T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BESLEME KARAKTERİSTİKLERİ VE SICAKLIĞIN İLERİ OZMOZ MEMBRAN PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN MODEL ORTAMLARDA İNCELENMESİ

DAMLA YALIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. HACI ALİ GÜLEÇ

EDİRNE-2023

DAMLA YALIN'ın hazırladığı "**BESLEME KARAKTERİSTİKLERİ VE SICAKLIĞIN İLERİ OZMOZ MEMBRAN PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN MODEL ORTAMLARDA İNCELENMESİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **GIDA MÜHENDİSLİĞİ** Anabilim Dalında bir **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvan, Ad, Soyad): İmza

Prof. Dr. Hacı Ali GÜLEÇ ……

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI ……....

Doç. Dr. Sine ÖZMEN TOĞAY …….

Tez Savunma Tarihi:

20/01/2023

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Hacı Ali GÜLEÇ

Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

……..

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

20/01/2023

Damla YALIN

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Besleme Karakteristikleri ve Sıcaklığın İleri Ozmoz Membran Performansı Üzerine Etkisinin Model Ortamlarda İncelenmesi

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada, peynir altı suyunda (PAS) bulunan bileşenlerin, ayrı ayrı ve birlikte farklı sıcaklık ve pH koşullarında ileri ozmoz (FO) membran performansı üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı besleme karakteristiklerine sahip 4 adet besleme çözeltisi (FS) hazırlanmıştır. Hazırlanan FS'ler PAS içerisindeki oranları doğrultusunda protein olarak sığır serum albümin (BSA), şeker olarak laktoz ve inorganik madde olarak kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içermektedir. Farklı pH değerlerine (pH=4,7 ve pH=6,4) ayarlanan FS'ler 35 $^{\circ}$C ve 55 $^{\circ}$C sıcaklıklarda memrbandan geçirilerek konsantre edilmiş ve bileşenlerin bu koşullarda membran kirlenmesine olan etkileri akı-zaman ve suda çözünür kuru madde (SÇKM)-zaman grafikleri üzerinden incelenmiştir.

Akı profilleri ve membrandan geçiş oranları incelendiğinde her bir bileşenin, sıcaklık ve pH değerlerinden farklı şekilde etkilendikleri görülmüştür. Sıcaklık, laktoz ve $CaCl_2$'nin çözünürlüklerini etkilerken, BSA için yüksek sıcaklıklar proteinlerin yapısını etkilendiğinden kirlenmeye neden olmaktadır. pH değerleri ise $CaCl_2$'nin çözünürlük özelliğini ve BSA proteininin net yükünü değiştirdiğinden süreç performansı için önemli bir parametre olmuştur.

Tüm FS'ler karşılaştırıldığında membrandan en yüksek akı geçişleri $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'de gözlenmiştir. Özellikle 55 $^{\circ}$C pH 6,4'te en yüksek konsantrasyonseviyelerine ulaşarak FS, 7 kat kadar konsantre edilmiştir. Ancak

sıcaklığın 35 °C'ye düşmesi durumunda bileşenlerden kaynaklanan membran kirlenmesi gözlenmiştir.

Kirlenme üzerine en etkili bileşen BSA proteini olmuştur. Sıcaklığın yükselmesi ve pH değerinin BSA'nın izoelektrik noktasına (PI) eşit olduğu durumda akı değerleri diğer koşullara kıyasla yüksek bir düşüş göstermiştir. Bileşenlerden kaynaklı membran kirlenmesi, en yüksek laktoz, $CaCl_2$ ve BSA içeren FS'de görülmüştür. Bu FS'nin 55 °C pH 4,7 koşullarında konsantre edilmesi sırasında %30 oranında akı düşüşü hesaplanırken bu düşüş tüm çalışma boyunca gözlemlenen en yüksek akı düşüşü olmuştur.

Sonuç olarak, yüksek sıcaklık BSA içeren FS'lerin PI=pH durumu dışında FO sürecinin verimliliğini arttırmıştır. Bu durumda protein içeren FS'lerde, proteinlerin yapısına zarar vermeyecek en yüksek sıcaklık değerlerinin seçilmesi ve FS'nin pH değerinin, içerisindeki proteinlerin PI değerinden farklı olması bileşenlerden kaynaklı membran kirlenmelerinin önüne geçilebilmesi için önemli faktörlerdir.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 80

Anahtar Kelimeler : ileri ozmoz, peynir altı suyu, sığır serum albümin, laktoz, kalsiyum klorür, pH, sıcaklık, membran kirlenmesi.

Master Thesis

Investigation of the effects of feed characteristics and temperature on performance of a forward osmosis membrane by using model solutions

Trakya University of Natural and Applied Sciences

Department of Food Engineering

ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate the effects of the components in whey (PAS) individual together on the performance of forward osmosis (FO) membranes at different temperature and pH values. For this purpose, 4 feed solution (FS) with different feeding chracteristics were prepared. FSs contains bovine serum albümin (BSA) as protein, lactose as sugar and calcium chloride ($CaCl_2$) as inorganic substance in accordance with its proportion PAS. FSs set to different pH values (pH=4,7 and pH=6,4) were concentrated by passing through the membrane at 35 $^{\circ}$C and 55 $^{\circ}$C temperatures. Effects of the components on membrane fouling under these conditions flux-time and water-soluble dry substances (SCKM)-time analyzed on the graphs.

When the flux profiles and penetration rates are examined, it is seen that each component is affected differently by temperature and pH values. While temperature affects the solubility of lactose and $CaCl_2$, high temperatures for BSA fouling as it affects the structure of proteins. The pH value, affects the solubility property of $CaCl_2$ and changes the net charge of the BSA protein. Therefore it has become an important parameter for process performance as it changes.

When all FSs were compared, the highest flux transitions through the membrane were observed in the FS containing $CaCl_2$ and lactose. The highest concentration levels were reached especially at 55 $^{\circ}$C pH 6,4. FS, concentrated up to 7 times. However, membrane fouling from the components was obserced with the temperature dropping 35 $^{\circ}$C.

The most effective component on fouling was BSA. When the temperature rises and the pH value is equal to the isoelectric point (PI) of BSA, the flux values show a high decrease compared to the other conditions. Membrane fouling from components was highest in the FS containing lactose, $CaCl_2$ and BSA. A flux reduction of 30% was calculated when concentrating this FS at 55 $^{\circ}$C pH 4,7 conditions. This was the highest flux drop observed during the entire study.

As a result, the high temperature increased the efficiency of the FO process, except for the PI=pH condition of the FS containing BSA. İn this case, in FSs containing protein, the highest temperature values that will not damage the structure of the proteins should be selected and the pH value of FS is higher than the PI value of the proteins in it, which are important factors to prevent membrane fouling caused by the components.

Year : 2023

Number of Page : 80

Keywords : forward osmosis, whey, bovine serum albümin, lactose, calcium chloride, temperature, membran fouling.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana yol göstererek beni destekleyip emeklerini esirgemeyen kıymetli danışman hocam sayın Prof. Dr. Hacı Ali GÜLEÇ'e,

Lisans ve yüksek lisans öğrenim süreçlerim boyunca desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Ayşe Zeynep HİÇŞAŞMAZ KATNAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI'ya,

Her zaman yanımda olarak sevgi ve desteklerini hissettiren biricik aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET……iv

ABSTRACT……vi

TEŞEKKÜRLER……...viii

İÇİNDEKİLER……...……..ix

SİMGELER DİZİNİ……xii

KISILTMALAR……xii

ÇİZELGELER DİZİNİ……...xiv

ŞEKİLLER DİZİNİ……xv

BÖLÜM 1……..1

GİRİŞ…….1

BÖLÜM 2……..3

LİTERATÜR ÖZETİ……3

2.1. Peynir Altı Suyu…….3

2.1.1. Peynir Altı Suyunun Bileşenleri……..3

2.1.2. Peynir Altı Suyunun Endüstride Kullanımı…….5

2.2. Membran Prosesleri……5

2.3. Membran Sistemlerinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı……..……...7

2.4. İleri Ozmotik Membran Distilasyonu……...10

2.4.1. İleri Ozmoz Sürecinin Uygulamaları……11

2.4.2. İleri Ozmoz Sürecinin Avantajları ve Sınırları……..……13

2.4.2.1. İleri Ozmoz Sürecinin Avantajları……..……13

2.4.2.2. İleri Ozmoz Sürecinin Sınırları……..…….14

2.5. Membran Performansı……..16

BÖLÜM 3……18

MATERYAL METOD……18

3.1. Materyal……18

3.2. Metod……18

3.2.1. İleri Ozmotik Membran Distilasyonu (FO)……...18

BÖLÜM 4……21

DENEYSEL SONUÇLAR……..21

4.1. İleri Ozmoz İle Konsantrasyon Süreci……...……...21

4.1.1. Saf Su İçeren Besleme Çözeltisinin İleri OzmozSürecine Etkisinin İncelenmesi……..…....21

4.1.2. Kalsiyum Klorür ($CaCl_2$) İçeren Besleme Çözeltisinin İleri Ozmoz Sürecine Etkisi……25

4.1.3. Kalsiyum Klorür ($CaCl_2$) ve Laktoz İçeren Besleme Çözeltinin İleri Ozmoz Sürecine Etkisi……30

4.1.4. Sığır Serum Albumin (BSA) İçeren Besleme Çözeltisinin İleri Ozmoz Sürecine Etkisi……34

4.1.4 Sığır Serum Albumin (BSA), Laktoz ve Kalsiyum Klorür ($CaCl_2$) İçerenBesleme Çözeltinin İleri Ozmoz Sürecine Etkisi…..……..……...40

BÖLÜM 5……45

SONUÇLAR……45

KAYNAKLAR……49

ÖZGEÇMİŞ…… 63

SİMGELER DİZİNİ

Δm: Kütle Farkı

ΔPm: Membran Yüzeyindeki Su Buharı Basıncı Farkı

ΔPy: Yığın Su Buharı Basıncı Farkı

Δt: Zaman Farkı

µm: Mikrometre

˚Briks: Çözünür Kuru Madde Miktarı

˚C: Derece

Cbm: Besleme Membran Yüzeyindeki Konsantrasyon

Cby: Besleme Yığın Konsantrasyonu

Cpm: Permeat Membran Yüzeyindeki Konsantrasyon

Cpy: Permeat Yığın Konsantrasyonu

h: Saat

J: Permeat Akısı

Kg: Kilogram

L: Litre

m^2: Metrekare

nm: Nanometre

KISALTMALAR

BSA: Sığır Serum Albümin

Da: Dalton

DS: Çekme Çözeltisi

ED: Elektrodiyaliz

FO: İleri Ozmoz

FS: Besleme Çözeltisi

MF: Mikrofiltrasyon

NF: Nanofiltrasyon

PAS: Peynir Altı Suyu

PI: İzoelektrik Noktası

SÇKM: Suda Çözünür Kuru Madde

TO: Ters Ozmoz

UF: Ultrafiltrasyon

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Peynir Altı Suyu Bileşenlerinin Oranı

Çizelge 2.2. Peynir Altı Suyu Proteinlerinin İzoelektrik Noktaları

Çizelge 2.3. İleri Ozmoz Hakkında Literatürdeki Bazı Çalışmalar

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Membran akım fazları

Şekil 2.2. Gözenek boyutuna göre membran sistemleri

Şekil 2.3. Ozmotik distilasyon prosesinde ortaya çıkan konsantrasyon profilleri

Şekil 2.4. "Ozmotik distilasyon" sürecinin şematik gösterimi

Şekil 2.5. 2005 yılından sonra yıllara göre "ileri ozmoz'' içeriğine sahip yayınların sayısı

Şekil 2.6. Konsantrasyon polarizasyonunun şematik gösterimi

Şekil 3.1. İleri ozmotik membran distilasyon süreci

Şekil 4.1. 35°C'de saf su içeren besleme çözeltisinin (FS) akı değişim grafiği

Şekil 4.2. 45 °C' de saf su içeren besleme çözeltisinin (FS) akı değişim grafiği

Şeki 4.3. 55 °C'de saf su içeren besleme çözeltisinin (FS) akı değişim grafiği

Şekil 4.4. 35 °C sıcaklıkta çekme çözeltisinin (DS) zamana bağlı suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişimi

Şekil 4.5. 45 °C sıcaklıkta çekme çözeltisinin (DS) zamana bağlı suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişimi

Şekil 4.6. 55 °C sıcaklıkta çekme çözeltisinin (DS) zamana bağlı suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişimi

Şekil 4.7. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisine (FS) ait 55 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafiği

Şekil 4.8. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisine (FS) ait 55 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafiği

Şekil 4.9. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisine (FS) ait 35 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafiği

Şekil 4.10. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisine (FS) ait 35 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafiği

Şekil 4.11. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C'de pH 6,4'e ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.12. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C'de pH 4,7'ye ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.13. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C'de pH 6,4'e ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.14. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C'de pH 4,7'ye ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.15. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve laktoz içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafikleri

Şekil 4.16. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve laktoz içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafikleri

Şekil 4.17. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve laktoz içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafikleri

Şekil 4.18. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve laktoz içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 4,7'e ait akı değişim grafikleri

Şekil 4.19. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve laktoz içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 6,4'e ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.20. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve laktoz içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 4,7'ye ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.21. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve laktoz içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 6,4'e ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.22. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ve laktoz içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 4,7'ye ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.23. Sığır serum albumin (BSA) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafiği

Şekil 4.24. Sığır serum albumin (BSA) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafiği

Şekil 4.25. Sığır serum albumin (BSA) içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafiği

Şekil 4.26. Sığır serum albumin (BSA) içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafiği

Şekil 4.27. Sığır serum albumin (BSA) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 6,4' e ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.28. Sığır serum albumin (BSA) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 4,7'ye ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.29. Sığır serum albumin (BSA) içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 6,4'e ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.30. Sığır serum albumin (BSA) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 4,7'ye ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.31. Sığır serum albumin (BSA), laktoz ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C'de pH 6,4'e ait akı grafiği

Şekil 4.32. Sığır serum albumin (BSA), laktoz ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C'de pH 4,7'ye ait akı grafiği

Şekil 4.33. Sığır serum albumin (BSA), laktoz ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C'de pH 6,4'e ait akı grafiği

Şekil 4.34. Sığır serum albumin (BSA), laktoz ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C'de pH 4,7'ye ait akı grafiği

Şekil 4.35.Sığır serum albumin (BSA), laktoz ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 6,4'e ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.36. Sığır serum albumin (BSA), laktoz ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 55 °C pH 4,7'ye ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.37. Sığır serum albumin (BSA), laktoz ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 6,4'e ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

Şekil 4.38. Sığır serum albumin (BSA), laktoz ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) içeren besleme çözeltisinin (FS) 35 °C pH 4,7'ye ait suda çözünür kuru madde (SÇKM) değişim grafiği

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Meyve suları, sebze suları, süt, PAS gibi su oranı yüksek sıvı gıdalarda konsantrasyon işlemi besin içeriğinin arttırılması, bakteri gelişimini azaltarak gıdanın raf ömrünü uzatması, depolama ve taşıma maliyetlerinin azaltılabilmesi açısından önemli bir süreçtir (Gül, 2017). Bu amaçla kullanılan en yaygın yöntem termal bir yöntem olan evaporasyon işlemidir. Ancak bu yöntem yüksek sıcaklıktan dolayı tat, aroma, ısıya duyarlı bileşenlerin kaybı ve protein denatürasyonuna neden olmaktadırve suyun faz değişimini içerdiğinden enerji tüketimi de yoğundur.

Gelişen teknolojiyle birlikte üreticilerin minimum maliyet ile ürün elde etme isteği ve tüketicilerin sağlıklı beslenmeye olan eğilimlerinden dolayı evaporasyon sürecinde meydana gelen bu problemlerin çözümü için yeni gelişmelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda konsantrasyon işlemi için geleneksel membran proseslerinden mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (TO) gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Girard vd., 2000). Ancak sürücü gücü basınç olan bu membran sistemlerinde yüksek basınç kullanılmaktadır ve kullanılan yüksek basınç konsantrasyon polarizasyonuna dolayısıylamembran kirlenmesine neden olaraksürecin uygulanabilirliğini sınırlamakta ve enerji tüketmi ile maliyeti de arttırmaktadır (Li vd., 2020). Bu nedenle alternatif membran sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda, “membran distilasyon” ve “ozmotik distilasyon” prosesleri düşük sıcaklık koşullarında uygulanabilirliği ve sürücü güç olarak konsantrasyon farkı kullanılması sayesinde gıdaların konsantrasyonuna imkan veren alternatif membran uygulamaları olarak ortaya çıkmıştır (Cabral vd., 2011; Dornier vd.,2011;

Onsekizoğlu, 2012). FO süreci, gıda sanayisinde meyve sularının oda sıcaklığında konsantre edilmesi, süt ve süt endüstrisi atık sularının işlenmesi ve arıtılması, atık sulardan içilebilir su eldesi ve alkolsüz fermente içeceklerin üretimi gibi farklı uygulamalarda kullanılmaya başlanan alternatif ve yenilikçi bir membran destekli ayırım sürecidir. FO, suyun az yoğun ortamdan daha yoğun bir ortama doğru, farklı çözünen derişimine sahip olan besleme ve hipertonik tuz çözeltisi kullanılarak oluşturulan ozmotik basınç farkından yararlanarak seçici bir hidrofobik membrandan geçirilerek birbirinden ayrılmasını sağlayan bir süreçtir. Su aktarımı sıvı fazda değil buhar fazında gerçekleştirilir ve kullanılan sürücü güç basınç değil konsantrasyon farkı ya da sıcaklık farkıdır (Tijing vd., 2014). Geleneksel basınçla çalışan membran sistemleri ile kıyaslandığında FO, düşük çalışma basıncı ve sıcaklık sayesinde potansiyel olarak düşük membran kirlenmesi ve daha az enerji tüketimi gibi avantajlar sunmaktadır (Chung vd., 2012).

Literatür verileri incelendiğinde, basınç destekli membran ayırım süreçlerinde kirlenme mekanizmalarının yoğun bir biçimde çalışıldığı ve açıklanabildiği görülmektedir. Oysa sürücü gücün konsantrasyon farkı ya da sıcaklık farkı olduğu membran süreçleri için yürütülen kirlenme çalışmaları daha azdır ve halen açıklanması gereken mekanizmalar vardır. Özellikle organik ve inorganik kirleticilerin tek tek ele alındığı, pH ve sıcaklık etkileşimlerinin süreç performansı üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tez kapsamında farklı oranlarda protein, şeker ve inorganik madde içeriğine sahip model çözeltiler hazırlanarak bu çözeltiler farklı sıcaklık ve pH'larda konsantre edilmiş, bu sayede her bir bileşenin, sıcaklığın ve pH'nın FO sürecinin performansına etkisinin akı profilleri üzerinden incelenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Peynir Altı Suyu

PAS, peynir yapımı sırasında kazein ve yağın pıhtı olarak ayrılmasından sonra yan ürün olarak geride kalan yeşilimsi sarımtrak renkteki sıvıdır (TSE, 1995; Küçükönder, 2011). PAS üretim şekline bağlı olarak tatlı ve asidik PAS olarak ayrılmaktadır. Tatlı PAS, peynir ve rennet kazeini üreten işletmelerde elde edilen bir yan üründür ve pH değeri 5,9-6,6 arasında değişmektedir (Demirci vd., 1989). Asidik PAS ise mineral-asit yolu ile çökeltilmiş kazein üretiminden elde edilen bir yan üründür ve pH değeri 4,3-4,6 arasında değişmektedir (Demirci vd., 1989).

Ülkemizde peynir üretimi 200.000 ton/yıl iken elde edilen PAS 800.000 ton/yıldır ve işlenecek olan sütün %85'i PAS olarak elde edilir. Dolayısıyla peynir üretimi esnasında göz ardı edilemeyecek miktarda PAS atık olarak oluşmakta ve bu atığın değerlendirilememesi ekonomik olarak kayıba neden olmaktadır. Ekonomik kaybın yanı sıra peynir üretimi sırasında sütte bulunan laktoz yüksek oranlarda PAS'ye geçtiğinden (Mete, 2012) yapısında hem sağlık açısından hem de fonksiyonel olarak gıda endüstrinde kullanılan değerli bileşenler içermektedir. Tüm bu durumlar PAS'nin atık olarak düşünülmesindense değerlendirilmesini gıda endüstrisi açısından önemli kılmaktadır.

2.1.1 Peynir Altı Suyunun Bileşenleri

PAS içeriği, üretilen peynirin çeşidi, sütün mayalanma sırasındaki sıcaklığı, starter kültürün kullanım durumu, pıhtının işlenmesi gibi pek çok etmene bağlı olarak değişmektedir ve peynir üretimi sırasında süt kuru maddesinin çoğu PAS'ye geçmektedir (Türkdayı, 2017). PAS bileşimi ve oranları Çizelge2.1'de verilmiştir. PAS

proteinleri makro düzeylerde β-laktoglobulin ve α-laktoalbumin, serum albumin, immunoglobulinler ve glikomakropeptirler, mikro düzeyde laktoperoksidaz, fosfolipoproteinler ve laktoferrin bulunmaktadır. Bunun yanı sıra enzim ve biyoaktif madde içermektedir (Dinçoğlu vd., 2012; Karagözlü vd., 2004).

Çizelge 2.1: Peynir altı suyu bileşenlerinin oranı (Alpkent vd., 2003)

Bileşenler	PAS'de oranları
Su	%93,3
Kuru madde	%6,7
Yağ	%0,9
Protein	%0,9
Laktoz	%4,4
Kül	%0,5

PAS proteinleri, süt proteinlerinin %20'sini içermektedir ve peynir üretim sürecinde PAS'ye geçmektedir (Akgül vd., 2017). Bu proteinler diğer proteinler ile karşılaştırıldığında yüksek biyolojik değere sahip olup dallanmış aminoasitleri içermektedir (Özen vd., 2007). Besleyici özelliklerinin yüksek olmasının yanı sıra yapılan çalışmalar bu proteinlerin kolay sindirilebilir özellikte olup, antimikrobiyal ve antitoksik etkilerinin olduğu ve bağışıklık sistemini geliştirdiğini ortaya koymaktadır.

Doğada sadece sütte bulunan laktoz, beyin gelişimi, kemik ve diş gelişimi, karaciğerde yağ birikmesini önleme, B vitamini sentezleme gibi etkilerinden dolayı sağlık açısından önemlidir ve gıdalarda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Laktoz, PAS kuru maddesinin önemli bir kısmını oluşturduğundan PAS, proteinlerin yanı sıra laktoz eldesi için de önemli bir kaynaktır.

2.1.2 Peynir Altı Suyunun Endüstride Kullanımı

Gıda endüstrisinde PAS'den elde edilen ürünler; konsantre PAS, PAS tozu, serum protein izolatı, serum protein konsantresi ve laktozdur (Akgül, 2017). Konsantre PAS; hayvan yemi, maya üretimi, içecek endüstrisi ve pastacılık ürünlerinde, PAS tozu; insan ve hayvan beslenmesinde, protein izolatı; süt endüstrisi ve et ürünlerinde, protein konsantresi; gıdalarda katkı maddesi olarak (Legorava, 2012), laktoz ise birçok gıdada fonksiyonel katkı maddesi olarak kullanımlaktadır.

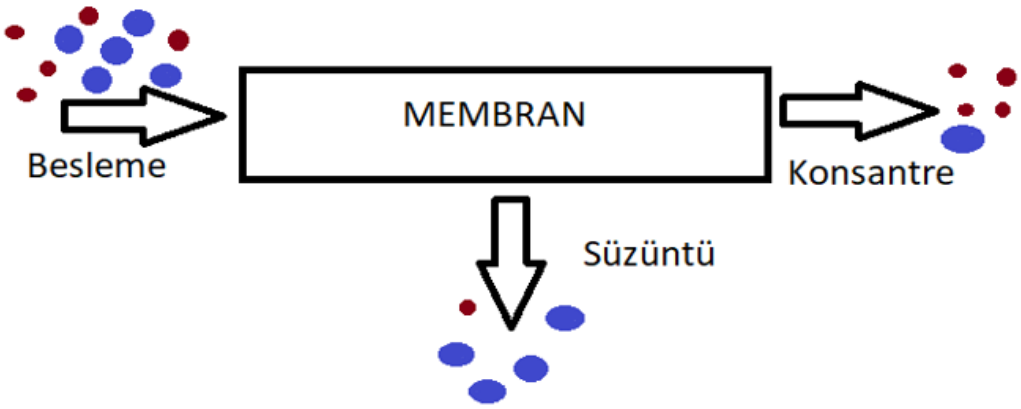
Laktoz ve laktoz türevleri bağırsakta asidik ortam oluşturarak patojen mikroorganizmaların gelişimini önler ve probiyotik bir ortam oluşturduğu için laktoz seviyesini yükseltmek ve anne sütüne benzetmek için bebek mamalarında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Exl, 2001; Maldonado vd., 1998; Şahi vd., 2003). Ayrıca laktoz unlu mamuller ve fırıncılık ürünlerinin tat, aroma özelliklerini geliştirmekte ve raf ömrünü uzattığından bu gıdalarda da katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

Serum proteinleri ile ilgili yapılan çalışmalar bu proteinlerin, eklendikleri gıdalarda çözünürlük arttırma, jel, emülsiyon oluşturma, kıvam arttırma gibi fonksiyonel özellikler kazandırdıklarını ortaya koymuştur (Akgül vd., 2017). Bu nedenle serum proteinleri fonksiyonel özellikleri geliştirmek ve besin değerini arttırmak amacı ile gıdalarda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra maliyetleri düşük olduğundan dolayı üreticilerin bu proteinleri üretim maliyetlerinin düşürülmesi amacı ile tercih etmektedir (Krolczyk vd., 2016).

2.2 Membran Prosesleri

Membranlar, seçici ayırmanın ve taşınmanın gerçekleştiği engeller olarak tanımlanmaktadır (Aslan., 2016) ve endüstride kullanım amaçları saflaştırma, derişiklendirme, fraksiyonlarına ayırmadır. Membran sistemleri; destilasyon, adsorpsiyon, absorpsiyon, ekstraksiyon gibi geleneksel ayırma tekniklerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Geleneksel ayırma süreçleri ile karşılaştırıldıklarında enerji tüketimi daha az olduğundan ve yüksek seçicilik özelliklerinden dolayı maliyet-performans açısından daha avantajlı sistemlerdir.

Membran sistemlerinde ayırma işlemi gerçekleşebilmesi için sürücü kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sürücü kuvvet, membranların kimyasal ve fiziksel doğası ile belirlenmekte olup basınç farkı, konsantrasyon (kimyasal potansiyel) farkı, elektriksel potansiyel farkı ve sıcaklık farkının biri veya kombinasyonları ile sağlanmaktadır. İtici güç, besleme akımını konsantre ve süzüntü olarak iki kısma ayırır. Şekil 2.1'de membran akım fazları verilmiştir. Konsantre, yarı geçirgen membrandan geçen kısım, süzüntü ise membrandan geçemeyen kısımdır (Cardew vd., 1998; Halwagi, 1997) .



Şekil 2.1: Membran akım fazları

Membran sistemlerinde en önemli kısımlardan biri kullanılacak olan membran filtresinin seçimidir. Membran üretiminde kullanılan malzemelerde aranan temel özellikler; kimyasal, mekanik ve termal dayanıklılıklarının, geçirgenlik ve seçicilik özelliklerinin yüksek olmasıdır (Koyuncu vd., 2018). Membranlar üretiminde kullanılan malzemelere göre membranlar 3'e ayrılmaktadır. Organik membranların üretiminde sentetik ürünler kullanılır. İnorganik membranlarda inorganik malzemeler ve kompozit membranlarda inorganik ve organik bazlı malzemeler kombinasyonlar halinde kullanılabilmektedir.

Organik membranlar çeşitli polimerlerden üretilirler, işlenilebilirlik açısından kolaylık sağlarlar ve maliyet olarak diğer membranlara göre daha uygundur. Fakat bu membranlar yüksek sıcaklık ve pH değerlerinde kullanıma uygun değildir. İnorganik membranlar ise yüksek sıcaklık ve çok düşük-çok yüksek pH'larda çalışmaya uygundur.

Fakat inorganik membranların da dezavantajları üretim prosesindeki zorluklar ve yüksek maliyettir.

Membran kütle transferi mekanizmaları gözenek ve difüzyon modeli olmak üzere iki modelle açıklanmaktadır (Lonsdale, 1972). Ancak pratikte her iki modelinde memrandaki transport mekanizmasında rol aldığı kabul edilir. Gözenek modelinde ayrım, çözeltideki moleküllerin büyüklüğüne göre gerçekleşir. Gözeneklerden büyük olan moleküller membranda tutulurken küçük olanlar membrandan geçer. Difüzyon modelinde ise membran içerisinde dağılan moleküllerin özelliklerine göre ayrım gerçekleşmektedir. Difüzyona konsantrasyon farkı ve basınç etki eder. Çözelti içerisindeki moleküllerin ayrımı, konsantrasyon farkı veya basınç kullanılarak gerçekleştirilir. Membran sistemleri hala gelişmekte olmakla birlikte endüstride kullanılabilir hale gelmiş membran sistemleri; MF, NF, UF, TO ve elektrodiyaliz (ED)'dir.

2.3 Membran Sistemlerinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı

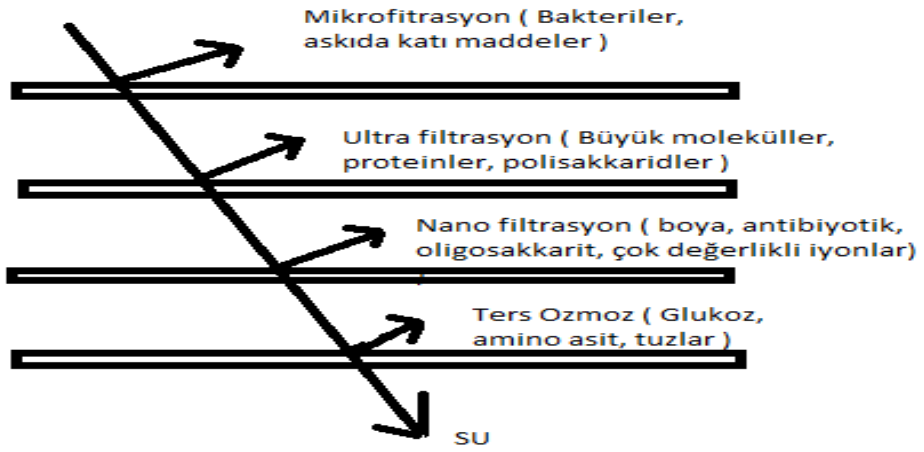
Gıda endüstrisinde en çok kullanılan membran sistemleri MF, UF, NF ve TO'dur. Bu proseslerin sürücü güçleri basınç olup kullanımı ayrılacak partiküllerin büyüklüklerine bağlı olan proseslerdir. Membran gözenek boyutuna bağlı olarak bazı moleküller membrandan geçerken bazı moleküller geçemeyerek ayrım sağlanmış olur. Partikül büyüklüklerine göre kullanılan membran sistemleri Şekil 2.2'de verilmiştir.

MF membranlarının gözenek boyutları 0,05-2 µm'dir. Bu membranlar çözeltide bulunan partiküller, virüsler ve bakteriler gözeneklerden geçemezken diğer bileşenler geçer (Koyuncu vd., 2018). Gıda endüstrisinde mikroorganizmalarının uzaklaştırılması, süt endüstrisinde kolloidal partiküllerin, serum protein moleküllerinin ayrımında kullanılmaktadır (Aguero vd., 2017; Cassano vd., 2017; Galanakis, 2017; Ganju vd., 2017; Josipa vd., 2017; Islam vd.,2017).

UF membranları 1–100 nm gözenek boyutlarına sahiptir. Bu membranlar makro boyutlardaki moleküllerin, kolloidlerin, bakterileri ve virüslerin çözelti içerisinde ayrılmasıamacı ile kullanılmaktadırlar (Koyuncu vd., 2018). Gıda endüstrisinde PAS proteinlerin ayrılması sürecinde UF membranlarından yararlanılmaktadır (Aguero vd., 2017; Conidi vd., 2017).

NF membranlarının gözenek boyutları 1-10 nm'dir. Çözeltide bulunan molekül ağırlığı düşük organik maddelerin ayrılmasında kullanılmaktadır (Koyuncu vd., 2018).

TO prosesi, tuz ve küçük organik bileşenlerin ayrımı için kullanılmaktadır. Kullanılan membran gözeneksiz olup ayrım çözelti difüzyonu ile sağlanmaktadır. Konsantrasyon farkından dolayı oluşan ozmotik basınca dışarıdan daha yüksek bir basınç uygulanarak ters difüzyon sağlandığından süreç ters ozmoz olarak adlandırılır ve uygulanan basınç MF ve UF proseslerine kıyasla daha yüksektir. TO gıda endüstrisinde, atık suların artılması ve içilebilir su eldesinde (Shen vd., 2016; Turek vd., 2017; Wenten vd., 2016), süt, meyve suyu gibi içecek işletmelerinde kullanılmaktadır (Madaeni vd., 2008; Suarez vd., 2015; Xiong vd., 2017).



Şekil 2.2: Gözenek boyutuna göre membran sistemleri

Süt endüstrisinde peynir üretiminin atık bir ürünü olan PAS işlenmesinin odak noktası, membran teknolojilerinin gelişmesi ile atık arıtmadan ziyade değerli ürünlerin elde edilmesine dönüşmüştür (Girard vd., 2000; Petrotos vd., 2001). Membran ayırma teknikleri PAS'den protein, laktoz ve minerallerin eldesinde kullanılmaktadır. Protein eldesinde MF, UF, NF, TO kullanılırken laktoz ve mineral eldesinde NF ve TO proseslerinden yararlanılmaktadır (Türkdayı, 2017) .

Endüstride UF yöntemi, PAS proteinlerini konsantre etmek için yaygın olarak kullanılır (Baldasso vd., 2011). Ancak bu işlem sırasında meydana gelen membran kirlenmesi, proteinlerin geri kazanımı sırasında problem yaratmaktadır. Bu kirlenmeyi en fazla neden olan protein ise β-laktoglobulindir (Wang vd., 2017). Proteinler, farklı

pH değerlerinde farklı yüklerle yüklenmektedir ve net yüklerinin 0 olduğu pH değeri proteinlerin izoelektrik noktası (PI) olarak tanımlanmaktadır. PAS içerisinde bulunan proteinlerin PI değerleri çizelge 2.2'de verilmiştir. Proteinlerin farklı pH değerlerinde farklı yükler ile yüklenmesinden dolayı protein-membran, protein-protein etkileşimleri pH değerine bağlı olarak değişmektedir. Bu etkileşimler, membranlarda kirlenmeye neden olmaktadır.

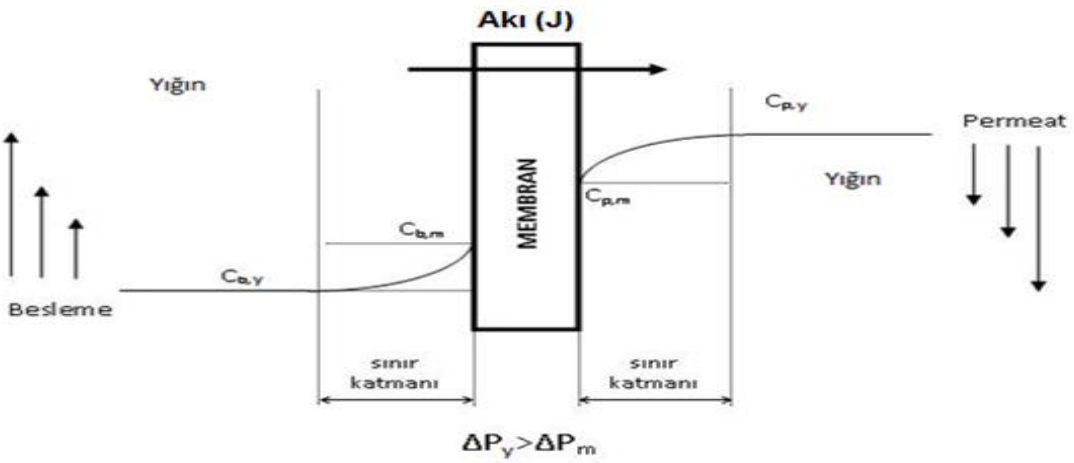
Çizelge 2.2: PAS içerisindeki proteinlerin PI noktaları (Hüner., 2016)

PROTEİN	PI
β-Laktoglobulin	5,2-5,4
α-Laktoalbumin	4,2
Sığır Serum Albumin	4,7
Laktoferrin	8,0
Laktoperoksidaz	9,6
İmmunoglobulinler	4,5-9,5

Barbara vd. 2001 yılında yaptığı bir çalışmada proteinlerin, UF ile geri kazanılması sürecinde membran gözeneklerine sıkışıp kirlenmeye neden olduğunu ve bu kirlenmenin membran performansını düşürdüğünü göstermiştir. Tolkach vd. 2006 yılında da β-laktoglobulin ve α- laktoalbumin'i dikkate alan çalışmalar yapmış ve bu proteinlerin membran yüzeyine yapışarak membran kirlenmesini desteklediğini ortaya koymuşlardır.

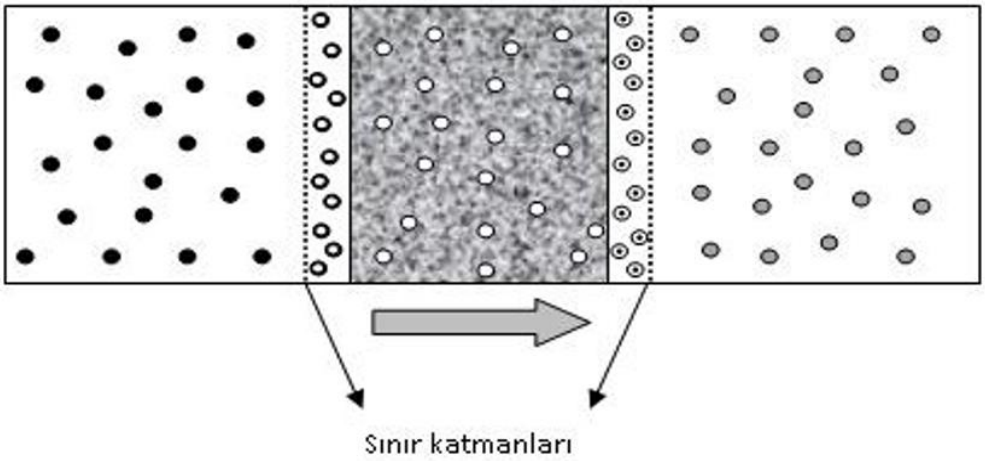
2.4İleri Ozmotik Membran Distilasyonu

FO, farklı ozmotik basınçlara sahip iki sulu çözeltinin hidrofobik bir membran kullanılarak ayrılmasını sağlayan bir membran prosesidir. Kütle aktarımı için itici güç konsantrasyon gradyeni veya sıcaklıktır. Ozmotik basınç farkı, suyun düşük ozmotik basınçlı besleme çözeltisinden (FS) membran boyunca yüksek ozmotik basınçlı çekme çözeltisine (DS) taşınmasını sağlar (Cath vd., 2006; Ge vd., 2013). Şekil 2.3'te ozmotik distilasyon prosesi sırasında konsantrasyon profilleri gösterilmiştir. İki çözelti arasında derişim farklarından kaynaklanan bir buhar basıncı farkı oluşmaktadır. Bu farklılık seyreltik olan FS'den daha derişik olan DS'ye doğru su buharı transferine neden olmaktadır.



Şekil 2.3: Ozmotik distilasyon prosesinde ortaya çıkan konsantrasyon profilleri: Cb_y: besleme yığın konsantrasyonu; Cb_m: besleme membran yüzeyindeki konsantrasyon; Cp_y:permeat yığın konsantrasyonu; Cp_m: permeat membran yüzeyindeki konsantrasyon; ΔP_y= yığın su buharı basıncı farkı; ΔP_m= membran yüzeyindeki su buharı basıncı farkı (Khayet vd., 2004).

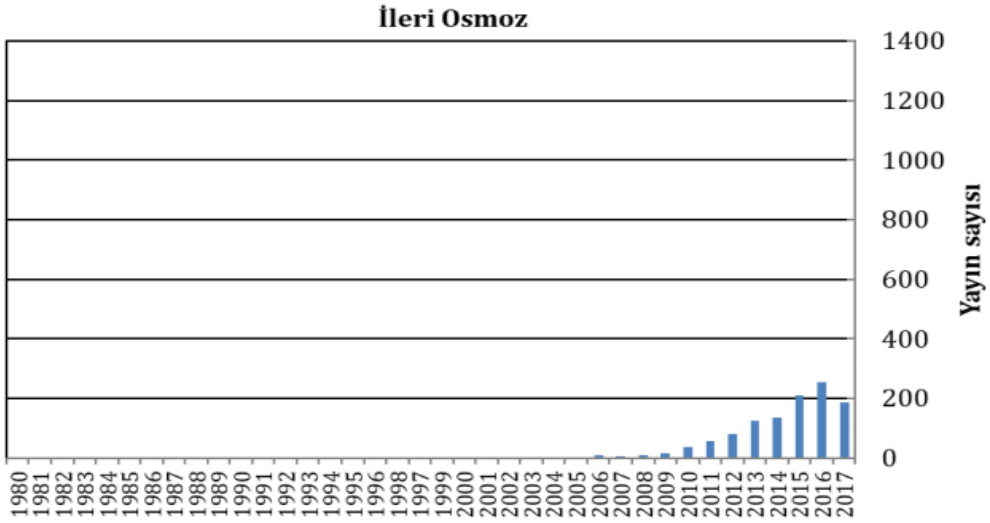
FO yönteminde, kütle aktarımı üç aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak seyreltik olan FS'de buhar-sıvı ara yüzeyinde su buharlaşmaya başlar. Buharlaşan su membran boyunca taşınır ve derişik olan DS çözeltisi ile membran ara yüzeyinde yoğuşur (Jiao vd., 2004; Khayet vd., 2004). Sürecin kütle aktarım mekanizması Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: "Ozmotik distilasyon" sürecinin şematik gösterimi (● Besleme, ○ Besleme-membran ara yüzeyinde suyun evaporasyonu, ○ Su buharı, ◉ Konsantre tuz çözeltisi-membran ara yüzeyinde su buharının yoğuşması, ◉ Konsantre tuz çözeltisi) (Onsekizoğlu, 2011).

2.4.1 FO Sürecinin Uygulamaları

Gıda mühendisliği kapsamında FO membranları, meyve sularının oda sıcaklığında konsantrasyonunda, PAS ve yağsız süt gibi ürünlerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile FO avantajları sayesinde dikkat çeken bir proses haline gelmiş ve bu konuda yapılan çalışmalar önemli ölçüde artmıştır. Bu avantajlardan en önemlileri düşük kirlenme eğilimine sahip olmaları ve nispeten geri dönüşü olmayan kirlenme ile sonuçlanmalarıdır (Wang vd., 2017). Yıllara göre FO kelimesini içeren yayın sayısındaki değişim Şekil 2.5'te verilmiştir. Ancak FO'nun avantajları kadar kısıtlamaları da bulunmaktadır. FO üzerinde kısıtlamaların azaltılmasına dair literatürde çalışmalar yapılmasına rağmen henüz bu sürecin endüstride kullanımı mevcut değildir.



Şekil 2.5: 2005 yılından sonra yıllara göre "ileri ozmoz'' kelimelesini içerem yayın sayısısı (Web of Science, Ekim 2017)

FO teknolojisi ile sıvı gıda konsantrasyonu işlemi, ilk olarak 1966 yılında Popper vd. tarafından üzüm suyunu konsantre etme işleminde kullanılmış ve üzüm suyu 16 °briks'ten 60 °briks'e konsantre edilmiştir. Literatüre bakıldığında FO süreci kullanılarak portakal suyu (Herron vd., 1994), ananas suyu (Babu vd., 2006), hint dutu suyu (Valdes vd., 2009), yaban mersini meyvesi suyu (Zambra vd., 2015), domates suyu (Petrotos vd., 2010) gibi birçok sıvı gıdanın konsantrasyon işlemi 50-60 °brikse kadar gerçekleştirilmiştir. FO yöntemi kullanılarak yapılan bazı çalışmalar ve konsantrasyon dereceleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3: İleri ozmoz hakkında literatürdeki bazı çalışmalar

Sıvı Gıda	Konsantrasyon Oranı	Kaynak
Üzüm	3.75 kat (16-60 °briks)	Popper vd., 1966
Sakkaroz	5.6 kat (10-56.4 °briks)	Garcia vd., 2009
Domates	1.8 kat (4,3 – 7,5 °briks)	Petrotos vd., 2010
Antosiyanin	26 kat (2-52 °briks)	Nayak vd.,2010
Üzüm	12,3 kat (4,4-54 °briks)	Nayak vd., 2011
Pancar kökü	22,6 kat (2,3-52 °briks)	Nayak vd., 2011
Ananas	12,3 kat (4,4-54 °briks)	Nayak vd., 2011

FO tekniğinin PAS konsantrasyonu için kullanılabilirliği hakkında literatürde olumlu sonuçlar bulunmaktadır. Aydıner vd. (2014), PAS'den su geri kazanımı ve PAS tozu üretimi için FO/TO entegre sistemini kullanmış ve bu kombinasyonun ekonomik performansı göz önüne alındığında etkin bir şekilde kullanılabileceği tespit etmiş ve bu yöntem ile 6 saatlik süreç sonunda PAS konsantrasyonunu %6,8'den %14,3'e yükseltmiştir. Chen vd. (2020) ise PAS'nin, FO süreci ile ürün kalitesine zarar vermeden etkili bir şekilde konsantre edebileceğine dair sonuçlar tespit etmiştir.

2.4.2 FO Sürecinin Avantajları ve Sınırları

2.4.2.1 FO Sürecinin Avantajları

FO, geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında konsantrasyon işlemini düşük sıcaklıklarda gerçekleştirdiğinden ısıya duyarlı bileşenlerin korunmasını sağlarken, tat ve aroma kayıplarına, protein denatürasyonuna neden olmamak gibi avantajlar sunmaktadır. FO ve antosiyoninler üzerine etkisi hakkında Nayak vd. (2010) yaptıkları bir araştırmada, FO'nun yüksek bir stabilite ve düşük esmerleşme indeksi açısından termal konsantrasyon yöntemlerine göre avantajlı olduğu ve yüksek konsantrasyonun yanı sıra duyusal ve besinsel özelliklerini koruduğu ortaya konmuştur.

Düşük sıcaklıklarda konsantrasyon işlemi yapabilmenin yanında FO sürecinin önemli bir diğer avantajı, yüksek hidrofobik karakterdeki membran ile yalnızca su buharı ve sınırlı bir düzeyde de uçucu bileşenlerin geçişine izin verilmesi; suda çözünen sakkarit gibi küçük molekül ağırlıklı partiküllerin membran porlarından taşınmasının mümkün olmamasıdır. Bu nedenle suyun sıvı fazda emilimi mekanizmasıyla kütle transferi esasına göre gerçekleşen TO gibi basınç destekli membran ayırım süreçlerine kıyasla bu uygulamalarda membran kirlenmesi daha uzun sürelerde ortaya çıkmakta ve başlangıç permeat akısında daha az oranlarda azalma meydana gelmektedir (Laqbaqbi vd., 2017).

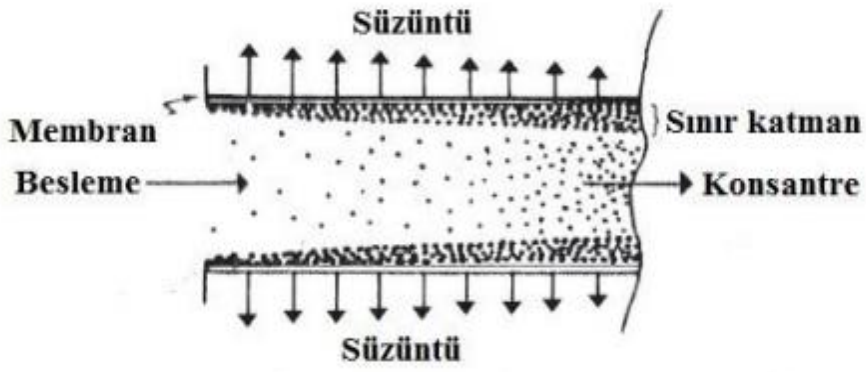
Sürücü gücü basınç olan membran sistemleri ile kıyaslandığında FO'da kullanılan düşük hidrostatik basınç hem enerji tüketimi açısından hem nispeten düşük bir kirlenme eğilimi ve nadiren geri dönüşü olmayan kirlenme gibi avantajlar sunmaktadır (Mi vd., 2008; Wei vd., 2013). Yang vd. (2009) ve Chung vd. (2017), protein konsantrasyonu için FO membranını kullanmış ve FO'nun UF ve MF yöntemlerine kıyasla ihmal edilebilir hidrostatik basınç sayesinde protein konsantrasyonunda daha avantajlı bir yöntem olduğunu ancak sürdürülebilir hale gelmesi için çalışmaların eksik olduğunu ortaya koymuştur.

2.4.2.2 FO Sürecinin Sınırları

FO'nun geliştirilerek endüstride kullanımını zorlaştıran kritik sınırlar başlıca membran kirlenmesi, konsantrasyon polarizasyonu ve DS'nin ters difüzyonudur. Konsantrasyon polarizasyonu; membrandan geçemeyen makromolekül, partiküller gibi maddelerin membran üzerinde birikmesi sonucu membrana yakın bölgelerde besleme çözeltisinden daha yüksek bir konsantrasyona ulaşarak moleküllerin birikmesi sonucu oluşur (Aydıner, 2006). Akıda düşüşe neden olan konsantrasyon polarizasyonu, membran yüzeyinde ilave bir bariyer oluşturarak membran direncini arttırmaktadır (Mulder, 1996). Konsantrasyon polarizasyonu sonucu oluşan direnç Şekil 2.6'da verilmiştir.

Konsantrasyon polarizasyonunun neden olduğu en önemli sorun membran tıkanmasıdır. Membran tıkanması 3 farklı şekilde gerçekleşmektedir (Ardalı., 2020). Tersinir tıkanmada, moleküller membrana gevşek bir şekilde tutunurlar. Bu nedenle bu

tıkanma fiziksel yöntemler ile temizlenerek giderilebilmektedir. Tersinir olmayan tıkanmada, tıkanmanın giderilebilmesi için fiziksel yöntemlerin yanında kimyasal yöntemlere de ihtiyaç vardır. Geri dönüşü olmayan tıkanmada, fiziksel veya kimyasal yöntemler ile temizleme işlemi yeterli olmaz ve tıkanma herhangi bir şekilde giderilemez.



Şekil 2.6: Konsantrasyon polarizasyonunun şematik gösterimi (Sing, 2014)

FO'nun geliştirilmesinde en önemli engellerden biri de kullanılan DS'nin ters difüzyonudur. FO'da itici güç olan ozmotik basınç, DS'nin çözünmüş madde konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Daha yüksek çözünürlüğe sahip DS daha yüksek itici güç sağlar. Ancak yüksek viskoziteli DS, önemli konsantrasyon polarizasyonuna, ters difüzyon ve enerji tüketiminde artışlara neden olabilir. FO süreci için, DS'nin seçimi oldukça önemli bir parametredir. DS için gerekli kriterler, uygun itici gücü sağlayabilmek, uygun maliyet, geri difüzyon katsayıları, kimyasal kararlılık, membrana uyumluluk ve geri kazanım kolaylığıdır (Coday vd., 2014). Ayrıca gıda uygulamaları için DS toksik olmamalı, gıda için güvenli kabul edilmeli ve gıdanın duyusal özelliklerini bozmamalıdır (Terefe vd., 2016).

DS olarak inorganik tuzlar (NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$, $NaSO_4$, $MgSO_4$), organik tuzlar (monosakkarit, organik iyonik tuz, polielektrolit, çeşitli polimerler, hidrojeller), gaz uçucu bileşenler (CO_2, NH_2–CO_2, dimetileter) ve fonksiyonelleştirilmiş nanopartikül esaslı çözeltiler kullanılmaktadır. İnorganik tuzlar, yüksek ozmotik basınç, düşük maliyet, toksisite olmaması ve kimyasal kararlılık gibi DS için belirlenen temel kriterlerden çoğunu karşıladıklarından dolayı yaygın olarak kullanılan DS'lerdendir

(Achilli vd., 2010; Chekli vd., 2012) ve kolaylıkla temin edilebilmektedirler. Ancak nispeten geri difüzyon oranına sahiptir (Hartento vd., 2015; Klaysom vd., 2013).

FO ilk olarak 1966 yılında Popper vd. tarafından üzüm suyunun konsantrasyonu için kullanılmış ve bu süreçte DS olarak kullanılan NaCl ile 60 °briks'e kadar konsantre üzüm suyu elde edilmesine rağmen önemli ölçüde ters tuz difüzyonu gözlemlenmiş ve ürünün tadında değişiklikler meydana gelmiştir. Bu durum FO'nun 1990'lara kadar araştırılmasını geciktirmiştir.

Babu vd. (2006), DS olarak NaCl'nin meyve suyu konsantrasyonunda kullanımını araştırmış ve 45-60 °briks arasında konsantrasyon işlemini sağlamış ancak yüksek oranda NaCl'nin ters difüzyonu gözlemlenmiştir. DS'nin ters difüzyonu FO sürecinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesinde önemli parametrelerdendir. Ters difüzyon ozmotik basıncın azalmasına ve bundan kaynaklı olarak akıda önemli düşüşlere neden olmaktadır. Ayrıca ekonomik kaybın yanında gıdada istenmeyen aroma ve tada, toksikolojik zorluklara neden olabileceğinden konsantrasyon işlemini de karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle uygun DS seçimi için farklı çözeltiler üzerinde hala çalışmalar yapılmaktadır.

2.5 Membran Performansı

Membran proseslerinde sistemlerin performansı akı, seçicilik ve alıkoyma gibi parametreler ile tanımlanmaktadır. Akı, membranın birim alanından birim zamanda geçen akımdır. Membran proseslerin ideal olabilmesi için yüksek seçicilik veya alıkoyma ve yüksek akı geçişleri istenmektedir (Yazıcı, 2012). Membran performansını etkileyen başlıca parametreler; besleme konsantrasyonu, akı, sıcaklık, pH, basınç, membran yüzey gerilimi ve membran yüzey yükü yoğunluğudur.

Besleme konsantrasyonun membran performansı üzerine büyük etkisi vardır. Besleme konsantrasyonunun artması, beslemenin taşınması ile membran yüzeyi boyunca birikmelerin artmasına neden olabilmekte ve yüzeydeki birikmelerden dolayı akı düşüşü meydana gelebilmektedir.

Sıcaklık hem viskozite hem de geçirgenlik katsayısı ile doğru orantılı olduğundan ozmotik basıncı etkilemektedir. İdeal koşullardaki sıcaklık artışı akının artmasını sağlar. FO yöntemi kullanılarak antosiyanin konsantrasyonu sırasında besleme

sıcaklığı 25 °C'den 40 °C'ye yükselmesi akıyı 12,3 L/m^2-h'ten 20,4 L/m^2-h'e kadar arttırmıştır (Nayak vd., 2010). Wrolstad vd. (1993) ahududu suyunu konsantre ederken 8'den 26 °C'ye bir sıcaklık artışı ile akıda yaklaşık %50'lik bir artış sağlamıştır. Petrotos vd. (1998) domates suyu konsantrasyonu sırasında besleme sıcaklığını 20°C'den 60 °C'ye çıkarmış ve akıda %64'lük bir artış gözlemlemişlerdir. Ancak yüksek sıcaklık FO'da termal yöntemlere göre daha az belirginlik gösterse de ürün kalitesinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle her süreç için ürün kalitesini bozmayan uygun sıcaklığı seçmek, FO süreci için önemli bir parametredir.

Yüksek besleme hızı daha yüksek kütle transferine olanak verir. Bu durum akının artmasını sağlar ancak membran yüzeyinde yığılmalara neden olduğundan membran kirlenmesini de hızlandırabilmektedir. Bu nedenle uygun besleme akış hızının seçimi önemlidir. Nayak vd. (2010), FO sürecinde DS'nin akış hızını sabit tutarken besleme akış hızını yaklaşık %150 arttırmış ve akıda 11,4 L/m^2-h'ten 12,5 L/ m^2-h'e artış gözlemlemiştir. Petrotos vd. (1998) besleme akış hızını 5 kat arttırmış ve akıda %32'lik bir artış gözlemlemiştir.

BÖLÜM 3

MATERYAL METOD

3.1 Materyal

Konsantrasyon işleminde kullanılacak olan model çözeltilerin hazırlanmasında protein olarak sığır serum albumin (BSA), şeker olarak laktoz ve inorganik madde olarak kalsiyum klorür ($CaCl_2$) kullanılmıştır. Ancak PAS'deki yağ bileşenlerinin FO süreçleri incelenmemiştir. Çünkü hidrofobik özellikte olan yağ molekülleri hem FS'de viskozite artışına hem de hidrofobik olan membran yüzeyinde çökelme ve adsorpsiyona neden olmaktadır. Bu durum membran yüzeyinde yağ parçacıklarının tabaka oluşturmasına neden olarak membrandan geçişe karşı bir direnç oluşturabilmektedir.

Bileşenlerin çözeltideki oranları PAS'deki protein, şeker ve inorganik maddeoranları dikkate alınarak PAS'yi temsil edecek oranlarda olacak şekilde ve membran performansına etkisinin birlikte ve ayrı ayrı incelenmesi amacı ile 4 farklı besleme çözeltisi hazırlanmıştır.

3.2 Metod

3.2.1 FO ile Konsantrasyon

FO sisteminde kullanılan membranın bir tarafından farklı konsantrasyonda hazırlanan model çözeltiler diğer tarafından ise hipertonik tuz çözeltisi olarak 64 °briks $CaCl_2$ birbirine zıt yönde akmakta ve böylece sistemde sürücü güç olarak bir konsantrasyon gradyeni oluşmaktadır. Hem model çözeltisinin hem de hipertonik tuz çözeltisinin SÇKM değeri el refraktometresi ile 30 dakikada bir ölçülmüştür. Sistem boyunca sürücü kuvvette meydana gelebilecek azalmaların engellenmesi amacı ile

kullanılan çözelti hacimleri $CaCl_2$ hacmi 4 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. FO süreci Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çalışmada, besleme sıcaklığının membran performansına etkisinin ve bileşenlerden kaynaklı kirletici bir etki olmadan akı değerlerinin ve $CaCl_2$ konsantrasyonunun süreç boyunca değişiminin incelenmesi amacıyla ilk olarak saf su ile denemeler yapılmıştır. Farklı sıcaklıklar baz alınarak yapılan bu denemeler sonucunda konsantrasyon işleminin 35°C ve 55°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür. $CaCl_2$ çözeltisinin sıcaklığı 10 °C olarak sabit tutulmuştur. Böylece sistemde konsantrasyon gradyeninin yanında sıcaklık gradyeni de oluşturulmuştur. Besleme kısmının sıcaklığının süreç boyunca sabit kalması için manyetik ısıtıcı, hipertonik tuz çözeltisinin sıcaklığının sabit kalması için soğutucu kullanılmış ve her iki tarafa da yerleştirilen termometreler yardımı ile çözeltilerin membrana giriş ve çıkış sıcaklıkları takip edilmiştir.

PAS, peynir üretiminde kullanılan yönteme bağlı olarak tatlı ve asitli PAS olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu nedenle pH aralığı 4,3-6,6 arasında değişmektedir. Farklı pH'larda FO süreci performansının nasıl etkileneceğinin incelenebilmesi açısından 6,4 ve 4,7 olmak üzere iki farklı pH değerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ve bu pH değerleri HCl ve NaOH kullanılarak ayarlanmıştır. Bu sayede farklı pH değerlerinin FO sürecine etkisi incelenmiştir.

Hipertonik tuz çözeltisinin ağırlığı hassas terazi yardımı ile 10 dakikada bir takip edilmiş, ortamdan uzaklaştırılan su ve akı değeri hesaplanmıştır. Akı değerinin hesaplanmasında Eşitlik 1 kullanılmıştır. Bu eşitlikte $\Delta m/\Delta t$ permeat tarafına su transfer hızını verirken A membranın alanını göstermektedir.

$$J = (1/A) * (\Delta msu/\Delta t) \qquad (\text{Eşitlik } 1)$$



Şekil 3.1: İleri Ozmotik Membran DistilasyonSüreci

a: Manyetik ısıtıcı,

b: Besleme çözeltisi,

c: Termometreler,

d: Membran düzeneği

e: Analitik terazi,

f: $CaCl_2$ çözeltisi,

g: Soğutucu

BÖLÜM 4

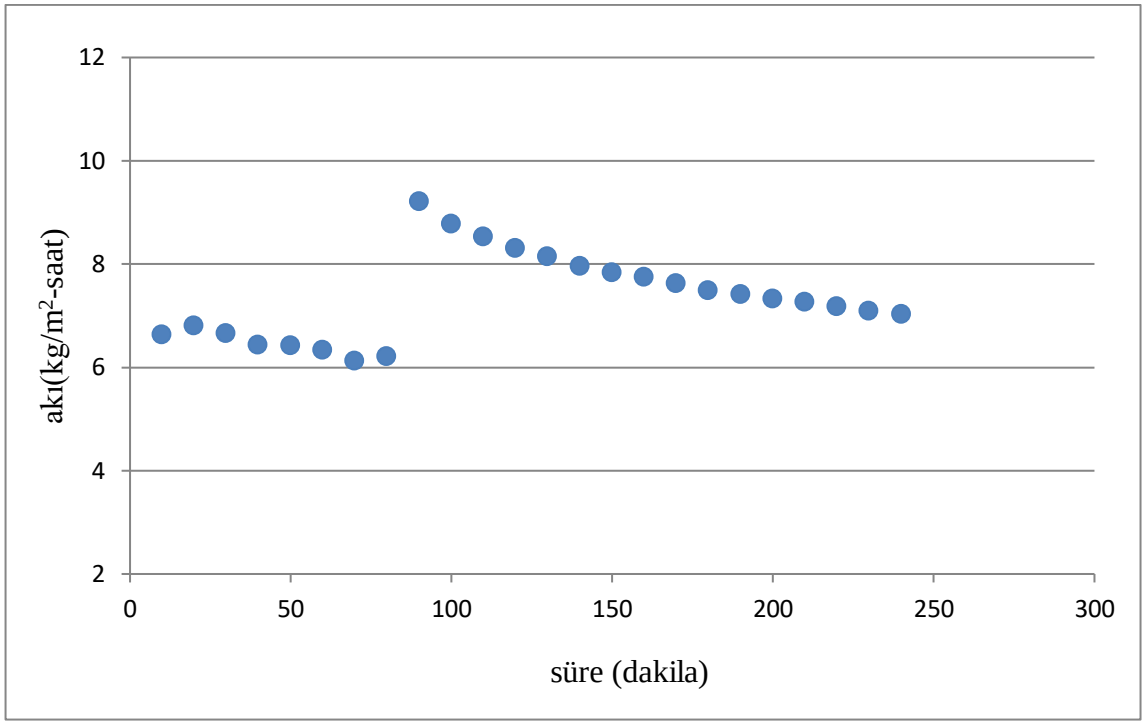
DENEYSEL SONUÇLAR

4.1 FO İle Konsantrasyon Süreci

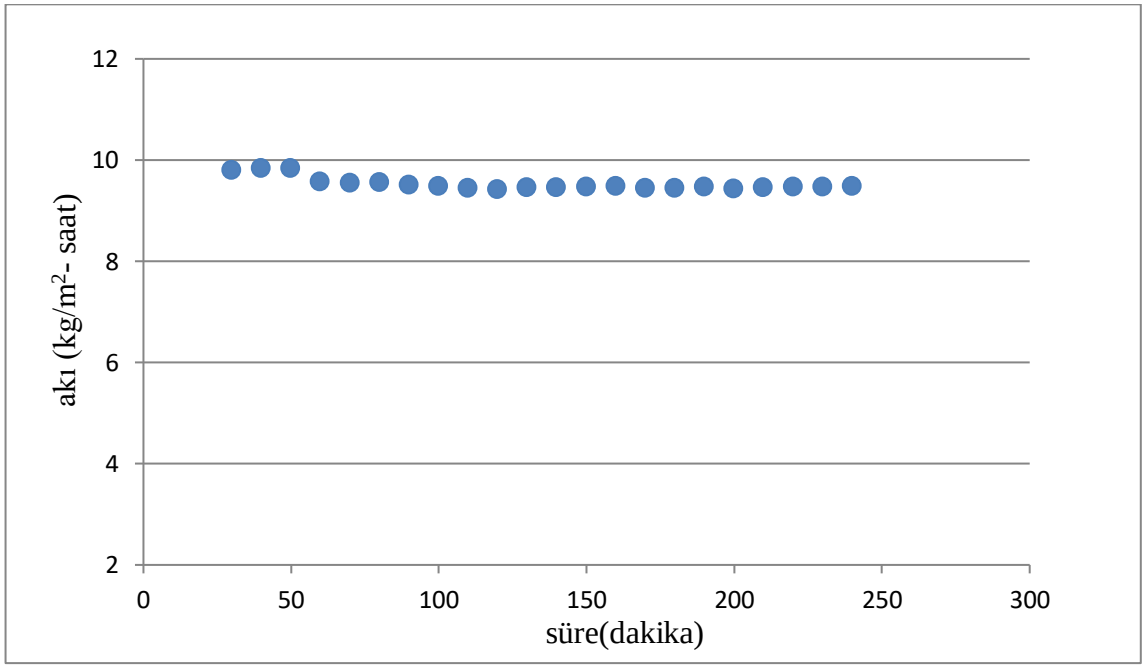
4.1.1 Saf su içeren FS'nin FO sürecine etkisi

35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklara ayarlanan FS'lerin zamana bağlı akı değişim grafikleri sırasıyla Şeki 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. Başlangıç permeat akıları 35 °C'de 6,63 kg/m^2-h, 45 °C'de 8,93 kg/m^2-h,55 °C'de ise 14,36 kg/m^2-h olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla membrandan en yüksek geçiş, sıcaklığın en yüksek olduğu durumda gerçekleşmiştir ve sıcaklık arttıkça akı değerleri de artmıştır. Ancak sıcaklık değerlerinde 55°C'nin üzerine çıkılmamıştır. Bunun nedeni kirletici etkisinin inceleneceği BSA proteininin denatürasyon sıcaklığının 65 °C olmasına rağmen şekil değişikliği başlangıç sıcaklığının 58,1 °C olmasıdır (Edri vd., 2008; Russel vd., 2015). 35 °C altındaki sıcaklıklardan membrandan geçiş oranı düşük olduğundan en düşük sıcaklık 35 °C olarak uygulanmıştır.

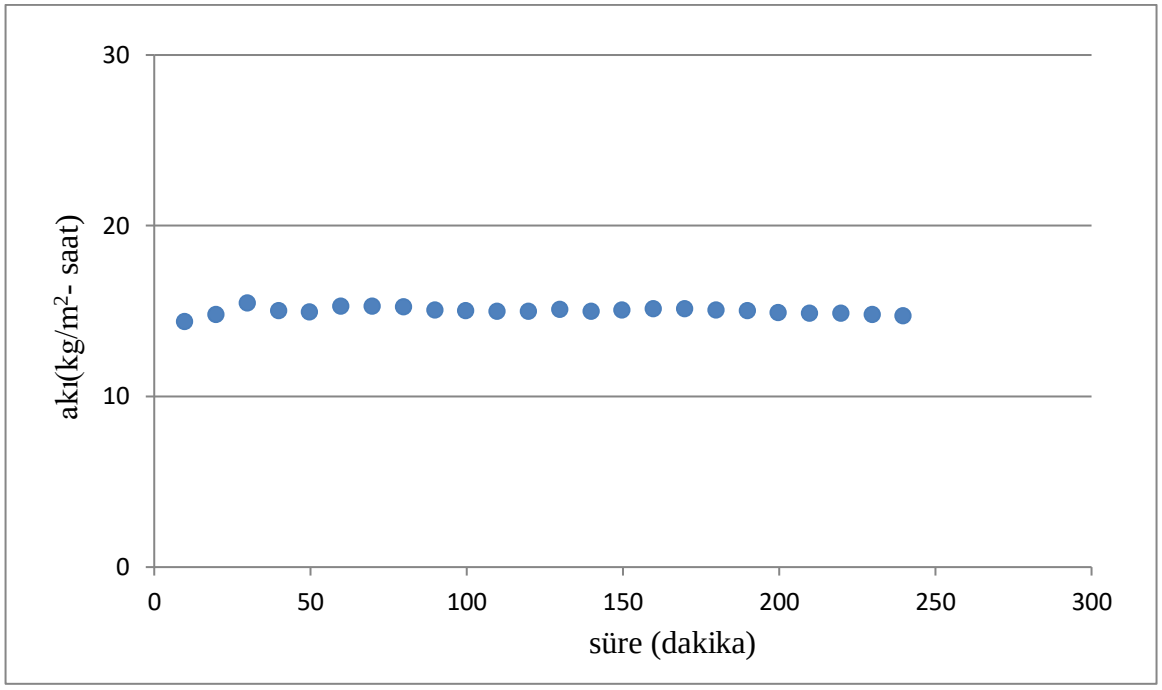
Sıcaklığın 35 °C'den 45 °C'ye yükselmesi akı değerinde %35'lik bir artış, 45 °C'den 55 °C'ye yükselmesi %61'lik bir artış, 35 °C'den 55 °C'ye yükselmesi ise akıda %117'lik bir artış sağlamıştır. Membrandan geçiş oranı arasındaki farkın en yüksek olduğu değerler 35 °C ve 55°C olduğundan süreç boyunca sıcaklık parametreleri bu iki değer olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.1: 35°C'de FS'nin akı değişim grafiği

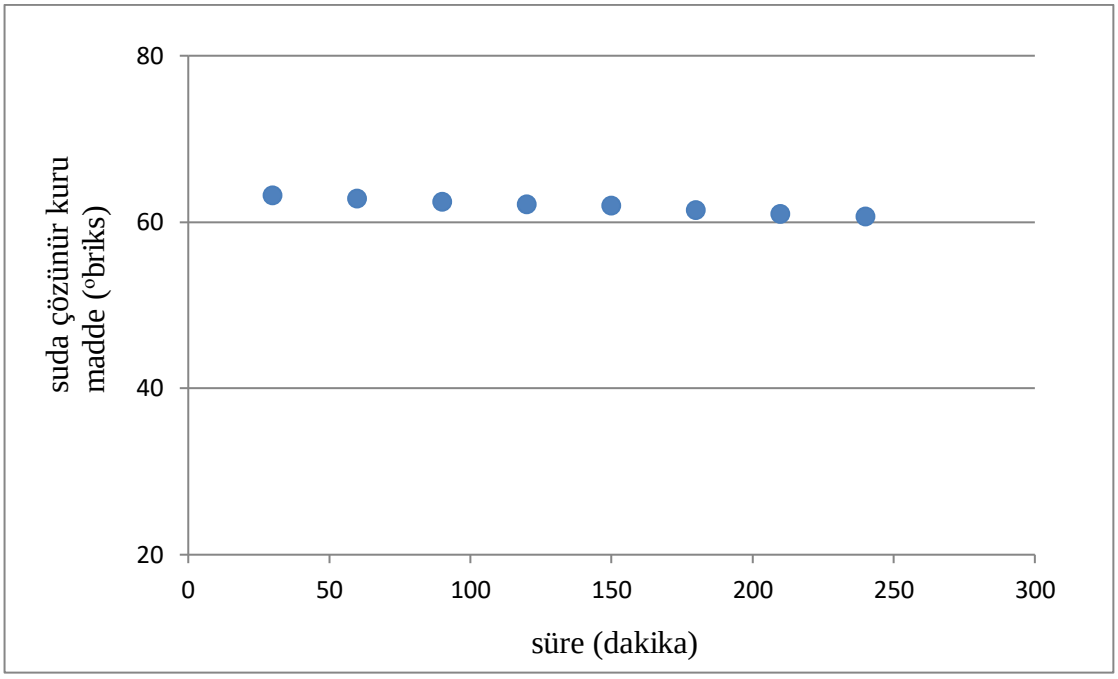


Şekil 4.2: 45 °C'de FS'nin akı değişim grafiği

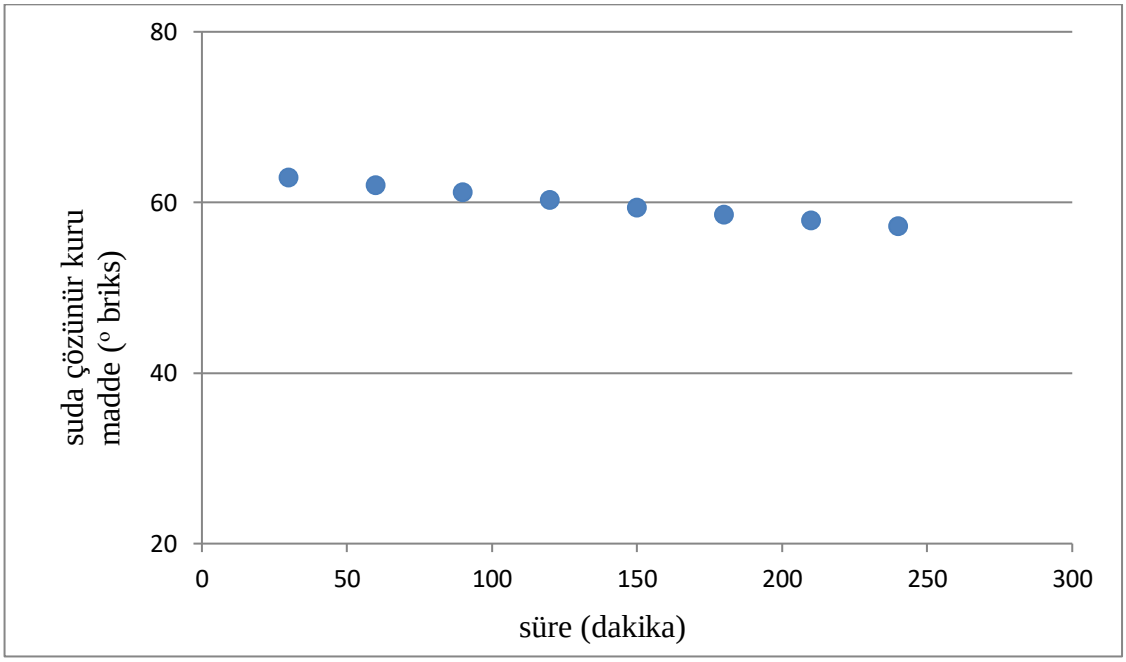


Şeki 4.3: 55 °C'de FS'nin akı değişim grafiği

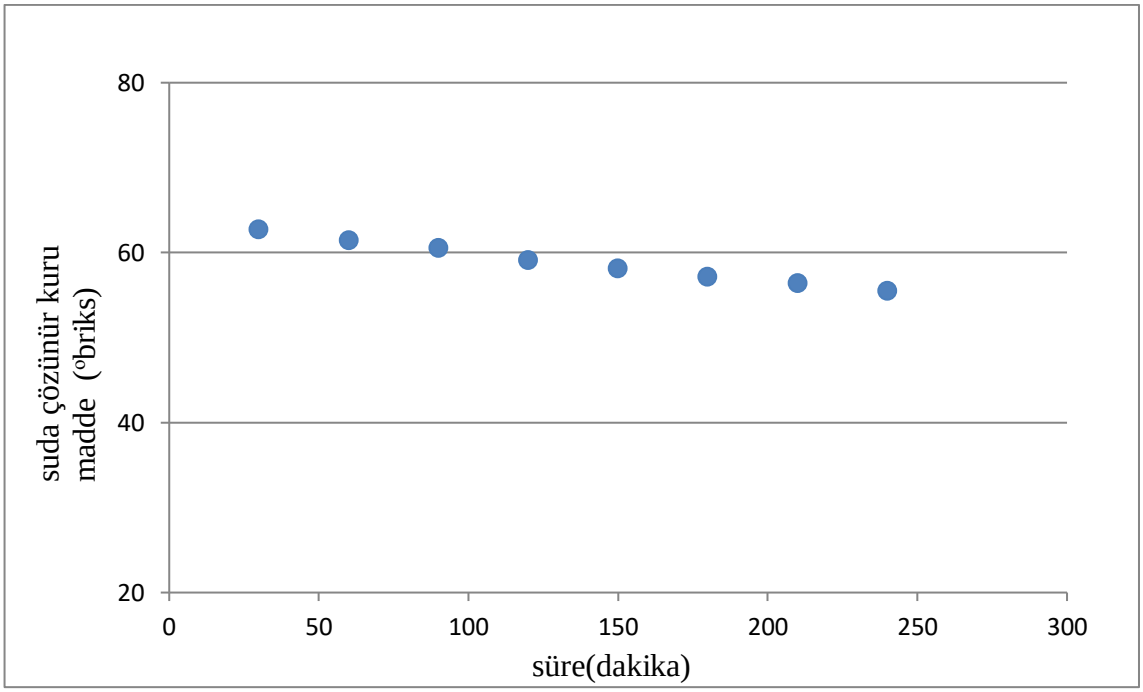
35, 45 ve 55 °C'de DS'nin zamana karşı SÇKM değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Grafikleri incelendiğinde DS'nin SÇKM değerindeki azalmanın en fazla 55 °C'de en düşük 35 °C olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4: 35 °C'de DS'nin zamana bağlı SÇKM değişimi



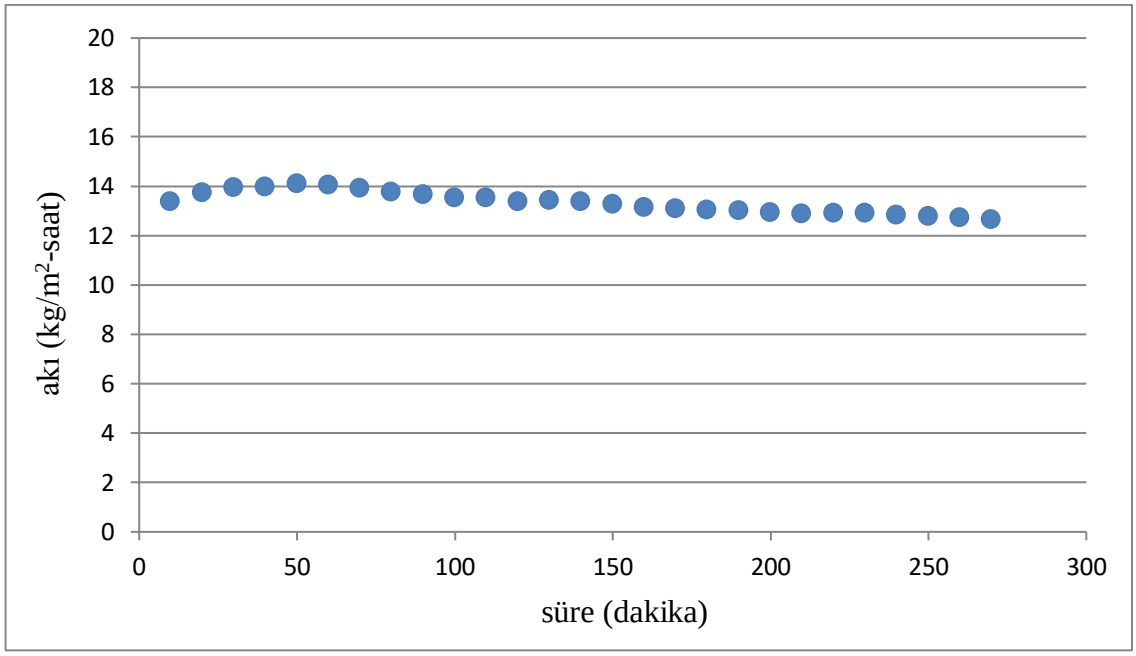
Şekil 4.5: 45 °C'de DS'nin zamana bağlı SÇKM değişimi



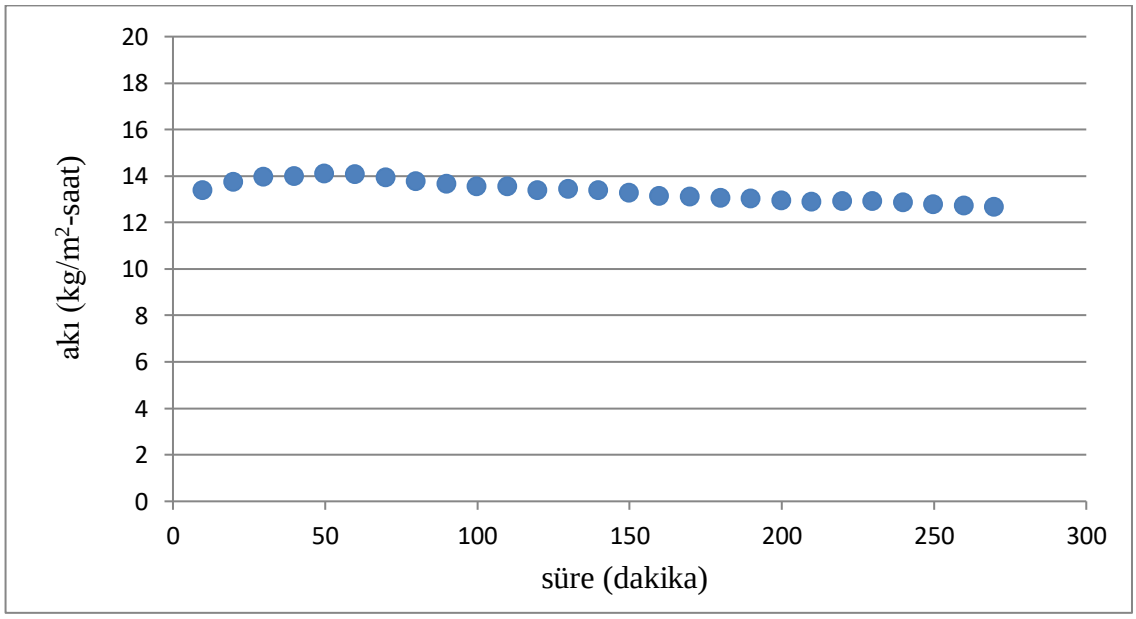
Şekil 4.6: 55 °C'de DS'nin zamana bağlı SÇKM değişimi

4.1.2 $CaCl_2$ içeren FS'nin FO sürecine etkisi

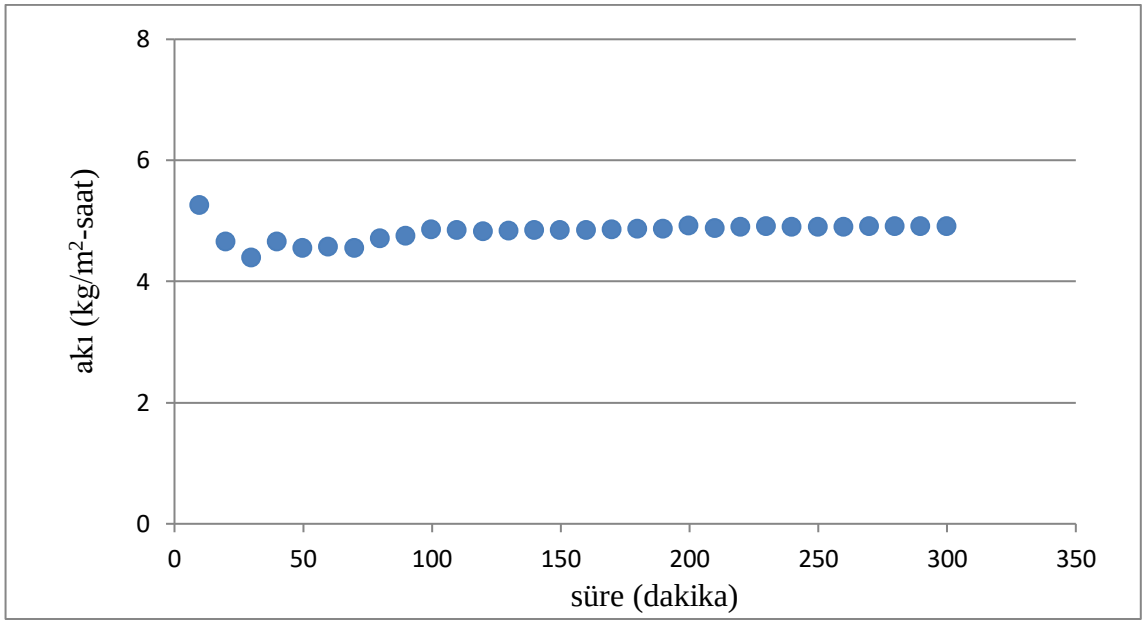
Hazırlanan FS %6 oranında $CaCl_2$ içermektedir. FS'nin 55 °C pH 6,4 ve 4,7'ye ait akı değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8'de, 35 °C pH 6,4 ve 4,7'ye ait akı değişim grafikleri Şekil 4.9 ve 4.10'da verilmiştir.



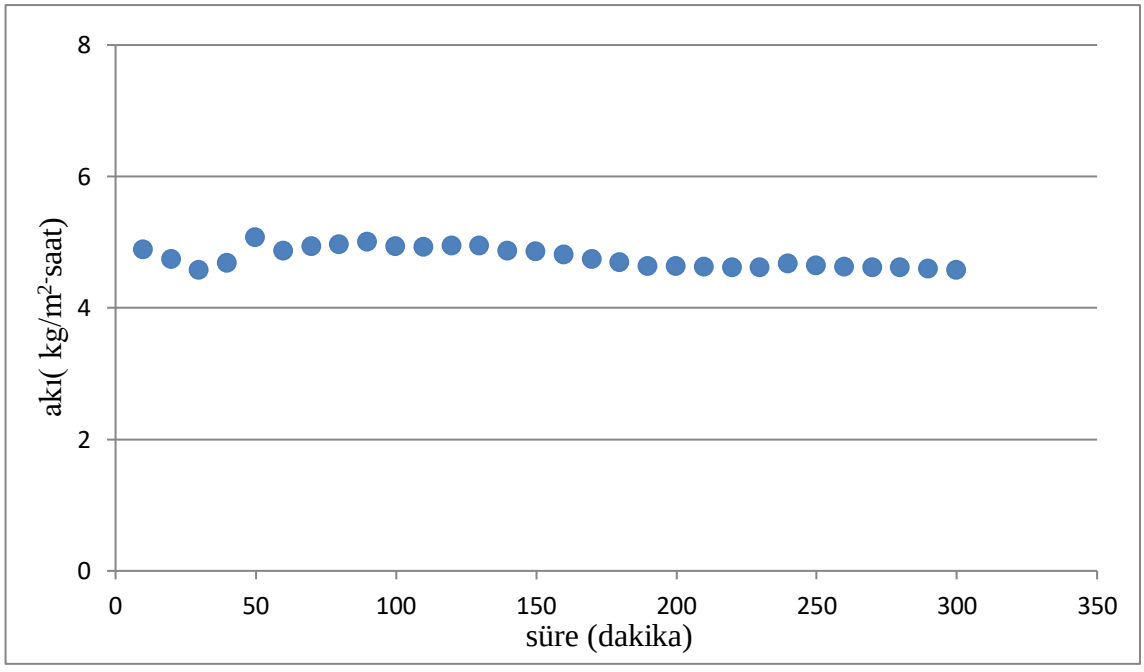
Şekil 4.7: $CaCl_2$ içeren FS'ye ait 55 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafiği



Şekil 4.8: $CaCl_2$ içeren FS'ye ait 55 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafiği



Şekil 4.9: $CaCl_2$ içeren FS'ye ait 35 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafiği



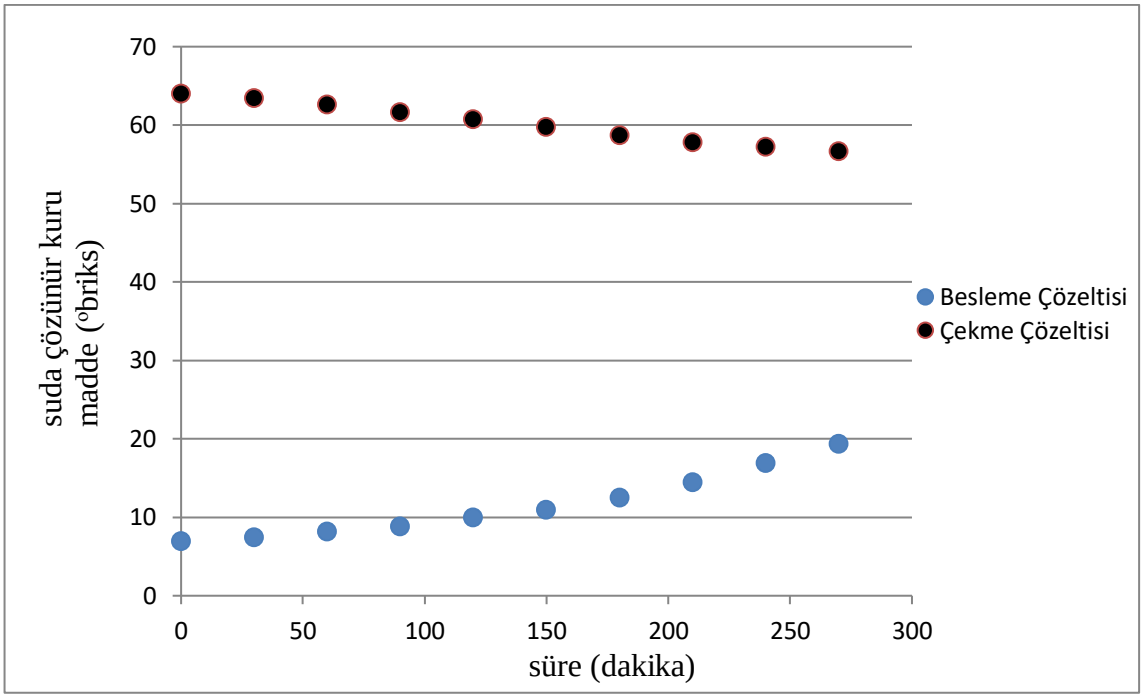
Şekil 4.10: $CaCl_2$ içeren FS'ye e ait 35 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafiği

55 °C'deki akı değişim grafikleri incelendiğinde pH'6,4'te %3,7'lik, pH 4,7'de ise %5,4'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. 35 °C'de ise pH 6,4'te düşüş %6,6 iken pH 4,7'de %6 olarak bu pH'da daha az kirlenme gözlemlenmiştir.

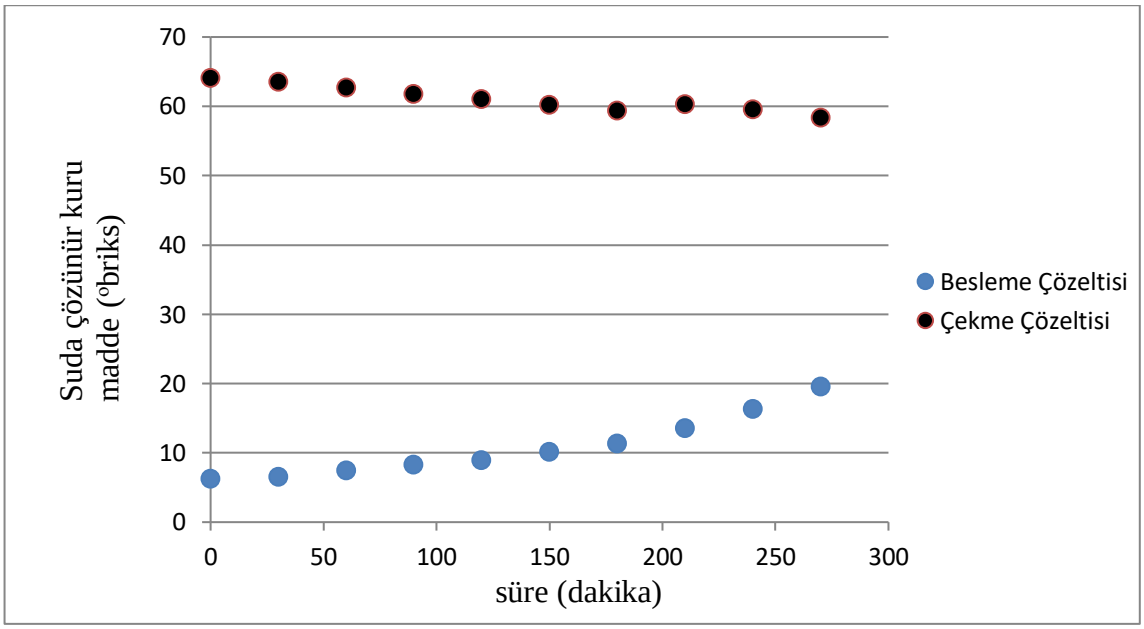
FO sürecinde, FS'deki suyun buharlaşarak DS'ye taşınmasından dolayı FS'nin konsantrasyonu artarken DS'nin azalmaktadır (Yılmaz, 2019). Bu durumda FS'nin viskozitesi artar ve konsantrasyon farkından kaynaklanan sürücü kuvvetin etkisi azalır ve bununla birlikte akıda düşüş meydana gelir (Destani vd., 2013). Bunun yanı sıra FS'deki bileşenlerin farklı koşullarda farklı özellikler kazanmasından dolayı membran sürecinde kirlenmeye neden olarak akıyı düşürmektedir.

$CaCl_2$, yapısında çözünür iyonlar bulundurur ve çözünür iyonların çözünürlükleri azalması durumunda potansiyel olarak gözenekler içinde veya yüzey üzerinde tabaka oluşturabilirler (Rice, 2009). Bunun nedeni çözünmemiş iyonların FS'nin viskozitesini arttırması ve geçirgenlik katsayısını azaltmasıdır. Bunun sonucunda membran kirlenerek akıda düşüşler meydana gelmektedir. Kalsiyum fosfat üzerine yapılan bir çalışmada kalsiyum fosfatın çözünürlülüğünün düşük sıcaklık ve düşük pH değerlerinde arttığı gözlemlenmiştir (Rice, 2009). 35 $^{\circ}$C'de pH değişimi sonucunda akı düşüşleri incelendiğinde pH 4,7'de daha az akı düşüşü olmasının nedeni daha düşük pH'da $CaCl_2$'nin çözünürlüğünün tıpkı kalsiyum fosfatta olduğu gibi artması olarak düşünülmektedir. Bu sıcaklıkta akı düşüşüne $CaCl_2$ neden olmaktadır. Ancak aynı sonuç sıcaklık 55 $^{\circ}$C'ye yükseldiğinde gözlemlenmemiştir. Bu sıcaklıkta sürücü kuvvetin azalmasından kaynaklı akı düşüşü gözlemlenmiştir. Kirlenmenin 55 $^{\circ}$C'de daha az olmasının nedenin yüksek sıcaklığın viskozite ve geçirgenlik katsayısına olan etkisinin $CaCl_2$'nin çözünürlüğünün viskoziteye olan etkisinden daha güçlü olduğu düşünülmektedir .

FS'nin 55 $^{\circ}$C pH 6,4 ve 4,7'ye ait zamana karşı SÇKM değişim grafikleri Şekil 4.11 ve 4.12'de verilmiştir. pH 6,4'te süreç boyunca SÇKM değeri 2,8 kat artarken pH 4,7'de 3,14 katkonsantrasyon sağlanmıştır. SÇKM değişim grafikleri akı değişim grafikleri ile birlikte incelendiğinde 55 $^{\circ}$C'de akı düşüşünün daha yüksek olduğu pH 4,7'de daha yüksek oranda bir konsantrasyon gözlemlenmiştir, $CaCl_2$'nin membrandan geçiş oranı daha yüksek olmuştur. Bu nedenle pH 4,7'de akı düşünün pH 6,4'e oranla daha fazla olmasının nedeni FS ve DS arasındaki konsantrasyon farkının daha düşük olması, sürücü kuvvetin azalmasının bir sonucu olarak düşünülmektedir.



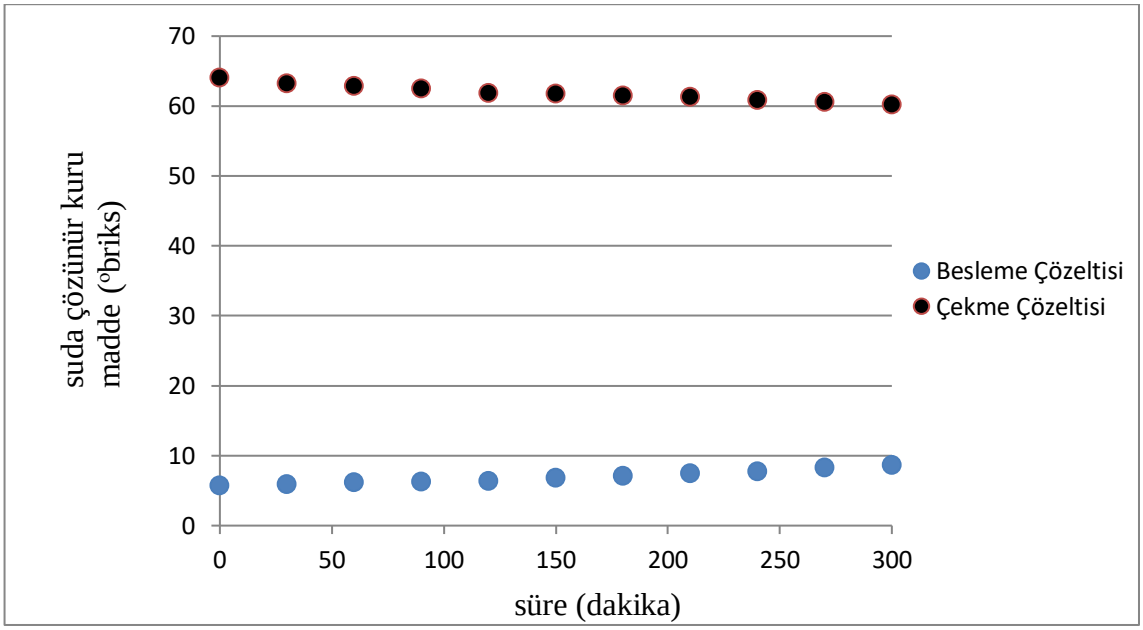
Şekil 4.11: $CaCl_2$ içeren FS'nin 55 °C pH 6,4'e ait SÇKM değişim grafiği



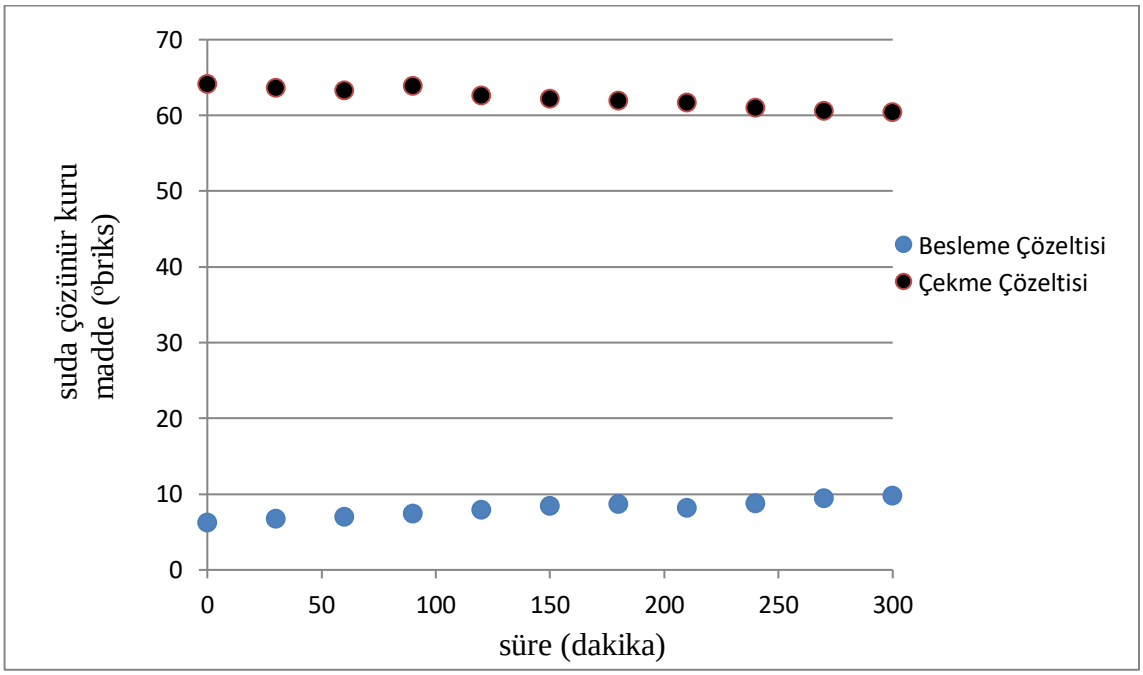
Şekil 4.12: $CaCl_2$ içeren FS'nin 55 °C pH 4,7'ye ait SÇKM değişim grafiği

35°C'de pH 6,4 ve 4,7'ye ait SÇKM değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.13 ve 4.14' te verilmiştir. 35 °C sıcaklıkta her iki pH değerinde de konsantrasyon artışı 1,6 kat olarak gözlemlenmiştir. Buna rağmen pH 6,4'te akı düşüşü daha fazladır. Dolayısıyla 35 °C sıcaklıkta akı değerindeki azalmanın nedeni yüksek pH'nın $CaCl_2$ bileşenine olan

etkisi olarak düşünülmektedir. Sonuç olarak membran performansında $CaCl_2$'nin kirtletici etkisi sıcaklığın 35 ˚C olması durumunda gözlemlenirken, 55 ˚C sıcaklıkta $CaCl_2$'den kaynaklanan kirlenme gözlemlenmemiştir.



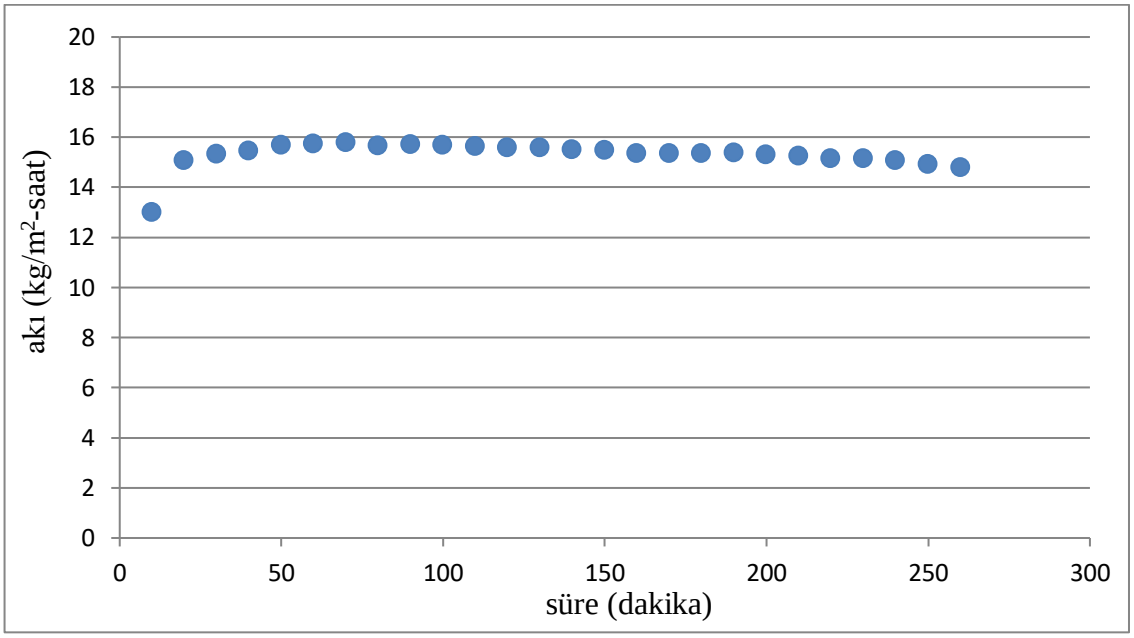
Şekil 4.13: $CaCl_2$ içeren FS'nin 35 ˚C pH 6,4'e ait SÇKM değişim grafiği



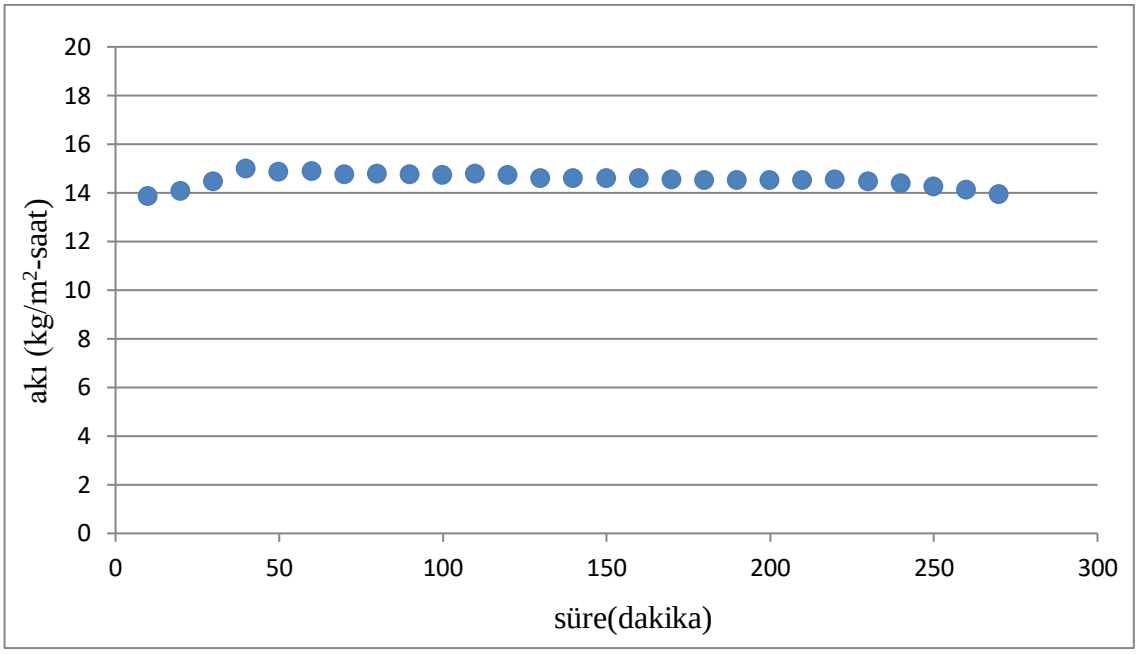
Şekil 4.14: $CaCl_2$ içeren FS'nin 35 ˚C pH 4,7'ye ait SÇKM değişim grafiği

4.1.2 $CaCl_2$ ve Laktoz İçeren FS'nin FO Sürecine Etkisi

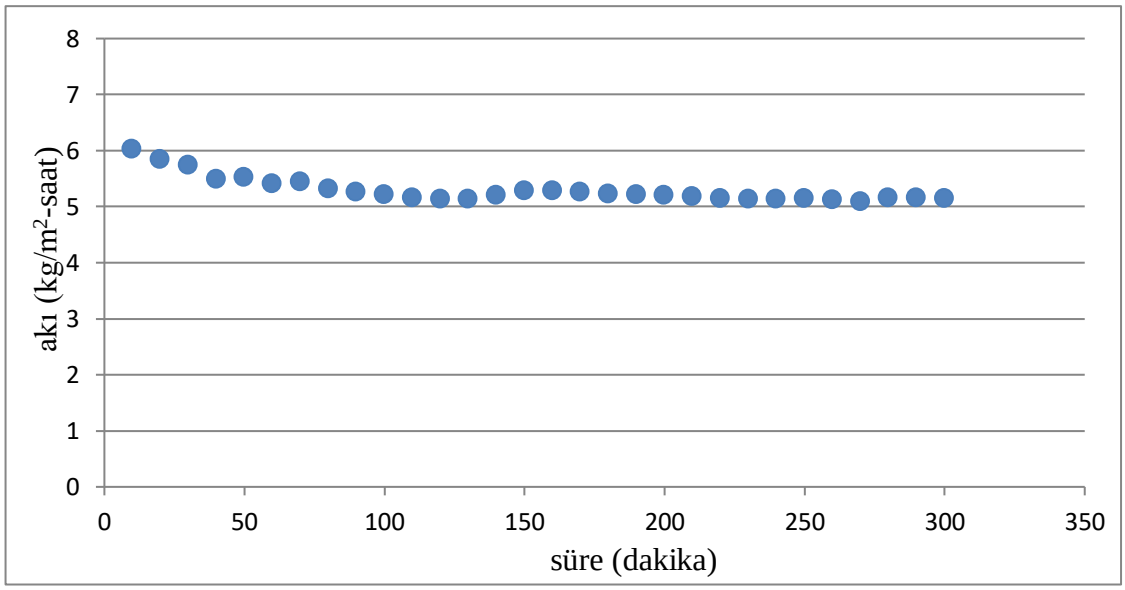
Hazırlanan FS %0,5 $CaCl_2$ ve %5,5 laktoz içermektedir. 55 °C'de pH 6,4 ve pH 4,7'ye ait akı grafikleri Şekil 4.15 ve 4.16'da, 35 °C'de pH 6,4 ve pH 4,7'ye ait akı değişim grafikleri Şekil 4.17 ve 4.18'de verilmiştir.



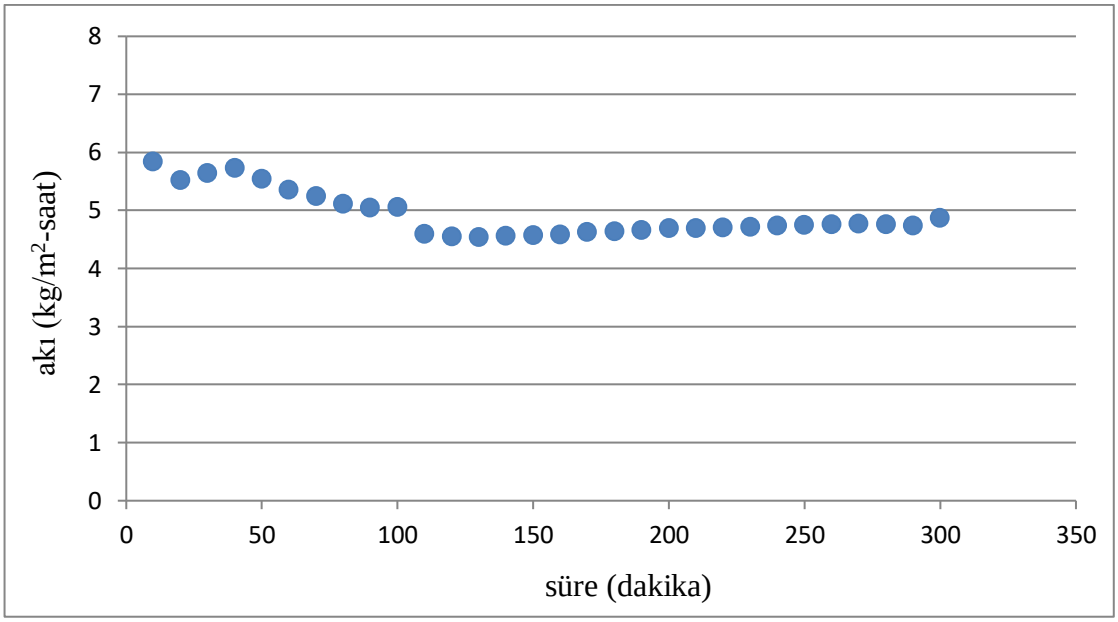
Şekil 4.15: $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'nin 55 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafikleri



Şekil 4.16: $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'nin 55 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafikleri



Şekil 4.17: $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'nin 35 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafikleri

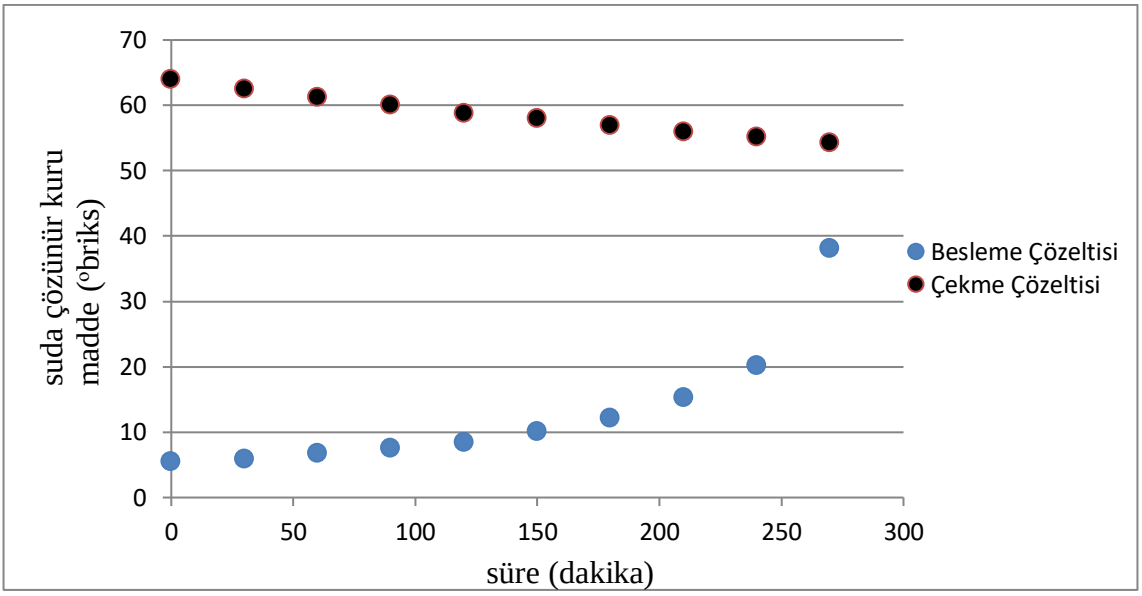


Şekil 4.18: $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'nin 35 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafikleri

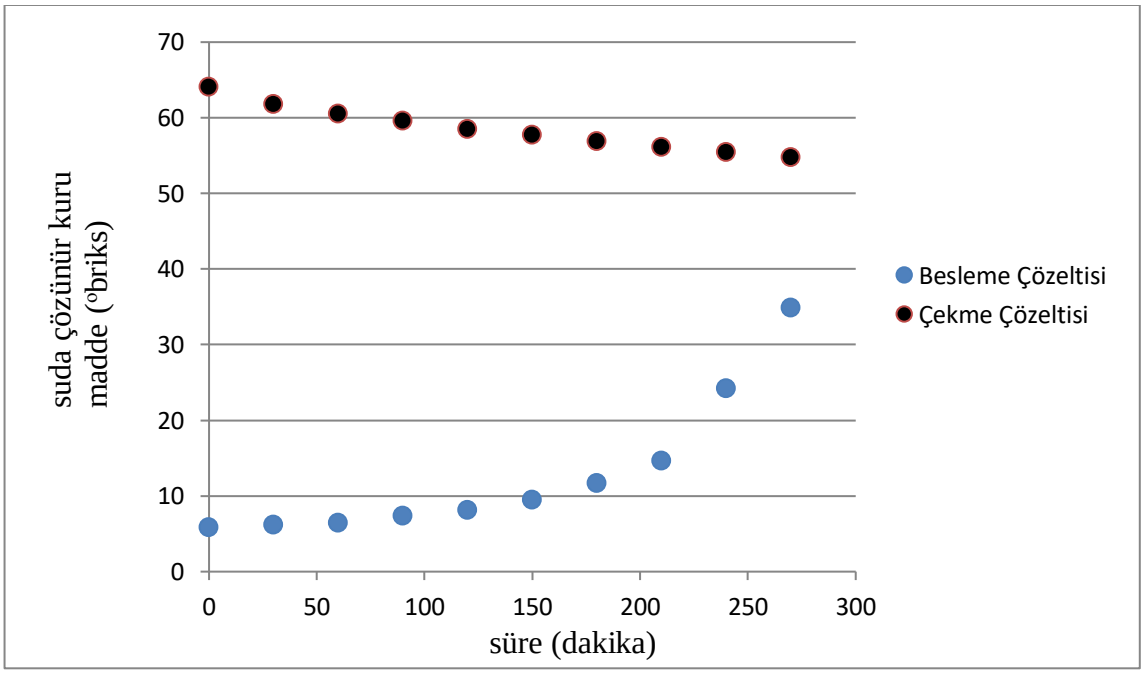
Akı değişim grafikleri incelendiğinde 55 °C sıcaklıkta pH 6,4'te %2,5 akı düşüşü gözlemlenirken pH 4,7'de %0,9'luk bir akı düşüşü meydana gelmiştir. Dolayısıyla bu sıcaklıkta sadece $CaCl_2$ içeren çözeltiye kıyasla akı düşüşü her iki pH'da da daha azdır. Bunun nedeni kalsiyum tuzları ve laktoz arasındaki kompleks oluşumu nedeni ile çözünürlüklerinin arttığı (Alexander vd., 2001) olarak düşünülmektedir. 35 °C sıcaklıkta ise akı düşüşleri pH 6,4'te %11,8 ve pH 4,7'de %16,7 olup FS'ye laktoz ilavesinin akıyı düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Aynı zamanda grafiklerde görüldüğü gibi $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'de akı düşüşleri 35 °C'de de 55 °C'ye kıyasla oldukça yüksek olmuştur. Sıcaklık artışı, laktozun çözünme yeteneğinde artışa neden olmaktadır (Gündoğdu vd., 2012). Bu nedenle 55 °C'de kirlenmenin daha az olmasının nedeninin sıcaklığın laktoza olan etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

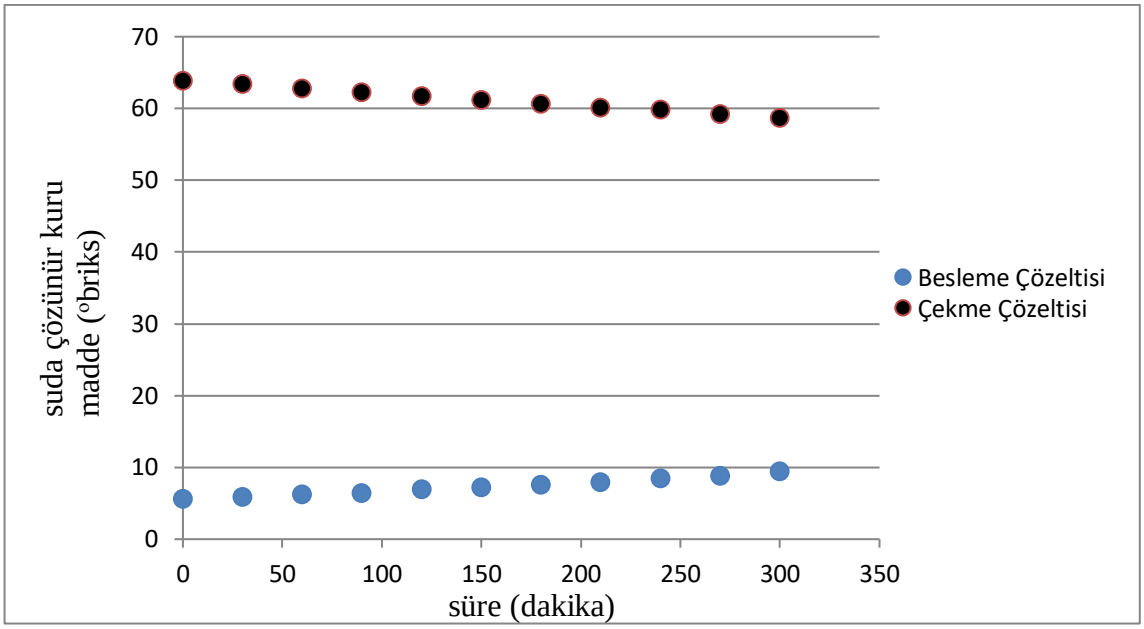
Süreç boyunca 55 °C'de pH 6,4 ve pH 4,7'de SÇKM değişimlerine ait grafik sırasıyla Şekil 4.19 ve 4.20'de, 35 °C'de pH 6,4 ve 4,7'deki SÇKM değişimine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.21 ve 4.22'de verilmiştir.



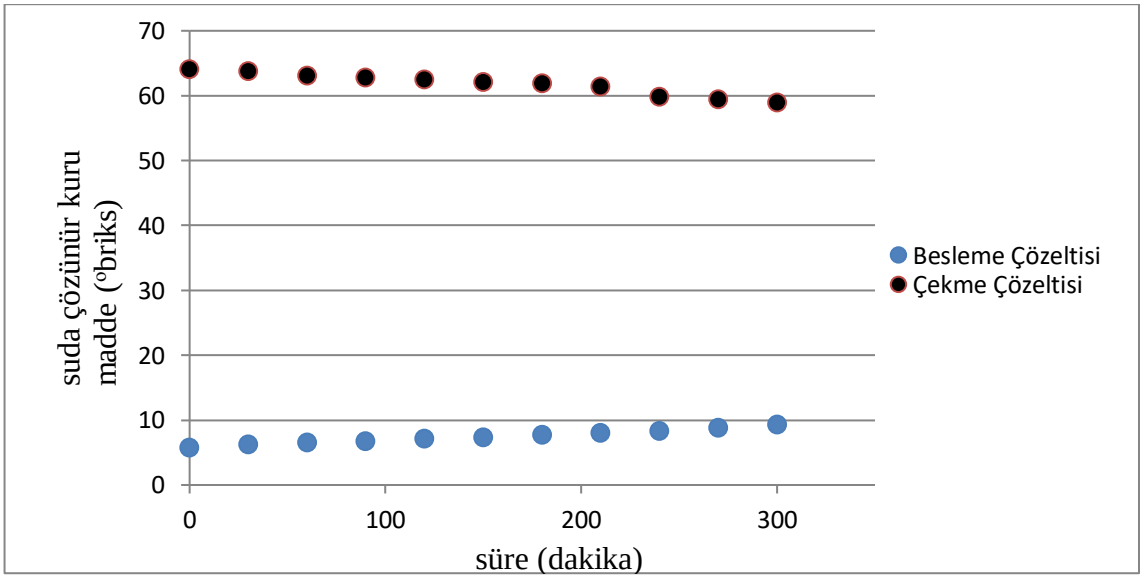
Şekil 4.19: $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'nin 55 °C pH 6,4'e ait SÇKM değişim grafiği



Şekil 4.20: $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'nin 55 °C pH 4,7'ye ait SÇKM değişim grafiği



Şekil 4.21: $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'nin 35 °C pH 6,4'e ait SÇKM değişim grafiği



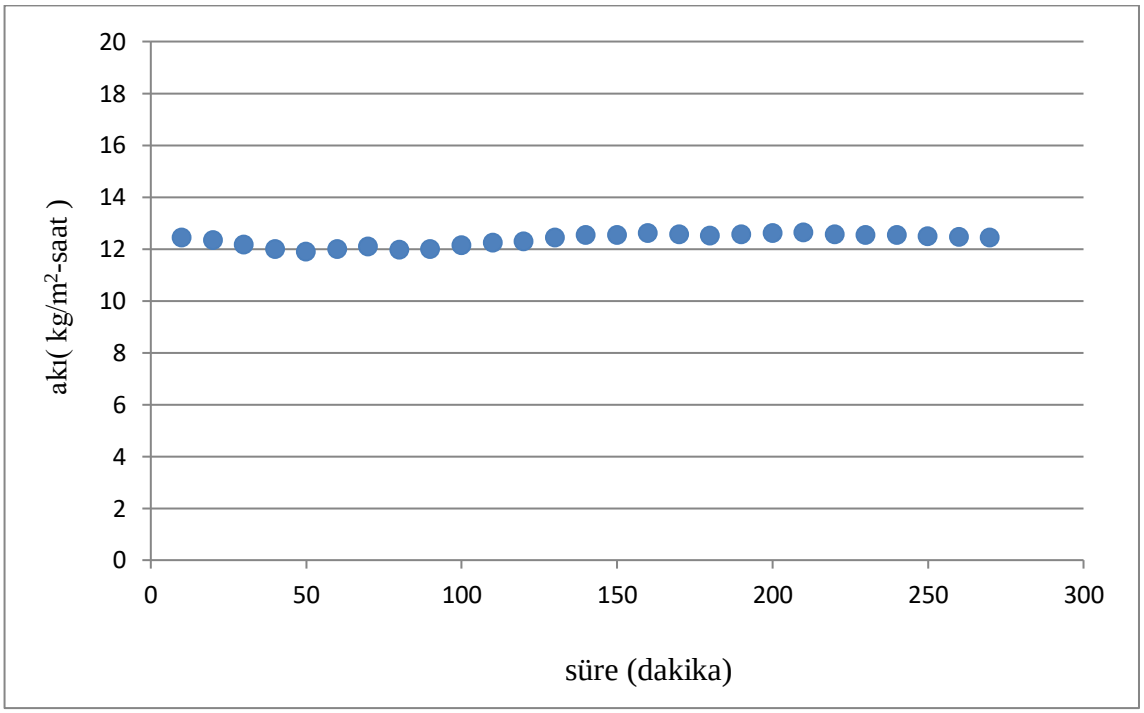
Şekil 4.22: $CaCl_2$ ve laktoz içeren FS'nin 35 °C pH 4,7'ye ait SÇKM değişim grafiği

Sonuçlar incelendiğinde 55 °C'de pH 6,4'te çözelti 7 kat konsantre edilebilirken pH 4,7'de 6 kat konsantre edilmiştir. SÇKM değişimleri akı değişimleri ile birlikte incelendiğinde pH 6,4'te daha yüksek akı düşüşü ve daha yüksek konsantrasyon oranı ölçülmüştür. Bu nedenle FS ve DS arasındaki konsantrasyon farkının pH 6,4'te daha fazla azalması sonucu pH 6,4'te akı düşüşü daha yüksek olmuştur. Ancak 35 °C'de FS,

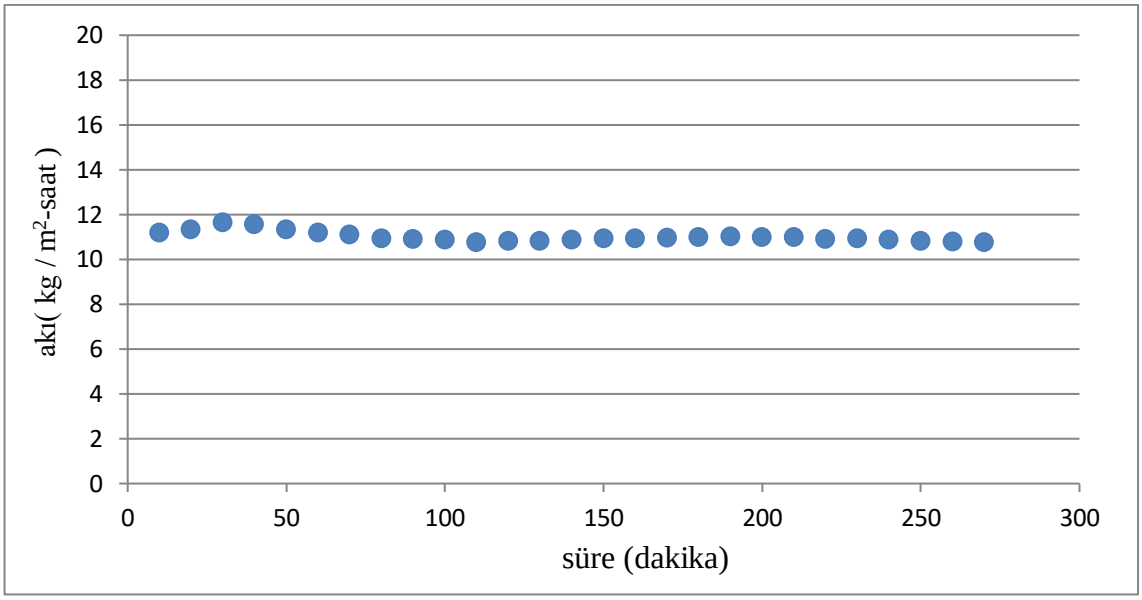
pH 6,4 ve pH 4,7'de 1,6 kat konsantre edilmiş, bu sıcaklıkta konsantrasyon oranlarında fark olmamasına rağmen pH 4,7'de akı düşüşü pH 6,4'e göre yüksek değerlerdedir ve 55 °C sıcaklıktaki sonuçlar ile kıyaslandığında akı düşüşünün çok daha fazla olmasına rağmen konsantrasyon oranları oldukça düşüktür. Bu nedenle 35 °C sıcaklıktaki kirlenmeye konsantrasyon artışından ziyade çalışma sıcaklığı ve pH'sının laktoz ve $CaCl_2$ üzerine etkisinin neden olduğu yorumu yapılabilmektedir.

4.1.3 BSA İçeren FS'nin FO Sürecine Etkisi

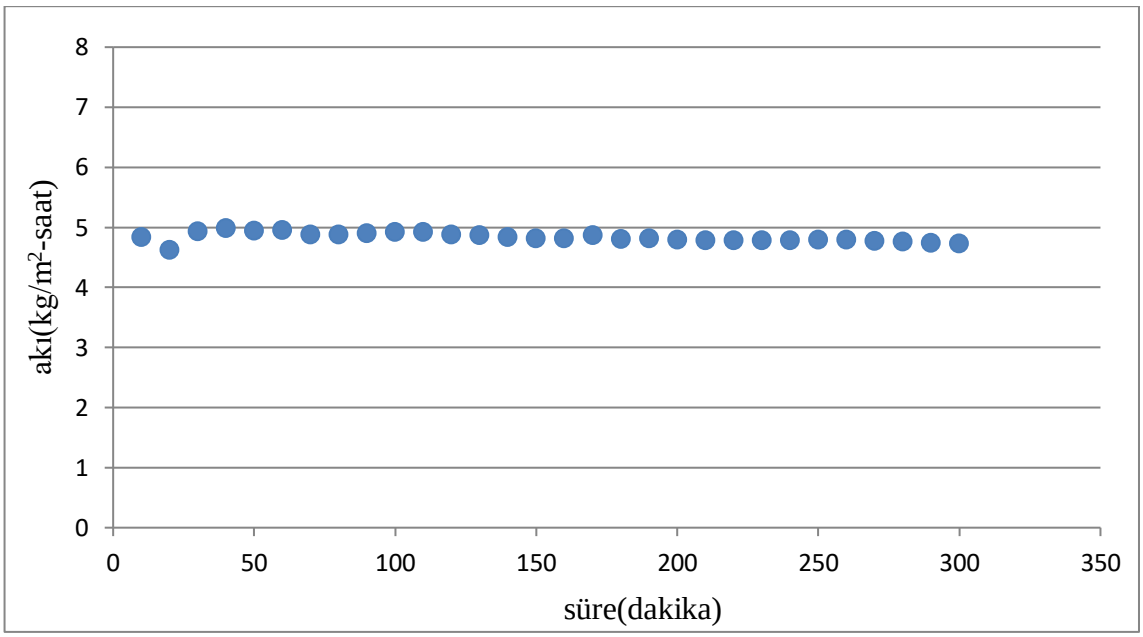
Hazırlanan FS %1 oranında BSA içermektedir. 55 °C'de pH 6,4 ve 4,7'deki akı değişimleri Şekil 4.23 ve 4.24'de, 35 °C pH 6,4 ve 4,7'deki akı değerleri Şekil 4.25 ve 4.26'da verilmiştir. Başlangıç permeat akıları incelendiğinde 55 °C pH 6,4'te 12,42 kg/m^2-h, pH 4,7'de 11,19 kg/m^2-h ve 35 °C'de pH 6,4'te 4,83 kg/m^2-h, pH 4,7'de ise 4,61 kg/m^2-h'dir. Diğer bileşenleri içeren çözeltilerle karşılaştırıldığında en düşük başlangıç permeat akıları BSA içeren besleme çözeltisinde gözlemlenmiştir.



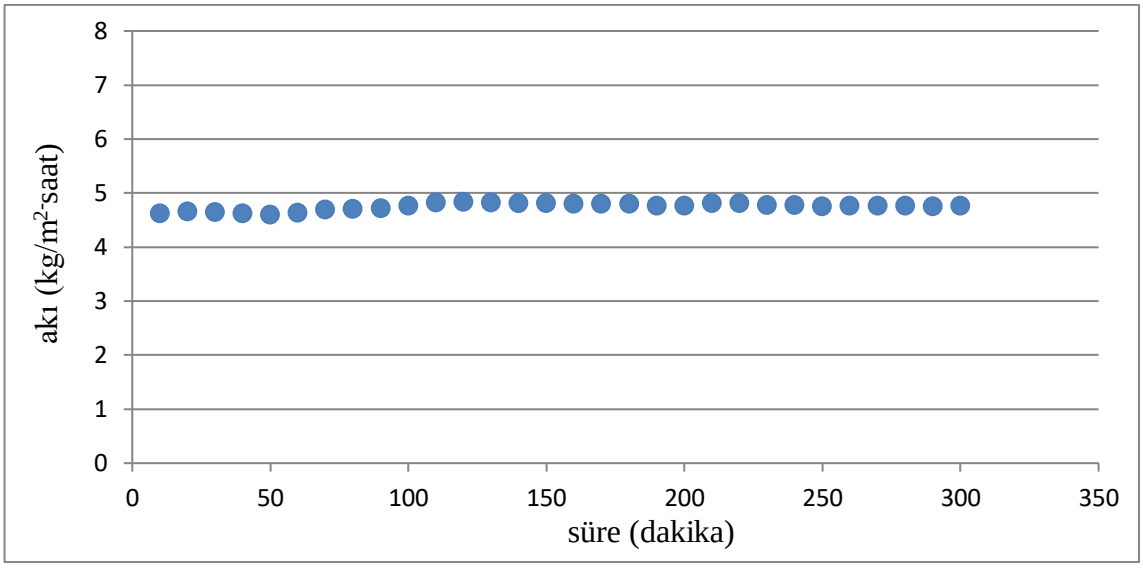
Şekil 4.23: BSA içeren FS'nin 55 °C pH 6,4'e ait akı değişim grafiği



Şekil 4.24: BSA içeren FS'nin 55 ˚C pH 4,7'ye ait akı değişim grafiği



Şekil 4.25: BSA içeren FS'nin 35 ˚C pH 6,4'e ait akı değişim grafiği



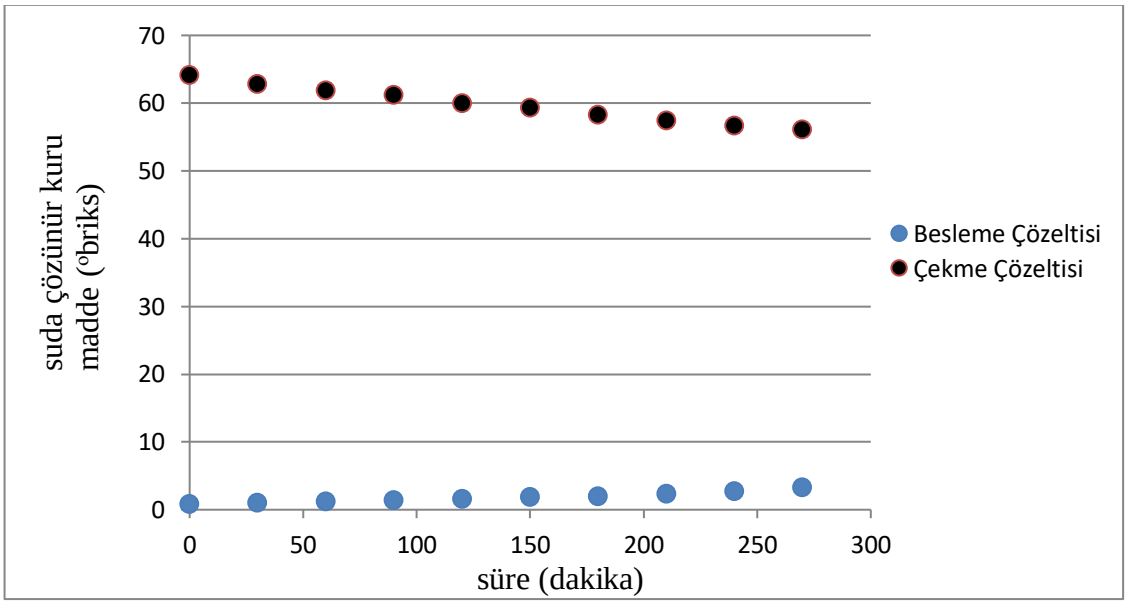
Şekil 4.26: BSA içeren FS'nin 35 °C pH 4,7'ye ait akı değişim grafiği

Başlangıç permeat akılarının düşük olmasının nedeni süt endüstrisi ile ilgili olarak proteinlerin, membran kirlenmesinde sorumlu ana bileşikler olması olarak düşünülmektedir. Çünkü protein içeren çözeltilerde, protein–protein, protein–membran etkileşimleri meydana gelmektedir (Wang., 2017). Bu etkileşimlerin nedeni ise proteinlerin farklı pH'larda negatif veya pozitif yüklere sahip olması ve bu nedenle FS'nin pH'sının proteinlerin elektrostatik itme–çekme kuvvetlerini etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Bu elektrostatik etkileşimler, membran yüzeyinde protein toplanması ve birikmesine, yüzeyde protein yapışmasına ve bunun sonucunda da akıda düşüşlere neden olmaktadır. Yapılan analizler sonucunda özellikle 55 °C pH 4,7'de membran yüzeyine protein yapışması yüksek oranda gözlemlenmiş ve akıda en yüksek düşüş (%4,02) bu değerlerde gerçekleşmiştir.

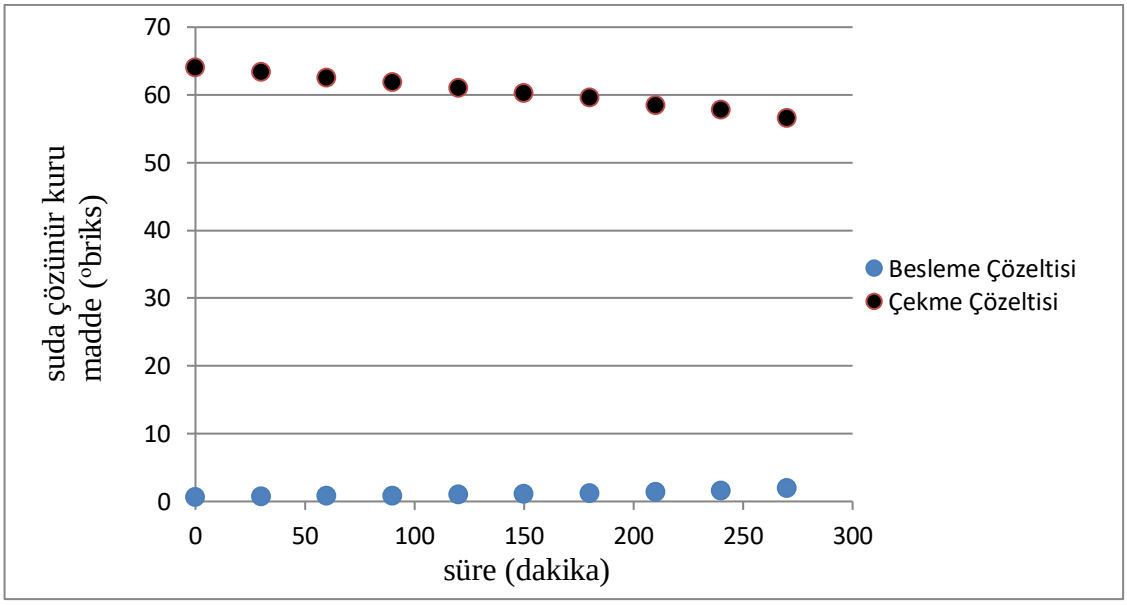
Proteinler, yapısındaki aminoasitlerden dolayı negatif ve pozitif yüklere sahiptirler. Net yüklerinin 0 olduğu pH değeri o proteinin PI'sı olarak tanımlanır (Akyüz vd., 2018). BSA proteini için bu değer pH 4,7'dir. Grafikler incelendiğinde 35 °C pH 4,7'de akının azalmadığı gözlemlenirken 55 °C'de akı değeri %4,02 oranında azalma göstermiştir. Pelegrine vd. (2005) yaptığı çalışma sonucunda PI'da protein moleküllerinin elektrostatik etkileşimlerinin azalması nedeni ile protein birbirleri ile etkileşimlerinin arttığını, bu nedenle proteinlerin suda az çözündüklerini bu yüzden

kirlenmenin daha fazla olduğu sonucunu ortaya koymuştur. 55 °C'de pH 4,7'de tüm koşullara kıyasla en yüksek akı düşüşünün nedeni bu şekilde açıklanabilmektedir. Ancak bu kirlenme sıcaklığın 35 °C'ye düşmesi durumunda gözlemlenmemiştir. Bu nedenle proteinlerin PI'daki davranışlarının sadece pH değeri ile ilişkili olmayıp sıcaklık ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

%1 BSA içeren besleme çözeltisinin 55 °C pH 6,4 ve 4,7'deki SÇKM değişimleri Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de verilmiştir. Çözelti süreç sonunda pH 6,4'te 4,57 kat, pH 4,7'de ise 3,2 kat konsantre edilmiştir. Grafikler akı grafikleri ile birlikte incelendiğinde pH 6,4'te akıda neredeyse azalma olmamasına rağmen pH 4,7'ye kıyasla daha yüksek konsantrasyon oranları hesaplanmıştır. Bu nedenle pH 4,7'de kirlenmenin temel nedeninin BSA proteinlerinin PI'da membran ve kendi arasındaki etkileşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

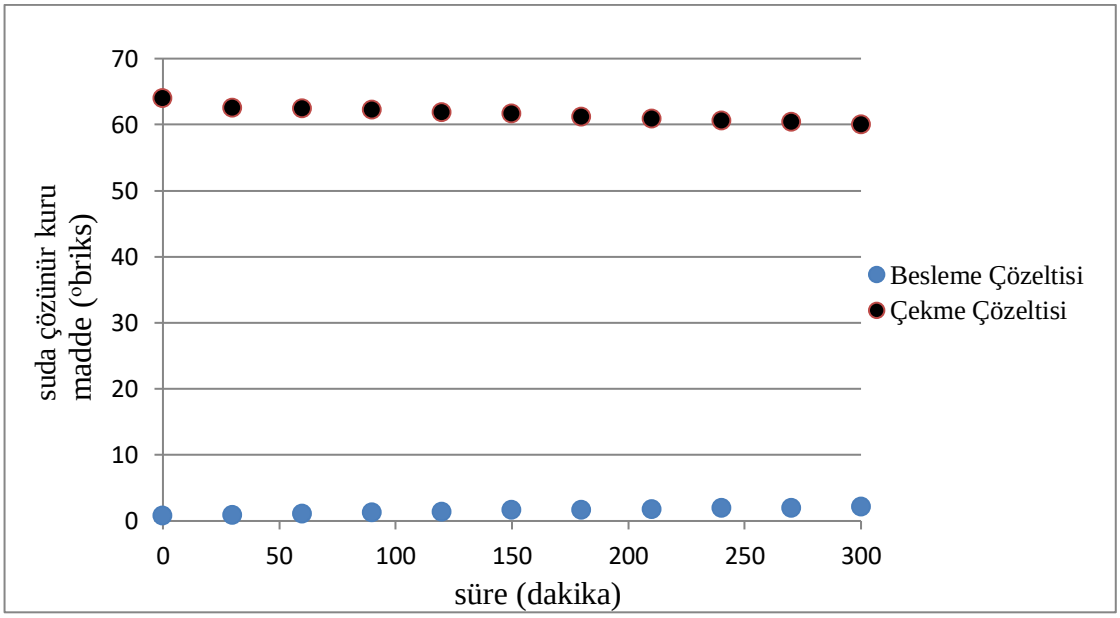


Şekil 4.27: BSA içeren FS'nin 55 °C pH 6,4' e ait SÇKM değişim grafiği

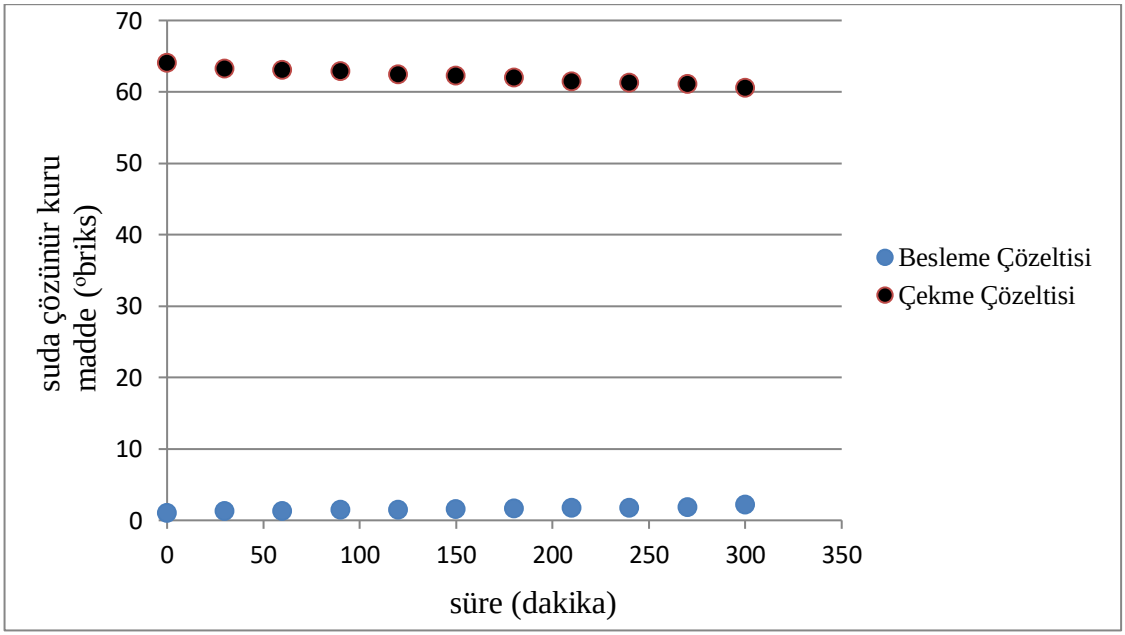


Şekil 4.28: BSA içeren FS'nin 55 °C pH 4,7'ye ait SÇKM değişim grafiği

35 °C'de pH 6,4 ve pH 4,7'ye ait SÇKM değişimleri sırasıyla Şekil 4.29 ve şekil 4.30'da verilmiştir. pH 6,4'te 2,6 kat konsantrasyon sağlanmış iken pH 4,7'de bu değer 2,1 katı kadardır. Grafikler, akı grafikleri ile birlikte incelendiğinde pH 6,4'te pH 4,7'ye göre akıda daha yüksek azalma meydana gelmiş ve FS'nin SÇKM değeri de daha yüksek olmuştur. Bu nedenle bu koşullarda proteinlerin kirletici etkisi azalmış olup, akıda azalmanın nedeni konsantrasyon farkından kaynaklandığı düşünülebilir.



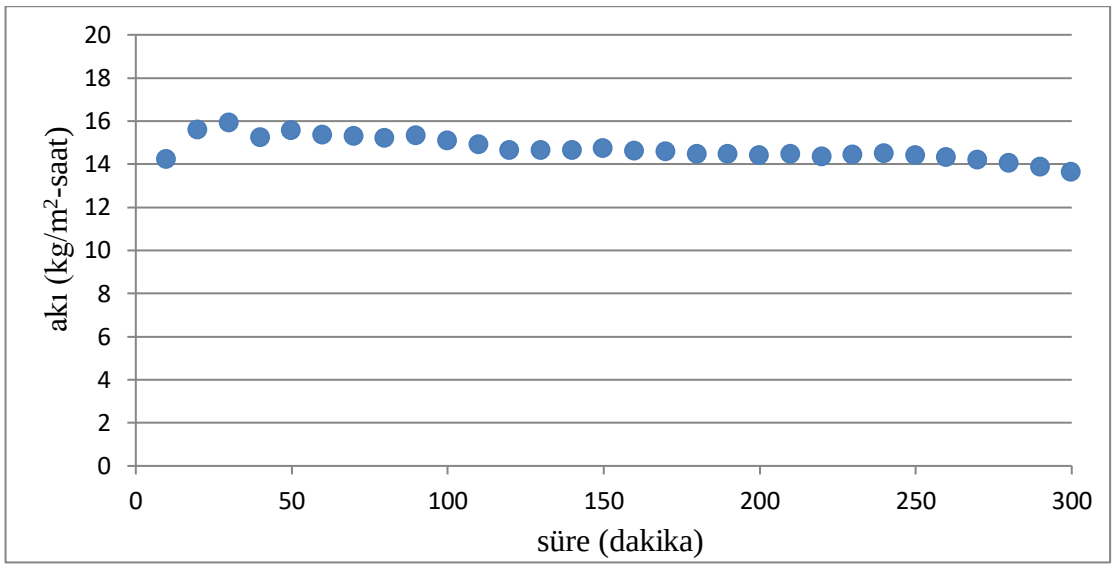
Şekil 4.29: BSA içeren FS'nin 35 °C pH 6,4'e ait SÇKM değişim grafiği



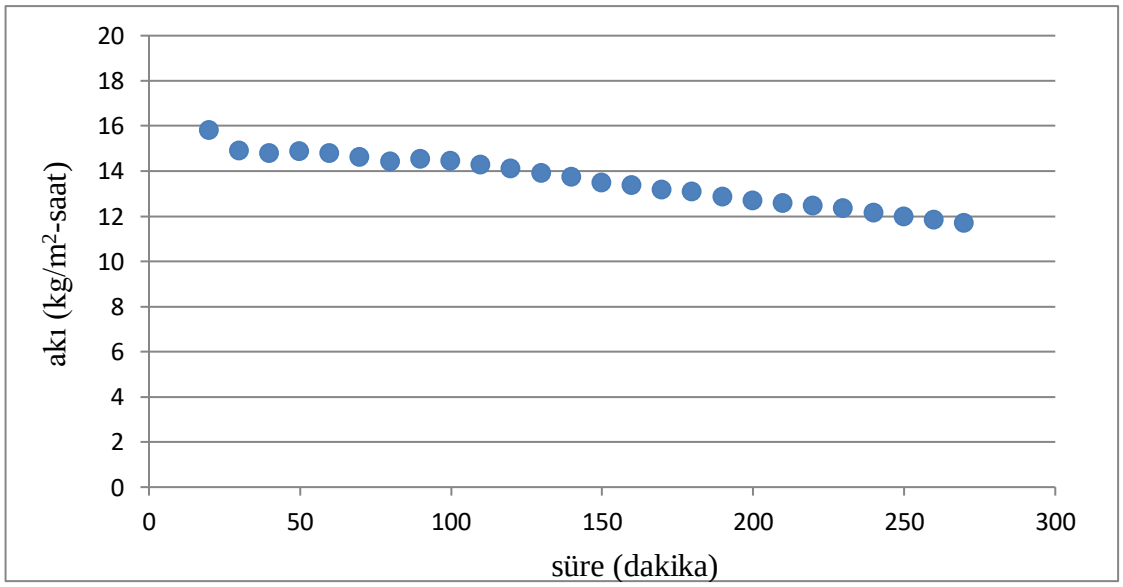
Şekil 4.30: BSA içeren FS'nin 35 °C pH 4,7'ye aitSÇKM değişim grafiği

4.1.4 BSA, Laktoz ve $CaCl_2$ İçeren FS'nin FO Sürecine Etkisi

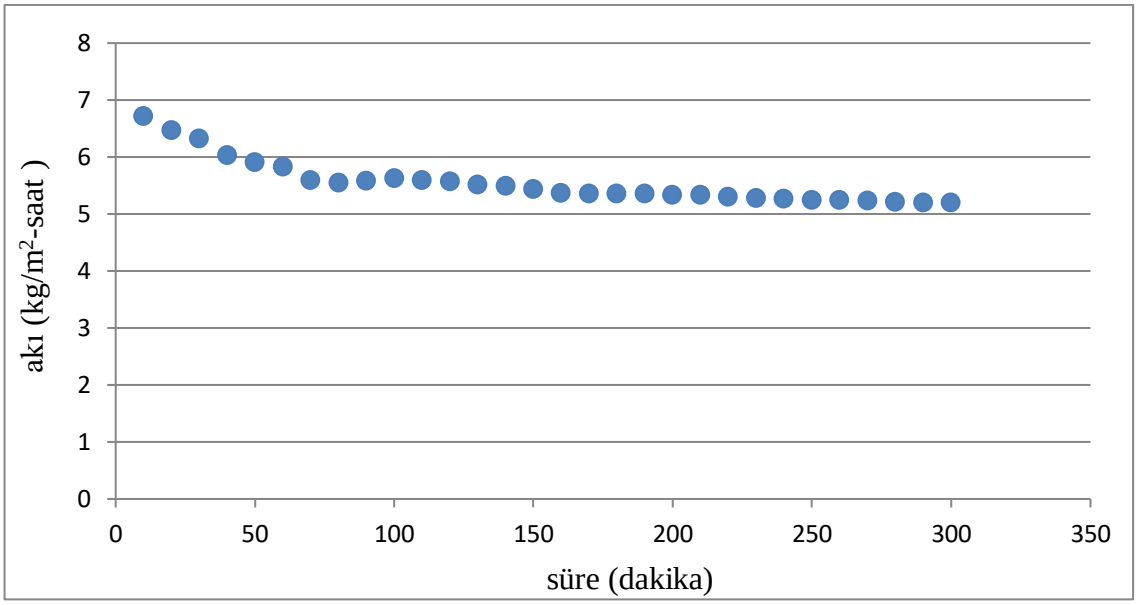
Hazırlanan FS %1 BSA, %4,5 laktoz ve %0,5 $CaCl_2$ içermektedir. 55°C'de pH 6,4 ve 4,7'de akı grafiği Şekil 4.31 ve 4.32'de, 35 °C'de pH 6,4 ve 4,7'deki akı grafiği şekil 4.33 ve 4.34'te verilmiştir.



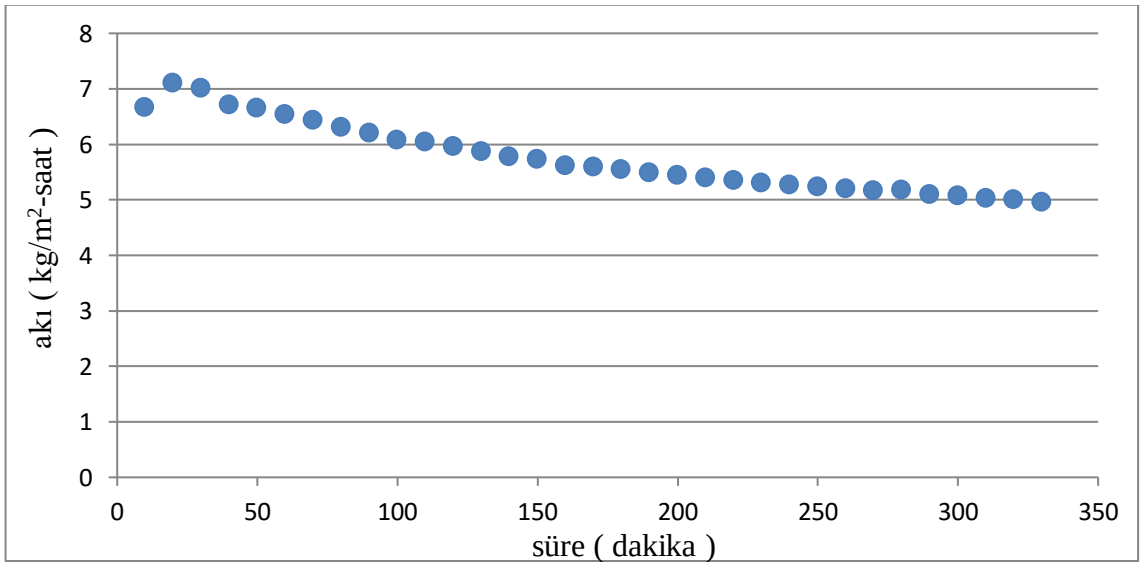
Şekil 4.31: BSA, laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS'nin 55 °C pH 6,4'e ait akı grafiği



Şekil 4.32: BSA, laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS'nin 55 °C pH 4,7'ye ait akı grafiği



Şekil 4.33: BSA, laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS'nin 35 ˚C pH 6,4'e ait akı grafiği



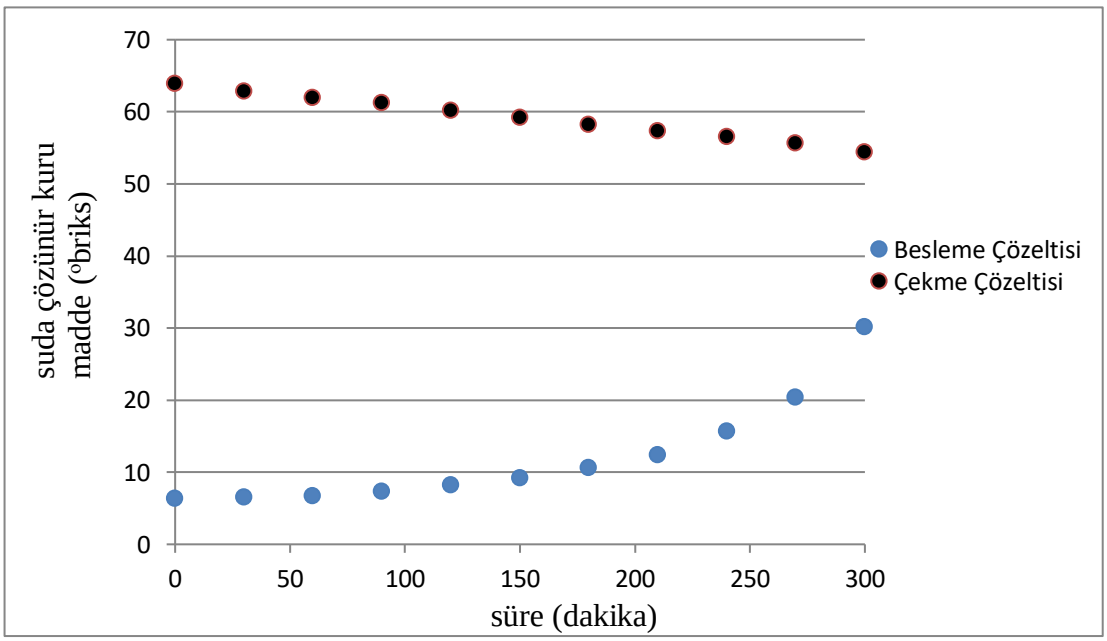
Şekil 4.34: BSA, laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS'nin 35 ˚C'de pH 4,7'ye ait akı grafiği

Sonuçlar incelendiğinde BSA, laktoz ve $CaCl_2$ içeren besleme çözeltisinde akı düşüşleri 55 ˚C pH 6,4'te %8, pH 4,7'de %30, 35 ˚C pH 6,4'te %23 ve pH 4,7'de %24 olup tüm FS'ler içerisinde en yüksek akı düşüşlerinin elde edildiği çözeltidir. Bunun nedeni protein etkileşimlerinin yanı sıra PAS içerisindeki Ca ve fosfatların proteinlerin birbirleri ve membran ile etkileşimleri aralarında mineral köprüleri kurarak desteklemesi (Rice vd., 2009) olarak düşünülmektedir. Özellikle 55 ˚C pH 4,7'de akı

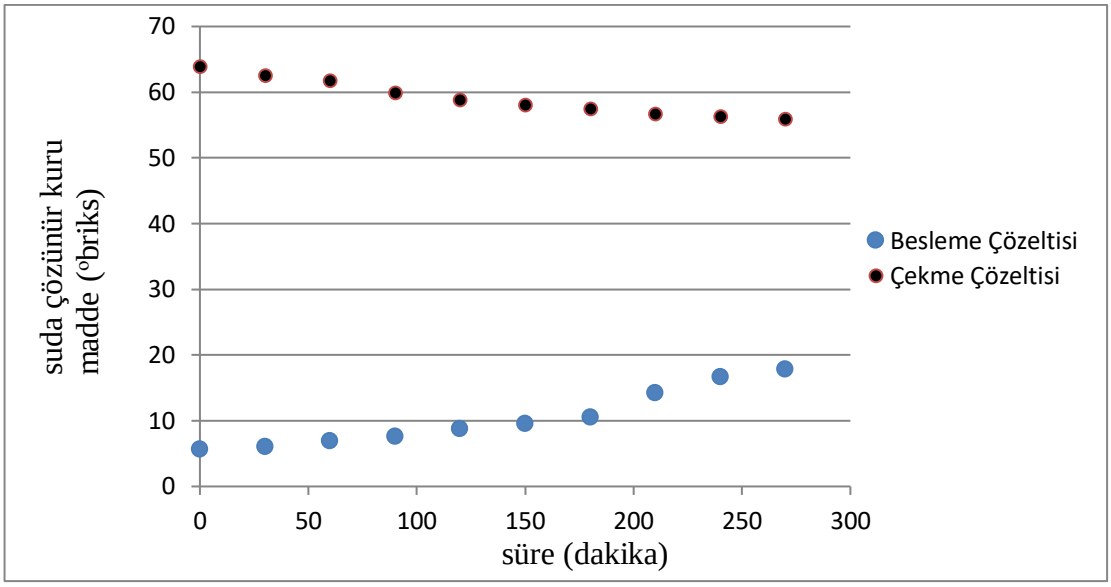
düşüşü %30 olup diğer tüm süreçlere kıyasla oldukça yüksektir. Sadece BSA içeren çözeltide de bu parametrelerde en yüksek akı düşüşü gözlendiğinden bu düşüşün nedeninin protein içeriğinin olabileceği düşünülmesinin yanı sıra çözelti içerisinde $CaCl_2$'nin de bulunmasından kaynaklı olabilir.

Chen vd., (2020) süt ürünlerinin FO ile konsantrasyonu üzerine yaptığı bir çalışmada sonuçlar, protein ve Ca tuzlarının membran yüzeyinde kirlenmeye neden olduğunu gösterirken laktozun konsantrasyon sırasında membran yüzeyinde minimum kirlenme ve düşük konsantrasyon polarizasyonuna neden olduğu tespit etmiştir. Bu çalışmanın sonucu da laktozdan ziyade protein ve Ca tuzlarının membran kirlenmesinde daha etkili olduğu sonucunu desteklemektedir.

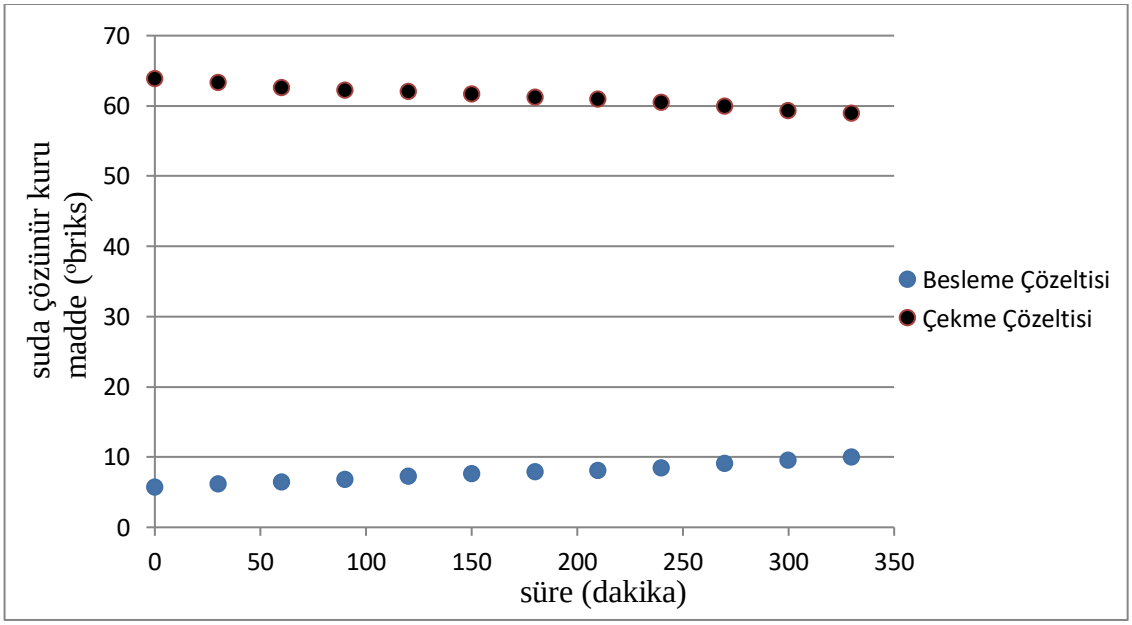
55 °C'de pH 6,4 ve 4,7'ye ait SÇKM değişimine ait grafik Şekil 4.35 ve 4.36'da, 35°C'de pH 6,4 ve 4,7'de SÇKM değişimine ait grafikler Şekil 4.37 ve 4.38'de verilmiştir.



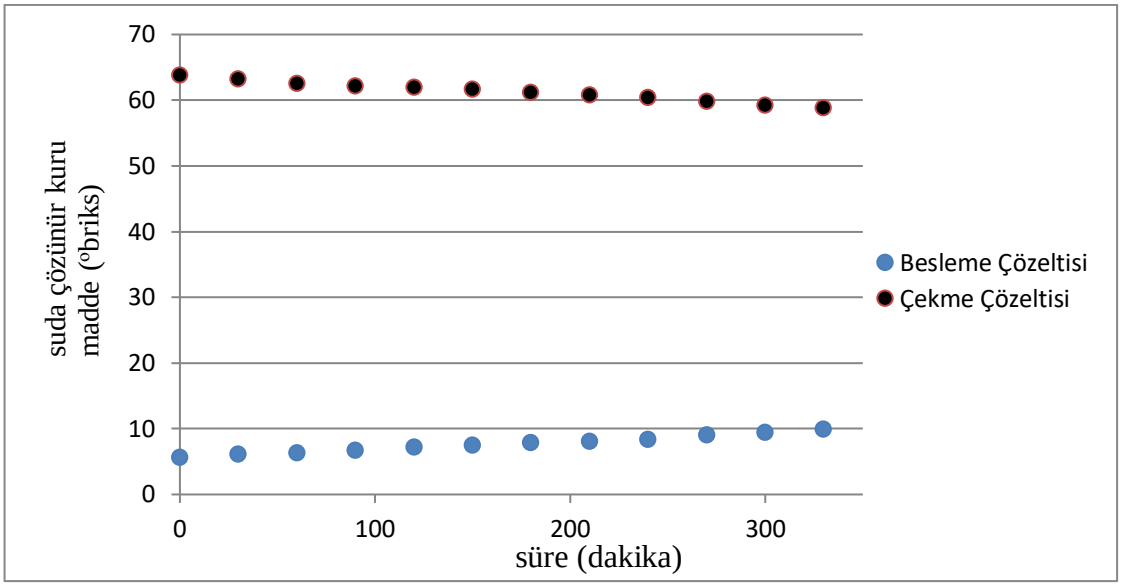
Şekil 4.35: BSA, Laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS'nin 55 °C pH 6,4'e ait SÇKM değişim grafiği



Şekil 4.36: BSA, Laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS'nin 55 °C pH 4,7'ye ait SÇKM değişim grafiği



Şekil 4.37: BSA, laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS'nin 35 °C pH 6,4'e ait SÇKM değişim grafiği



Şekil 4.38: BSA, laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS'nin 35 °C pH 4,7'ye ait SÇKM değişim grafiği

Grafikler incelendiğinde 35 °C'de pH 6,4 ve pH 4,7'deki konsantrasyon oranları arasında neredeyse farklılık gözlemlenmemiş ve pH 4,7'de akı düşüşü biraz daha fazla olduğundan konsantrasyon oranı biraz daha yüksektir. Bu nedenle bu sıcaklıktaki akı düşüşünün nedeni olarak sürücü kuvvetin azalması düşünülmektedir. Ancak 55 °C sıcaklıkta pH 4,7'de SÇKM değeri daha düşük olmasına rağmen akı düşüşü pH 6,4'e göre oldukça yüksektir ve aynı sonuç sadece BSA içeren FS'de de gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu parametrelerde akı düşüşünün konsantrasyon farkının yanı sıra proteinler ve protein-membran arasındaki etkileşim ve bu etkileşimi destekleyen Ca iyonlarından kaynaklandığı sonucuna varılabilmektedir.

En yüksek konsantrasyon oranına sıcaklığın 55 °C olduğu pH 6,4 koşullarında ulaşılmıştır. Bu şartlar altında PAS 4,8 katlık bir konsantrasyon seviyesine ulaşmıştır. PAS'nin FO sürecine ait pilot ölçekli yapılan bazı literatür çalışmalarında, Chen vd., (2019) 16-17 °C'de PAS'yi 2,5 kat kadar konsantre edebilirken, Artemi vd., (2020) oda sıcaklığında PAS'yi 6,5 °briksten 18 °brikse çıkartarak 2,7'lik bir konsantrasyon artışı sağlamıştır. Dolayısıyla literatür verileri ile karşılaştırıldığında uygun pH değeri seçildiğinde sıcaklığın yüksek olması sürecin performansını olumlu etkilemektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Yapılan analizler sonucunda, bileşenlerin kirlenme üzerine etkilerinin farklı pH ve sıcaklık koşulunda farklılık gösterdiğinin, bu nedenle FO sürecinde, bu iki parametrenin de önemli olduğu sonucu ortaya konmuştur. FS'ler ayrı ayrı ele alındığında membran performansına etkileri aşağıda verilmiştir.

İlk çalışmada FS olarak saf su ile yapılan denemelerde sıcaklığın 35 °C'den 10°C arttırılması ile birlikte akı değeri %35 oranında, 45 °C'den 10 °C arttırılması sonucu ise %61 oranında bir artış göstermiştir ve bu analizlerde en yüksek akı geçişi ve konsantrasyon oranı en yüksek sıcaklık olan 55 °C'de gerçekleşmiştir. Dolayısıyla sıcaklık değerleri FO sürecinde oldukça önemli olup, yüksek sıcaklıklar sürecin verimliliğini arttırmaktadır.

$CaCl_2$ içeren FS'ye bakıldığında, $CaCl_2$'nin hem sıcaklık hemde pH değerlerinden etkilendiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni $CaCl_2$'nin çözünürlüğünün yüksek sıcaklık ve yüksek pH durumunda azalması ve bu azalmanın FS'nin viskozitesi, dolayısıyla membrandan geçiş oranını etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak sıcaklık 55 °C gibi yüksek bir sıcaklığa ulaştığında sıcaklık artışı viskozite üzerine daha etkili olmuştur ve 35 °C'ye göre daha yüksek akılar gözlemlenmiştir. Sıcaklık 35 °C iken pH 4,7'de sürücü kuvvetin daha fazla azalmasına rağmen akı düşüşü daha azdır. Dolayısıyla bu sıcaklıkta membran kirlenmesinin nedeni $CaCl_2$'den kaynaklanmaktadır. 55 °C'de ise konsantrasyon oranı artıkça akı düşüşü de artmıştır. Bu nedenle bu sıcaklıkta membran kirlenmesine $CaCl_2$'den ziyade sürücü kuvvetteki azalma neden olmuştur.$CaCl_2$'nin konsantrasyonu için en yüksek konsantrasyon oranı ise sıcaklığın yüksek pH'nın düşük olduğu 55 °C pH 4,7 olarak belirlenmiş, bu parametrelerde 3,1 kat kadar konsantrasyon gerçekleşmiştir.

FS'ye $CaCl_2$ bileşeninin yanında laktoz ilavesi membrandan geçiş oranını 55 °C sıcaklıkta arttırmıştır. 35 °C sıcaklıkta ise pH 6,4'te aynıyken pH 4,7'de azaltmıştır. 55 °C'de arttırmasının laktozun çözünürlüğünün sıcaklıkla birlikte artmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıcaklıkta akı düşüşünün daha fazla olduğu pH 6,4'te daha yüksek konsantrasyonlara ulaşılmış dolayısıyla akıdaki bu düşüşün sebebi sürücü kuvvetin azalmasından kaynaklanmıştır. Ancak 35 °C sıcaklıkta son SÇKM değerleri her iki pH içinde aynı olmasına rağmen akı düşüşlerinde farklılık meydana gelmiş, pH 4,7'de oldukça yüksek bir akı düşüşü gözlemlenmiştir. 35 °C'de kirlenmenin nedeni laktoz bileşenlerinin çözünürlüğünün azalarak FS'nin viskozitesini arttırması ve membranda kirlenmeye neden olmasından kaynaklanmaktadır ve pH 6,4'te pH 4,7'ye göre daha az akı düşüşü olmasının nedeni bu değerlerde FS'de bulunan çözünmemiş Ca iyonları ile laktozun kompleks oluşturarak çözünürlüklerinin etkilenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak laktoz ve $CaCl_2$ içeren bir FS'nin FO süreci ile konsantrasyonu sırasında pH'dan ziyade sıcaklık daha önemli bir faktördür ve düşük sıcaklıkların kullanılması bileşenlerden kaynaklı membran kirlenmesini arttırdığından uygun değildir.

Laktoz ve $CaCl_2$ içeren FS diğer FS'ler ile kıyaslandığında en yüksek akı geçişlerinin ve en yüksek konsantrasyon oranlarının gözlemlendiği FS'dir. Özellikle 55 °C pH 6,4'te 7 kat gibi bir konsantrasyon seviyesine ulaşılabilmiştir. Bu nedenle bu bileşenlerin konsantre edilmesinde FO sürecinin uygulanabilirliği yyüksektir.

Sadece BSA içeren FS'ye ait FO süreci incelendiğinde tüm bileşenler içinde bu FS'de en düşük akı geçişleri gözlemlenmiştir. Bu da PAS konsantrasyonda en önemli kirlilik nedenlerinden birinin içerisindeki proteinlerden kaynaklandığını göstermektedir. Söz konusu proteinler olduğunda hem sıcaklık hem de pH önemli faktörlerdir. Sıcaklığın önemli olmasının nedeni yüksek sıcaklıklarda proteinlerin yapılarının etkilenerek denatürasyona uğraması ve bunun sonucunda membranda ciddi bir kirleme faktörü olmalarıdır. pH'nın önemi ise proteinlerin yapısındaki hem negatif hem de pozitif yüklü aminoasitlerden dolayı FS'nin, pH değerine göre farklı yükler ile yüklenmesi ve bunun sonucunda birbirleri ve membran ile etkileşiminden kaynaklı kirlenmeye neden olmalarıdır.

BSA ile ilgili sonuçlar incelendiğinde BSA'nın kirletici etkisi en fazla yüksek sıcaklık olan 55 °C ve PI=PH olduğu durumda gözlemlenmiştir. Ancak sıcaklık 35 °C 'ye düşürüldüğünde BSA'nın kirlilik üzerinde etkisi olmayarak bu sıcaklıkta protein etkileşimleri azalmış vepH 6,4'te daha yüksek akı düşüşü gözlemlenmiş ve daha yüksek konsantrasyon seviyelerine ulaşılmıştır. Dolayısıyla 35 °C'de membrandaki bu akı düşüşünün esas nedeni sürücü kuvvetin azalmasından kaynaklanmıştır.

BSA proteini için tüm sonuçlar incelendiğinde en uygun FO koşulu konsantrasyonun 4,6 kat arttığı 55 °C pH 6,4'tür. Sonuçlar doğrultusunda protein içeren bir FS ile FO sürecinin gerçekleştirilmesinde en uygun sıcaklık ve pH parametreleri proteinin yapısını bozmayacak en yüksek sıcaklık değeri ve PI değerinden yüksek bir pH değeridir.

Laktoz, BSA ve $CaCl_2$ içeren FS'ye ait sonuçlar incelendiğinde, 35 °C'de pH değişimlerinde akı değişimleri ve SÇKM değişimleri arasında önemli bir fark tespit edilmemiş ve bu sıcaklıkta akı düşüşüne bileşenlerden ziyade sürücü kuvvettindeki azalmalar neden olmuştur. Ancak 55 °C'de pH 4,7 değerinin sonuçları incelendiğinde tüm süreçler içerisinde en yüksek akı düşüşü (%30) bu değerlerde gözlemlenmiştir. Bunun nedeni pH değerinin PI değerine eşit olmasından dolayı protein-protein ve protein-membran etkileşimlerinin yanı sıra FS'de bulunan kalsiyumun bu etkileşimleri desteklemesidir. Dolayısıyla 55 °C'de bu pH değerinde gözlemlenen akı düşüşü bileşenlerin membran kirlenmesine etkisinden kaynaklanan akı düşüşüdür. Konsantrasyon oranının en yüksek olduğu değerler ise 55 °C pH 6,4'tür. Bu değerlerde % 8'lik bir akı düşüşü gözlemlenerek FS 4,8 kat kadar konsantre edilmiştir.

Sadece BSA içeren FS'de olduğu gibi tüm bileşenleri içeren FS'de de en uygun konsantrasyon süreci proteinlerin yapısını değiştirmeyecek kadar yüksek bir sıcaklık ve o proteinin PI'sından farklı bir pH değeridir. Ancak $CaCl_2$ ve laktozun ayrı ayrı özelliklerine bakıldığında uygun sıcaklık ve pH koşulları tüm bileşenleri içeren FS'ye göre farklılık göstermektedir. Bu durum membran performansını en fazla etkileyen bileşenin protein (BSA) olduğunun bir göstergesidir.

Tüm bileşenlerin membran performansı üzerine etkileri incelendiğinde 55 °C'de bütün bileşenlerin membran geçiş değerleri ve SÇKM değerleri daha yüksek olmuştur.

Ancak bu sıcaklıkta pH değerlerinde bu oranlar farklılık göstermektedir. Özellikle protein ve $CaCl_2$'nin membran performansına etkileri pH değerleri ile farklılık gösterdiğinden FO süreci için kullanılıcak olan PAS'nin tatlı veya asidik bir PAS olması da süreç koşullarının belirlenmesinde ve FO'nun performansı açısından önemli bir etkendir.

Söz konusu PAS için FO'nun uygulanabilirliği olduğunda, PAS içerisinde bulunan hidrofobik karakterdeki yağ molekülleri, hidrofobik olan membran yüzeyine yüksek afinite göstererek membranın gözeneklerinde tıkanmaya neden olabilmektedir. Bu nedenle FO ile konsantrasyonundan önce içerisindeki yağın uzaklaştırılması, bileşenlerden kaynaklı membran kirlenmesinin önüne geçilebilmesi açısından önemlidir. Bunun yanı sıra analizler sonucunda, en fazla kirlenmeye neden olan bileşen BSA proteini olmuştur. Ancak bu durum farklı sıcaklık ve pH koşullarında değişmektedir. PAS içerisinde makro düzeyde β-laktoglobulin ve α- laktoalbumin, serum albumin, immunoglobulinler ve glikomakropeptitler, mikro düzeyde laktoperoksidaz, fosfolipoproteinler ve laktoferrin proteinlerini bulundurmaktadır ve bu proteinlerin PI ve denatürasyon sıcaklıkları farklılık göstermektedir. Bu nedenle PAS konsantrasyonu için sıcaklık ve pH koşulları belirlenirken bütün proteinlerin özellikleri bilinmeli ve koşullar bu değerlere göre oluşturulmalıdır.

KAYNAKLAR

Achilli, A., Cath, T. Y., Childressa, A. E. (2010). Selection of inorganic-based draw solutions for forward osmosis applications. *Journal of Membrane Science*, 364, 233-241.

Aguero, R., Bringas, E., San Roman, M.F., Ortiz, I., Ibanez, R., (2017). Membrane Processes for Whey Proteins Separation and Purification. A Review. *Current Organic Chemistry*, 21 (13), 1740- 1752.

Akgül, F. Y., Karaman, A. D. (2017). Süt Ürünlerinde Serum Protein İzolatı Kullanımı. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Dergisi*, 14 (1): 95-99

Akyüz, A., Bilek, S. (2018). Protein çöktürme yöntemlerinin karşılaştırılması, *Çukurova Tarım Gıda Bilimi Dergisi*, 33 (2), 83-92.

Alexander, S., Reddy, M. C, Dinaker, P., Vır, V. D. (2001). Calcium-magnesium fortified water, juices, beverages and other liquid food products and process of making, United States.

Alpkent, Z. ve Göncü, A. (2003), "Peynir suyu ve peynir proteinlerinin gıda kozmetik ve tıp alanlarında kullanımı", *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Dergisi*, 15, 26-30.

Artemi, A., Chen G. Q., Kentish S. E., Lee, J. (2020). Pilot scale concentration of cheese whey by forward osmosis: A short-cut method for evaluating the effective pressure driving force. *Seperation and Purification Technology*, 250, 117-263.

Ardalı, Y. (2020). Membran biyoreaktörler,biyofilm kinetiği [Power Point slaytı]. 28 Ocak 2022 tarihinde http://avys.omu.edu.tr adresinden erişildi.

Aslan, M., (2016). Membran Teknolojileri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye Çevre Koruma Vakfı.

Aydıner, C., Sen, U., Topçu, S., Ekinci, D., Altınay, A. D., Köseoglu-Imer, D.Y., Keskinler, B. (2014). Techno-economic viability of innovative membrane systems in water and mass recovery from dairy wastewater, *Journal of Membrane Science*, 458, 66–75.

Aydiner, C., Sen, U., Topcu, S., Sesli, D., Ekinci, D., Altınay, A.D., Ozbey, B., Koseoglu-Imer, D. Y., Keskinler, B. (2014). Techno-economic investigation of water recovery and whey powder production from whey using UF/RO and FO/RO integrated membrane systems, *Desalination and Water Treatment*, 52, 123–133.

Aydıner, C. (2006). Hibrit Sistem Toz Aktif Karbon/Çapraz Akış Mikrofiltrasyon Teknolojisi İle Sulu Ortamdan Ağır Metal Giderimi ve Modellenmesi. Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Babu, B. R., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S. (2006). Mass transfer in osmotic membrane distillation of phycocyanin colorant and sweet-lime juice. *Journal of Membrane Science*, 272 (1-2), 58–69.

Babu, B. R., Rastogi N., Raghavarao K. (2006).Effect of process parameters on transmembrane flux during direct osmosis, *Journal of Membrane Science*, 280 185-194.

Baldasso, C., Barros, T. C., Tessaro, I. C. (2011). Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration, *Desalination*, 278, 381–386.

Barbara, D., Beoichini, F., Cifoni, D., Veglio, F. (2001). Whey protein concentrate production in a pilot scale two-stage diafiltration process, *Seperation Science and Technology*, 36 (4), 587-603.

Barth, C.A., Behnke, U. (1997). Nutritional significance of whey and whey components, Nahrung, 41 (1), 2-12.

Cabral, L. M. C., Pagani, M. M., Rocha-Leao, M. H., Couto, A. B. B., Pinto, J. P., Ribeiro, A. O., Gomes, F. D. (2011). Concentration of acerola (Malpighia

emarginata DC.) juice by integrated membrane separation process, *Desalination and Water Treatment*, 27 (1-3), 130-4.

Cardew, P. T., Le, M. S. (1998). "Membrane Processes: A Technology Guide", Athenacum PressLtd., Chapters 1-5, England.

Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., Naushad, M. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5, 2782-2799.

Cassano, A., ve Conidi, C. (2017). Integration of membrane technologies into conventional existing systems in the food industry. *Bioenergy Systems for the Future, Prospects for Biofuels and Biohydrogen*, 451-479.

Cassano, A., Jiao, B., Drioli, E. (2004). Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. *Food Research International*, 37 (2), 139-148.

Cath, T. Y., Childress, A. E., Elimelech, M. (2006). Forward osmosis: principles, applications and recent developments: review. *Journal of Membrane Science*. 281, 70–87.

Chekli, L., Phuntsho, S., Shon, H. K., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., Chanan, A. (2012). A review of draw solutes in forward osmosis process and their use in modern applications. *Desalination and Water Treatment*, 43, 167-184.

Chen, G. Q., Artemi, A., Lee, J., Gras, S.I., Kentish. (2019). A pilot scale study on the concentration of milk and whey by forward osmosis. *Separation and Purification Technology*, 215, 652-659.

Chen, G. Q., Gras, S. L., Kentish, S. E. (2020). The application of forward osmosis to dairy processing. *Separation and Purification Technology*, 246, 116-900.

Chung, T. S., Zhang, S., Wang, K. Y., Su, J., Ling, M. M. (2012). Forward osmosis processes: Yesterday, today and tomorrow. *Desalination*, 287: 78-81.

Coday, B. D., Xu, P., Beaudry, E. G., J. Herron, K. Lampi, N. T. Hancock, T. Y. Cath. (2014). The sweet spot of forward osmosis: treatment of produced water, drilling wastewater, and other complex and difficult liquid streams, *Desalination*. 333, 23–35,

Hüner., İ. (2016). Peynir Altı Suyunun Saflaştırılmasında Kullanılan Plazma Modifiye Membranların Kirlenme Karakteristiklerinin İncelenmesi (Doktora Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Demirci, M., Arıcı, M. (1989). Peyniraltı Suyunun Önemi. *Hasat Dergisi*, 5 (4), 26- 29.

Destani, F., Cassano, A., Fazio, A., Vincken, J. P., Gabriele, B. (2013). Recovery and concentration of phenolic compounds in blood orange juice by membrane operations. *Journal of Food Engineering*, 117 (3), 263-271.

Dinçoğlu, A. H., Ardıç, M. (2012). Peyniraltı Suyunun Beslenmemizdeki Önemi ve Kullanım Olanakları. Harran Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı. Şanlıurfa. *Harran Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 1 (1): 54- 60.

Dornier, M., Cisse, M., Vaillant, F., Bouquet, S., Pallet, D., Lutin, F., Reynes, M. (2011). "Athermal concentration by osmotic evaporation of roselle extract, apple and grape juices and impact on quality", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12 (3), 352-360.

Edri, E., Regev, O. (2008). pH effects on BSA-dispersed carbon nanotubes studied by Spectroscopy Enhanced Composition Evaluation Techniques. *Analytic Chemistry*. 80 (11), 4049-4054.

Exl, B. M. (2001). A review of recently developments in the use of moderately hydrolyzed whey formulae in infant nutrition, *Nutrition Research*, 21, 355-379.

Galanakis, C. M. (2017). Praface in: Galanakis, C. M. (Ed.). Olive mill waste: Recent advances for the sustainable management. Elsevier Inc: Waltham.

Ganju, S., Gogate, P. R., (2017). A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. *Journal of Food Engineering*, 215, 84-96.

Garcia-Castello, E. M., McCutcheon, J. R., Elimelech, M. (2009). Performance evaluation of sucrose concentration using forward osmosis. *Journal of Membrane Science*, 338, 61-66.

Ge, Q., Ling, M., Chung, T. (2013). Draw solutions for forward osmosis processes: Developments, challenges and prospects forther future, *Journal of Membrane Science*, 442, 225-237.

Girard, B., Fukumoto, L. R., Koseoglu, S. S. (2000). Membrane processing of fruit juıces and beverages: A review, *Critical Reviews in Biotechnology*, 20, 109-175.

Gül, K., Rogenbuke, S., Hasanoğlu, A. (2017). "Integrated Forward Osmosis-Membrane Distillation Process for Whey Concentration", 10th World Congress of Chemical Engineering, İspanya.

Gündoğdu, E., Yıldız, H., Çakmakçı, S. (2012). Süt Bileşenleri Üzerine Isıl İşlemin Etkileri ve Besin Değeri Konusunda Değerlendirmeler. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5 (1): 162-165.

Halwagi, M. M. (1997). Pollution Prevention through Process Integration-Systematic Design Tools, Chapter Eleven, First Edition, Academic Press, Elsevier, USA, 262-288.

Hartanto, Y., Yun, S., Jin, B., Dai, S. (2015). Functionalized thermo-responsive microgels for high performance forward osmosis desalination. *Water Research* 70, 385-393.

Herron, J. R., Beaudry, E. G., Jochums, C. E.,Medina, L. E. (1994). Osmotic concentration apparatus and method for direct osmosis concentration of fruit juices, US Patent, 5, 281-430.

Jiao, B., Cassano, A., Drioli, E. (2004). Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. *Journal Food Engineering*, 63, 303–324.

Josipa, L., Thomas, S., Stephan, B., (2017). Turning Industrial Baker's Yeast Manufacture into a Powerful Zero Discharge Multipurpose Bioprocess, *Industrial Biotechnology*, 13 (4), 184-191.

Karagözlü, C., Bayarer, M. (2004). Peyniraltı suyu proteinlerinin fonksiyonel özellikleri ve sağlık üzerine etkileri. *Ege Ünviversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 41 (2), 197-202.

Khayet, M., Godino, M. P., Mengual J. I. (2004). Study of asymmetric polarization in direct contact membrane distillation, *Separation Science and Technology, 39*, 125-147.

Klaysom, C., Cath, T. Y., Depuydt, T., Vankelecom, I. F. J. (2013). Forward and pressure retarded osmosis: potential solutions for global challenges in energy and water supply. *Chemical Society Reviews*, 42, 6959-6989.

Koyuncu, İ. (2018). Su/Atıksu arıtılması ve geri kazanılmasında membran teknoljileri ve uygulamaları, Cilt 1: Membran teknolojileri ve su arıtma. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Krolyczyk, J. B., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E.., Solowiej, B. (2016). Use of whey and whey preparations in the food industry-areview. *Polish Journal of Food Nutritient Science,* 66 (3), 157-165.

Küçükönder, E. (2011). Peynir Tozu ve Peynir Altı Suyu Tozu Üretimi, 1. Ulusal Helal ve Sağlık Kongresi, 19-20, Ankara.

Laqbaqbi, M., Sanmartino, J. A., Khayet, M., García-Payo, C., Chaouch, M. (2017). Fouling in membrane distillation, osmotic distillation and osmotic membrane distillation. *Applied Sciences*, 7 (4), 334.

Legorava, V. (2012). Whey Utilization. Czech University of Life Science Prague. Faculty of Agrobiology Food and Natural Resources. Food Safety Quality and Nutrition Course. 15-28 July, Prague.

Lonsdale, H. K., Podall, H. E. (1972). Reverse Osmosis Membrane Research.

Li, L., Shi, W., Yu, S. (2020). Research on Forward Osmosis Membrane Technology Still Needs Improvement in Water Recovery and Wastewater Treatment, *Water, 12* (1), 107.

Ling, M. M., Chung, T. S., Novel dual-stage FO system for sustainable protein enrichment using nanoparticles as intermediate draw solutes, *Fuel and Energy Abstract*, 372(1), 201-209.

Ling, M. M., Wang, K.Y., Chung, T. S. (2010). Highly water soluble magnetic nanoparticles as novel draw solutes in forward osmosis for water reuse. *Journal Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49, 5869–5876.

Madaeni, S. S., Zereshki, S., (2008). Reverse osmosis alternative: Energy implication for sugar industry. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 47 (7), 1075-1080.

Maldonada, J., Gil, A., Narbona, E., Molina, J. A. (1998). Special formulans in infant nutrition: a review, Early Human Develop, 53, 523-532.

Mete, H. (2012). Peynir altı suyu'nun ekmekçilikte değerlendirilmesi ve ekonomik önemi, *Tekirdağ S.M.M.M Odası Sosyal Bilimler Dergisi*, 1, 4-7

Mi, B., Elimelech, M. (2008).Chemical and physical aspects of organic fouling of forward osmosis membranes, *Journal of Membrane Science*, 30 (1-2), 292-302.

Mulder, M. (1996). Basic Principles of Membrane Technology (2. Baskı). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Nayak, C. A., Valluri, S. S., Rastogi, N. K. (2011). Effect of high or low molecular weight of components of feed on transmembrane flux during forward osmosis, *Journal Food Engineer*, 106, 48-52

Nayak, C. A., Rastogi, N. K. (2010). Comparison of osmotic membrane distillation and forward osmosis membrane processes for concentration of anthocyanin, *Desalination and Water Treatment*, 16, 134-145.

Nayak, C. A., Rastogi, N. K. (2010). Forward osmosis for the concentration of anthocyanin from Garcinia indica Choisy, *Separation and Purification Technology*, 71, 144-151.

Onsekizoğlu, P. (2012). Membran Distilasyon ve Ozmotik Distilasyon ile Meyve Suyu Konsatrasyonu. *Gıda*, 37 (2), 103-110.

Onsekizoglu, P. (2012). Membrane Distillation: Principle, Advances, Limitations and Future Prospects in Food Industry. Sina Zereshki (Ed.), Membran Ayırma (233-266). Croatia:Ġntech.

Onsekizoglu, P. (2011). "Concentration of pomegranate juice by coupled operation of osmotic distillation and membrane distillation: an alternative approach for flux enhancement". International Workshop on Membrane Distillationand Related Technologies, Ravello-Italy.

Özen, A. E., Kılıç, M. (2007). Peynir Altı Suyundan Elde Edilen Serum Proteinlerinin Fonksiyonel Özellikleri, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergis*i, 3, 45-49.

Pelegrine, D. H. G., Gasparetto, C. A. (2005). Whey proteins solubility as function of temperature and pH, *Lebensmittel-Wissenschaft und- Technologie*, 38 (1), 77–80.

Petrotos, K. B., Lazarides, H. N. (2001). Osmotic concentration of liquid foods. *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3), 201-206.

Petrotos, K. B., Quantick, P., Petropakis, H., (1998). A Study of the Direct Osmotic Concentration of Tomato Juice in Tubular Membrane-Module Configuration. I. The Effect of Certain Basic Process Parameters on the Process Performance, *Journal of Membrane Science*, 150, 99-110.

Petrotos K. B., Tsiadi A. V., Poirazis E, Papadopoulos D., Petropakis H., Gkoutsidis P. (2010). A description of a flat geometry direct osmotic concentrator to concentrate tomato juice at ambient temperature and low pressure, *Journal of Food Engineering*, 97, 235-242.

Popper, K., Camirand, W. M., Nury, F., Stanley, W. L. (1966). Dialyzer concentrates beverages, *Journal of Food Engineering*, 38, 102–104.

Rice, G., Barber, A., O'Connor, A., Stevens, G., Kentish, S. (2009). Fouling of NF membranes by dairy ultrafiltration permeates, *Journal of Membrane Science*, 330, 117-126.

Russel, B. A., Ossowska, K. K., Mulheron, P. A., Birch, D. J. S., Chen, Y. (2015). Locating the nucleation sites for protein encapsulated gold nanoclusters: a molecular dynamics and fluorescence study. *Journal of Physical Chemistry Chemical Physics*, 34.

Islam, S. Md., McCutcheon, J. R., Rahaman, Md., S., (2017). A high flux polyvinyl acetate-coated electrospun nylon 6/SiO2 composite microfiltration membrane for the separation of oil-inwater emulsion with improved antifouling performance. *Journal of Membrane Science*, 537, 237-309.

Shen, M., Keten, S., Lueptow, R. M., (2016). Rejection mechanisms for contaminants in polyamide reverse osmosis membranes. *Journal of Membrane Science*, 509, 36-47.

Sing, R. (2014). Membrane technology and engineering for water purification: Application, systems design and operation, Colorado Spring, CO, USA.

Suárez, A., Riera, F.A., (2015). Production of High-Quality Water by Reverse Osmosis of Milk Dairy Condensates, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 1340-1349.

Şahi, N., Karaali, A. (2003). Peynir altı suyu laktoz eldesi ve gıda sanayisinde kullanım olanakları.

Terefe, N. S, Janakievski, F., Glagovskaia, O.,Silva K. D.,Horne M., Stockmann R. (2016). Forward Osmosis: A Novel Membrane Separation Technology of Relevance to Food and Related Industries.

Tijing, L. D.,Choi, J. S.,Lee, S., Kim, S. H., Shon, H. K. (2014). Recent progress of membrane distillation using electrospun nanofibrous membrane, *Journal of Membrane Science*, 453, 435-462.

Tijing, L. D., Woo, Y. C., Johir, M. A. H., Choi, J. S., Shon H. K. (2014). A novel dual-layer bicomponent electrospun nanofibrous membrane for desalination by direct contact membrane distillation, *Chemical Engineering Journal*, 256, 155-159.

Tolkach, A., U. Kulozik. (2006) . Peynir altı suyu proteinlerinin 0,1 mm seramik zardan taşınması: konsantrasyon veya diyafiltrasyon işlemleri için fenomenler, modelleme ve sonuçlar, *Desalination*, 199 (1-3), 340–341.

TSE. (1995). TS11860, Peynir Altı Suyu Tozu, Ankara.

Turek, M., Mitko, K., Piotrowski, K., Dydo, P., Laskowska, E., Jakobik-Kolon, A. (2017). Prospects for high water recovery membrane desalination, *Desalination*, 401, 180-189.

Türkdayı, A. (2017). Peynir Altı Suyunun Değerlendirilmesi, Lisans Tezi, Avrasya Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi.

Urper, G. M., Sengur-Tasdemir, R. S., Turken, T., Genceli, A. E., Tarabara, V. V., Koyuncu, I. (2017). Hollow fiber nanofiltration membranes: A comparative review of interfacial polymerization and phase inversion fabrication methods. *Separation Science and Technology*, 52(13), 2120-2136.

Valdes, H., Romero, J., Saavedra, A., Plaza, A. and Bubnovıch, V. (2009). Concentration of noni juice by means of osmotic distillation. *Journal of Membrane Science*,330 (1-2): 205-213

Wang, Y. N.,Wang, R., Li, W., Tang, C. Y. (2017). Whey recovery using forward osmosis, evaluating the factors limiting the flux performance, *Journal of Membrane Science*, 533, 179-189.

Web of science: Yıllara göre ileri ozmoz kelimelerini içeren yayın sayısındaki değişim. (Ekim,2017).

Wei, J., Qiu, C., Wang, Y. N., Wang, R., Tang, C. Y. (2013). Comparison of NF-like and RO-like thin film composite osmotically-driven membranes-Implications for membrane selection and process optimization, *Juornal of Membrane Science*, 427, 460–471.

Wenten, I. G. ve Khoiruddin. (2016). Reverse Osmosis Applications: Prospect and Challenges, *Desalination*, 391, 112- 125.

Wrolstad, R. E., Mcdaniel, M. R., Durst, R. W., Micheals, N., Lampi, K. A., Beaudry, E. G. (1993). Composition and sensory characterisation of red raspberry juice concentrated by direct osmosis or evaporation. *Journal of Food Science*, 58 (3), 633-637.

Xiong, R., Chen, Q., Liu, J., Wei, C., (2017). Experimental study on seeded precipitation assisted reverse osmosis for industrial wastewater reuse. *Journal of Water Process Engineering*, 20, 78- 83.

Yazıcı, S. (2012). Elektrodiyaliz bipolar membran proseslerin tıkanma mekanizması ve önleme çalışmalarının analizi: Sızıntı suyu örneği (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Yılmaz, E. (2019). Brokolideki Biyoaktif Bileşenlerin Membran Prosesleri İle Kazanılması (Doktora Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Yang, Q., Wang, K. Y., Chung, T. S. (2009). A novel dual-layer forward osmosis membrane for protein enrichment and concentration. *Journal of Separation and Purification Technology*, 69, 269–274.

Zambra, C., Romero, J., Pino, L., Saavedra, A., Sanchez, J. (2015). Concentration of cranberry juice by osmotic distillation process. *Journal of Food Engineering*, 144, 58-65.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Damla YALIN

Doğum Yeri : Burhaniye

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dil : İngilizce, Fransızca

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise : 2010-2014 Ayvalık Atatürk Anadolu Lisesi

Önlisans : 2019-2021 Anadolu Üniversitesi İşletme Yönetimi Bölümü

Lisans : 2014-2019 Trakya Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü

İş Bilgileri

Ayvalık Zeytinyağı ve Zeytincilik (2022-halen)