270 konsantre ve süzöntü örneklerinin tuzluluk değerlerinin zamana karşı değişimi



Şekil 4.30 NF-270 konsantre ve süzüntü örneklerinin TÇK değerlerinin zamana karşı değişimi

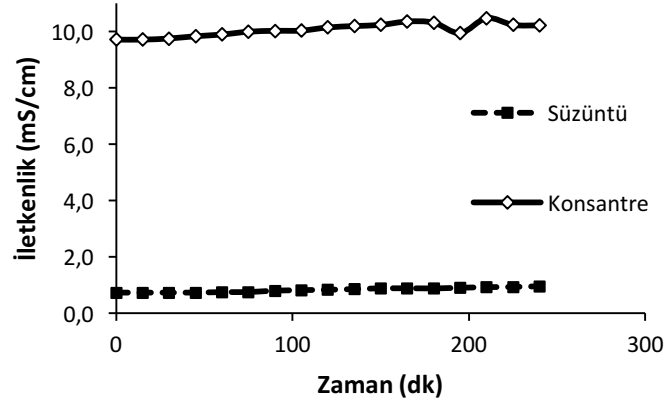
Şekil 4.27-4.30'de görüldüğü gibi, NF-270 membranı ile PAS'dan ortalama iletkenlik giderimi %27.5, TÇK giderimi %28.2 ve tuzluluk giderimi %28.6 düzeyindedir.

NF-90 membranı ile 30 bar basınç altında çalışılmıştır. Çalışma esnasında farklı zamanlarda alınan süzüntü ve konsantre örneklerinin pH, iletkenlik, tuzluluk ve TÇK grafikleri Şekil 4.31-4.34'de gösterilmiştir.

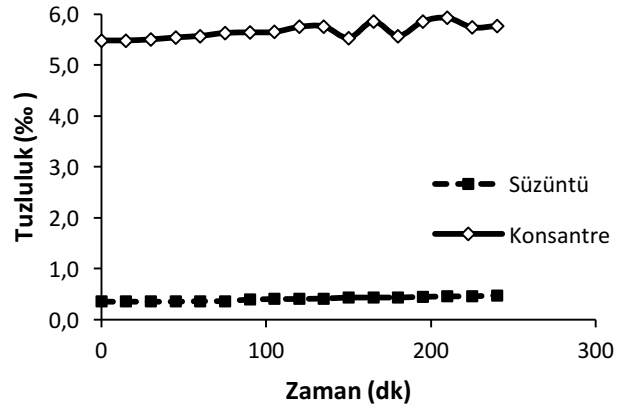


Şekil 4.31 NF-90 konsantre ve süzüntü örneklerinin pH değerlerinin zamana karşı değişimi

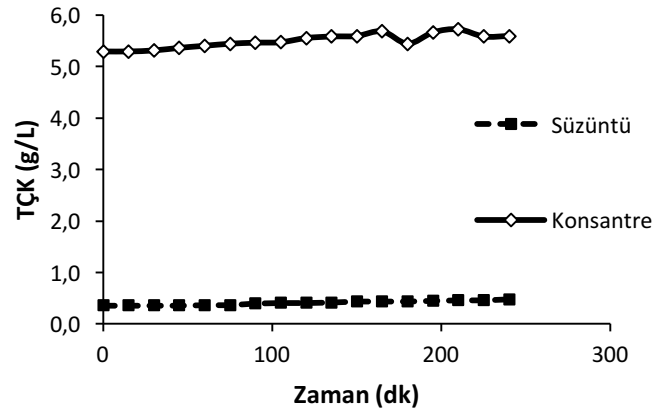




Şekil 4.32 NF-90 konsantre ve süzöntü örneklerinin iletkenlik değerlerinin zamana karşı değişimi



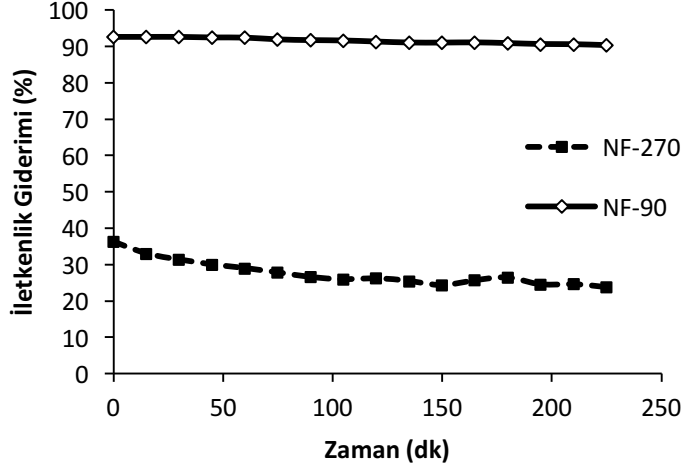
Şekil 4.33 NF-90 konsantre ve süzöntü örneklerinin tuzluluk değerlerinin zamana karşı değişimi



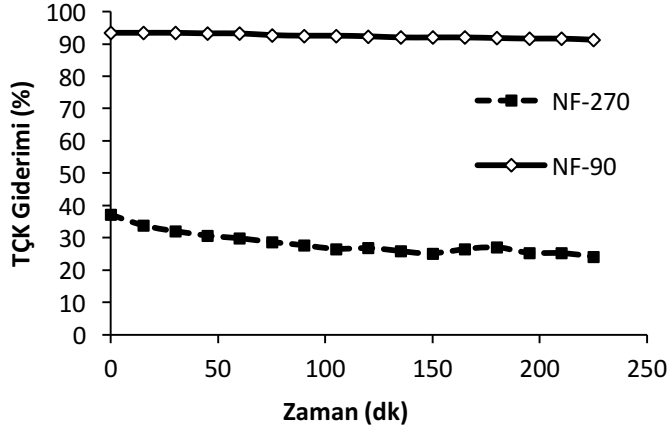
Şekil 4.34 NF-90 konsantre ve süzöntü örneklerinin TÇK değerlerinin zamana karşı değişimi

Şekil 4.31-4.34'de görüldüğü gibi, NF-90 membranı ile PAS'dan ortalama iletkenlik giderimi %91.5, TÇK giderimi %92.5 ve tuzluluk giderimi %92.7 düzeyinde elde edilmiştir.

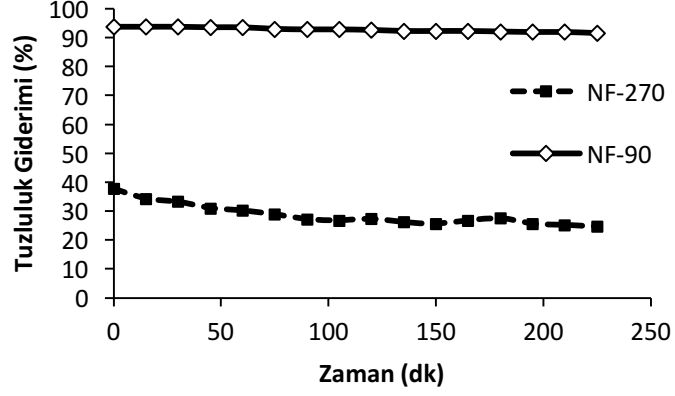
Her iki NF membranı ile elde edilen iletkenlik, tuzluluk ve TÇK giderimleri ile süzütü akısı değerleri Şekil 4.35-4.38'de gösterilmiştir.



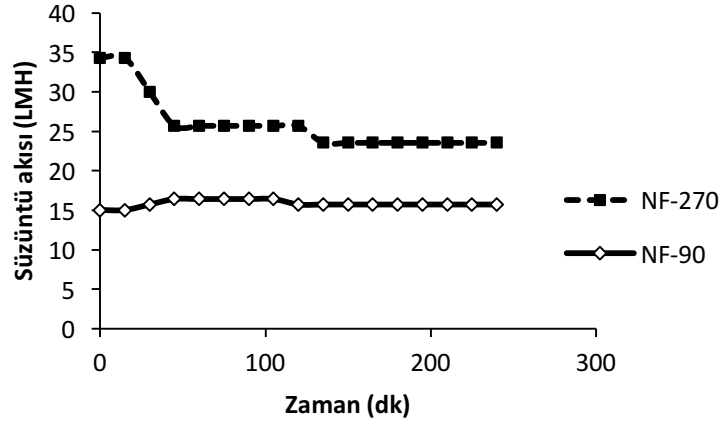
Şekil 4.35 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimleri



Şekil 4.36 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı TÇK giderimleri



Şekil 4.37 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı tuzluluk giderimleri

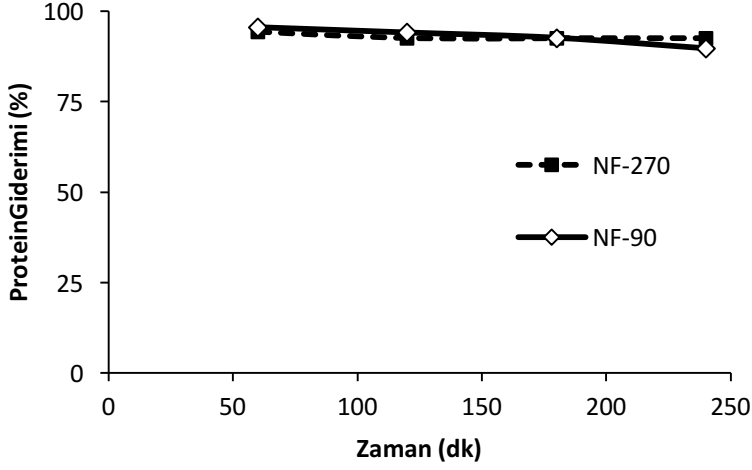


Şekil 4.38 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı süzüntü akışı değişimleri

NF-270 membranı ile 20 barda elde edilen süzüntü akışı 26 LMH'dir. NF-90 membranı ile 30 bar basınç altında süzüntü akışı 16 LMH'dir.

NF-90 membranı ile gerçekleştirdiğimiz çalışmada 30 bar basınç uygulanmasına rağmen, NF-90 süzüntü akışı, 20 bar basınç uygulanan NF-270 membranı ile sağlanan süzüntü akışından oldukça düşüktür. Bunun sebebi NF-90 membranının gözenek çapının NF-270 membranına kıyasla daha küçük olmasıdır. Bu sebeple de NF-90 membranı ile sağlanan iletkenlik, tuzluluk, TÇK giderimleri NF-270 membranına göre daha yüksek değerdedir. NF-90 membranının ortalama gözenek çapı 0.55 nm iken, NF-270 membranının ortalama gözenek çapı 0.71 nm'dir (Hilal et al., 2005).

Şekil 4.39'da görüldüğü gibi; NF-270 membran uygulaması ile sağlanan protein giderimi %93.8 iken, NF-90 membranı ile protein giderimi de aynı şekilde %93.4 düzeyindedir.

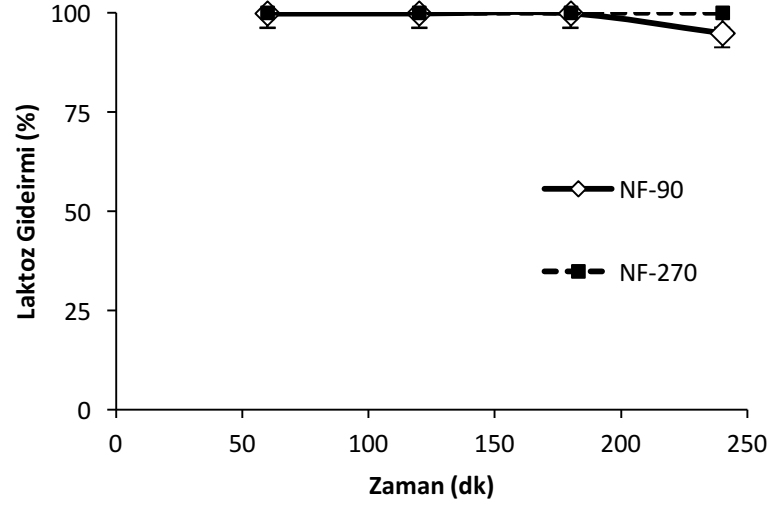


Şekil 4.39 NF-270 ve NF-90 membranları ile PAS'dan protein giderimi

Protein analizi sonuçları ise Tablo 4.16'da görülmektedir. NF-90 membranı için kullanılan besleme çözeltisi NF-270 membran uygulamasının konsantre bileşenini de içerdiğinden dolayı daha yüksek protein içeriğine sahiptir. Sağlanan protein giderimleri her iki membran uygulaması için birbirine çok yakın olup, PAS'dan her iki membran ile ortalama %94'e yakın protein giderimi sağlandığı söylenebilir.

Tablo 4.15 NF-270 ve NF-90 membranları için besleme, süzüntü ve konsantre örneklerindeki protein değerleri

	Protein Miktarı (%)	
	NF-270	NF-90
Besleme	0.48±0.013	0.61±0.013
Süzüntü	0.03±0.013	0.04±0.013
Konsantre	0.46±0.013	0.57±0.013



Şekil 4.40 NF-270 ve NF-90 membranları ile elde edilen zamana karşı laktoz giderimleri

Şekil 4.40'da görüldüğü gibi, her iki membran ile %100 laktoz giderimi sağlanırken, çalışmanın sonuna doğru NF-90 membranının laktoz gideriminde bir miktar azalma görülmüştür. Bu sonucun analiz hatasından ya da membranda yaşanan kirlilik ve polarizasyon sebebi ile olabileceği düşünülmüştür.

Laktoz analiz sonuçları ise Tablo 4.17'de verilmiştir. NF-270 membranı ile %100 laktoz giderimi sağlanmıştır. NF-90 membranı ile %98.7±3.61 laktoz giderimi laktoz giderimi sağlanmıştır.

Tablo 4.16 NF-270 ve NF-90 membranları için besleme, konsantre ve süzüntü örneklerinde ölçülen laktoz değerleri

	Laktoz (g/L)	
	NF-270	NF-90
Besleme	39.9±3.61	56.8±3.61
Konsantre	45.3±3.61	54.3±3.61
Süzüntü	0±3.61	0.7±3.61

Laktoz analizlerinde hesaplanan standart sapmanın yüzde ±3.61 olduğu düşünüldüğünde, her iki membran içinde laktoz giderimlerinin benzer olduğu söylenebilir.

Chandrapala et al, (2016) MF ön işleminden geçirilmiş PAS ile NF denemeleri gerçekleştirmişlerdir. NF-DK, NF-DL and NF-HL (GE-Osmonics) membranları ile farklı sıcaklık (25-40°C) ve pH (3.0, 4.5, 7.3) uyguladığında; maksimum laktoz gideriminin 40°C'de, pH 3 değerinde elde edildiği belirtilmiştir. HL-NF membranı ile belirlenen optimum koşullarda %95 düzeyinde laktoz giderimi sağlanmıştır.

Suarez et al. (2009) tarafından yayınlanan başka bir çalışmada ise UF membranından geçirilmiş PAS ve süt örnekleri Osmonics DK2540C NF membranından geçirilmiştir. Her iki örnek için de protein ve laktoz giderimleri %100 dolaylarındadır.

Bizim çalışmamızda ise NF-90 ve NF-270 membranları ile, protein ve laktoz giderimleri %90-100 aralığında sağlanmıştır.

NF membran uygulaması ile elde edilen demineralizasyon yüzdeleri Tablo 4.18'de yer almaktadır.

Tablo 4.17 NF-270 ve NF-90 membranları ile PAS'dan Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> iyon giderimleri

<b>Gürsüt PAS Karışımı</b>							
<b>Na<sup>+</sup> (mg/L)</b>		<b>K<sup>+</sup> (mg/L)</b>		<b>Ca<sup>2+</sup> (mg/L)</b>		<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	
1643.4		1519.1		45.5		83.5	
<b>NF-270</b>	<b>NF-90</b>	<b>NF-270</b>	<b>NF-90</b>	<b>NF-270</b>	<b>NF-90</b>	<b>NF-270</b>	<b>NF-90</b>
175.4	229.5	1281.3	220.4	20.1	8.2	2.1	5.9
<b>Giderim (%)</b>							
<b>89.3</b>	86.0	<b>15.7</b>	85.5	<b>55.9</b>	82.0	<b>97.4</b>	93.0

Tablo 4.18'de görüldüğü gibi, NF-270 membranı ile PAS'dan genellikle daha düşük iyon giderimi sağlanmıştır. Özellikle de K<sup>+</sup> iyonu giderimi NF-270 membran uygulaması ile çok düşüktür. Ancak Na<sup>+</sup> giderimi, her iki NF membranı için birbirine yakındır. Ca<sup>2+</sup> iyon gideriminin NF-90 membranı ile daha iyi olduğu, Mg<sup>2+</sup> iyon gideriminin ise her iki membran için birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Roman et al., (2009) gerçekleştirdikleri çalışmada; asidik PAS XN+5 NF membran uygulaması ile, tek değerlikli iyonların giderimini %70-90 düzeyinde elde etmişlerdir. Sağlanan demineralizasyonun diafiltrasyon uygulaması ile daha verimli hale getirilebileceği vurgulanmıştır. Özellikle NF membran uygulamasında elde edilen farklı demineralizasyon verimlerinin membran yüzeyinde biriken protein ve tuz tabakasının oluşturduğu konsantrasyon polarizasyonundan kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Perez et al., 1994).

Cuartes-Urbe et al. (2009) tarafından yayınlanan bir başka çalışmada UF membranı ile filtre edilmiş PAS ile 16-18°C sıcaklığında, GE Osmonics DS-5-DL

NF membranından geçirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 20 bar basınç altında %89 laktoz giderimi sağlanmıştır. Uygulanan basınç 10 bar iken sağlanan laktoz giderimi ise %85'dir. Çalışmalarda 20 barda sağlanan iyon gideriminin 10 barda sağlanan iyon giderimine göre daha yüksek değerde olduğu belirtilmiştir.

Suarez et al. (2009), diafiltrasyon uygulaması ile konsantrasyon oranına bağlı olarak ortalama iyon gideriminin %27-36 aralığında olduğunu belirtmiştir.

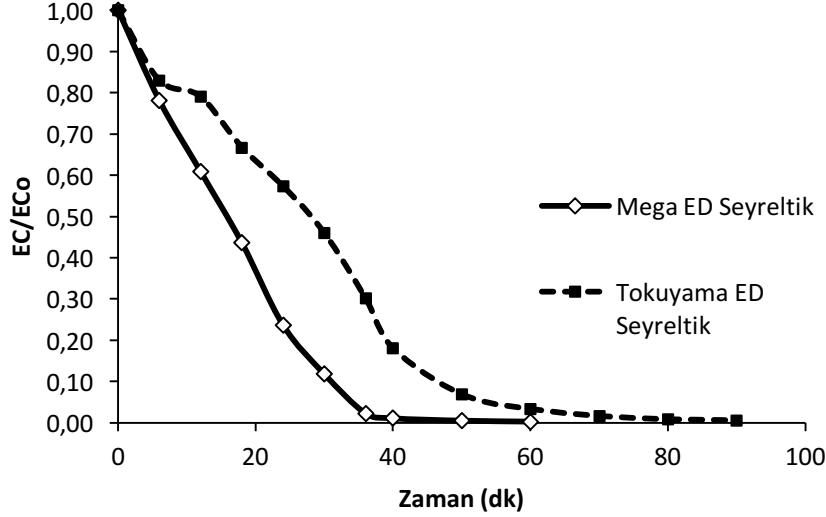
#### 4.2.2 NF+ED testleri

Bu çalışmada NF membranlarından elde edilen süzüntü Tokuyama ve Mega ED sistemlerinde besleme çözeltisi olarak kullanılmıştır. Tüm ED uygulamaları 10 V elektriksel potansiyelde gerçekleştirilmiş olup, konsantre ve süzüntü bölmeleri akış hızları 70 L/s'tir. Akım 0.02 A'de sabitlendiğinde deney sonlandırılmıştır. Tüm ED testlerinde konsantre ve elektrot çözeltisi kısımlarında 500  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ 'lik  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  çözeltisi kullanılmıştır.

PAS'ın NF-270 membranı kullanılarak elde edilen süzüntüsü besleme çözeltisi olarak kullanıldığında; her iki ED sistemi için seyreltik ve konsantre bölmelerinde zamana karşı ölçülen iletkenlik değerleri Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.18 PAS'ın NF-270 süzüntüsü kullanılarak farklı ED sistemlerinin seyreltik ve konsantre bölmelerinde zamana karşı ölçülen iletkenlik değişimleri

Zaman (dk)	Seyreltik bölme iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Konsantre bölme iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	
	Mega-EDR	Tokuyama-ED	Mega-EDR	Tokuyama-ED
0	6040	6830	599	573
6	4720	5670	1754	1487
12	3680	5400	2460	1747
18	2640	4560	3970	2470
24	1434	3920	5160	3010
30	717	3150	5830	3590
40	142	2065	6540	5720
50	68	1240	6660	6010
60	33	471	6700	6840
70	18.9	230	6690	7120
80	-	115.5	-	7150
90	-	60.6	-	7170
100	-	41.6	-	7150



Şekil 4.41 PAS'ın NF-270 süzütüsü ile farklı ED sistemlerinde elde edilen zamana karşı iletkenlik değişiminin kıyaslanması

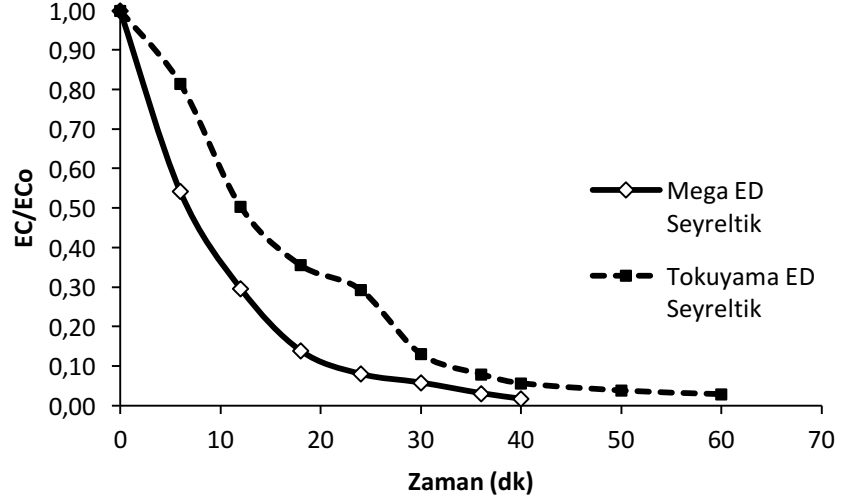
Şekil 4.41'de görüldüğü gibi, PAS'ın NF-270 süzütüsü kullanılarak gerçekleştirilen ED denemelerinde; Mega ED sistemi ile daha hızlı iletkenlik giderimi sağlanmıştır. Sağlanan maksimum iletkenlik giderimleri Tokuyama sistemi ile 100 dakikada %99.4 iken, Mega sistemi ile 70 dakikada %99.7 olmuştur.

PAS'ın NF-90 membranı kullanılarak elde edilen süzütüsü besleme çözeltisi olarak kullanıldığında; her iki ED sistemi için seyreltik ve konsantre bölmelerinde zamana karşı ölçülen iletkenlik değerleri Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.19 PAS'ın NF-90 süzütüsü kullanılarak farklı ED sistemlerinin seyreltik ve konsantre bölmelerinde zamana karşı ölçülen iletkenlik değişimleri

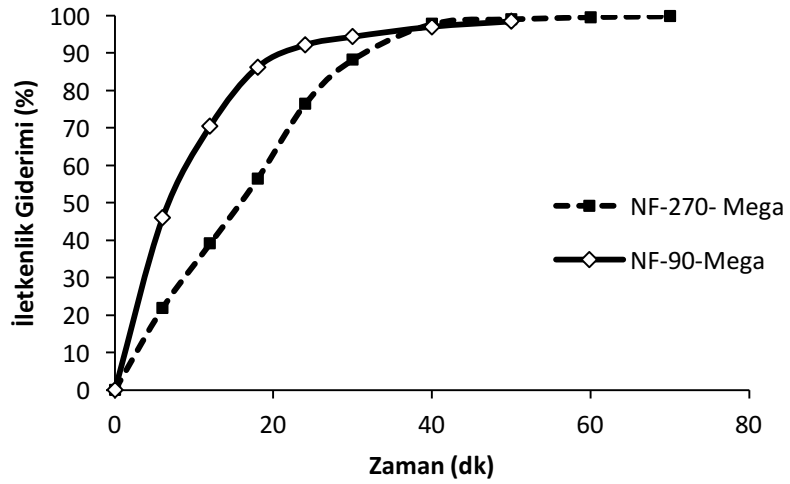
Zaman (dk)	Seyreltik bölme iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Konsantre bölme iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	
	Mega-EDR	Tokuyama-ED	Mega-EDR	Tokuyama-ED
0	1453	2027	514	554
6	787	1652	1120	944
12	431	1022	1579	1618
18	201	720	1904	1973
24	115	595	2080	2320
30	84	264	2150	2440
40	45	161	2180	2580
50	24.5	115	2150	2600
60	-	77	-	2590
70	-	57.6	-	2580



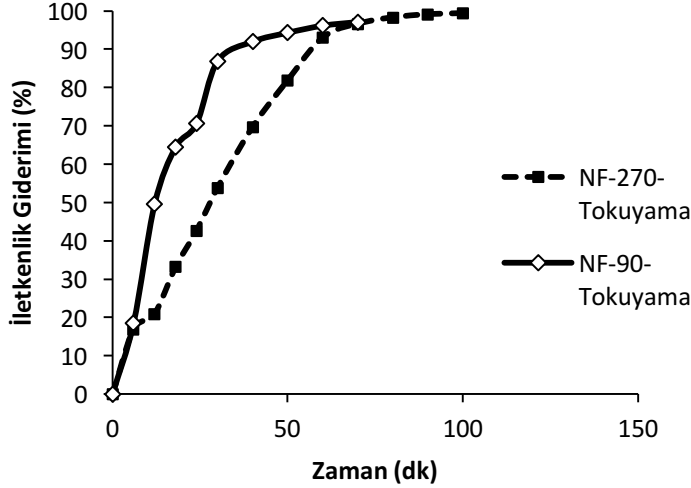


Şekil 4.42 PAS'ın NF-90 süzütüsü ile farklı ED sistemlerinde elde edilen zamana karşı iletkenlik değişiminin kıyaslanması

Şekil 4.42'de görüldüğü üzere, ED çalışmalarında PAS'ın NF-90 süzütüsü besleme çözeltisi olarak kullanıldığında, PAS'ın NF-270 süzütüsü kullanılarak elde edilen sonuçlara paralel sonuçlar elde edilmiştir. Tokuyama sistemi ile 70 dakikada %97.2 düzeyinde iletkenlik giderimi elde edilirken, Mega sistemi ile 50 dakikada %98.3 düzeyinde iletkenlik giderimi sağlanmıştır.



Şekil 4.43 PAS'ın NF-270 ve NF-90 süzütüleri kullanılarak Mega ED sistemiyle elde edilen zamana karşı iletkenlik gideriminin kıyaslanması



Şekil 4.44 PAS'ın NF-270 ve NF-90 süzütüleri kullanılarak Tokuyama ED sistemiyle elde edilen zamana karşı iletkenlik gideriminin kıyaslanması

PAS'ın NF-270 süzütüsü, PAS'ın NF-90 süzütüsüne göre daha yüksek iletkenliğe sahiptir (PAS'ın NF-270 süzütüsü daha fazla mineral iyon içermektedir). Şekil 4.44'de görüldüğü gibi; PAS'ın NF-90 ve NF-270 süzütülerinin ED uygulaması ile iletkenlik giderimleri kıyaslandığında; aralarında önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir. PAS'ın NF-90 süzütüsü, NF-270 süzütüsüne kıyasla daha düşük iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle her iki ED çalışmasında da daha düşük iletkenliğe sahip PAS'ın NF-90 süzütüsü ile yapılan ED uygulamasında maksimum iletkenlik giderimine daha kısa sürede ulaşılmıştır.

Ralex ve Neosepta membranları arasındaki ana farklılık kalınlık ve elektriksel dirençtir (Tablo 3.9 ve 3.10). Ralex membranları Neosepta membranlarına göre daha kalındır ve daha yüksek elektriksel dirence sahiptir (Bkz.3.9-3.10). Bu sebep ile teorik olarak Neosepta membranlarının kullanıldığı Tokuyama ED sisteminin daha iyi sonuç vermesi beklenmektedir. Ancak sonuçlar göz önüne alındığında; Mega EDR sisteminin daha başarılı iletkenlik giderimi sağladığı anlaşılmıştır. Bu sonucun elde edilmesinin nedenleri arasında; ED sistemlerinin seyreltik ve derişik bölmelerinde uygulanan akış hızlarındaki farklılığın olabileceği düşünülmüştür. Mega EDR sisteminin seyreltik ve derişik bölmelerinde uygulanan akış hızları sırası ile, 76 L/s, 70 L/s'dir. Tokuyama ED sisteminde ise kontrol paneli bulunmadığından dolayı, akış hızı ayarlaması istenildiği şekilde sağlanamamıştır. Elde edilen verilere göre; Tokuyama ED sisteminde seyreltik ve derişik bölmelerde uygulanan ortalama akış hızları sırası ile, 60 L/s ve 72 L/s'dir.

Perez et al. (1994), sentetik PAS'ın UF süzütüsünün kullanıldığı ve 25°C'de gerçekleştirdikleri ED çalışmasında 89 dakika sonra %90 düzeyinde iletkenlik giderimi elde etmişlerdir. Sıcaklık 35°C'ye çıktığında ise 64 dakikada aynı düzeyde giderim elde edilmiştir.

Bizim çalışmalarımız ise oda sıcaklığında (yaklaşık 20°C'de) gerçekleştirilmiştir. Su banyosuna sahip Mega EDR sisteminde pompalardan kaynaklanan ısınmanın 25°C'yi geçmesine izin verilmemiştir. Tokuyama ED sisteminde ise sabit sıcaklıkta çalışmak mümkün olamamıştır.

Diblikova et al. (2010), Ralex membranı içeren ED-Z sistemi ile 20 V, MF ön işleminden geçmiş PAS ve MF ön işleme tabii tutulup %1 NaCl eklenmiş PAS ile çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Besleme içerisindeki tuz miktarı ED uygulamasında sadece işlem süresini etkilemiştir. Mineral gideriminde değişiklik gözlenmemiş ancak giderim süresi fark etmiştir.

Bu çalışmada ise; PAS'ın hem NF-270 hem de NF-90 süzütüsü ile yapılan ED uygulamasında genel olarak Tokuyama ED sistemiyle elde edilen mineral iyon giderimleri Mega EDR sistemi sonuçlarına göre daha iyidir. Öte yandan maksimum iyon giderimi için gereken süre Mega EDR sistemiyle daha kısadır (Tablo 4.21).

Tablo 4.20 PAS'ın NF-270 ve NF-90 süzütüleri ile farklı ED sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen iyon giderimleri

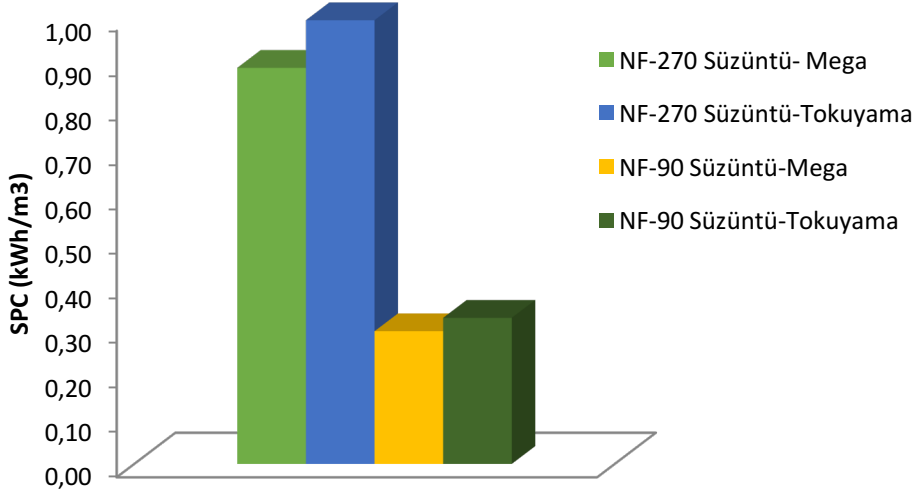
İYON	PAS'ın NF-270 süzütünden iyon giderimi (%)		PAS'ın NF-90 süzütüsünden iyon giderimi (%)	
	Mega-EDR (70 dk)	Tokuyama-ED (100 dk)	Mega-EDR (50 dk)	Tokuyama-ED (70 dk)
Na <sup>+</sup>	88.1	79.4	77.0	81.1
K <sup>+</sup>	99.6	99.7	98.9	98.4
Ca <sup>2+</sup>	80.4	91.7	95.4	99.5
Mg <sup>2+</sup>	86.6	~100	99.1	~100

Diblikova et al., (2013) MF ön işleme tabii tutulmuş PAS kullanarak, Ralex membranları (AMH-PES ve CMH-PES) içeren ED-Z mini ED sistemi ile 20 V elektriksel potansiyel kullanarak, ED denemesi gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, tek değerlikli iyonlar (K<sup>+</sup> ve Na<sup>+</sup>) için giderim %83-100 aralığında iken, çok değerlikli iyonlar (Mg<sup>2+</sup> ve Ca<sup>2+</sup>) giderimi %61-96 aralığında elde edilmiştir.

Bu çalışmada ise; Tokuyama ED sistemi ile 10 V'da gerçekleştirilen ED denemelerinde tek değerlikli (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) iyonların giderimi %79-100 aralığında iken, divalent (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) iyon giderimi %92-100 aralığındadır. Mega EDR sistemi ile aynı koşullarda tek değerlikli (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) iyon giderimleri %77-100 aralığında iken, divalent (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) iyonların giderimleri %80-99 aralığında elde edilmiştir.

Sonuç olarak PAS'a uygulanan NF ön işlemi, mineral yükünü azaltmak için bir tercihtir. ED uygulaması iel PAS'ın NF süzütüsünün demineralizasyonu için başarılı sonuç vermiştir.

Sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda; her iki ED sisteminde yer alan iyon değıştici membranların NF ön işlemine tabii tutulmuş PAS demineralizasyonu için uygun oldukları görülmüştür.



Şekil 4.45 PAS'ın NF süzütülerinin farklı ED sistemleriyle demineralizasyonu için enerji tüketimi

Şekil 4.45'de görüldüğü gibi Tokuyama TS-1-10 ED sistemi ile yapılan ED çalışmalarında, özgün güç tüketimi (SPC), Mega EDR-10x4-0.8 ED sistemine göre daha fazla bulunmuştur.

PAS'ın NF-90 süzütüsü, PAS'ın NF-270 süzütüsüne göre daha düşük oranda iletkenlik, tuzluluk ve TÇK içermektedir. Bu sebepten dolayı PAS'ın NF-90 süzütüsü ile gerçekleştirilen ED çalışmaları daha kısa sürede sonlanmıştır. Dolayısıyla PAS'ın NF-270 süzütüsünün demineralizasyonu için hesaplanan SPC değeri, NF-90 süzütüsüne göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 4.21 PAS'ın UF ve NF membranları ile muammele edilmesi sonucunda elde edilen konsantre ve süzütü örneklerindeki protein değerleri

	Protein Miktarı (%)		
	GM-UF	NF-270	NF-90
Besleme	0.85±0.013	0.48±0.013	0.61±0.013
Konsantre	0.89±0.013	0.46±0.013	0.57±0.013
Süzütü	0.20±0.013	0.03±0.013	0.04±0.013

Tablo 4.22’de görüldüğü üzere UF ve NF işlemleri, PAS’dan protein giderimi için uygundur. Ancak UF membran uygulamasında gözenek çap büyüklüğünden dolayı az miktarda da olsa membrandan süzüntüye geçen protein miktarı NF işlemine göre daha fazladır.

Tablo 4.22 PAS’ın UF ve NF membranları ile muammele edilmesi sonucunda elde edilen konsantre ve süzüntü örneklerindeki laktoz değerleri

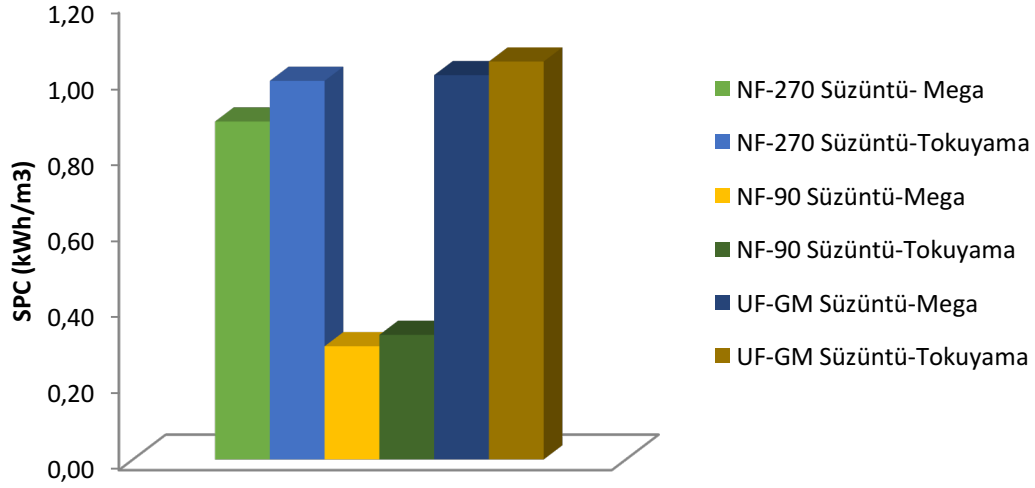
	<b>Laktoz (g/L)</b>		
	<b>GM-UF</b>	<b>NF-270</b>	<b>NF-90</b>
Besleme	38.3±3.61	39.9±3.61	56.8±3.61
Konsantre	37.9±3.61	45.3±3.61	54.3±3.61
Süzüntü	29.6±0.013	0±3.61	0.7±3.61

Tablo 4.23’te görüldüğü üzere Maybi PAS tozundan hazırlanan %6’lık PAS çözeltisi ile Progıda firmasından alınan PAS örneğinin laktoz içerikleri birbirine çok yakındır. NF-90 membranı için kullanılan PAS’daki (besleme) laktoz içeriğinin yüksek olmasının sebebi ise, NF-90 membran uygulamasından önce yapılan NF-270 membran uygulamasında konsantre akım besleme tankına geri beslenmiş ve süzüntü toplanmıştır. Bunun sonucunda NF-90 besleme çözeltisi olarak kullanılan PAS çözeltisinde laktoz derişimi yüksektir. UF işleminde beklenildiği gibi laktozun kısmi olarak giderimi sağlanmıştır.

Tablo 4.23 PAS’ın UF ve NF süzüntüleri kullanılarak yapılan ED uygulamasında elde edilen iyon giderimler

<b>İyon</b>	<b>PAS’ın GM-UF süzüntünden iyon giderimi (%)</b>		<b>PAS’ın NF-270 süzüntünden iyon giderimi (%)</b>		<b>PAS’ın NF-90 süzüntünden iyon giderimi (%)</b>	
	<b>Mega-EDR (90 dk)</b>	<b>Tokuyama-ED (130 dk)</b>	<b>Mega-EDR (70 dk)</b>	<b>Tokuyama-ED (100 dk)</b>	<b>Mega-EDR (50 dk)</b>	<b>Tokuyama-ED (70 dk)</b>
Na <sup>+</sup>	98.8	98.9	88.1	79.4	77.0	81.1
K <sup>+</sup>	99.2	94.3	99.6	99.7	98.9	98.4
Ca <sup>2+</sup>	76.2	73.4	80.4	91.7	95.4	99.5
Mg <sup>2+</sup>	~100	~100	86.6	~100	99.1	~100

Tablo 4.24’te görüldüğü üzere GM-UF süzüntüsünde daha yüksek oranda laktoz ve protein bulunmasına beraber, ED işleminde yüksek oranda iyon giderimi sağlanabilmiştir. Öte yandan PAS’ın UF süzüntüsünden Ca<sup>2+</sup> iyon giderimi, NF süzüntülerinden Ca<sup>2+</sup> iyon giderimine göre nispeten daha düşüktür. UF süzüntüsündeki daha yüksek iyon derişiminin buna sebep olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4.46 UF ve NF süzüntüleri ile farklı ED uygulamalarında gerekli olan enerji ihtiyacı

Şekil 4.46’da görüldüğü gibi Pas’ın UF süzüntüsünün demineralize edilmesi için hesaplanan özgün güç tüketimi, NF-90 süzüntüleri için hesaplanan değerlere göre daha yüksek bulunmuştur. Öte yandan, PAS’ın UF süzüntüsü ve PAS’ın NF-270 süzüntüsünün ED ile demineralizasyonu için hesaplanan SPC değerleri birbirine yakındır. Bu sonuç bize, çözeltideki iyon derişiminin SPC değerini etkilediğini göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

PAS'dan protein ayrımı için UF ve NF membran işlemleri verimli ve başarılı sistemlerdir. UF aşamasında laktoz ayrılması kısmen sağlanırken, NF işleminde laktoz ayrılması daha yüksek oranda gerçekleşmektedir.

GH-UF membranı ile sağlanan protein giderimi ile GM-UF membranı ile sağlanan protein giderimleri kıyaslandığında GM-UF membranının protein ayrımı için daha verimli olduğu görülmektedir.

NF-90 membranı NF-270 membranına kıyasla daha yüksek oranda ayırım yapan bir membrandır.

Protein konsantrasyon oranını arttırmak amacıyla UF uygulamasında geri besleme yöntemi kullanılabilir.

ED işlemi demineralizasyon için oldukça başarılı bir uygulamadır. UF ve NF aşamaları ED sisteminden önce uygulanabilecek bir ön işlemdir. NF membran ön işlem uygulaması ile ED sisteminde gerekli olan enerji oldukça düşürülebilir.

Bütünleşik UF+NF, UF+ED, NF+ED uygulamaları ile PAS'dan protein ve laktoz ayrılması ile birlikte ele geçen UF ya da NF süzüntülerinin demineralizasyonu da mümkündür.

ED uygulaması demineralizasyon işlemi için tercih edilebilecek bir sistemdir. Gıda ile kullanımı uygundur, PAS demineralizasyonundan farklı gıdalar için de kullanımı sağlanabilir.

UF+ED ardışık uygulaması ile yüksek oranda monovalent iyon giderimi sağlanırken, NF+ED ardışık uygulaması ile  $\text{Na}^+$  giderim değerinde düşüş gözlemlenirken diğer iyon giderim değerleri daha yüksektir.

Türkiye'de PAS'ı kullanan işletmelerde; UF ve NF gibi membran proseslerle birlikte uygulanan iyon değiştirme işlemine alternatif bir yöntem olarak ED yöntemi önerilebilir. Kimyasal rejenerasyonun gerekli olmadığı ED işlemi, iyon değiştirici reçinelerin kullanıldığı klasik iyon değiştirme yöntemine göre daha çevre dostu ve uygulanması daha kolay bir ayırma işlemidir.

PAS çalışması zor bir materyal olduğu için homojenliği sağlayabilmek adına mekanik karıştırıcı kullanımı tercih edilebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anonim**, 2013, Süttaş Süt Ürünleri A.Ş., Tire süt ve süt ürünleri üretim tesisi çevresel etki değerlendirmesi başvuru dosyası, Almer Çevre Denetim Müş. Müh. İş Sağ. ve Güv. Proje Tic. Ltd. Şti. Ankara, [http://www.csb.gov.tr/db/ced/editedosya/sutas\\_sut\\_izmir\\_cbd.pdf](http://www.csb.gov.tr/db/ced/editedosya/sutas_sut_izmir_cbd.pdf),
- Anonim**, 2014, Türk Gıda Kodeksi, Peynir Tebliği Taslağı, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara, [http://www.denib.gov.tr/files/downloads/sirku\\_ekleri/2014.16.ek1.1.pdf](http://www.denib.gov.tr/files/downloads/sirku_ekleri/2014.16.ek1.1.pdf),
- Anonim**, 2018a, 'Peynir suyu içecekleri üretimi', <http://foodwaste.milk.tripod.com/whey/id6.html> (Erişim tarihi: 10.09.2018).
- Anonim**, 2018b, 'Laktöz üretimi', <http://foodwaste-milk.tripod.com/whey/id4.html> (Erişim tarihi: 03.01.2019).
- Aslan, M.**, 2016, Membran Teknolojileri, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara.
- Astom Coproration**, 'Data sheet, Neosepta AMX, CMX', [http://www.astom.corp.jp/en/catalog/pdf/Astom\\_Products\\_Catalogue.pdf](http://www.astom.corp.jp/en/catalog/pdf/Astom_Products_Catalogue.pdf) (2019) (Erişim Tarihi: 03.01.2019).
- AOAC International**, 2005, AOAC Official Method 991-20 Nitrogen (Total) in Milk, 50p.
- Baldasso C., Barros T. C., Tessaro I. C.**, 2011, Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration, Desalination, 278:381-386 p.
- Baldasso, C., Lazzari, L.K., Scopel, B.S., Marczak, L.D.F., Tessaro, I.C.**, 2016, Whey fractionation through the membrane separation process, Separation Science and Technology, 51(11): 1862-1871p.
- Bazinet, L.**, 2005, Electrodialytic phenomena and their applications in the dairy industry : A review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45:307-326 pp.
- Bleha, M., Tishchenko, G., Sumberova, V., Kudela, V.**, 1992, Characteristic of the critical state of membranes in ED-desalination of milk whey, Desalination, 86:173-186p.
- Chandan, R.C., Kilara, A.**, 2011, Dairy Ingredients for Food Processing, Wiley-Blackwell, Iowa, 604p.
- Chandrapala J., Duke M. C., Gray S. R., Weeks M., Palmer M., Vasiljevic T.**, 2016, Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature, Separation and Purification Technology, 160:18-27 p.
- Chen G. Q., Eschbach F. I.I., Weeks M., Gras S. L., Kentish S. E.**, 2016, Removal of lactic acid from acid whey using electrodialysis, Separation and Purification Tech., 158: 230-237 p.
- ÇED**, 'Süt ve Süt Ürünleri Üretim Tesisi', <http://ced.csb.gov.tr/tarim.ve.gida.yatirimlari.i.82255> (Erişim tarihi: 25.09.2018).
- Çelik, K.**, 2016, Süt Sektöründe Atık Değerlendirme ve Çevresel Etkilerin Azaltılmasında Yenilikçi Yaklaşımlar, Son Çağ Yayınları, İstanbul, 233 s.
- Demir, E.**, 2016, Peynir Altı Suyu ve Değerlendirme Yöntemleri, Balıkesir, Balıkesir Üniversitesi, 58s.
- Diblikova, L., Curda, L., Homolava, K.**, 2010, Electrodialysis in whey desalting process, Desalination and Water Treatment, 14(1-3): 208-213 p.
- Diblikova, L., Curda, L., Kincl, J.**, 2013, The effect of dry matter and salt addition on cheese whey demineralisation, International Dairy Journal, 31:29-33 p.
- Dinçoğlu, A.H., Ardiç, M.**, 2012, Peynir altı suyunun beslenmemizdeki önemi ve kullanım olanakları, Harran Üni. Vet. Fak. Derg., 1(1);54-60s.
- Dow**, 'Product data sheet Dow FilmTec NF90-4040, NF270-4040', [www.dow.com](http://www.dow.com) (2019) (Erişim Tarihi: 03.01.2019).



## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ecer, J., Kincl, J., Curda, L.**, 2015, Using foil membranes for demineralization of whey by electro dialysis, *Desalination and Water Treatment*, 56:3273-3277 p.
- El.Holi, M.A, Al.Delaimy, K.S.**, 2003, Citric acid production from whey with sugars and additives by *Aspergillus niger*. *Afr J Biotechnol*, 2(10): 356-359.
- FAO**, 'Milk and Dairy Products in Human Nutrition', <http://www.fao.org/docrep/018/i3396e/i3396e.pdf> (2013) (Erişim tarihi: 12.09.2018).
- FAO**, 'Milk Facts', <http://www.fao.org/assets/infographics/FAO.Infographic.milk.facts.en.pdf> (2015) (Erişim tarihi: 09.09.2018).
- FAO**, 'Dairy Market Review', [www.fao.org/agriculture/dairy\\_gateway](http://www.fao.org/agriculture/dairy_gateway) (2018) (Erişim tarihi: 13.10.2018).
- Greiter, M., Novalin, S., Wendland, M., Kulbe, K.D., Fischer, J.**, 2002, Desalination of whey by electro dialysis and ion exchange resins: analysis of both process with regard to sustainability by calculating their cumulative energy demand, *Journal of Membrane Science*, 210:91-102 p.
- Greiter, M., Novalin, S., Wendland, M., Kulbe, K.D., Fischer, J.**, 2004, Electro dialysis versus ion exchange: comparison of the cumulative energy demand by means of two applications, *Journal of Membrane Science*, 233:11-19 p.
- Güzeler, N., Esmek, E.M., Kalender, M.**, 2017, Peyniraltı suyu ve peyniraltı suyunun içecek sektöründe değerlendirilme olanakları, *Çukurova Tarım Gıda Bil.Der.*, 32(2):27-36s.
- Hilal, N., Al-Zoubi, H., Darwish, N.A., Mohammed, A.W.**, 2005, Characterisation of nanofiltration membranes using atomic force microscopy, *Desalination*, 177 (1-3):187-199p.
- Houldsworth, D.W.**, 1980, Demineralization of whey by means of ion exchange and electro dialysis, *Journal of the Society of Dairy Technology*, 33 (2):45-51 p.
- İpekçi, D., Altıok, E., Bunani, S., Yoshizuka, K., Nishihama, S., Arda, M., Kabay, N.**, 2018, Effect of acid-base compartments for simultaneous recovery of lithium and boron from aqueous solution using bipolar membrane electro dialysis (BMED), *Desalination*, 448:69-75 p.
- Johnston, K.T., Hill JR.,C.G.**, 1976, Electro dialysis of raw whey and whey fractioned by reverse osmosis and ultrafiltration, *Journal of Food Science*, 41: 770-777 p.
- Katırcıoğlu, H., Aksöz, N.**, 2003, Tek hücre proteini, *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 1(8): 34-49s.
- Kurt, A., Gülümser, S.**, 1987, Peynir suyu ve kullanım imkanları, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (1-4): 133-141s.
- Lenntech**, 'Data sheets, GE Osmonics UF-GH, UG-GM', [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com) (2019) (Erişim Tarihi: 03.01.2019).
- Lipnizki, F., Dupuy, A.**, 2013, Food Industry Applications, *Encyclopedia of Membrane Science and Technology*, Wiley, New York, 1-23p.
- MEB**, 2011, Gıdalarda Ham Protein Tayini, Ankara, 53s.
- Mega**, 'Data sheets, Ralex AM(H)-PES, CM(H)-PES', [www.mega.cz](http://www.mega.cz) (2019) (Erişim Tarihi: 03.01.2019).
- OECD/FAO**, 2016, Dairy and Dairy Products, in *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*, OECD Publishing, Paris.
- Okawa, T., Shimada, M., Ushida, Y., Seki, N., Watai, N., Ohnishi, M., Tamura, Y., İto, A.**, 2015, Demineralisation of whey by combination of nanofiltration and anion-exchange treatment: A preliminary study, *International Journal of Dairy Technology*, 68: 478-485 p.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pan, K., Song, Q., Wang, L., Cao, B.**, 2011, A study of demineralization of whey by nanofiltration membrane, *Desalination*, 267:217-221 p.
- Peinemann, K., Nunes, S.P., Giorno, L.**, 2010, *Membrane Technology Volume 3: Membranes for Food Applications*, WILEY.VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 247 p.
- Perez, A., Andres, L.J., Alvarez, R., Coca, J.**, 1994, Electrodialysis of whey permeates and retentates obtained by ultrafiltration, *Journal of Food Process Engineering*, 17:177-190 p.
- Prosekov, A. Ju, Ul'rih, E.V., Budrik, V.G., Botina, S. G., Agarkova, E.Ju.**, 2013, On ways demineralization of whey, *Int. J. Of Applied and Fundamental Research*, 1:1-11 p.
- Ramos, O.L., Pereira, R.N., Rodrigues, R.M., Teixeira, J.A., Vicente, A.A., Malcata, F.X.**, 2016, Whey and whey powders: production and uses, *Encyclopedia of Food and Health*, 498-505p.
- Rice, G., Kentish, S., Vivekanand, V., Barber, A., O'Connor, A., Stevens, G.**, 2005, Membrane-based dairy separation: A comparison of nanofiltration and electrodialysis, *Dev. Chem. Eng. Mineral Process*, 13 (1/2): 43-54 p.
- Rektor, A., Vatai G.**, 2004, Membrane filtration of mozzarella whey, *Desalination*, 162: 279-286 p.
- Roman, A., Wang, J., Csanadi, J., Hodur, C., Vatai, G.**, 2009, Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration, *Desalination*, 241: 288-295 p.
- Simova, H., Kysela, V., Cernin, A.**, 2010, Demineralization of natural sweet whey by electrodialysis at pilot.plant scale, *Desalination and Water Treatment*, 14(1-3): 170-173 p.
- Suarez, E., Lobo, A., Alveraz, S., Riera, F.A., Alvarez, R.**, 2009, Demineralization of whey and milk ultrafiltration permeate by means of nanofiltration, *Desalination*, 241: 272-280 p.
- Seong-Hoon, Y.**, 2015, *Membrane Bioreactor Processes Principles and Applications (Advances in Water and Wastewater Transport and Treatment)*, CRC Press, New York, 452p.
- Şener, A., Ünal, M.Ü.**, 2008, Gıda sanayii atıklarının biyoteknolojik yöntemlerle değerlendirilmesi, Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum, 1035-1038s.
- Tepav**, 2012, Konya'da tarımsal sanayide yapısal özelliklerin analizi ve rekabet stratejisinin belirlenmesi sonuç raporu: Süt ve süt ürünleri imalatı sektörü, Konya, 52s.
- TSE**, 1995, TSE 11860, Peyniraltı suyu tozu, Ankara.
- Tunçez, F.D.**, 2018, Ereğli ilçesinin biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(1):1-7s.
- TÜİK**, 'TÜİK 2018 yılı 10 aylık süt ve süt ürünleri üretimi raporu (ton)', <http://ulusalsutkonseyi.org.tr/uretimler/>, (2018) (Erişim tarihi: 20.09.2018).
- Türkdayı, A.**, 2017, Peynir Altı Suyunun Değerlendirilmesi, Lisans Tezi, Avrasya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 53s.
- Ünal, G. ve Akalın, A.S.**, 2014, Süttozu ve diğer süt bazlı toz ürünlerin kullanım alanları, 4. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 17.19 Nisan, Adana, 417-421s.
- Yerlikaya, O., Kınık, Ö., Akbulut, N.**, 2010, Peyniraltı suyunun fonksiyonel özellikleri ve peyniraltı suyu kullanılarak üretilen yeni nesil süt ürünleri, *Gıda*, 35(4): 289-296s.
- Yiğit, N.**, 2007, Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Biyogaz Üretimi için En Uygun Koşulların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 113s.
- Walstra, P., Geurts, T.J., Noomen, A., Jellema, A., Van Boekel, M.A.J.S.**, 1999, *Dairy Technology: Principles of milk, Properties and Processes*, Marcel Dekker, Inc. New York, 726p.
- Wenten, I.G., Khoiruddin**, 2016, Reverse osmosis applications: prospect and challenges, *Desalination*, 391: 112-125p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

**Wyatt, M.**, 2015, Proteins Functional Properties, Production and Health Benefits, Nova Science Publishers, New York, 191p.



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli hocalarım olan Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ ve Prof. Dr. Nalan KABAY'a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Yine çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren Arş. Gör. Dilek Selvi GÖKKAYA, Berna Şenol ERDOĞAN ve Alper KARACA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca kıymetli zamanını benim hazırladığım bitirme projesine ayırıp değerlendirdiği için Prof. Dr. Ergun KÖSE'ye teşekkürü borç bilirim.

Teşekkürlerin az kalacağı diğer üniversite hocalarımdan da bana 4 yıllık üniversite hayatım boyunca kazandırdıkları her şey için ve beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için hepsine teşekkürlerimi sunuyorum. Son olarak çalışmamda desteğini ve bana olan güvenini benden esirgemeyen Esra Altıok, Nasim Jalilnejad Falizi, İrem Özdemir, İlker Parlar ve diğer laboratuvar arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde materyal kaynağı sunan ve değerli vakitlerinden zaman ayıran desteklerini hiç esirgemeyen Malkara Birlik Süt ve Süt Mamülleri A.Ş. ve Gürsüt A.Ş. ortaklığındaki Progıda'ya içten teşekkürü borç bilirim.

28 / 02 / 2019

İmzası

Neslihan KAYA

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAYA, Neslihan  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri: 11.08.1993, Eminönü/İstanbul  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (534) 685 99 30  
 e.mail : [neslihankaya93@gmail.com](mailto:neslihankaya93@gmail.com)

### Eğitim

Derece tarihi	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Lisans	Ege Üniversitesi/ Gıda Müh.Böl.	2016
Lise	Çorlu Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi	2011

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013	Özşifa Süt Ürünleri Anonim Ltd.Şti.	Stajyer
2015	T.C. Gıda, Hayvancılık ve Tarım Bakanlığı Gıda Kontrol Laboratuvarı	Stajyer
2017-2019	Özşifa Süt Ürünleri Anonim Ltd. Şti.	Gıda Mühendisi
2019	Köfteci Yusuf	Gıda Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Kitap okuma (felsefe, psikoloji ve nöropsikoloji)

### Yayımlar

- Kaya, N., Altıok, E., Gökkaya D.S., Kabay, N., Ötleş, S., 2019, 'Deminerallization of cheese whey by sequential nanofiltration (NF) and electro dialysis (ED) processes', Journal of Membrane Science and Research (in press).

- Kaya, N., Ötleş, S., 2019, 'Sirkenin Kimyasal İçeriği', Eren Akçiçek, Semih Ötleş, Hatice Kalkan Yıldırım (ed), Sirke/Kadim bir İksir, Gece Kitaplığı. (basımda).
- Kaya, N., Ötleş, S., 2018, 'Peyniraltı suyu değerlendirmesinde kullanılan membran yöntemleri', Dünya Gıda, Mart 92-94 s.
- Ötleş, S., Kaya, N., 2018, 'Polifenollerin Diyetteki Önemi ve Analizlerde Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar', Dünya Gıda, Aralık. 28-34s.
- Ötleş, S., Kaya, N., 2017, 'Hayatımızda yeni bir kavram olan indirgenmiş su ve sağlık etkileri (II)', Dünya Gıda, Mayıs, 88-91s.
- Ötleş, S., Kaya, N., 2017, 'Hayatımızda yeni bir kavram olan indirgenmiş su ve sağlık etkileri (I)', Dünya Gıda, Nisan, 96-98s.
- Kaya, N., Ötleş, S., 2017, 'Şeker ve Tatlandırıcıların Hayatımızdaki Yeri', Dünya Gıda, Mart,82-88s.
- Ötleş, S., Kaya, N., 2016, 'Kardiyovasküler Hastalıklardan Korunmada Üzüm Çekirdeği Özütü', Dünya Gıda, Aralık, 85-92s.

#### **Posterler**

- Ötleş, S., Kaya, N., 2017, Ekim, 'Gastrit Hastalarının Beslenmesinde Önem Taşıyan Gıdalar ve Gıda Bileşenleri', İleri Yaşta Kronik Hastalıklarda Nutrisyon Sempozyumu.
- Özdemir, İ., Kaya, N., Altıok, E., Gökkaya, S.D., Ötleş, S., Kabay, N., Yüksel, M., 2017, Eylül, 'Peyniraltı Suyunun Ayırma İşlemlerinde Bütünleşik Membran Yöntemlerinin Uygulanması', 5. Ulusal Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu.

## EKLER

### Ek-1-PAS Çözeltileri İyon Derişimleri

<b>İYON (ppm)</b>	<b>%6 Maybi PAS Tozu</b>	<b>Gürsüt PAS 1</b>	<b>Gürsüt PAS 2</b>	<b>Gürsüt PAS Karışım-I</b>
Na <sup>+</sup>	1261,82	2735,18	1174,26	1643,39
K <sup>+</sup>	1407,54	2515,10	1326,43	1519,05
Ca <sup>2+</sup>	20,98	136,47	26,53	45,50
Mg <sup>2+</sup>	63,68	99,50	71,43	83,49

## Ek-2- Laktoz Kalibrasyon Eğrileri

Calib. Data Modified : 29.11.2017 16:35:35

Calculate : External Standard  
Based on : Peak Area

Rel. Reference Window : 5.000 %  
Abs. Reference Window : 0.000 min  
Rel. Non-ref. Window : 5.000 %  
Abs. Non-ref. Window : 0.000 min  
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs  
Uncalibrated Peaks : not reported  
Partial Calibration : Yes, identified peaks are recalibrated  
Correct All Ret. Times: No, only for identified peaks

Curve Type : Linear  
Origin : Forced  
Weight : Equal

Recalibration Settings:  
Average Response : Average all calibrations  
Average Retention Time: Floating Average New 75%

Calibration Report Options :  
Printout of recalibrations within a sequence:  
Calibration Table after Recalibration  
Normal Report after Recalibration  
If the sequence is done with bracketing:  
Results of first cycle (ending previous bracket)

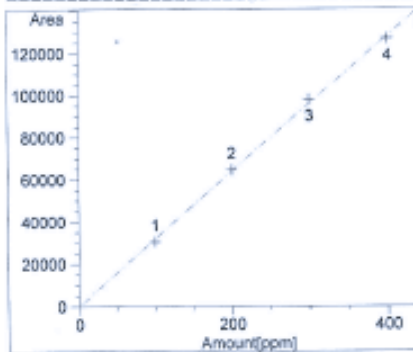
Signal 1: RID1 A, Refractive Index Signal

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount [ppm]	Area	Amt/Area	Ref Grp Name
7.775	1	100.00000	3.04972e4	3.27899e-3	LAKTOZ
	2	200.00000	6.44352e4	3.10389e-3	
	3	300.00000	9.79479e4	3.06285e-3	
	4	400.00000	1.26909e5	3.15187e-3	

Peak Sum Table

\*\*\*No Entries in table\*\*\*

### Calibration Curves



LAKTOZ at exp. RT: 7.775  
RID1 A, Refractive Index Signal  
Correlation: 0.99988  
Residual Std. Dev.: 1571.57976  
Formula:  $y = mx$   
m: 320.28197  
x: Amount[ppm]  
y: Area



Calib. Data Modified : 15.02.2018 13:07:25

Calculate : External Standard  
Based on : Peak Area

Rel. Reference Window : 5.000 %  
Abs. Reference Window : 0.000 min  
Rel. Non-ref. Window : 5.000 %  
Abs. Non-ref. Window : 0.000 min  
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs  
Uncalibrated Peaks : not reported  
Partial Calibration : Yes, identified peaks are recalibrated  
Correct All Ret. Times: No, only for identified peaks

Curve Type : Linear  
Origin : Forced  
Weight : Equal

Recalibration Settings:  
Average Response : Average all calibrations  
Average Retention Time: Floating Average New 75%

Calibration Report Options :

Printout of recalibrations within a sequence:  
Calibration Table after Recalibration  
Normal Report after Recalibration  
If the sequence is done with bracketing:  
Results of first cycle (ending previous bracket)

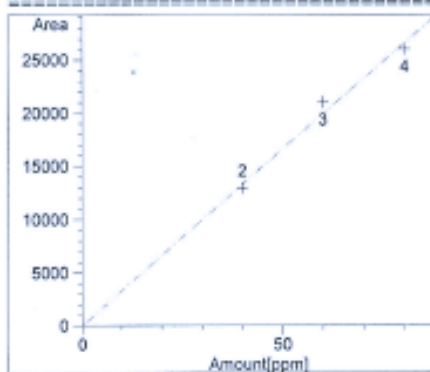
Signal 1: RID1 A, Refractive Index Signal

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount [ppm]	Area	Amt/Area	Ref Grp Name
7.710	1 2	40.00000	1.29422e4	3.09065e-3	LAKTOZ1
	3	60.00000	2.09920e4	2.85823e-3	
	4	80.00000	2.60260e4	3.07385e-3	

Peak Sum Table

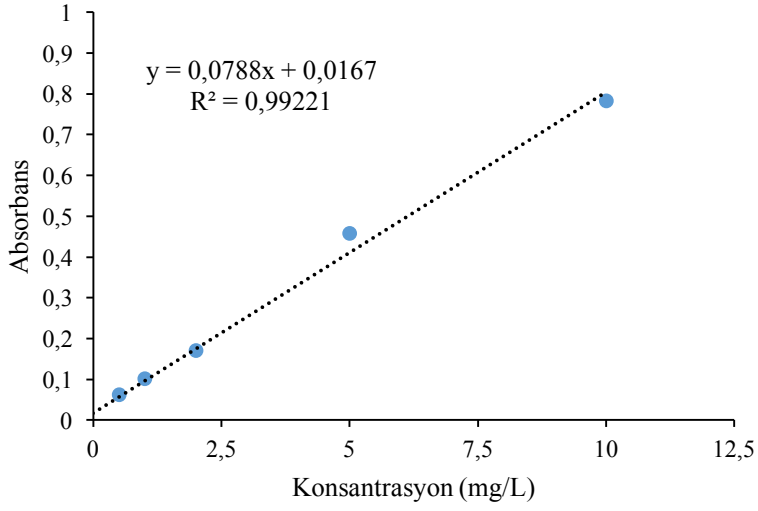
\*\*\*No Entries in table\*\*\*

Calibration Curves

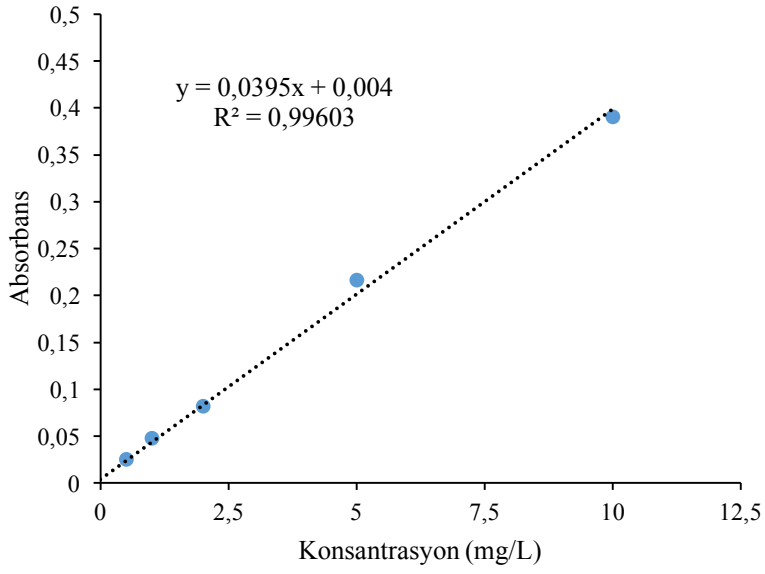


LAKTOZ1 at exp. RT: 7.710  
RID1 A, Refractive Index Signal  
Correlation: 0.99940  
Residual Std. Dev.: 878.30299  
Formula:  $y = mx$   
m: 332.69781  
x: Amount [ppm]  
y: Area

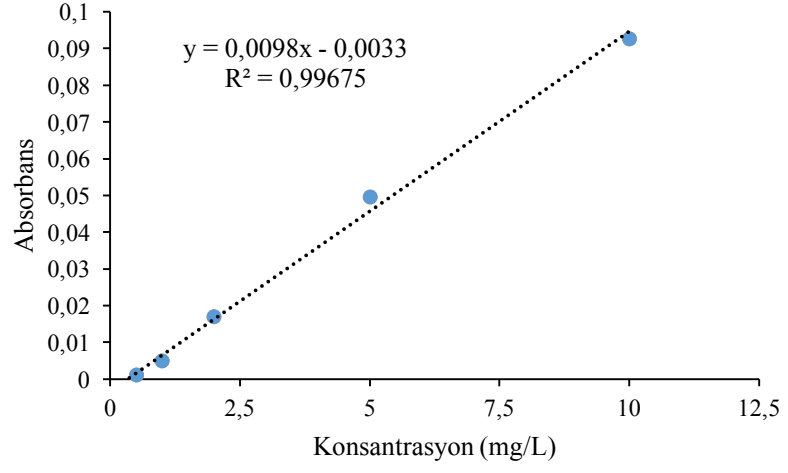
### Ek-3- AAS Mineral Kalibrasyon Eğrileri



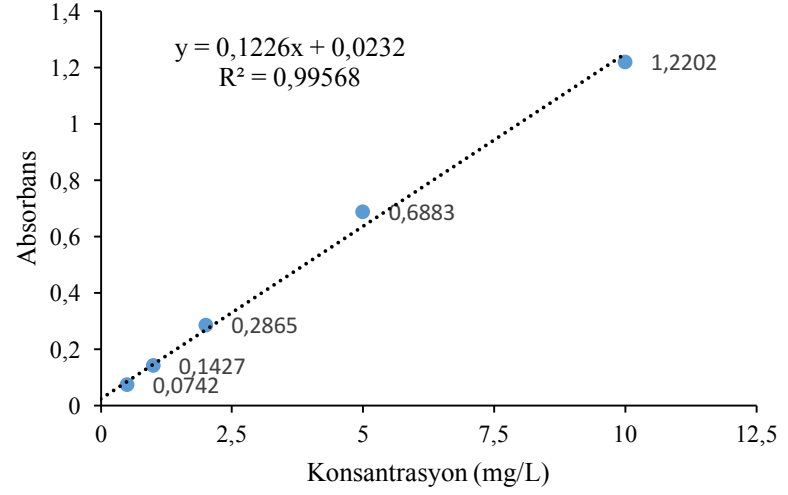
Şekil.1 Na<sup>+</sup> kalibrasyon grafiği



Şekil.2 K<sup>+</sup> kalibrasyon grafiği



Şekil.3 Ca<sup>2+</sup> kalibrasyon grafiği



Şekil.4 Mg<sup>2+</sup> kalibrasyon grafiği