

169095

**JELATİN BENTONİT İLE ÖN
FLOKLAŞTIRMANIN ELMA SUYUNUN
ULTRAFİLTRASYON PERFORMANSI ÜZERİNE
ETKİLERİ**

**THE EFFECT OF PRE-FLOCCULATION WITH
GELATINE AND BENTONITE
ON ULTRAFILTRATION PERFORMANCE OF
APPLE JUICE**

ÖZGE ÇETİNKAYA

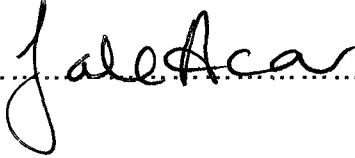
Hacettepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliğinin
GIDA MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2005

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

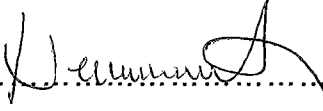
Bu çalışma jürimiz tarafından **GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI** 'nda **YÜKSEK MÜHENDİSLİK TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

: 

Prof.Dr.Jale ACAR

Üye

: 

Prof.Dr.Nevzat ARTIK

Üye (Danışman)

: 

Doç.Dr.Vural GÖKMEN

ONAY

Bu tez / / tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

..... / /



Prof.Dr.Ahmet R. ÖZDURAL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

JELATİN BENTONİT İLE ÖN FLOKLAŞTIRMANIN ELMA SUYUNUN ULTRAFİLTRASYON PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ

Özge Çetinkaya

ÖZ

Bu çalışmanın birinci aşamasında, elma suyunun ultrafiltrasyon ile berraklaştırılması sırasında elde edilen permeat hacmi – zaman değişimi, kaplamalı filtrasyon için uygun olduğu bildirilen “üssel” model kullanılarak matematiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, elma suyu ultrafiltrasyonu sırasında permeat akısına karşı oluşan toplam direncin permeat hacmi ile üssel bir şekilde arttığını göstermiştir. Doğrusal olmayan regresyon analizleri, üssel modelin elma suyu ultrafiltrasyonunda elde edilen permeat hacmi-zaman ilişkisini yüksek bir regresyon katsayısı ile açıkladığını ortaya koymuştur. Buna göre, üssel model ile elma suyunun ultrafiltrasyon performansını etkileyen parametrelerin sistematik bir şekilde incelenmesi mümkündür.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise geleneksel yöntem ile berrak elma suyu üretiminde yaygın olarak kullanılan durultma yardımcı maddelerinden jelatin ve bentonit (J-B) ile ön flokleştirmanın, elma suyunun ultrafiltrasyon performansına etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, akıda zamanla ortaya çıkan azalmanın J-B ile ön flokleştirme ile sınırlandırıldığını ve sistem performansının iyileştirildiğini göstermiştir. Ön flokleştirmede kullanılan J-B arttıkça, sistem performansındaki iyileşmenin de arttığı gözlenmiştir. 125 ml permeat hacmi için hiç J-B uygulanmamış elma suyunun ultrafiltrasyonu sırasında akıda meydana gelen azalma %67 iken, 1:1 J-B ile ön flokleştirme ile akıdaki azalma %30 seviyelerinde kalmaktadır. Çalışmanın ikinci aşamasında ayrıca basınç ve membran ayırma sınırının sistem performansına etkileri de incelenmiştir. Basınç ve membran ayırma sınırı arttıkça başlangıç akısında artış olduğu, ancak membran kirlenme hızının da arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: elma suyu, ultrafiltrasyon, modelleme, permeat akısı, jelatin, bentonit

Danışman : Doç.Dr.Vural GÖKMEN, Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

THE EFFECT OF PRE-FLOCCULATION WITH GELATINE AND BENTONITE ON ULTRAFILTRATION PERFORMANCE OF APPLE JUICE

Özge Çetinkaya

ABSTRACT

In the first section of this study, the permeate volume - time change during the clarification of apple juice by ultrafiltration was analyzed mathematically by using 'exponential' model, which had been reported to be suitable for the cake filtration. The results showed that; the total resistance occurred against the permeate flux during the ultrafiltration of apple juice increased exponentially with permeate volume. Non-linear regression analysis indicated that, exponential model simulated the permeate volume-time relation that was obtained in ultrafiltration of apple juice with high regression coefficients. As a result, it is possible to examine the parameters affecting the ultrafiltration performance of apple juice systematically.

In the second section of the study, the effects of pre-flocculation with gelatine and bentonite (J-B), which are used as the clarification aids during the traditional clear apple juice processing, on ultrafiltration performance of apple juice were determined. The results obtained showed that, the flux decline with time was limited and the system performance was increased by pre-flocculation with J-B. As the amount of J-B used in pre-flocculation increased, the improvement in system performance was also increased. For a 125 ml of permeate volume, while the decline in flux during the ultrafiltration of apple juice with no J-B was % 67; the decline in flux with 1:1 J-B was about % 30. In the second section, the effects of pressure and molecular weight cut off value of the membrane were also investigated. It was found that; as the pressure and molecular weight cut off value of the membrane increased, the initial flux increased but the rate of membrane fouling also increased.

Keywords: apple juice, ultrafiltration, modelling, permeate flux, gelatine, bentonite

Advisor: Doç.Dr.Vural GÖKMEN, Hacettepe University, Department of Food Engineering, Food Engineering Section

TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında değerli gürüŐ ve ynlendirmeleri ile katkılarını esirgemeyen danıŐmanım Sayın Doç.Dr.Vural GÖKMEN'e,

Tez çalıŐmalarım süresince desteklerini hissettiğim tüm araştırma görevlisi ve uzman arkadaŐlarım,

Hayatımın her alanında olduğu gibi, tez çalıŐmalarım da bana her Şekilde destek olan Sayın Dr.Halil İbrahim AÇAR'a,

Her zaman sevgi, hoŐgörü ve destekleri ile yanımda olan değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Özge ÇETİNKAYA

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

sayfa

ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
EKLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
2.1 Elma Suyunun Durultulması ve Berraklaştırılması.....	2
2.1.1. Elma Suyunda Bulanıklık Kaynakları.....	2
2.1.1.1. Pektik Maddeler (Pektin).....	2
2.1.1.2. Polifenoller.....	2
2.1.1.3. Nişasta.....	3
2.1.1.4. Araban.....	4
2.1.1.5. Protein.....	4
2.1.2. Durultma Aşamaları.....	5
2.1.2.1. Enzimatik Durultma (Depektinizasyon).....	5
2.1.2.2. Durultma Yardımcı Maddeleri ile Floklaştırma (Berraklaştırma).....	6
2.1.2.2.1. Jelatin.....	6
2.1.2.2.2. Bentonit.....	7
2.2. Ultrafiltrasyon Yöntemi ile Berrak Elma Suyu Üretimi.....	8
2.3. Filtrasyon Modelleri.....	12
2.4. Membran Kirlenmesi (Fouling) Modelleri.....	16
3.MATERYAL VE METOT.....	28
3.1. Materyal.....	28
3.2. Metot.....	28
3.2.1. Jelatin Çözeltisinin Hazırlanması.....	32
3.2.2. Bentonit Çözeltisinin Hazırlanması.....	32

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devamı)

	<u>Sayfa</u>
3.2.3. Elma Suyu Ultrafiltrasyon Prosesi.....	33
3.2.3.1. Jelatin-Bentonit ile Ön Floklaştırmanın Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkilerinin İncelenmesi.....	33
3.2.3.2. Basıncın Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkilerinin İncelenmesi.....	35
3.2.3.3 Membran Ayırma Sınırının Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkilerinin İncelenmesi.....	35
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Su Akısının Membran Ayırma Sınırı ve Basınç İle Değişimi.....	37
4.2. Elma Suyu Ultrafiltrasyon Prosesinin Matematiksel Modellemesi.....	39
4.3. Jelatin-Bentonit ile Ön Floklaştırmanın Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkileri.....	40
4.4. Basıncın Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkileri.....	47
4.5. Membran Ayırma Sınırının Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkileri.....	52
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
6.KAYNAKLAR.....	60
EKLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Berrak elma suyu konsantresi üretimi.....	10
Şekil 2.2. Tipik zaman (t) – akı (J) grafiğinde üç bölgenin şematik gösterimi: (I) En yüksek akış debisi değeri olan saf su debisi değerinden ani bir düşüş, (II) uzun süreli kademeli akış debisi azalması, (III) yatışkın durum akış debisi.....	16
Şekil 2.3. Membran kirlenmesinde, por çapı ile parçacık büyüklüğünün ilişkisi (Cheryan,1998).....	18
Şekil 2.4. Membran por çapının akı üzerine etkisi (Cheryan,1998).....	19
Şekil 2.5. Membrandan geçen akıya karşı oluşabilecek farklı dirençler (R_p : por tıkanması direnci, R_a :adsorpsiyon direnci, R_m :membran direnci, R_g :jel tabaka oluşumu direnci, R_{cp} : konsantrasyon polarizasyonu direnci) (Mulder,1991).....	24
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	33
Şekil 4.1. 10, 30, 50 ve 100 kDa MWCO değerine sahip membranların su akısı değerlerinin basınç ile değişimi.....	38
Şekil 4.2. Elma suyu ultrafiltrasyonuna ait permeat hacmi (V) – zaman (t) grafiği (TMP 2 bar, 10 kDa MWCO).....	39
Şekil 4.3. Farklı J-B için permeat hacmi (V) – zaman (t) grafikleri (2 bar, 10 kDa MWCO).....	40
Şekil 4.4. Farklı J-B için zaman (t) – akı (J) grafikleri (2 bar, 10 kDa MWCO).....	42
Şekil 4.5. Farklı J-B için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) grafikleri (2 bar, 10 kDa MWCO).....	42
Şekil 4.6. Farklı J-B için normalize edilmiş akının (J/J_0) değişimi (J_0 $1.81 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$,2 bar,10 kDa MWCO).....	44
Şekil 4.7. Farklı basınçlar için permeat hacmi (V) – zaman (t) grafikleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO).....	47
Şekil 4.8. Farklı basınçlar için zaman (t) – akı (J) grafikleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO).....	49
Şekil 4.9. Farklı basınçlar için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) grafikleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO).....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.10. Farklı MWCO için permeat hacmi (V)- zaman (t) grafikleri (1:5 J-B, 2 bar).....	53
Şekil 4.11. Farklı MWCO için zaman (t)- akı (J) grafikleri (1:5 J-B, 2 bar)...	55
Şekil 4.12. Farklı MWCO için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) grafikleri (1:5 J-B, 2 bar).....	55



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>sayfa</u>
Çizelge 3.1. Jelatin-bentonit konsantrasyonları.....	34
Çizelge 3.2. Kullanılan ultrafiltrasyon membranlarının özellikleri.....	35
Çizelge 4.1. Farklı J-B için a ve b parametreleri ve kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri (2 bar, 10 kDa MWCO).....	41
Çizelge 4.2. Farklı J-B için başlangıç akısı (J_0) değerleri (2 bar, 10 kDa MWCO).....	43
Çizelge 4.3. Farklı J-B için akıda meydana gelen azalma oranları (J_0 1.81×10^{-5} $m^3/m^2 \cdot s$, 2 bar, 10 kDa MWCO).....	44
Çizelge 4.4. Farklı basınçlar için a ve b parametreleri ve kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)....	48
Çizelge 4.5. Farklı basınçlar için başlangıç akısı (J_0) değerleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO).....	50
Çizelge 4.6. Farklı basınçlar için akıda meydana gelen azalma oranları (1:5 J-B, 10 kDa MWCO).....	50
Çizelge 4.7. Farklı MWCO için a ve b parametreleri ve kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri (1:5 J-B, 2 bar).....	53
Çizelge 4.8. Farklı MWCO için başlangıç akısı (J_0) değerleri (1:5 J-B, 2 bar)	54

EKLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Ek 1. Farklı J-B için permeat hacmi (V) – süre (t) verileri (2 bar,10 kDa MWCO).....	64
Ek 2. Farklı basınçlar için permeat hacmi (V) – süre (t) verileri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO).....	65
Ek 3. Farklı MWCO için permeat hacmi (V) – süre (t) verileri (1:5 J-B, 2 bar).....	66
Ek 4. Farklı J-B için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) verileri (2 bar, 10 kDa MWCO).....	67
Ek 5. Farklı basınçlar için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - akı verileri (1:5 J-B,10 kDa MWCO).....	68
Ek 6. Farklı MWCO için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) verileri (1:5 J-B, 2 bar).....	69
Ek 7. Farklı J-B için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - $\ln R_{tot}$ grafikleri (2 bar, 10 kDa MWCO).....	70
Ek 8. Farklı basınçlar için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - $\ln R_{tot}$ grafikleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO).....	71
Ek 9. Farklı MWCO için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - $\ln R_{tot}$ grafikleri (1:5 J-B, 2 bar).....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- J : Akı ($m^3/m^2.s$)
V : Permeat hacmi (m^3)
V_{ort} : Ortalama permeat hacmi (m^3)
t : Zaman (s)
 ΔP : Basınç (Pa)
A : Filtrasyon alanı (m^2)
 μ : Viskozite (Pa.s)
R_m : Ortam direnci (filtre ya da membran) (m^{-1})
k : Kirlenme sabiti (m^{-1})
a,b : Üssel (exponential) model sabitleri



1. GİRİŞ

Berrak elma suyu üretiminde, enzim ihtiyacının azalması, durultma yardımcı maddelerinin kullanımına ihtiyaç duyulmaması, üretim süresinin kısılması ve kristal berraklıkta elma suyu üretilmesi gibi nedenlerle ultrafiltrasyon yönteminin kullanımı tercih edilmektedir. Ancak ultrafiltrasyonda, membran kirlenmesi nedeniyle işlemin ileri aşamalarında sistem performansının düşmesi ekonomik kayıplara sebep olmakta ve membran rejenerasyonunu gerekli kılmaktadır. Pratikte, membran kirlenmesini geciktirmek ve sistem performansını geliştirmek üzere, elma suyuna klasik yöntemlere göre çok daha az miktarlarda olmak üzere durultma yardımcı maddeleri (jelatin ve bentonit) ilave edilmektedir.

Membran filtrasyon uygulamalarında görülen akı düşüşünün matematiksel olarak açıklanmasına yönelik yapılmış oldukça detaylı çalışmalar mevcuttur (Song,1998; Mondor et al, 2000; Song et al., 2004; Wang et al., 1999; Riedl et al., 1998; Ho and Zydney, 2000, Snir et al., 1996; Zydney and Ho., 2002; Hermia, 1982; Huang, 1998; Blatt et al., 1970; Cheryan and Nichols, 1992). Bu çalışmalarda, çok farklı yaklaşımlarla, üzerinde çalışılan sisteme özgü ampirik denklemler içeren çözümler ortaya konmaktadır. Ancak, öne sürülen bu çözümlerin farklı sistemleri açıklayamaması, modellerin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır.

Elma suyu ultrafiltrasyonunun matematiksel olarak modellenmesinde, prosesi bütün olarak ele alıp açıklayacak bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın birinci kısmında, geleneksel yöntem ile elma suyu üretiminde uygulanan kaplamalı filtrasyona uygunluğu bildirilen (Bayındırlı, 1989; Bayındırlı et al., 1989) De La Garza and Boulton (1984)'un üssel (exponential) modelinin, elma suyu ultrafiltrasyonuna uygulanabilirliği incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise, geleneksel yöntemde kullanılan durultma yardımcı maddeleri ile farklı oranlarda ön flokülasyon işleminin elma suyu ultrafiltrasyonunda membran kirlenmesi üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca basınç ve membran ayırma sınırı gibi faktörlerinin sistem performansına etkileri de öngörülen matematiksel model ile analiz edilmiştir.

2.LİTERATÜR ÖZETİ

2.1.Elma Suyunun Durultulması ve Berraklaştırılması

Berrak elma suyu ve konsantre üretim teknolojisinde "durultma" en önemli aşamadır. Başarılı bir durultma için bulanıklığa neden olan etmenlerin, durultma koşullarının ve durultmada kullanılan yardımcı maddelerin nitelik ve fonksiyonlarının bilinmesi gerekmektedir.

2.1.1.Elma Suyunda Bulanıklık Kaynakları

2.1.1.1.Pektik maddeler (Pektin)

Meyve sularında bulunan en önemli kolloidlerin başında pektin gelir. Hücre duvarında protopektin olarak bulunan çözünmez nitelikteki pektin, meyvenin olgunlaşmasıyla çözünür nitelik kazanır.

Pektin meyve suyunda (-) elektrik yüklüdür. Pektin presten alınan meyve suyunda bulunan dispers haldeki diğer parçacıkların etrafını sararak onlara da (-) yük kazandırır ve çökmelerini engeller (Acar ve Gökmen, 2000).

Meyve suyunda çözülmüş halde bulunan ve bu şekilde koruyucu kolloid olarak davranmak suretiyle durultmada en önemli sorun yaratan pektin, durultmanın "Enzimatik Durultma (depektinizasyon)" aşamasında parçalanır. Bu amaçla ticari pektinaz preparatları kullanılır. Bu ticari preparatlarda pektin esteraz (PE), poligalakturonaz (PG) ve pektintranseliminaz (PTE) gibi başlıca üç pektinaz enzimi yer almaktadır. Bu preparatlar ayrıca, arabinazlar, galaktanazlar, ksilanazlar, β -1,4 glukonazlar, amilazlar, glikozidazlar ve proteazlar da içermektedirler (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001).

2.1.1.2.Polifenoller

Meyve suyunda (-) elektrik yük taşıyan moleküllerin başında pektin ile birlikte polifenoller gelmektedir. Meyve ve sebzelerde buruk tat ve kırmızı mor renk

genellikle polifenollerden kaynaklanmaktadır. Meyve suyundaki bu bileşikler hem ürünün renginin korunması, hem de bulanıklık açısından önem taşımaktadır. Fenolik bileşikler oksidasyon sonucunda sarı-kahverengi polimerik bileşiklere dönüşerek, özellikle konsantrelerin depolanması sırasında ürün renginin bozulması ve bulanma gibi sorunlara neden olmaktadır.

Fizyolojik işlevleri yanında meyveye özgü renk ve tadın oluşumunda da rol aldıklarından, meyve suyunun durultulmasında fenolik bileşiklerin meyve suyundan tümüyle uzaklaştırılması düşünülemez. Ancak berraklığın kalıcı olabilmesi için meyve suyundaki miktarının belirli bir düzeyin altına düşürülmesi gerekmektedir (Acar ve Gökmen, 2000).

2.1.1.3.Nişasta

Nişasta, biri doğrusal bir polimer olan amiloz ve diğeri de dallanmış bir polimer olan amilopektinden oluşan bir polisakkarittir. Amiloz, α - ve β -amilaz enzimleri tarafından tamamen hidrolize edilebilmektedir. Amiloz molekülleri arasındaki güçlü interaksiyonlar retrogradasyona neden olur. Retrogradasyon eğilimindeki nişasta, meyve suyunda henüz çözünür formda olsa bile filtrasyonla zor uzaklaştırılabilmektedir. Retrogradasyon geri dönüşlü değildir ve meyve suyunda bulanıklığa neden olur. (Acar ve Gökmen, 2000; Acar ve Gökmen, 2005).

Durultma açısından nişastanın çirışlenme, retrogradasyon ve degradasyon koşulları önem taşımaktadır. Çirışlenme, nişasta parçacıklarının su içerisinde ısıtılması sırasında su bağlayarak şişmesi ve parçacıkların ortasından başlayarak parçalanmasıdır. Elma nişastası, 60°C'den itibaren çirışlenmeye başlar. Çirışlenmiş nişasta koloidal olarak çözünür ve bu halde filtreyi aşabilir. Bu nedenle durultulmuş ve filtre edilmiş elma suyu, nişastası parçalanmamış olsa bile mükemmel berraklıkta olabilmektedir. Ancak daha sonra depolamada, günler veya bazen aylar sonra koloidal çözünmüş nişasta molekülleri kümeleşip iri agregatlara dönüşünce yani; nişasta retrogradasyona uğrayınca pus (haze) şeklinde bir bulanma belirir. Elma sularının sonradan bulanmasının nedenlerinden birisi de budur. Retrogradasyona uğramış nişasta ısıtılsa bile, tekrar çözünmez veya çok zor çözünür. Ayrıca artık bunun mekaniksel bir yolla uzaklaştırılması da mümkün

değildir. İşte bütün bu nedenlerle nişastanın daha başlangıçta, yani depektinizasyon aşamasında enzimatik yolla hidrolize edilmesi zorunludur (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001).

2.1.1.4. Araban

Başta elma olmak üzere yumuşak çekirdekli meyvelerin meyve suyuna işlenmesinde sorunlara neden olan nötral polisakkaritlerden biri de arabandır. Araban, hücre duvarı polisakkaritlerden birisi olup, özellikle preslendikten sonra, posadan tekrar meyve suyu kazanmak için yapılan ekstraksiyon uygulamasında meyve suyuna geçişi artan bir bileşiktir. Dallı yapıdaki araban, meyve suyu konsantrelerinde ve soğukta çözünür halde olduğu halde, düz zincirli arabanın bu koşullarda çözünürlüğü daha azdır. Meyve suyu üretiminde mayşe enzimasyonu sırasında kullanılan enzim preparatlarının çoğunda arabinofuranozidaz aktivitesi bulunduğu için, dallı yapıdaki araban, düz zincirli arabana parçalanmaktadır. Böylece çözünürlüğü azalmakta ve konsantrelerde bulanıklığa yol açabilmektedir (Acar ve Gökmen, 2000; Acar ve Gökmen,2005).

2.1.1.5. Protein

Meyvelerde azotlu bileşiklerin miktarı çok düşüktür ve genellikle %1'in altındadır. Presten alınmış meyve suyunun içerdiği toplam polimerler içinde ise yüksek moleküllü azotlu bileşikler çok az bir yer tutar. Buna rağmen bazı meyve sularında proteinin neden olduğu önemli bulanma sorunlarıyla karşılaşmaktadır.

Meyve sularında protein, çözünürlük durumu, termolabil oluşu ve amfoter özellikleri açısından önem taşımaktadır. Proteinler molekül büyüklüklerinden dolayı tipik kolloid özellik göstermektedir. İyonik davranışları ise ortamın pH değerine göre değişmektedir. Asidik ortamda (+), bazik ortamda ise (-) yüklüdürler. Meyve sularının pH değerleri (pH 3.5-4.0) düşük olduğundan, bu ürünlerde proteinler (+) yüklüdür. Proteinler izoelektrik noktadaki pH değerlerinde ise dipolik davranış gösterirler ve bu pH aralığında çözünürlük minimum, çökme ise maksimum düzeydedir (Acar ve Gökmen, 2000; Acar ve Gökmen,2005) .

Protein molekülleri ham meyve suyunda negatif yüklü bir kolloid olan pektin tarafından sarılmıştır. Proteinlerin uzaklaştırılması, ancak bu pektin kılıfının, pektinazlar tarafından parçalanmasından sonra gerçekleşir. Bu kılıftan kurtulan pozitif yüklü protein molekülleri ancak bundan sonra negatif yüklü diğer parçacıklarla flokleşmeye başlar veya bir durultma yardımcı maddesi olan bentonit tarafından adsorbe edilerek uzaklaştırılır (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001, Siebert et al., 1996).

2.1.2.Durultma Aşamaları

Meyve suyunun durultulmasının amacı, meyve sularına ekonomik, kolay ve hızlı bir filtrasyon niteliği kazandırmak, sonradan bulanmayı önlemek ve bu arada pektini parçalayarak konsantrasyon sırasında jel oluşumunu engellemektir (Acar ve Gökmen, 2000). Aroma tutucuda 90°C civarına kadar ısınmış meyve suyu "soğuk durultma" uygulanacaksa 20°C civarına kadar, "sıcak durultma" uygulanacaksa 50°C civarına kadar soğutulur. Durultma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada ham meyve suyuna belli aktiviteleri içeren enzimler ilave edilerek "enzimatik durultma" ya da "depektinizasyon", ikinci aşamada ise durultma yardımcı maddeleri ilave edilerek "floklaştırma" ya da "berraklaştırma" gerçekleştirilir.

2.1.2.1.Enzimatik Durultma (Depektinizasyon)

Durultmanın birinci fazı olan bu işlemde durultma tanklarına alınan meyve suyuna pektolitik ve amilolitik enzim eklenerek koruyucu kolloid olan pektin ve varsa nişasta parçalanır. Bu işlem sonunda görünüşte bir farklılık sezilemez. Ancak viskozite düşmüş, bulanıklık unsurları destabilize olmuştur. Pektinin parçalanmasıyla, negatif yüklü pektin kılıfından kurtulan pozitif yüklü proteinler, artık flok yapabilme niteliği kazanmıştır.

Depektinizasyon uygulamasıyla, kolloidlerin parçalanması ve viskozitenin düşmesine bağlı olarak filtrasyon kolaylaşır. Pektinin parçalanması nedeniyle meyve suyunun jel yapmadan konsantre edilebilme olanağı elde edilir. Durultmanın ikinci aşaması olan berraklaştırma için gereken koşullar oluşarak

berraklaşma hızlanabilmektedir. Pektinin pektolitik enzimlerce parçalanması sonucu oluşan galakturonik asit grupları, süspansiyon halindeki parçacıkların flokülasyonuna yardımcı olur. Ayrıca kullanılan enzim preparatındaki arabanaz gibi sekonder aktiviteler yardımıyla sonradan bulanma gibi sorunlar da engellenir (Acar ve Gökmen, 2000; Alvarez et al., 1998).

2.1.2.2. Durultma Yardımcı Maddeleri ile Floklaştırma (Berraklaştırma)

Depektinizasyondan sonraki aşama, meyve suyunun berraklaştırılmasıdır. Bu amaçla meyve suyuna ön deneylerle dozajları saptanmış miktarlarda "durultma yardımcı maddeleri" eklenerek floklaşma sağlanır. Bu konuda birçok yöntem ve yardımcı madde olmakla birlikte, bugün en yaygın kullanılan yardımcı maddeler jelatin ve bentonittir. Jelatin ve bentonitin etki mekanizmaları hakkında aşağıda bilgi verilmektedir.

2.1.2.2.1. Jelatin

Jelatin peptid bağı ile bağlanmış amino asitlerin oluşturduğu, hemen hemen yan dallara sahip olmayan uzun zincirli bir proteindir. Peptid zincirinde yer alan temel amino asit prolindir.

Gıda endüstrisinde kullanılan jelatin, sığır ve koyun derileri ve kıkırdak dokularından üretilir. Jelatin üretiminde ham maddenin hidrolizinde uygulanan işleme göre, "A tipi jelatin" ve "B tipi jelatin" olmak üzere iki farklı tipte jelatin vardır.

"A Tipi Jelatin", ham maddenin hidrolizasyonunun asitle yapılmasıyla elde edilir. Bu tip jelatinin izoelektrik noktası pH 7.0-9.0 arasındadır. İzoelektrik noktada proteinlerin elektrik yükü bulunduğu ortamda nötraldir, çünkü (+) ve (-) elektrik yükleri birlikte içerirler. Ancak asit ortamlarda protein ortamın protonlarını alarak (+) yük kazanır. Ortamın pH değeri proteinin izoelektrik noktasının ne kadar altında ise (+) yük sayısı da o oranda artar. Böylece (+) yüklü jelatin, meyve suyunda bulunan (-) yüklü polifenollerle birleşerek floklaşır. Ayrıca meyve suyunda bulunan ve bulanıklığa neden olan diğer bileşenler de bu sırada çöker ve meyve

suyunun berraklaşması sağlanır (Acar ve Gökmen, 2000; Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001; Acar ve Gökmen,2005).

Meyve sularının durultulmasında A tipi jelatin kullanılmaktadır. Jelatin, durultulacak meyve suyuna çözelti olarak eklenir. Meyve suyu pH sınırlarında pozitif yük kazanarak, karşılaştığı negatif yüklü fenolik bileşikler ile etkileşerek floklar oluşturur. Jelatin ve fenolik bileşiklerin birlikte oluşturduğu floklar çökelirken, diğer bulanıklık unsurlarını da beraberlerinde aşağı doğru sürüklerler. Böylece durulma olayı gerçekleşir ve meyve suyu daha iyi filtre edilebilir bir nitelik kazanır. Ancak jelatinin meyve suyunda diğer bazı etkileri de vardır. Nitekim jelatin, bir kısım reaktif fenolik bileşikleri uzaklaştırdığı için, bunların daha sonra çeşitli mekanizmalarla neden olabileceği bulanmalar engellenebilmektedir. Böylece jelatin uygulamasının, meyve suyuna berraklık stabilitesi sağlamış olduğu görülmektedir. Jelatinin, aşırı buruk ve acı tat veren bazı fenolikleri uzaklaştırması sonucu, meyve suyunun lezzeti düzelmekte ve yumuşamaktadır. Diğer taraftan meyve sularında bulunan bazı fenolik bileşikler, zamanla oksidasyona uğrayarak rengin esmerleşmesine neden olmaktadır. İşte durultmada bu tip fenolikler de uzaklaştığından, meyve suyu rengi stabilize kazanmaktadır. Ayrıca eğer meyve suyu durultma aşamasına kadar fenoliklerin oksidasyonu sonucu esmerleşmişse, jelatin uygulaması ile esmerleşmiş renk, biraz açılıp düzelmektedir (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001).

2.1.2.2.2.Bentonit

Bentonit, büyük bir kısmı montmorillonit (%60-80) ve bir alüminyum-hidroksisilikattan oluşan, şişme özelliğinde bir kildir. Durultmadaki esas etkisi adsorpsiyon gücüne dayanmaktadır. Montmorillonit kristal tabakası üst yüzeyinde negatif, yan yüzeyinde ise pozitif yük taşımaktadır ve toplam olarak negatif yük daha ağır basmaktadır. Bu nedenle bentonitin durultma etkisi sadece adsorpsiyondan değil, meyve suyuna aynı zamanda negatif yük kazandırmasından kaynaklanmaktadır. Negatif yük yoğunluğu pH ve bentonit tipine göre değişmektedir (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001; Acar ve Gökmen, 2000).

Durultmada kullanılan başlıca iki tip bentonit vardır; Na-bentonit ve Ca-bentonit. Bunun dışındaki bentonit tipleri durultmada kullanılmamaktadır. Na-Bentonitin adsorpsiyon kapasitesi, Ca-bentonitin kapasitesinin çok üstündedir. Meyve suyu durultmada, Na-bentonit ve Ca-bentonit karışımından oluşan bir preparatın kullanılması daha etkili bir sonuç vermektedir.

Bentonitin orta katmanındaki katyonlar ile, pozitif yük taşıyan proteinler yer değiştirir. Böylece özellikle termolabil proteinler bentonite bağlanmış olarak meyve suyundan uzaklaşırlar.

Bentonit, meyve sularının durultulması ve stabilizasyonunda çok yönlü etkisi bulunan bir maddedir. Nitelik proteinleri adsorbe ederek uzaklaştırması yanında, önemli miktarda fenolik maddeyi de meyve suyundan uzaklaştırmaktadır. Ayrıca meyve suyuna kadar ulaşmış bazı tarım ilacı kalıntılarının uzaklaştırılmasında da rol aldığı ifade edilmektedir.

Bentonit bir ön hazırlık sonunda meyve suyuna eklenir. Bentonit uygulamasında en önemli nokta, daha önceden su içinde iyice şişirilmesi ve meyve suyuna tam olarak karıştırılmasıdır. Bu durumda bentonit iyon değiştirici gibi görev yapmaktadır. Ne kadar bentonit eklenmesi gerektiği ön deneylerle saptanmalıdır (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001; Acar ve Gökmen, 2000).

2.2. Ultrafiltrasyon Yöntemi İle Berrak Elma Suyu Üretimi

Ultrafiltrasyon yöntemi, elma suyu üretiminde presleme aşamasından sonra uygulanan bir yöntemdir. Bu aşamaya kadar uygulanan işlemler, geleneksel yöntemle elma suyu üretimi aşamaları ile aynıdır.

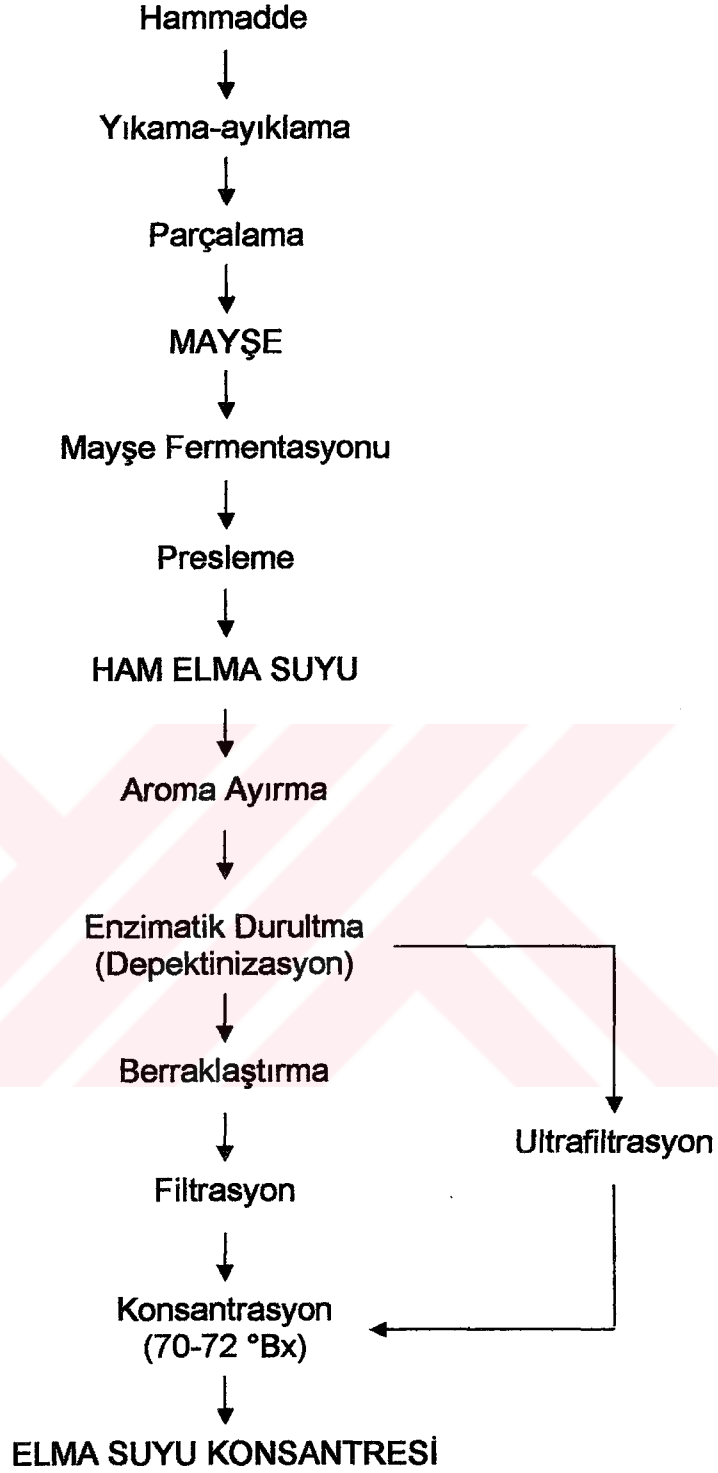
Geleneksel yöntemle berrak elma suyu üretiminde presleme aşamasını takiben aroma ayırma işlemi uygulanır ve durultma aşamasına geçilir. Depektinizasyon ve berraklaştırma aşamalarının ardından meyve suyu kaplamalı filtrasyona tabi tutulur.

Meyve sularının ultrafiltrasyon yöntemiyle berraklaştırılmasında ilk işlem, presten gelen meyve ham suundaki iri parçacıkların bir separatör veya elek yardımıyla uzaklaştırılmasıdır. Bundan sonra, aroma tutucuda araması ayrılıp 50-55°C'ye kadar soğutulularak ultrafiltrasyon sisteminin sirkülasyon tankına alınır. Sirkülasyon tankı aslında aynı zamanda depektinizasyon tankı görevini de yaptığından, buraya gerekli enzimin tümü bir defada verilir. Sirkülasyon pompası yardımıyla tank ve ultrafiltrasyon cihazı arasında devamlı olarak sirküle edilen meyve suyu, berrak bir şekilde cihazı terkederken (permeat), enzim, membranı aşamadığı için tanka dönen tortu (retentat) ile geri taşınmakta ve tanka yeni alınan meyve suyunda etkinliği devam etmektedir. Her defasında berrak meyve suyu olarak ayrılmış miktar kadar meyve ham suyu, sirkülasyon tankına alınır.

Bir çalışma periyodunun süresi, koşullara bağlıdır. Örneğin elma suyu ultrafiltrasyonunda bu süre, 48-72 saate kadar uzayabilmektedir. Çalışma ilerledikçe, sirkülasyon tankı, bulanıklık unsurlarınca gittikçe zenginleşir. Böylece tankta, en sonunda bir "tortu konsantratu" kalır. Ultrafiltrasyonda bir çalışma devresi sona erince, tortu konsantratu dışarı pompalanıp atılır ve sistem baştan sona kadar temizlenip dezenfekte edilir.

Ultrafiltrasyon sistemini terkeden berrak meyve suyu, evaporatöre sevk edilerek, konsantreye işlenir (Acar ve Gökmen, 2000; Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001, Pirouzi Fard, 1993).

Şekil 2.1'de, geleneksel yöntem ve ultrafiltrasyon yöntemi ile berrak elma suyu üretim akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Berrak elma suyu konsantresi üretimi

Moleküler düzeyde bir eleme olan ultrafiltrasyonda belli irilikte gözenekleri bulunan membranlar kullanılmakta ve filtrasyon, sıvının belli bir hızla sirkülasyonu sağlanmak suretiyle belli bir basınç altında yürütülmektedir. Ultrafiltrasyonda kullanılan membranlarda gözenek büyüklüğü genel olarak 10° - 200° A (0.001-0.020 µ) arasında değişir. Ancak, ultrafiltrasyon membranlarının ayırma özelliği tanımlanırken, gözenek iriliğinden çok "ayırma sınırı" tanımlanmaktadır. Membranın ayırma sınırı değeri (molecular weight cut-off – MWCO), bir membranın filtre edilen sıvıdaki molekülleri hangi irilikten itibaren tutmaya başladığını tanımlar. Örneğin eğer bir membran, molekül ağırlığı 10 000 Dalton ve üzerinde olan moleküllerin geçmesine olanak vermiyorsa, bu membranın ayırma sınırı 10 000 Da'dur (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001).

Amaca uygun ayırma sınırı olan membran seçilmesi, ultrafiltrasyon uygulamasında başarının önemli bir koşuludur. Meyve sularının ultrafiltrasyonunda seçilen membranın, tüm bulanıklık öğeleriyle, sonradan bulanmaya neden olabilecek unsurları tutabilecek, buna karşın tüm şeker, asit, tuz ve aroma komponentlerini geçirebilecek bir ayırma sınırında olması gerekir.

Berrak elma suyu üretiminde, klasik yöntem ile ultrafiltrasyon yöntemi karşılaştırıldığında, ultrafiltrasyonun birçok bakımdan önemli avantajları olduğu görülmektedir. Ultrafiltrasyon yöntemi ile berrak elma suyu üretimi, kullanılan enzimin membranı aşamayı besleme çözeltisinde kalması ile enzim kayıplarının önlenmesi, durultma yardımcı maddesi kullanımının olmaması ve işlem süresinin kısalması gibi avantajlara sahiptir.

Ultrafiltrasyonun olumsuz yönü ise filtrasyon esnasında belli bir permeat hacminden sonra sistem kapasitesinin membran kirlenmesi nedeniyle kabul edilemez seviyelere düşmesidir. Ultrafiltrasyon membranından geçemeyen irilikteki moleküllerin membran yüzeyinde birikmesi sonucu bir katman oluşmaktadır. Oluşan bu katman adeta ikinci bir membran etkisi yapmaya başlar. Bunun sonucu olarak permeat akısı azalırken, membranın seçiciliğinde bir değişme, yani çoğu kez ayırma sınırında küçülme görülür. Bu durumda, akıyı artırmak için basıncın yükseltilmesi yararlı olmamaktadır, çünkü basıncın yükseltilmesi, oluşan bu

katmanın daha da sıkışarak güçlenmesine neden olmakta ve bunun sonucunda akı daha da düşmektedir (Acar ve Gökmen, 2000).

Ultrafiltrasyonda karşılaşılan bu membran kirlenmesi olayını etkileyen birçok faktör vardır: kullanılan membranın özellikleri (por çapı, yüzey yapısı, hidrofilik ya da hidrofobik olması vb.), filtre edilecek sıvının özellikleri (içerdiği moleküllerin yapıları ve büyüklükleri, pH vb.), proses parametreleri (sıcaklık, basınç ve akış hızı, vb.) bu faktörler arasında sayılabilir (Cheryan, 1998; Marshall et al., 1993). Ultrafiltrasyonda karşılaşılan membran kirlenmesi konusuna Bölüm 2.4'de detaylı olarak değinilmektedir.

Meyve suyu endüstrisinde membran kirlenmesini geciktirmek ve böylece sistem performansını artırmak için ultrafiltrasyon uygulamalarında geleneksel yöntemlere göre daha az, yaklaşık 1/5 oranında olmak üzere, jelatin ve bentonit ön flokülasyonu uygulanmaktadır (Acar ve Gökmen, 2000; Gökmen et al., 2001).

2.3. Filtrasyon Modelleri

Filtrasyon teorisi üzerine ilk çalışma Darcy (1856) 'nin kum yataklarından sıvıların akışı üzerine yaptığı çalışmasıdır. Darcy'nin ortaya koyduğu eşitliğe göre akış hızı; basınç farkına, kum yatağının uzunluğuna ve sıvının ve yatağın özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir (Geankoplis, 1993; Acar ve Gökmen, 2005).

$$v = K \frac{\Delta P}{L} \quad (2.1)$$

Burada;

v : akış hızı

K : Sıvının ve kum yatağının özelliklerine bağlı sabit

ΔP : Basınç farkı

L : kum yatağının uzunluğu

Sperry'nin 1917 yılında ortaya koyduğu denklik filtrasyon teorisinin temelini oluşturmuştur. Sperry bu çalışmasında, akışa karşı ortaya çıkan toplam direnç teriminin, biri filtrenin yapısından diğeri filtre tarafından tutulan maddelerin özelliklerinden ileri gelen iki direncin toplamından oluştuğunu ileri sürmüştür. Filtre yapısından kaynaklanan direnç filtrasyon boyunca sabit kalırken, filtre tarafından tutulan maddelerin özelliklerinden ileri gelen direnç ise filtre edilen hacimle doğrusal olarak artmaktadır. Toplam direnç;

$$R_{tot} = R_m + \frac{\alpha c}{A} V \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklikte toplam direnç ifadesini oluşturan ilk terim, R_m , filtre ortamının akışa karşı ortaya koyduğu direnci; ikinci terim, $\alpha c V/A$ ise, biriken kekin akışa karşı oluşturduğu direnci ifade etmektedir. Kek direnci, filtre edilen hacimle ve toplanan katı özelliklerine bağlı bir terim olan αc ile doğrusal olarak artış göstermektedir. Yani Sperry denkliğine göre, filtrasyon boyunca toplam dirençte doğrusal bir artış söz konusudur.

Buna göre Sperry'nin filtrasyon denkliği;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P A}{\mu \left[R_m + \frac{\alpha c}{A} V \right]} \quad (2.3)$$

olarak yazılır. Burada;

V : Filtrat hacmi

t : Zaman

ΔP : Basınç farkı

A : Filtrasyon alanı

μ : Viskozite

R_m : Ortam direnci

α : Spesifik kek direnci

c : Toplanan katı konsantrasyonu

Sperry denkliği, filtre edilen parçacıkların katı ve sert olduğu ya da filtre yardımcı maddesi ile oluşturulan kek tabakasının sert ve sıkışmaz olduğu durumlar için geçerlidir. (Orr, 1977; De La Garza ve Boulton, 1984; Sahin ve Bayındirli, 1991; şahin ve Bayındirli,1991). Model genellikle kısa süreli filtrasyon verilerine uygunluk göstermekte ve modelde sabit bir spesifik kek direnci ön görölmektedir. Ancak gerçekte, filtre keki işlem boyunca sıkılaşır ya da katı parçacıklar filtrasyon sırasında porlar içerisinde birikerek sistem direncini artırıp akışı engellerler. Bu durumda, model filtrat akışını karşılamamaktadır (Toledo, 1991).

De La Garza ve Boulton (1984), Sperry denkliğini modifiye ederek iki yeni model öne sürmüşlerdir. Bu modellerden biri 'üssel (exponential) model' olarak adlandırılan, membran kirlenmesinin bir zincir reaksiyon ya da çığ etkisi benzeri bir şekilde üssel olarak arttığı model, diğerisi ise filtre içerisinde ya da yüzeyinde hızla meydana gelen kirlenmenin ifade edilmesinde alternatif olarak ortaya konan 'power model'dir.

De La Garza ve Boulton (1984)'un üssel (exponential) modeline göre toplam direnç;

$$R_{tot} = R_m \exp\left(\frac{k}{A}V\right) \quad (2.4)$$

denkliği ile ifade edilir, yani filtrasyon esnasında toplam dirençte, filtrat hacmi ile üssel bir artış ortaya çıkmaktadır. Buna göre üssel (exponential) modelde filtrasyon denkliği;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta PA}{\mu \left[R_m \exp\left(\frac{k}{A}V\right) \right]} \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada;

- V : Filtrat hacmi
t : Zaman
 ΔP : Basınç farkı
A : Filtrasyon alanı
 μ : Viskozite
 R_m : Ortam direnci
k : Kirlenme sabiti

Üssel (exponential) modelde, filtre porlarının, filtre edilen madde tarafından, yüzey tıkanması ya da derinde birikme mekanizması ile işlemin hemen başında başlayan ve gittikçe artan şekilde kirlendiği kabul edilmektedir. Modele göre, filtrat hacmi birikmeye başladığı andan itibaren direnç gelişmeye başlamaktadır.

De La Garza ve Boulton (1984)'un öne sürdüğü ikinci model olan 'power model', filtre içerisinde ya da yüzeyinde hızla meydana gelen kirlenmenin tanımlanmasına alternatif olarak ortaya konmuştur. Modele göre, kirlenme filtrasyonun başlangıcında belirgin değildir, ancak genellikle birden büyük olan üstel katsayının etkisiyle kirlenme hızla gerçekleşebilmektedir. Sperry denkliği, De La Garza ve Boulton'un 'power model'inin $k=\alpha c$, $n=1$ olan özel bir çeşididir.

Power modelde toplam direncin, filtrat hacmi ve n ile ifade edilen bir katsayıyla üstel olarak arttığı kabul edilmektedir. Buna göre toplam direnç ifadesi;

$$R_{tot} = R_m + k\left(\frac{V}{A}\right)^n \quad (2.6)$$

şeklindedir. Power modelde filtrasyon denkliği;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P A}{\mu \left[R_m + k\left(\frac{V}{A}\right)^n \right]} \quad (2.7)$$

ile ifade edilir. Burada;

V : Filtrat hacmi

t : Zaman

ΔP : Basınç farkı

A : Filtrasyon alanı

μ : Viskozite

R_m : Ortam direnci

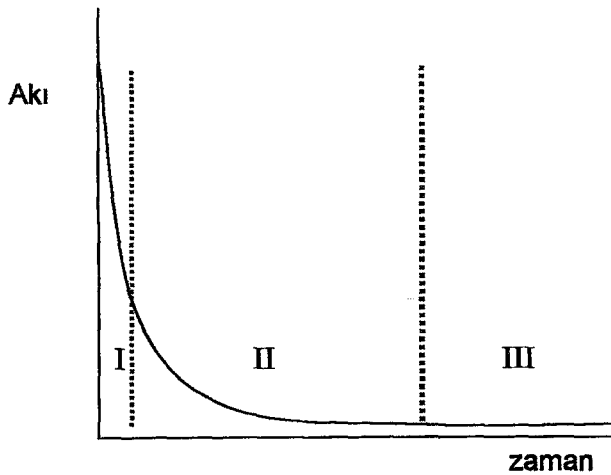
k : Üstel kirlenme katsayısı

n : Üstel kirlenme sabiti

Bu modellerin ortak ve önemli bir özelliği, başlangıç direncinin her zaman filtre direncine (R_m) eşit olmasıdır. Her üç modelde de, $V=0$ için direnç ifadesi R_m 'i vermektedir.

2.4. Membran Kirlenmesi (Fouling) Modelleri

Membran filtrasyon uygulamalarında Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilen, tipik bir zaman-akı ilişkisi gözlenmektedir. Membran performansının, dolayısıyla sistem performansının zamanla azaldığı bu değişim, membranın kirlenmesi ile ilişkilendirilmektedir.



Şekil 2.2. Tipik zaman (t) -akı (J) grafiğinde üç bölgenin şematik gösterimi: (I) En yüksek akı değeri olan saf su akısı değerinden ani bir düşüş, (II) uzun süreli kademeli akı azalması, (III) yatışkın durum akısı

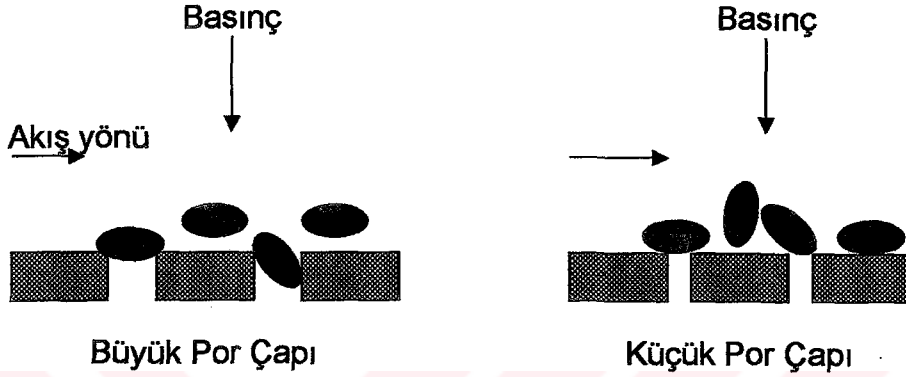
Membran kirlenmesi mekanizmalarına açıklık getirmek üzere yapılan modelleme çalışmalarında genel olarak, membran filtrasyonda görülen tipik zaman-akı eğrisi üç bölgeye ayrılarak incelenmektedir (Şekil 2.2). Birinci bölge membran filtrasyon işleminin hemen başlangıcında akıda ani bir düşüşün görüldüğü bölgedir. İkinci bölge, akıdaki ani düşüşü takip eden uzun süreli kademeli azalış bölgesi ve üçüncü bölge ise zamana bağımlı olmayan yatışkın durum akı değerine ulaşılan bölgedir (Song , 1998 ; Mondor et al., 2000).

Membran kirlenmesi ve zaman (t) – akı (J) değişimine açıklık getirmek üzere ortaya konan çalışmaların çoğunda, akıdaki değişim belirtilen üç bölge için ayrı ayrı incelenmekte, her bir aşama için farklı bir yaklaşım ve matematiksel model öngörülmektedir.

Ultrafiltrasyonda karşılaşılan membran kirlenmesi olayını etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar kullanılan membranın özellikleri (por çapı, yüzey yapısı, hidrofilik ya da hidrofobik olması vb.), filtre edilecek sıvının özellikleri (içerdiği moleküllerin yapıları ve büyüklükleri, pH vb.) ve proses parametreleri (sıcaklık, basınç, akışın hızı ve niteliği vb.) olarak sıralanabilir (Cheryan, 1998; Marshall et al.,1993; Singh and Heldmann,2001; Kelly et al., 1993; Altmann, 1997; McCabe et al., 2001, Borneman,Z., 1997; Geankoplis, 1993; Iritani et al.,1991; Lahoussine-Turcaud et al.,1990; Girard and Fukumoto,1999).

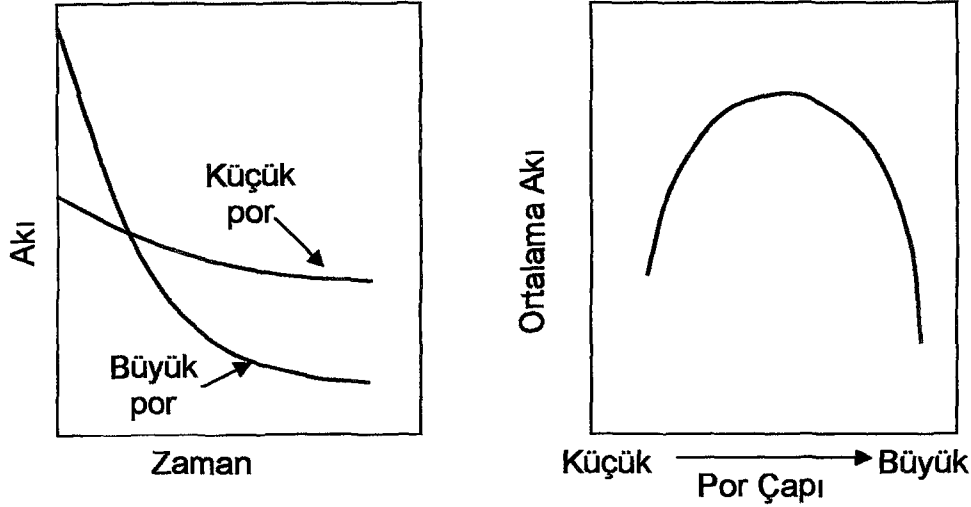
Genel olarak, sulu çözeltiler için kullanılacak bir membranın hidrofilik olması gerekir. Membranın hidrofobik olduğu durumda, çözeltide bulunan hidrofobik ve amfoterik bileşikler adsorplayarak kirlenmeye neden olmaktadır. Membran yüzeyinin pürüzlülüğü membran kirlenmesini etkileyen diğer faktördür. Membran yüzeyinde bulunan pürüzler, besleme çözeltisindeki parçacıkların birikmesine uygun bir ortam oluşturduğundan, yüzey ne kadar pürüzlü olursa, kirlenme o derece artmaktadır. Membran por çapı ise, membran direncini etkileyen önemli bir yapısal özelliktir. Daha büyük çaplı porlara sahip olan membranlarda, başlangıçta akı değeri, küçük por çaplı membranlardakine oranla daha yüksektir ancak ultrafiltrasyonun ileri aşamalarında (bazı durumlarda aniden), yüksek tıkanma eğilimi nedeniyle büyük por çaplı membranların akı değeri, küçük por çaplı membranlarınkinin altına inmektedir. Ayrılmak istenen parçacık çapının, kullanılan

membranın por çapı ile aynı büyüklüklerde olduğu durumlarda, besleme çözeltisinde bulunan daha küçük parçacıkların bazıları, porlardan geçmek yerine porların içerisinde birikebilmektedir. Porlarda meydana gelen bu fiziksel engelleme akıda ani bir düşüşün ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Cheryan,1998). Bu durum Şekil 2.3'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Membran kirlenmesinde, por çapı ile parçacık büyüklüğünün ilişkisi (Cheryan, 1998)

Bazı çalışmalarda, permeat akısına göre bir optimum por çapı tanımlaması getirilmektedir. Optimum por çapının altında membranın kendi direnci ve membran yüzeyinde oluşan tabakanın direnci permeat akısını düşürürken, optimum por çapının üzerinde membran porlarının içerisinde meydana gelen birikme nedeniyle membran kirlenme oranı artmakta ve filtrasyonun ileri aşamalarında akıda düşme meydana gelmektedir (Marshall et al., 1993). Şekil 2.4'de membran por çapının akı üzerine etkisi gösterilmektedir. Diğer tüm koşullar sabit tutulmak kaydıyla, por çapı daha büyük olan membranlarda akıda daha belirgin bir düşme gözlemlenirken, küçük por çaplı membranlarda akıda daha az düşüş görülmektedir. Yine tüm diğer koşullar sabit tutulmak kaydıyla, ortalama akı değeri por çapının belli bir değere kadar artırılması ile artmakta ancak belli bir maksimum değerden sonra yeniden azalmaktadır.



Şekil 2.4. Membran por çapının akı üzerine etkisi (Cheryan, 1998)

Ultrafiltre edilecek çözelti özellikleri ve içerdiği molekül yapıları membran kirlenmesini etkilemektedir. Örneğin; birçok fonksiyonel grup içermeleri, farklı yüklerle sahip olabilmeleri, farklı hidrofobik özellikler taşımaları ve çözeltide bulunan diğer bileşiklerle etkileşime girmelerine olanak sağlayan karmaşık bir yapıya sahip olmaları nedenleriyle proteinler, membran proseslerde başlıca kirlilik unsurudurlar. Bunun dışında, çözeltide bulunan tuzlar, çözünürlüklerinin az olması nedeniyle çökme ya da elektriksel yükleri sonucu doğrudan membran yüzeyine bağlanma gibi nedenlerle kirlenmeye sebep olabilmektedirler. Filtre edilecek çözeltinin pH değeri de, çözünürlüğü ve bileşenlerin yapılarını etkilemesi nedeniyle membran kirlenmesini etkilemektedir.

Proses parametrelerinden sıcaklık, viskoziteyi etkilemesi, çözünürlüğü değiştirmesi gibi etkileriyle membran kirlenmesini etkilemektedir. Akış hızı ve niteliği, membran yüzeyinde kirlilik unsuru maddelerin birikmesini etkileyerek membran kirlenmesine etkide bulunmaktadır. Basıncın artırılması ile, başlangıçta akıda artış sağlanmakta ancak membran kirlenmesi hızlanmaktadır (Cheryan, 1998).

Membran kirlenmesi ve sistemde akının azalmasına ilişkin yapılan matematiksel modelleme çalışmalarına bakıldığında, genel olarak akının zamanla ya da filtre edilen permeat hacmiyle değişimine ilişkin matematiksel modellerin çoğunun, tipik akı değişim grafiği göz önünde tutulduğunda, üssel bir ifadeye dönüştüğü

görülmektedir (Cheryan, 1998). Modelleme çalışmalarında, üzerinde çalışılan sistemi açıklama amacına yönelik olarak çok detaylı analizlerin yapıldığı ve farklı yaklaşımlara dayandırılan çok parametrelili ampirik ifadelerin ortaya konduğu görülmektedir (Song, 1998; Mondor et al, 2000; Song et al., 2004; Wang et al., 1999; Riedl et al., 1998; Ho and Zydney, 2000; Snir et al., 1996; Zydney and Ho., 2002, Hermia, 1982 ; Huang, 1998; Blatt et al., 1970,Cheryan and Nichols, 1992, Chen et al.,1997).

Membran kirlenmesi ve akı azalmasına yönelik modelleme çalışmalarında kabul gören başlıca yaklaşımlar; porların bloke olması, kek filtrasyonu, membran porlarının tıkanması ve seri dirençler yaklaşımlarıdır. 'Porların bloke olması' yaklaşımında, porların bir kısmının çözültideki parçacıklar tarafından tamamen bloke edildiği ve bloke edilen porların oranının membrandan geçen permeat miktarı ile orantılı olduğu kabul edilmektedir. 'Kek filtrasyonu' yaklaşımında, tüm membran yüzeyinin kirlilik unsuru maddeler tarafından kaplandığı ve bu tabakanın sürekli olarak kalınlaştığı kabulü söz konusudur. 'Membran porlarının tıkanması' yaklaşımında, membran porlarının birikme ya da adsorpsiyon neticesinde tıkanıldığı düşünülmektedir. 'Seri dirençler' yaklaşımında ise, akış debisinin azalmasına sebep olan tüm faktörlerin, (membran, adsorpsiyon, kek tabaka oluşumu vs.) membranın besleme çözeltisi tarafında akışa karşı ilave bir direnç ortaya koyduğu kabul edilmektedir (Mulder, 1991; Cheryan, 1998, Vyas et al., 2001; Jiraratananon and Chanachai, 1996, Geankoplis, 1993,Aimar et al.,1988).

Song (1998), membran filtrasyonlarda akı azalmasının, membran direncinin artması ve sırasıyla 'porların tıkanması' ve 'kek oluşumu' şeklinde açıklanabilen ek direnç tabakalarının oluşmasının sonucu olarak ortaya çıktığını bildirmiştir. Porların tıkanması membran direncini yükseltirken, kek tabaka oluşumu permeat akışına ek bir direnç tabakası ortaya koymaktadır. Song (1998), 'porların tıkanması' ve 'kek oluşumunu' membran kirlenmesinin temel iki mekanizması olarak kabul etmekte, diğer faktörlerin (adsorpsiyon, membran porlarında parçacık birikmesi, kek tabakasının özelliklerinin değişmesi vb.), bu iki mekanizmadan birini ya da her ikisini desteklemesi ile membran kirlenmesine etkide bulunduğunu öne sürmektedir. Song (1998) çalışmasında, parçacık birikme oranı, porların tıkanması, kek oluşumu, zamana bağlı akı değişimi, denge durumunda permeat

akısı ve kek kalınlığı, denge bölgesinin gelişimi ve dengeye ulaşmak için gerekli süreye ilişkin detaylı matematiksel modeller ortaya koymuştur.

Bazı çalışmalarda akıda meydana gelen azalma, 'hacim konsantrasyon faktörü'ne (volume concentration factor - VCR) bağlı olarak ifade edilmektedir (Cheryan, 1998; Mondor et al., 2000; Constenla and Lozano, 1997; Alvarez et al., 1996). VCR herhangi bir t anında başlangıç hacminin retentat hacmine oranıdır.

$$VCR = \frac{V_0}{V_0 - V_p} \quad (2.8)$$

Burada;

VCR : Hacim konsantrasyon faktörü

V_0 : Başlangıç hacmi

V_p : Permeat hacmi

Constenla and Lozano (1997), tipik zaman (t) -akı (J) değişiminde olduğu gibi, hacim konsantrasyon faktörü (VCR) - akı (J) grafiğinin de üç bölgeye bölünebileceğini, akıda ani bir düşüşle karakterize edilen birinci bölgenin birkaç dakika içerisinde son bulduğunu, ikinci bölgede (yaklaşık VCR=3) akıda stabil olmayan bir değişimin görüldüğünü, üçüncü bölgede ise akının yatışkın durum değerine ulaştığını bildirmişlerdir.

Sınırlı VCR aralığında geçerli olmak üzere, aşağıda verilen ampirik denkleğin $\ln(VCR)$ 'ye karşı akı (J) verilerini karşıladığı bildirilmiştir (Mondor et al., 2000);

$$J = J_0 - K \ln(VCR) \quad (2.9)$$

Burada;

J_0 : Başlangıç akısı

K : Sistem koşullarına ve sıvı özelliklerine bağlı sabit

VCR : Hacim konsantrasyon faktörü

Mondor et al. (2000), belirli zaman aralığında akıda meydana gelen azalmanın açıklanmasında Mehta modelinin kullanılabileceğini öne sürmüştür. Mehta (1973)'nin, sabit basınç altında gerçekleştirilen filtrasyon işleminde akının zamana bağlı değişimini şu ampirik denklik ile ifade ettiği bildirilmektedir :

$$J = K_1 + K_2 \exp(-K_3 t) \quad (2.10)$$

Burada;

J : Akı

K_1, K_2 : Ampirik sabitler

K_3 : Akış debisi azalma oranı katsayısı

t : Zaman

Mondor et al. (2000), akıda zamanla meydana gelen azalmayı açıklayacak matematiksel modeli ortaya koymak üzere, tipik zaman (t) – akı (J) değişimini, ikinci ve üçüncü bölgeyi tek bir bölge kabul ederek toplam iki bölgede incelemiş ve şu denklige ulaşmıştır:

$$J = (J_0 - J_{\infty 1}) \exp(-\alpha t) + (J_{\infty 1} - J_{\infty 2}) \exp(-\beta t) + J_{\infty 2} \quad (2.11)$$

Burada;

J : Herhangi bir t anındaki akı

J_0 : Başlangıç akısı

$J_{\infty 1}$: Birinci bölgenin sonundaki akı

α : Membran porlarının tıkanmasının sebep olduğu akı azalma oranı sabiti

t : Zaman

$J_{\infty 2}$: İkinci bölgenin sonundaki akı

β : Konsantrasyon polarizasyonu ve jel oluşumunun sebep olduğu akı azalma oranı sabiti

Bu ifade ile Mondor et al. (2000) tüm filtrasyon prosesine uygulanabilecek bir denklik ortaya koymuşlardır. Ancak, bu şekilde akı değişim grafiğini farklı bölgelere ayırarak inceleyen yaklaşımlarda, bölgeler arasındaki sınırın rastgele seçilmesi ve

bu sınırın kullanılan sistemin özelliklerine göre büyük oranda farklılık gösterebilmesi bu yaklaşımın olumsuz yanını oluşturmaktadır.

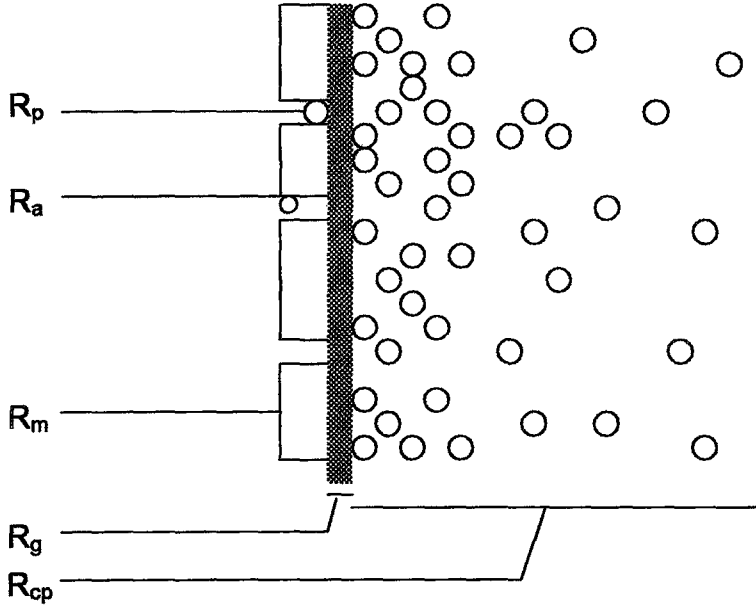
Ho and Zydney (2000), yaptıkları model çalışmasında, toplam hacimsel akışı, açık ve kapalı porlardan akış olmak üzere iki akışın toplamı olarak öne sürmüşlerdir. Proteinlerin neden olduğu membran kirlenmelerini inceledikleri çalışmalarında Ho ve Zydney (2000); herhangi bir t anında, membrandan geçen filtrat akış hızını veren aşağıdaki üssel (exponential) denklige ulaşmışlardır:

$$Q = Q_0 \left[\exp \left(- \frac{\alpha \Delta PC_b}{\mu R_m} t \right) + \int_0^t \frac{\alpha \Delta PC_b}{\mu (R_m + R_p)} \exp \left(- \frac{\alpha \Delta PC_b}{\mu R_m} t_p \right) dt_p \right] \quad (2.12)$$

Burada;

- Q : Hacimsel akış hızı
- Q₀ : Başlangıç hacimsel akış hızı
- α : Por tıkanması parametresi
- C_b : Besleme çözeltisindeki protein konsantrasyonu
- R_m : Membran direnci
- t : Zaman
- R_p : Membranın belirli yüzeyinde biriken proteinin oluşturduğu direnç
- t_p : Membranın belirli yüzeyinin protein agregatı ile ilk tıkanıldığı zaman

Membran proseslerde akı değişimini açıklamaya yönelik olarak kabul gören seri dirençler yaklaşımına göre, akının azalmasına sebep olan tüm faktörler, membranın besleme çözeltisi tarafında ek dirençler ortaya koyarlar. Membran filtrasyonlarda akı azalmasına sebep olabilecek faktörler arasında konsantrasyon polarizasyonu, adsorpsiyon, jel tabaka oluşumu, porların tıkanması sayılabilmektedir. İdeal durumda akışa karşı gelen tek direnç membran direnci (R_m) dir. Tüm bu faktörler, besleme çözeltisi tarafında membrandan geçişte bu membran direncine ek bir direnç ortaya koymaktadır. Şekil 2.5'de oluşabilecek bu farklı dirençler şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Membrandan geçen akıya karşı oluşabilecek farklı dirençler (R_p : por tıkanması direnci, R_a : adsorpsiyon direnci, R_m : membran direnci, R_g : jel tabaka oluşumu direnci, R_{cp} : konsantrasyon polarizasyonu direnci (Mulder, 1991)

Şekil 2.5'de gösterilen dirençler, akışa karşı oluşan toplam dirence (R_{tot}) farklı oranlarda katkıda bulunurlar. İdeal durumda sadece membran direnci (R_m) söz konusudur. Membranın çözeltide bulunan bileşenlerin bir kısmını geçirip bir kısmını alıkoyması nedeniyle, membran yüzeyine yakın yerlerde bu alıkonulan moleküllerin birikimi söz konusu olacaktır. Bu durum, membran yüzeyine yakın yerlerde yüksek konsantrasyonlu bir tabaka oluşturur ve bu tabaka da akışa karşı bir direnç gösterir. Ortaya çıkan bu direnç konsantrasyon polarizasyonu direncidir (R_{cp}). Kimi proseslerde, membran yüzeyinde biriken bu maddelerin konsantrasyonu öyle artar ki, bir jel tabaka oluşur ve oluşan bu tabaka da bir jel tabaka direnci (R_g) ortaya koyar. Jel tabaka direnci genelde protein içeriği yüksek çözeltilerin filtrasyonunda karşılaşılan bir durumdur. Poröz membranlar için, çözeltide bulunan maddelerin membran içerisine penetrasyonu ve porları tıkanması mümkündür ve bu durum por tıkanması direncinin (R_p) oluşmasına neden olur. Bunun dışında, moleküllerin membran yüzeyinde ya da porların içerisinde adsorbe olması söz konusu olabilir ve bu durum da bir adsorpsiyon direnci (R_a) oluşmasına sebebiyet verir (Mulder, 1991).

Çeşitli çalışmalarda, membran kirlenmesi olayını açıklamak üzere öne sürülen birçok parametre mevcuttur. Bu parametrelere örnek olarak, çamurlaşma indeksi (siltting index, SI), kirlenme indeksi (fouling index, FI), tıkanma indeksi (plugging index, FI) ya da çamur yoğunluğu indeksi (silt density index, SDI), akı azalması indeksi (flux decline index, FDI), modifiye tıkanma indeksi (modified fouling index) ya da membran filtrasyon indeksi (membrane filtration index, MFI) sayılabilir (Mulder, 1991; Elysee-Collen, 1997).

Bu parametreler arasında en sık kullanılanı membran filtrasyon indeksi (MFI)' dir. Tek bir katsayının, fiziksel ve kimyasal birçok parametreye bağlı, karmaşık bir olay olan kirlenme olayını tek başına açıklaması elbette ki beklenemez, ancak proses tasarımı için sistem hakkında fikir vermeleri bakımından bu katsayılar önem taşımaktadır (Snir et al., 1996; Mulder, 1991; Brauns, 2002).

Membran filtrasyon indeksi (MFI), kek filtrasyonu temeline dayanmaktadır. Membrandan geçen akı, seri iki dirençten geçen akı olarak düşünülebilir: kek direnci R_c ve membran direnci R_m . Buna göre filtrasyon denkleği;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta PA}{\mu(R_m + R_c)} \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu yaklaşımda, Sperry denkleğine benzer şekilde, kek direncinin (R_c), uygulanan basınçtan bağımsız olduğu, ayrılmak istenen parçacıkların %100 kek tabakada tutulduğu kabulü yapılmakta, spesifik kek direnci yaklaşımı getirilerek çözümlenmeye gidilmektedir. Buna göre genel ifade;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta PA}{\mu(R_m + \frac{r_c C_b V}{C_c A})} \quad (2.14)$$

halini almaktadır. Eşitlik düzenlendiğinde,

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu R_m}{\Delta P A} + \frac{\mu r_c C_b}{2 \Delta P C_c A^2} V \quad (2.15)$$

denkliğine ulaşılır. Burada,

V : Filtrat hacmi

t : Zaman

μ : Viskozite

R_m : Membran direnci

ΔP : Basınç farkı

A : Filtrasyon alanı

r_c : Spesifik kek direnci

C_b : Besleme çözeltisindeki parçacık konsantrasyonu

C_c : Kek tabakasındaki parçacık konsantrasyonu

Membran filtrasyon indeksi (MFI) ;

$$MFI = \frac{\mu r_c C_b}{2 \Delta P C_c A^2} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Buna göre V'ye karşı t/V değişimi doğrusal olmakta ve bu doğrusal grafiğin eğimi MFI değerini vermektedir. Riedl et al. (1998), elma suyu ultrafiltrasyonu üzerine yaptıkları çalışmada bu modelden yararlanmışlardır, ancak ulaştıkları V-t/V grafiği incelendiğinde, grafiğin y eksenini negatif bir noktada kestiği görülmektedir. Oysa ki bu grafiğin ekseni kestiği nokta $\mu R_m / \Delta P A$ ifadesini vermelidir ve bu ifadeden membran direnci R_m hesaplanabilmelidir. Bu şekilde negatif değerlere ulaşılması modelin güvenilirliği konusunda kuşku uyandırmaktadır.

Membran proseslerde karşılaşılan akı değişimlerinin matematiksel olarak ifade edilmesine ilişkin yapılan çalışmalarda ortaya konan ampirik denklikler, üzerinde çalışılan sistemi açıklamakta, ancak sistem koşulları değiştirildiğinde ya da matematiksel model farklı bir sisteme uygulanmak istendiğinde modelin yeni

sistemi açıklamadığı görülmektedir. Sistem incelemelerinde akı değişim grafiğinin analiz edilmesi sırasında öngörülen farklı bölge sınırlarının rastgele seçilmesi ve sistemden sisteme farklılık göstermesi modellerin uygulanabilirliğini kısıtlamakta; her bir bölge için farklı bir matematiksel yaklaşım getirilerek çözümlenmeye gidilmesi, karmaşık ve çok parametrelili ampirik denklemlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, De La Garza and Boulton (1984)'un üssel (exponential) modelinin elma suyu ultrafiltrasyonuna uygulanabilirliği test edilmiş, çeşitli ön işlemlerin (farklı oranlarda jelatin ve bentonit ile ön flokleştirme) ve sistem parametrelerinin (basınç ve membranın ayırma sınırı) ultrafiltrasyon performansı üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada, berrak elma suyu üreten bir işletmede hammadde olarak kullanılan elmalar kullanılmıştır. Elmalar yıkanıp ayıklandıktan sonra parçalanıp preslenerek ham elma suyu elde edilmiştir. Ham elma suyuna 1 ml/l pektolitik enzim (Rohm and Haas Company, Philadelphia, USA) ve 0.2 ml/l amilaz (Gist-Brocades Food Ingredients, Inc., Pennsylvania, USA) ilave edilmiş ve 50°C'de 2 saat enzimatik olarak durultulmuştur. Kaba tortu ayrıldıktan sonra elde edilen yarı berrak elma suyu, farklı parametrelerin etkilerinin test edildiği ultrafiltrasyon denemelerinde kullanılmıştır. 200 ml'lik porsiyonlara ayrılan elma suyu, kullanılıncaya kadar derin dondurucuda (-18°C) muhafaza edilmiştir.

3.2. Metot

Çalışmada, iki farklı amaca yönelik denemeler yapılmıştır. Öncelikle, elma suyu örnekleri ultrafiltrasyona tabi tutularak belirli permeat hacimlerinin toplandığı süreler kaydedilmiş ve bu ham veriler kullanılarak üssel (exponential) modelin (De La Garza and Boulton, 1984) elma suyu ultrafiltrasyonuna uygulanabilirliği incelenmiştir.

De La Garza ve Boulton (1984)'un üssel modeline göre filtrasyon denkliği aşağıdaki gibidir;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta PA}{\mu \left[R_m \exp\left(\frac{k}{A} V\right) \right]} \quad (3.1)$$

Burada;

V : Permeat hacmi

t : Zaman

ΔP : Basınç farkı

A : Filtrasyon alanı

μ : Viskozite

R_m : Ortam direnci

k : Kirlenme sabiti

Bu modele göre toplam direnç ;

$$R_{tot} = R_m \exp\left(\frac{k}{A}V\right) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Buna göre filtrasyon esnasında toplam direnç, filtrat hacmi ile üssel bir ilişki ile artmaktadır.

Eşitlik 3.1'de verilen üssel model düzenlendiğinde;

$$dt = \frac{\mu}{\Delta PA} R_m \exp\left(\frac{k}{A}V\right) dV \quad (3.3)$$

denkliği elde edilir. Sınır koşulları olan;

$$V=0 \quad t=0$$

$$V=V \quad t=t$$

değerlerine göre Eşitlik 3.3 integre edilirse,

$$\int_0^t dt = \frac{\mu R_m}{\Delta PA} \int_0^V \exp\left(\frac{k}{A}V\right) dV \quad (3.4)$$

$$t = \frac{\mu R_m}{\Delta P k} \left[\exp \left(\frac{k}{A} V \right) - 1 \right] \quad (3.5)$$

denkliğine ulaşılır. Deney koşullarına dair değerler (μ , R_m , ΔP , A) sabit olduğuna göre,

$$a = \frac{\mu R_m}{\Delta P k} \quad (3.6)$$

ve

$$b = \frac{k}{A} \quad (3.7)$$

olarak ifade edilirse, eşitlik;

$$t = a \left[\exp (bV) - 1 \right] \quad (3.8)$$

halini alır.

Buna göre, filtrat hacmine (V) karşı zaman (t) ham verileri Curve expert ver.1.3 programı ile analiz edilerek a ve b sabitlerine ulaşılmış, buradan elde edilen a ve b sabitleri yardımıyla, kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise, ultrafiltrasyon işlemine tabi tutulan elma suyuna, ultrafiltrasyonun hemen öncesinde farklı oranlarda jelatin-bentonit ilave edilerek ön flokleştirme işlemi gerçekleştirilmiş ve uygulanan bu ön işlemin membran performansına etkileri incelenmiştir. Ayrıca basınç ve membran ayırma sınırı faktörlerinin sistem performansına etkileri araştırılmıştır.

De La Garza and Boulton (1984)'un üssel (exponential) modeline göre akı ifadesi;

$$J = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m \exp\left(\frac{k}{A} V\right)} \quad (3.9)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Farklı jelatin-bentonit konsantrasyonları, basınç ve membranın ayırma sınırı değerlerinin sistem performansına etkilerini görmek amacıyla, belirtilen farklı koşullar için akıda zamanla ve permeat hacmiyle ortaya çıkan değişimler incelenmiştir. Akı değerleri; Eşitlik 3.9'a göre hesaplanmış, birbirini izleyen iki veri (V_1-t_1 ve V_2-t_2) arasındaki

$$J = \frac{1}{A} \frac{(V_2 - V_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (3.10)$$

akısı, veri aralığının orta noktası olan

$$V_{ort} = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \quad (3.11)$$

ve

$$t_{ort} = \frac{(t_1 + t_2)}{2} \quad (3.12)$$

değerlerine denk gelen akı olarak değerlendirilmiştir. Bu şekilde hesaplanan akı değerleri kullanılarak, zaman (t) – akı (J) ve permeat hacmi (V) – akı (J) grafikleri oluşturulmuş ve farklı koşullar için akıda ortaya çıkan değişim incelenmiştir.

Ultrafiltrasyonun başlangıcında, akışa direnç gösteren tek unsur sadece membran olduğundan başlangıç akısı ifadesi;

$$J_0 = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m} \quad (3.13)$$

şeklindedir. Buna göre, başlangıç akısı değeri Eşitlik 3.9'da yerine konulduğunda akı ifadesi;

$$J = J_0 \exp\left(-\frac{k}{A}V\right) \quad (3.14)$$

halini alır. Bu eşitliğe göre, hem De La Garza and Boulton (1984)'un üssel (exponential) modelinin uygulanabilirliğini farklı bir yönden incelemek, hem de farklı parametrelerin başlangıç akısı değerine etkilerini görmek amacıyla permeat hacmi (V) - akı (J) değerleri, Eşitlik 3.13'e göre Curve Expert ver.1.3 programı ile analiz edilerek başlangıç akısı değerleri belirlenmiştir.

3.2.1. Jelatin Çözeltisinin Hazırlanması

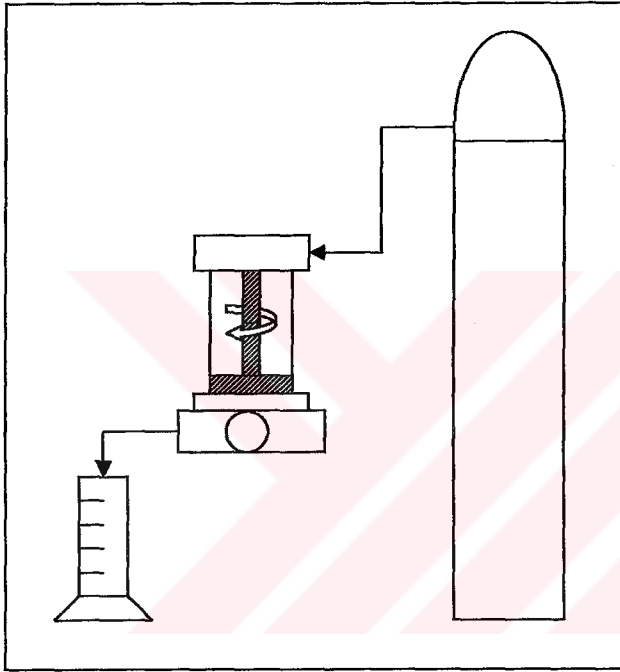
Çalışmada, berrak elma suyu üreten işletmeden tedarik edilen Tip A jelatin kullanılmıştır. Elma suyuna farklı oranlarda ilave edilmek üzere, saf su kullanılarak %1'lik jelatin çözeltisi hazırlanmıştır. Granül haldeki Tip A jelatine, uygun miktarda saf su ilave edilerek, sürekli karıştırılmak suretiyle sıcak su banyosunda jelatinin tamamen çözünmesi sağlanmıştır.

3.2.2. Bentonit Çözeltisinin Hazırlanması

Çalışmada berrak elma suyu üreten işletmeden tedarik edilen Na-bentonit kullanılmıştır. Elma suyuna farklı oranlarda ilave edilmek üzere, saf su kullanılarak %5'lik bentonit çözeltisi hazırlanmıştır. Toz haldeki Na-bentonit, uygun miktarda saf su ile karıştırılmış ve bentonitin tamamen şişmesini sağlamak üzere çözelti en az bir gün bekletilmiştir.

3.2.3. Elma Suyu Ultrafiltrasyon Prosesi

Elma suyu ultrafiltrasyon prosesi, kesikli sistemle çalışan, 64 mm çapında (filtrasyon alanı 0.003215 m^2), 180 ml kapasiteye sahip bir ultrafiltrasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney düzeneği, Amicon 8200 model bir ultrafiltrasyon hücresi, manyetik karıştırıcı, basınçlı azot tüpü ve permeatın toplandığı bir dereceli silindirden oluşmaktadır. Şekil 3.1 'de deney düzeneği şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

3.2.3.1. Jelatin-Bentonit ile Ön Floklaştırmanın Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkilerinin İncelenmesi

Elma sularının, klasik yöntemle durultma ve berraklaştırılması işlemi için gerekli olan jelatin ve bentonit konsantrasyonları sırasıyla 300 mg/l ve 1500 mg/l olarak belirlenmiş ve bu oran 1:1 J-B oranı olarak kabul edilmiştir. Jelatin ve bentonit ilavesinin elma suyu ultrafiltrasyonunda akı performansına etkilerini incelemek amacıyla, 1:1 ve gittikçe azalan oranlarda jelatin ve bentonit ham elma suyuna ilave edilerek ultrafiltrasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve sistem performansı

incelenmiştir. Ultrafiltrasyon öncesinde ham elma suyuna ilave edilen jelatin ve bentonit konsantrasyonları Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Jelatin-bentonit konsantrasyonları

Kısaltma	Jelatin (mg/l)	Bentonit (mg/l)
1:1 J-B	300	1500
1:2 J-B	150	750
1:5 J-B	60	300
1:10 J-B	30	150
0:0 J-B	0	0

Belirlenen bu oranlardaki J-B, ultrafiltrasyon işlemine tabi tutulmak üzere karıştırmalı hücreye alınan elma suyuna ilave edilerek, herhangi bir tortu ayrılması beklenmeden doğrudan ultrafiltrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan ultrafiltrasyon düzeneği karıştırmalı düzenek olduğundan, eklenen J-B ile oluşan tortunun dibine çökmesi engellenmiş, flokların çözeltide kalması sağlanmıştır. Sürekli karıştırma işlemi ile ayrıca akışa turbulent nitelik kazandırılmış, membran yüzeyinde birikme ve tabaka oluşumu engellenmiştir.

Tüm ultrafiltrasyon işlemlerine, eklenen J-B ile birlikte toplam 170 ml elma suyu ile başlanmış ve 130 ml permeat toplanması ile işlem sona erdirilmiştir (konsantrasyon faktörü: 4.25). Buna göre; 1:1 J-B ilave edilmiş ham elma suyu, 159.8 ml elma suyuna 5.1 ml % 1 jelatin çözeltisi, 5.1 ml %5 bentonit çözeltisi ilave edilerek; 1:2 J-B ilave edilmiş ham elma suyu, 164.9 ml elma suyuna 2.55 ml % 1 jelatin çözeltisi, 2.55 ml %5 bentonit çözeltisi ilave edilerek; 1:5 J-B ilave edilmiş ham elma suyu, 167.6 ml elma suyuna 1.2 ml % 1 jelatin çözeltisi, 1.02 ml %5 bentonit çözeltisi ilave edilerek; 1-10 J:B ilave edilmiş ham elma suyu, 168.98 ml elma suyuna 0.51 ml % 1 jelatin çözeltisi, 0.51 ml %5 bentonit çözeltisi ilave edilerek hazırlanmıştır.

Jelatin ve bentonit ilavesi yapıldıktan sonra elma suyu 50°C'de 30 dakika bekletilmiş ve ultrafiltrasyon öncesinde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Ultrafiltrasyon denemeleri oda sıcaklığında (25°C) gerçekleştirilmiştir. Tüm denemeler iki kez tekrarlanmıştır.

3.2.3.2. Basıncın Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkilerinin İncelenmesi

Basıncın ultrafiltrasyon performansı üzerine etkilerini görmek üzere, basınçlı azot tüpü kullanılarak, 1, 2, 3 ve 4 bar olmak üzere dört farklı basınç altında denemeler yapılmıştır.

Basıncın etkisinin incelendiği tüm ultrafiltrasyon denemeleri, 1:5 J-B ilave edilmiş elma suyu ve 10 kDa MWCO değerine sahip membran kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler iki kez tekrar edilmiştir.

3.2.3.3. Membran Ayırma Sınırının Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkilerinin İncelenmesi

Ultrafiltrasyonda, tümü Millipore Corporation (Bedford, USA)'dan tedarik edilen, 10, 30, 50 ve 100 kDa MWCO olmak üzere dört farklı ayırma sınırına sahip membranlar kullanılmıştır. Kullanılan membranların özellikleri Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Kullanılan ultrafiltrasyon membranlarının özellikleri

MWCO değeri (kDa)	Yapısı
10	Selüloz asetat
30	Polietersülfon
50	Polietersülfon
100	Polietersülfon

Membranların temizlenmesi ve rejenerasyonundan kaynaklanabilecek sapmaların önüne geçebilmek amacıyla, her deney setinde yeni bir membran kullanılmıştır.

Membran ayırma sınırının etkilerini incelemek amacıyla yapılan ultrafiltrasyon denemeleri, 1:5 J-B ilave edilmiş elma suyu kullanılarak 2 bar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Denemeler iki kez tekrar edilmiştir.

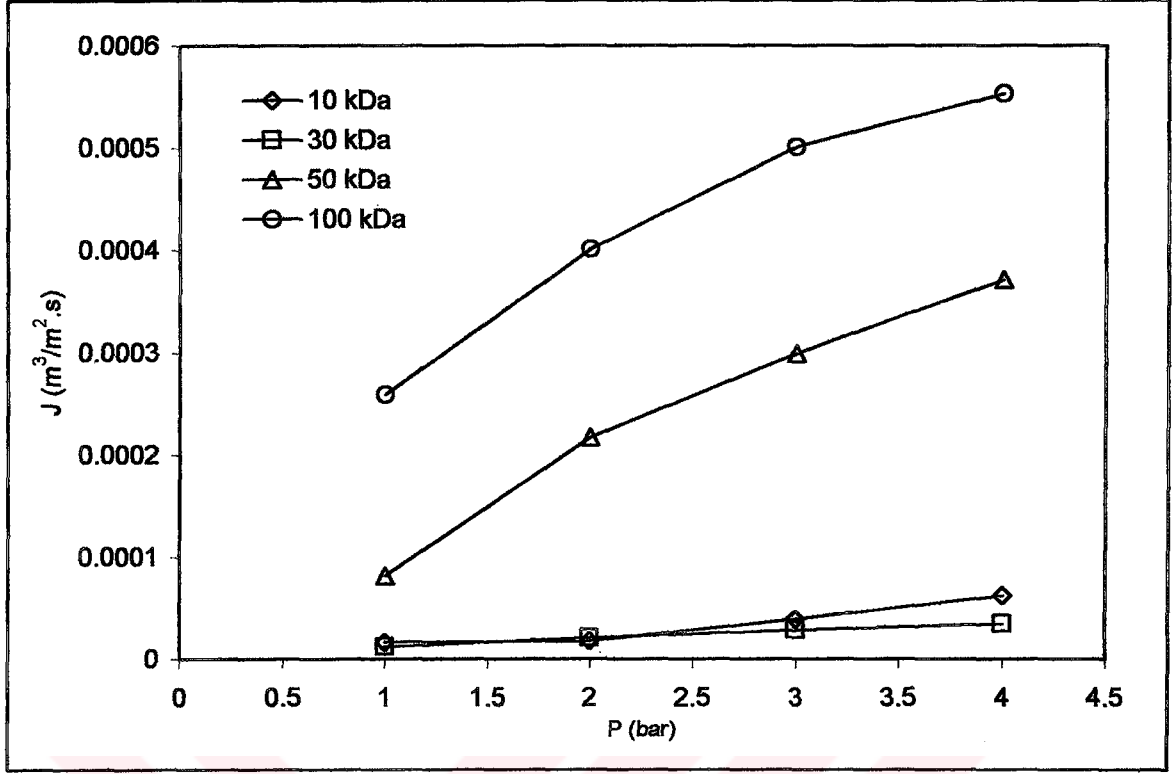


4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Su Akısının Membran Ayırma Sınırı ve Basınç ile Değişimi

Su akısı, genelde membranın sağlayabileceği en yüksek akıyı göstermektedir. Bununla birlikte, membran temizliği ve rejenerasyonunun etkinliğinin değerlendirilmesinde de su akısı değerinden yararlanılmaktadır. Rejenerasyon işleminin ardından membran aynı su akısı değerini veriyorsa, etkin bir temizlik yapılmış, tüm kirlilik unsurları membrandan uzaklaştırılmış ve membran bir sonraki işlemde aynı performansı gösterecek demektir (Cheryan, 1998; Snir et al., 1996). Ancak, yapılan bu çalışmada, membran temizliği ve rejenerasyonundan kaynaklanabilecek sapmaların önüne geçmek amacıyla, her deney seti için yeni bir membran kullanılmıştır.

Şekil 4.1 'de farklı MWCO değerine sahip membranların, farklı basınçlar altındaki saf su akısı değişimleri verilmektedir. Polietersülfon yapıdaki 30, 50 ve 100 kDa MWCO değerine sahip membranlara ait akılar incelendiğinde, MWCO değeri yükseldikçe akının arttığı görülmektedir. Beklenildiği gibi, en yüksek su akısı değeri 100 kDa MWCO değerine sahip membranda gözlemlenmiştir. 10 kDa MWCO değerine sahip membran, 30 kDa MWCO değerine sahip membrandan daha yüksek akı vermiştir. Bu farklılık, membran yapılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. 10 kDa MWCO değerine sahip olan membran selüloz asetat yapıda, 30, 50 ve 100 kDa MWCO değerine sahip membranlar ise polietersülfon yapıdadır.

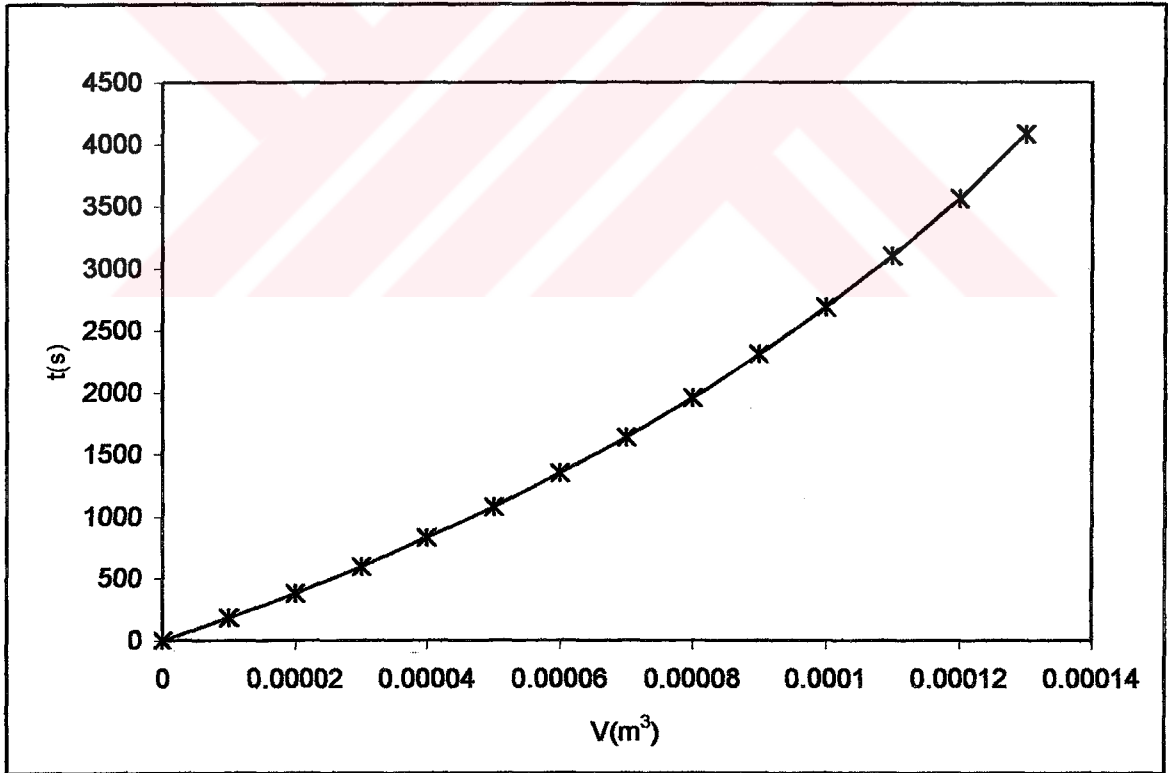


Şekil 4.1. 10, 30, 50 ve 100 kDa MWCO değerine sahip membranların su akışı değerlerinin basınç ile değişimi

Şekil 4.1’de, akı üzerine basıncın etkisini de görmek mümkündür. Aynı membran için, uygulanan basınç arttıkça akı değeri artmaktadır. Ayrıca; MWCO değeri yükseldikçe, basıncın etkisi daha belirgin hale gelmektedir. 10 kDa MWCO değerine sahip selüloz asetat yapıdaki membran için, 1 bar basınç altında su akışı değeri $1.681 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ iken 4 bar basınç altında bu değer $6.220 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ’ye; 30 kDa MWCO değerine sahip polietersülfon yapıdaki membran için, 1 bar basınç altında su akışı değeri $1.239 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ iken 4 bar basınç altında bu değer $3.495 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ’ye çıkarken; 50 kDa MWCO değerine sahip polietersülfon yapıdaki membran için, su akışı değeri 1 bar basınç altında $8.184 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ iken 4 bar basınç altında $3.714 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ’ye; 100 kDa MWCO değerine sahip polietersülfon yapıdaki membran için, su akışı değeri 1 bar basınç altında $2.592 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ iken 4 bar basınç altında $5.529 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ’ye çıkmaktadır. Görüldüğü gibi 10 ve 30 kDa MWCO değerine sahip membranlar için, basıncın 1 bar’dan 4 bar’a çıkarılması akı üzerinde belirgin bir etki yapmazken, 50 ve 100 kDa MWCO değerine sahip membranlar için basıncın akı üzerindeki etkisi oldukça belirgindir.

4.2. Elma Suyu Ultrafiltrasyon Prosesinin Matematiksel Modellemesi

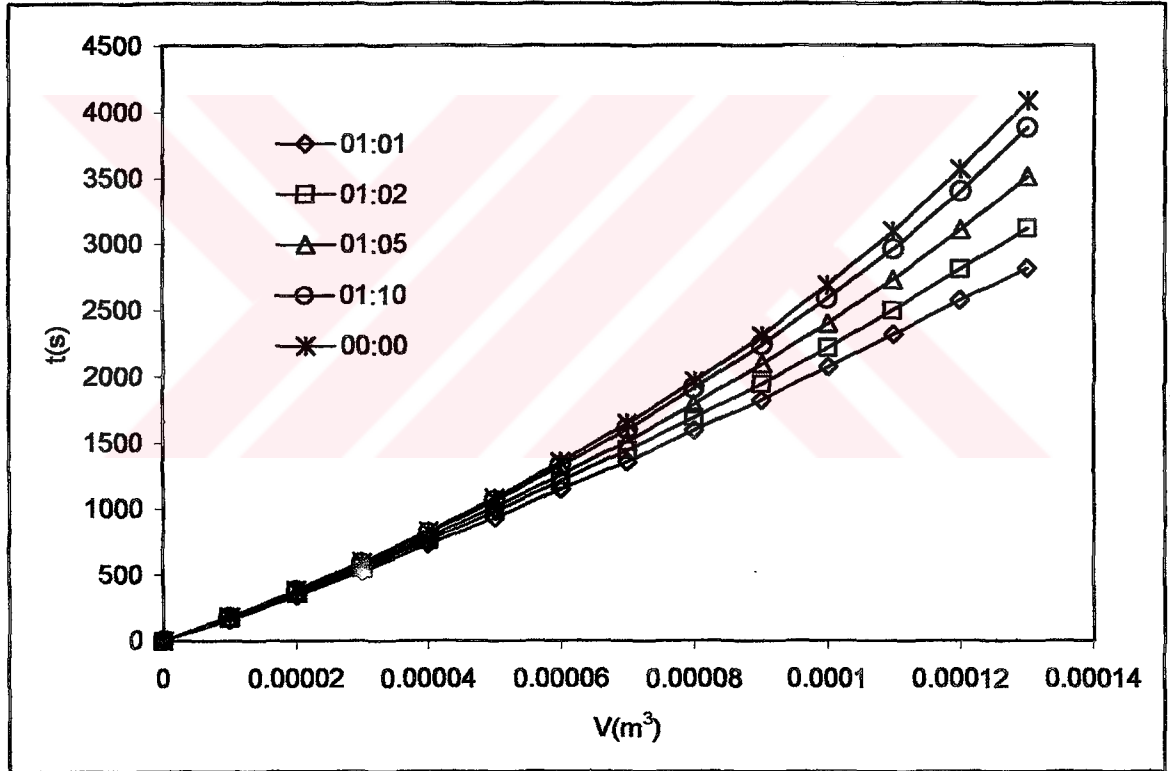
Şekil 4.2'de elma suyu ultrafiltrasyonuna ait örnek bir permeat hacmi (V)-zaman (t) grafiği gösterilmektedir. Elma suyu ultrafiltrasyon prosesinin matematiksel olarak De La Garza and Boulton (1984)'un üssel (exponential) modeline uygunluğu incelenmiştir. Bunun için elma suyu ultrafiltrasyonuna ait permeat hacmi (V) - zaman (t) veri seti, Eşitlik 3.8'de belirtilen modele göre Curve Expert ver.1.3 programı ile analiz edilmiştir. Yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.99$) üssel modelin elma suyu ultrafiltrasyonu sırasında elde edilen permeat hacmi (V) - zaman (t) verisi için uygun olduğunu göstermiştir. Buna göre, model a ve b sabitleri sırasıyla 2042.05 s ve 8425.43 m^{-3} olarak belirlenmiştir. Kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri ise, Eşitlik 3.6 ve Eşitlik 3.7'den yararlanılarak sırasıyla 27.09 m^{-1} ve $1.11 \times 10^{13} \text{ m}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. Elma suyu ultrafiltrasyonuna ait permeat hacmi (V) – zaman (t) grafiği (2 bar, 10 kDa MWCO)

4.3. Jelatin-Bentonit ile Ön Floklaştırmanın Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkileri

Şekil 4.3'de farklı J-B ile ön floklaştırılan ham elma sularının ultrafiltrasyonuna ait permeat hacmi (V) – zaman (t) grafikleri verilmiştir. Ham elma suyuna ön floklaştırma amacıyla ultrafiltrasyon öncesi ilave edilen J-B arttıkça, belli miktarda permeat elde etmek için gereken sürenin kısaldığı gözlenmiştir. Bu, membran kirlenmesinin J-B ilavesi ile geciktirilebildiği anlamına gelmektedir. J-B ilave edilmemiş ham elma suyunun ultrafiltrasyonunda 130 ml permeat toplanması için geçen süre 4086 s olarak belirlenmiş, bu süre ham elma suyuna ilave edilen J-B arttıkça kısalmış ve 1:1 J-B için 2819 s'ye kadar düşmüştür.



Şekil 4.3. Farklı J-B için permeat hacmi (V) –zaman (t) grafikleri (2 bar, 10 kDa MWCO)

Çizelge 4.1'de, permeat hacmi (V) –zaman (t) verileri kullanılarak Bölüm 4.2.'de açıklanan şekilde elde edilen a ve b parametreleri ile bu parametrelerden hesaplanan kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. Farklı J-B için a ve b parametreleri ve kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri (2 bar, 10 kDa MWCO)

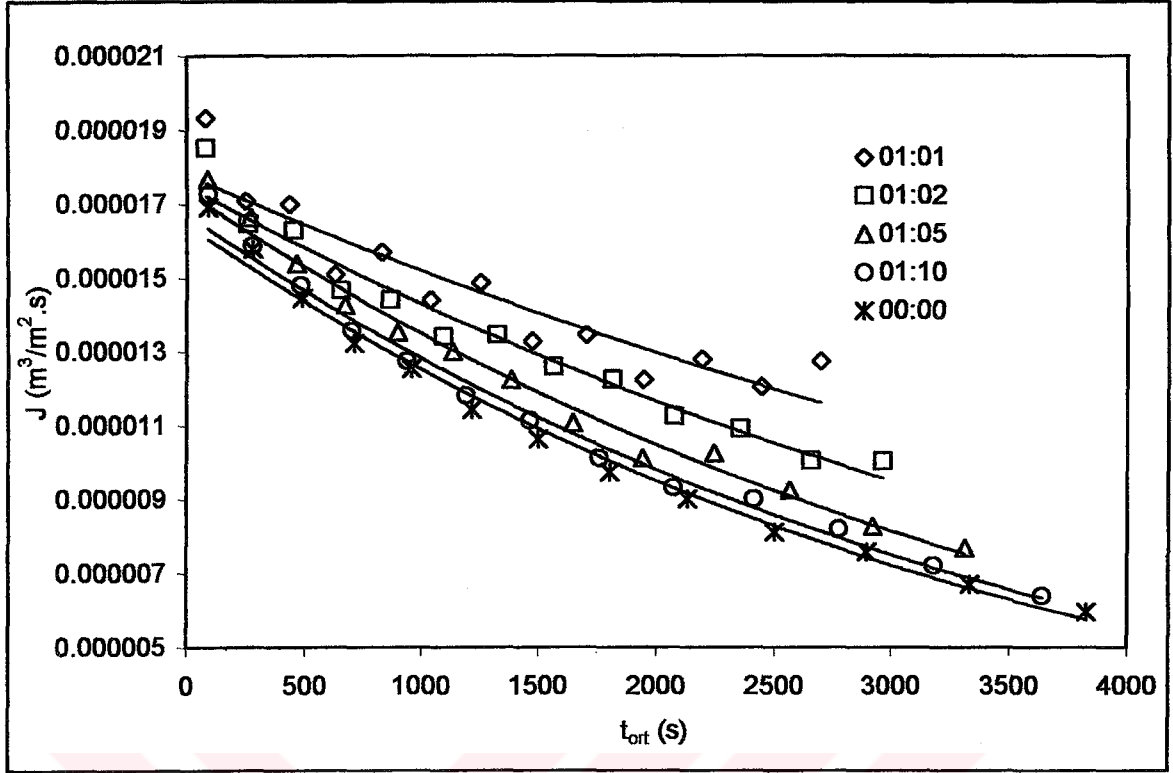
J-B	a (s)	b (m ³)	k (m ⁻¹)	R_m (m ⁻¹)	r
1:1	4639.61	3671.94	11.81	1.10×10^{13}	0,99
1:2	3542.40	4860.96	15.63	1.11×10^{13}	0,99
1:5	2540.70	6662.97	21.42	1.09×10^{13}	0,99
1:10	2230.24	7724.09	24.83	1.11×10^{13}	0,99
0:0	2042.05	8425.43	27.09	1.11×10^{13}	0,99

Kirlenme sabiti (k), filtrasyon boyunca toplam dirençte meydana gelen artışı, dolayısıyla sistem performansında ortaya çıkan düşüşü ifade eden bir katsayıdır. Kirlenme sabiti (k), filtre edilecek çözelti özellikleri, filtrasyon koşulları, kullanılan membran ve sistem özellikleri gibi birçok parametreye bağlıdır. Kirlenme sabiti (k) değerinin artması ile, filtrasyon ilerledikçe toplam dirençte ortaya çıkan artış yükselmekte, buna bağlı olarak da akı düşmektedir. Çizelge 4.1 incelendiğinde, elma suyuna ön flokleştirme amacıyla ilave edilen J-B arttıkça kirlenme sabiti (k) değerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum, ilave edilen J-B miktarının artmasıyla, sistem performansının artırılabilirliğini göstermiştir.

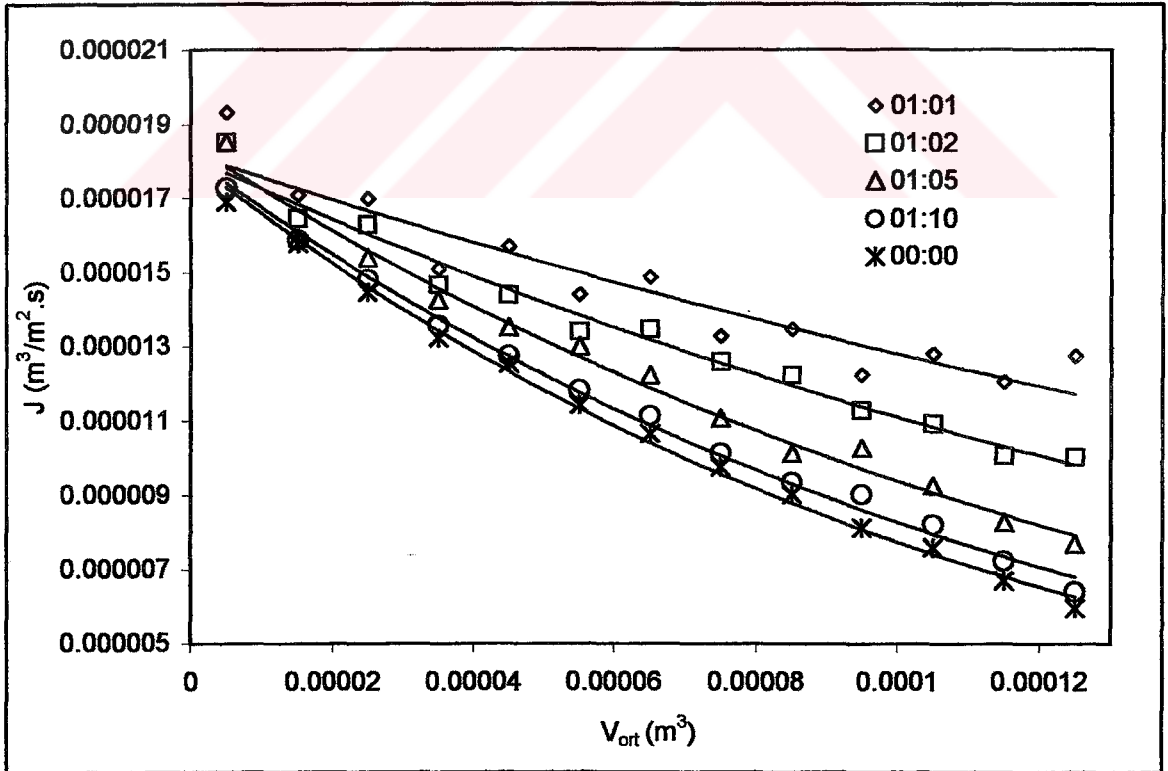
Membran direnci (R_m) ise, membran özelliklerine ve uygulanan basınca bağlı bir değişkendir, ultrafiltrasyona tabi tutulan besleme çözeltisinin özelliklerinden bağımsızdır. Aynı membran kullanılarak aynı basınç altında gerçekleştirilen ultrafiltrasyon işlemlerinde, filtre edilen besleme çözeltisi ne olursa olsun, membran direnci sabittir. Çizelge 4.1'de de görüldüğü gibi, öngörülen şekilde, farklı oranlarda J-B ilave edilerek ön flokleştirme uygulanan elma suyu örneklerinin ultrafiltrasyonu işlemlerinin tümünde, 10 kDa MWCO değerine sahip CA yapıdaki membran için, 2 bar basınç altında membran direnci (R_m) değeri $1.1 \times 10^{13} \text{ m}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir.

Bayındırlı et al. (1989), elma suyu ile yaptıkları çalışmada, De La Garza and Boulton (1984)'un üssel modelinin, elma suyunun kaplamalı filtrasyonuna ait deneysel verileri tam olarak karşıladığını bildirmişlerdir.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 'de farklı J-B için sırasıyla zaman (t) -akı (J) ve ortalama permeat hacmi (V_{ot}) - akı (J) grafikleri verilmektedir.



Şekil 4.4. Farklı J-B için zaman (t) – akı (J) grafikleri (2 bar, 10 kDa MWCO)



Şekil 4.5. Farklı J-B için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) grafikleri (2 bar, 10 kDa MWCO)

Çizelge 4.2'de, farklı J-B için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - akı (J) verilerinin, Eşitlik 3.13'e göre, Curve Expert ver.1.3 programı ile analiz edilmesi ile elde edilen başlangıç akısı (J_0) değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.2. Farklı J-B için başlangıç akısı (J_0) değerleri (2 bar, 10 kDa MWCO)

J-B	J_0 ($m^3/m^2.s$)	r
1:1	1.841×10^{-5}	0.95
1:2	1.821×10^{-5}	0.99
1:5	1.830×10^{-5}	0.99
1:10	1.794×10^{-5}	0.99
0:0	1.782×10^{-5}	0.99

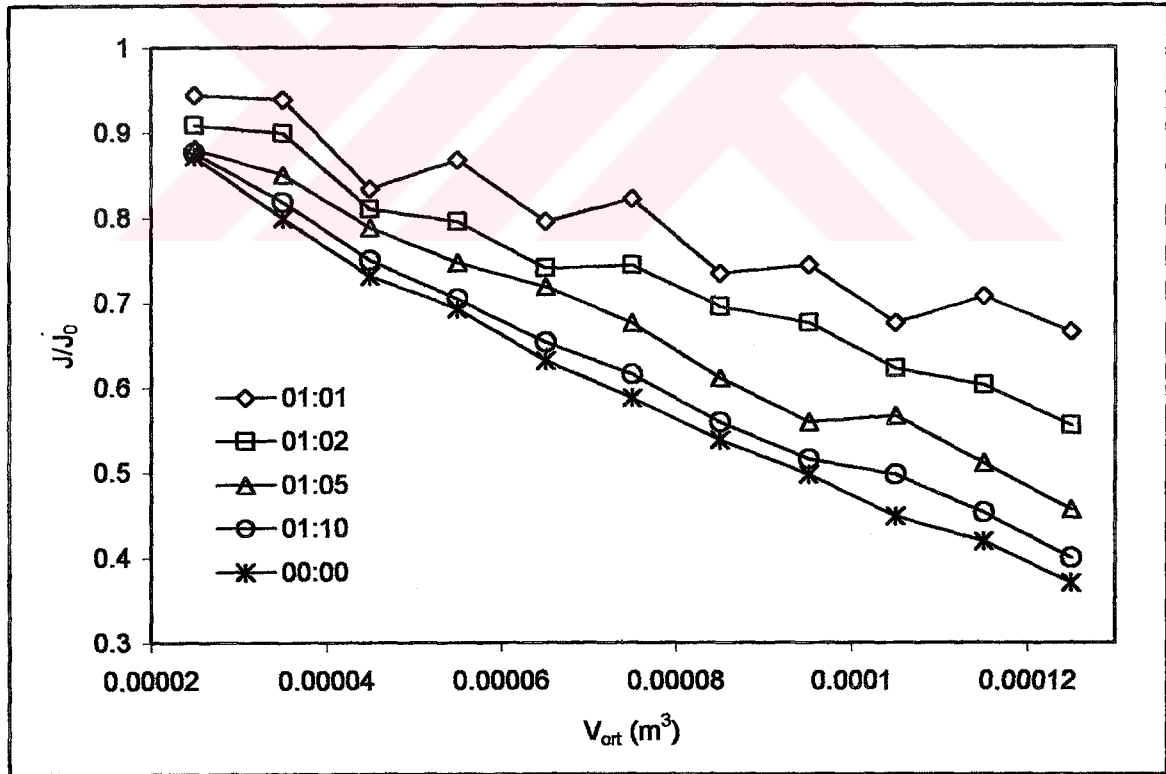
Belirli bir membran için, sabit basınç altında başlangıç akısı değeri sabit olmalıdır. Çizelge 4.2'de de görüldüğü gibi, her bir J-B için, 2 bar basınç altında, 10 kDa MWCO değerine sahip membran ile gerçekleştirilen ultrafiltrasyon proseslerinin başlangıç akısı (J_0) değeri ortalama $1.81 \times 10^{-5} m^3/m^2.s$ 'dir.

Ek 4'de de görülebileceği gibi, tüm J-B için başlangıç debisi değeri ortalama 1.81×10^{-5} iken, 15 ml / 55 ml / 95 ml / 125 ml permeat hacmi sonunda akı değeri, 1:1 J-B uygulamasında sırasıyla $1.709 \times 10^{-5} / 1.440 \times 10^{-5} / 1.224 \times 10^{-5} / 1.275 \times 10^{-5} m^3/m^2.s$ 'ye; 1:2 J:B uygulamasında sırasıyla $1.646 \times 10^{-5} / 1.341 \times 10^{-5} / 1.127 \times 10^{-5} / 1.003 \times 10^{-5} m^3/m^2.s$ 'ye; 1:5 J:B uygulamasında sırasıyla $1.595 \times 10^{-5} / 1.301 \times 10^{-5} / 1.026 \times 10^{-5} / 7.698 \times 10^{-6} m^3/m^2.s$ 'ye; 1:10 J:B uygulamasında sırasıyla $1,587 \times 10^{-5} / 1.183 \times 10^{-5} / 9.015 \times 10^{-6} / 6.399 \times 10^{-6} m^3/m^2.s$ 'ye ve 0:0 J:B uygulamasında sırasıyla $1.579 \times 10^{-5} / 1.143 \times 10^{-5} / 8.120 \times 10^{-6} / 5.958 \times 10^{-6} m^3/m^2.s$ 'ye düşmektedir.

Çizelge 4.3'de, farklı J-B için, ortalama permeat hacmine (V_{ort}) karşılık, başlangıç akısı olan $1.81 \times 10^{-5} m^3/m^2.s$ değerine göre akıda meydana gelen azalma oranları, Şekil 4.6'da ise normalize edilmiş akının (J/J_0) ortalama permeat hacmi (V_{ort}) ile değişimi verilmektedir.

Çizelge 4.3. Farklı J-B için, akıda meydana gelen azalma oranları (J_0 1.81×10^{-5} $m^3/m^2 \cdot s$, 2 bar, 10 kDa MWCO)

V_{ort} (ml)	Akı Azalma Oranı (%)				
	1:1 J-B	1:2 J-B	1:5 J-B	1:10 J-B	0:0 J-B
15	5.59	9.09	11.88	12.33	12.78
25	6.11	10.04	14.94	18.18	20.08
35	16.59	18.95	21.18	24.97	26.88
45	13.22	20.45	25.29	29.58	30.71
55	20.45	25.94	28.11	34.67	36.83
65	17.79	25.62	32.35	38.41	41.16
75	26.57	30.43	38.85	44.03	46.14
85	25.62	32.35	44.03	48.40	50.20
95	32.35	37.74	43.29	50.20	55.14
105	29.29	39.71	48.86	54.66	58.09
115	33.40	44.39	54.30	60.04	62.97
125	29.58	44.57	57.47	64.64	67.08



Şekil 4.6. Farklı J-B için, normalize edilmiş akının (J/J_0) değişimi (J_0 1.81×10^{-5} $m^3/m^2 \cdot s$, 2 bar, 10 kDa MWCO)

Çizelge 4.3'de görüldüğü gibi, ortalama 15 ml permeat toplandığında, akıda meydana gelen azalma, 1:1 J-B için %5.59; 1:2 J-B için %9.09; 1:5 J-B için %11.88 ; 1:10 J-B için %12.33; 0:0 J-B için %12.78'dir. Ortalama 75 ml permeat hacmine karşılık bu azalma, 1:1 J-B için %26.57; 1:2 J-B için %30.43; 1:5 J-B için %38.85 ; 1:10 J-B için %44.03; 0:0 J-B için %46.14'tür. Ultrafiltrasyon sonunda, ortalama 125 ml permeat toplandığında ise akış debisindeki azalma oranları 1:1 J-B için %29.58; 1:2 J-B için %44.57; 1:5 J-B için %57.47 ; 1:10 J-B için %64.64; 0:0 J-B için %67.08'dir.

Elde edilen sonuçlara göre, J-B ön flokleştirme uygulaması ile sistem performansı belirgin derecede gelişmektedir. Ön işlem uygulanmadan ultrafiltrasyona tabi tutulan elma suyunda ortalama 125 ml permeat hacmi toplandığında, permeat akısında % 67.08 oranında azalma söz konusu iken, uygulanan J-B oranına bağlı olarak, akıda meydana gelen bu azalma J-B arttıkça düşmektedir. En yüksek sistem performansı, uygulanan en yüksek J-B oranı olan 1:1 J-B uygulandığı işlemde gerçekleşmiştir.

J-B ilavesi ile sistem performansında ortaya çıkan gelişme, bu maddelerin etki mekanizmaları ile açıklanabilir. Jelatin, elma suyu kolloidlerinin flokleşmalarına etki ederek oluşan direnci etkilemektedir (Riedl et.al.,1998). Meyve suyuna jelatin çözeltisi ilave edilince, meyve suyundaki (-) yüklü kolloidler çökerler. Jelatinin bu elektrostatik etkisi yanında, çökmeyi hızlandırıcı kimyasal etkisi de vardır. Jelatin, meyve suyundaki bulanıklık nedeni polifenollerle suda çözünmeyen yumakçıklar oluşturur. Böylece, jelatinin çok yönlü etkisiyle meyve suyunda kuvvetli bir tortu belirir ve bu tortu meyve suyuna bulanıklık veren kaba dispers parçaları da yapısında tutar (Acar ve Gökmen, 2000).

Bentonit ise, büyük bir kısmı montmorillonit ve bir alüminyum-hidroksisilikattan oluşan, şişme özelliğinde bir kildir. Durultmadaki esas etkisi, adsorpsiyon gücüne dayanmaktadır ve etkisi daha çok proteine yöneliktir. Montmorillonit kristal tabakası üst yüzeyinde negatif, yan yüzeyinde ise pozitif yük taşımaktadır ve toplam olarak negatif yük daha ağır basmaktadır. Bu nedenle bentonitin durultma etkisi sadece adsorpsiyondan değil, meyve suyuna aynı zamanda negatif yük kazandırmasından kaynaklanmaktadır. Bentonitin orta katmanındaki katyonlar ile,

pozitif yük taşıyan proteinler yer değiştirir. Böylece özellikle termolabil proteinler bentonite bağlanmış olarak meyve suyundan uzaklaşırlar. Bentonitin durultmada bir diğer etkisi, yine adsorpsiyon yolu ile polifenol miktarını azaltmasıdır (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001; Acar ve Gökmen, 2000).

Elma suyuna jelatin ve bentonit ilave edildiğinde, jelatin meyve suyunda bulunan fenolik bileşikler ile agregasyona girerek tortu oluşturur. Bentonitin adsorpsiyon etkisi ile de, meyve suyunda jelatine bağlanmayan polifenoller ve ilave edilen jelatinin fazlası bentonite bağlanır. Bu şekilde oluşan tortu ile, membran kirlenmesine neden olan bileşiklerin bir kısmı besleme çözeltisi içerisinde tutularak membran kirlenmesi, yani por tıkanıklığının geciktirilmesi sağlanmaktadır.

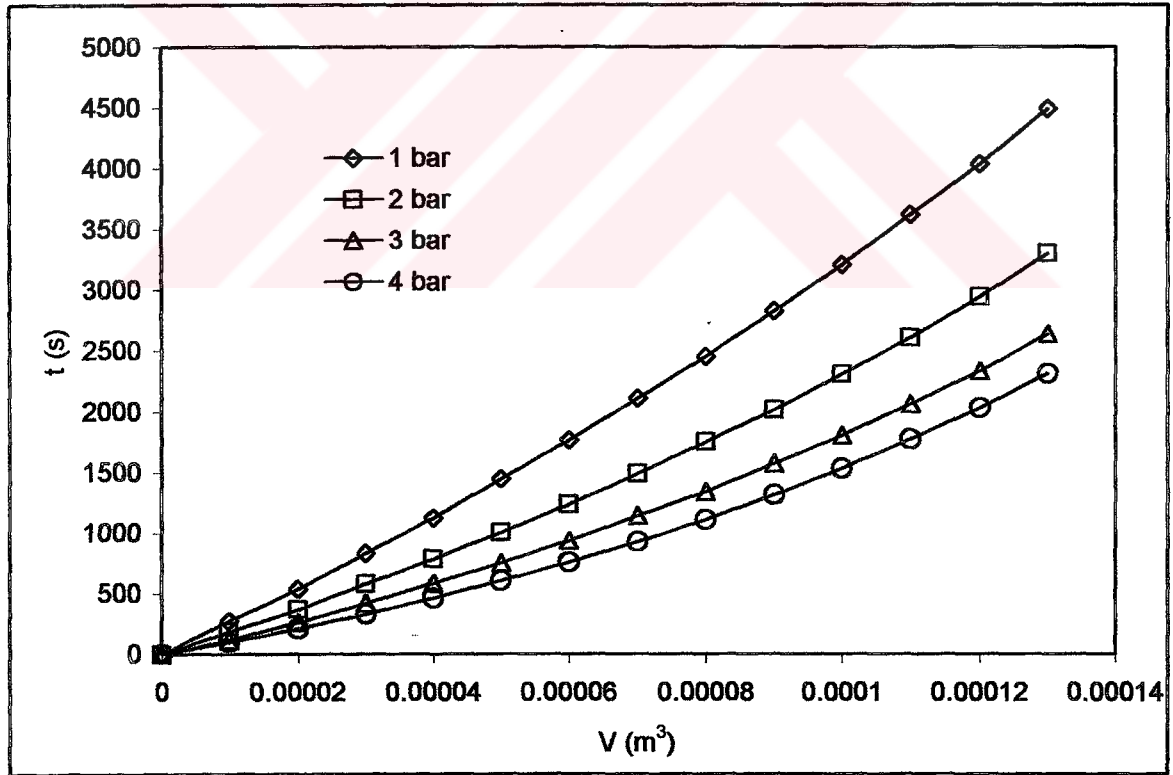
Youn et al. (2004) elma suyu ultrafiltrasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, durultma yardımcı maddesi kullanılmasının permeat akısını artırdığını ve durultma yardımcı maddelerinden bentonitin, membran filtrasyon verimliliğine en yüksek oranda katkı sağlayan yardımcı madde olduğunu bildirmişlerdir. Bentonit ile ön işlemin, toplam direnci düşürdüğünü ancak membran direncini değiştirmedini öne sürmüşler ve bentonitin permeat akısında zamanla ortaya çıkan düşüşün engellenmesinde en iyi sonucu verdiğini bildirmişlerdir.

Permeat akısı değişimi ve membran kirlenme oranının öngörülmesinde önem taşıyan por çapı/parçacık büyüklüğü oranını belirlemede besleme çözeltisindeki ortalama parçacık büyüklüğü önem taşımaktadır (Vyas et.al, 2000). Genel olarak, filtre edilen çözeltideki parçacık büyüklüğü azaldıkça, ortalama akıda azalma görülmekte, daha büyük parçacıklara sahip çözeltilerde daha yüksek permeat akıları elde edilmektedir (Tarleton and Wakeman,1993; Vyas et al., 2000). Çalışmada, ham elma suyunda bulunan ve membranın kirlenmesine, dolayısıyla sistem performansının düşmesine sebep olan fenolik bileşikler ve proteinler, uygulanan J-B'in elektrostatik ve adsorptif etkileri ile çözelti içerisinde büyük moleküller halinde tutularak membran üzerine birikmeleri ve kirlenmeye sebep olmaları engellenmektedir.

4.4. Basıncın Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkileri

Şekil 4.7'de farklı basınçlar için permeat hacmi (V) – zaman (t) grafikleri verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde, uygulanan basınç arttıkça, aynı miktarda permeat toplamak için gereken sürenin kısaldığı görülmektedir. 1 bar basınç altında gerçekleştirilen ultrafiltrasyon işleminde 130 ml permeat hacmi toplamak için gereken süre 4497 s iken, uygulanan basıncın artmasıyla aynı miktar permeat hacmi toplanması için gereken süre kısalmakta, uygulanan en yüksek basınç olan 4 bar basınç altında bu süre 2313 s'ye kadar düşmektedir.

Çizelge 4.4'de ise, farklı basınçlar altında gerçekleştirilen ultrafiltrasyon işlemlerinde elde edilen permeat hacmi (V) - zaman (t) verileri kullanılarak, Bölüm 4.2'de açıklanan şekilde elde edilen a ve b parametreleri ile bu parametrelerden hesaplanan kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri verilmektedir.



Şekil 4.7. Farklı basınçlar için permeat hacmi (V) – zaman (t) grafikleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)

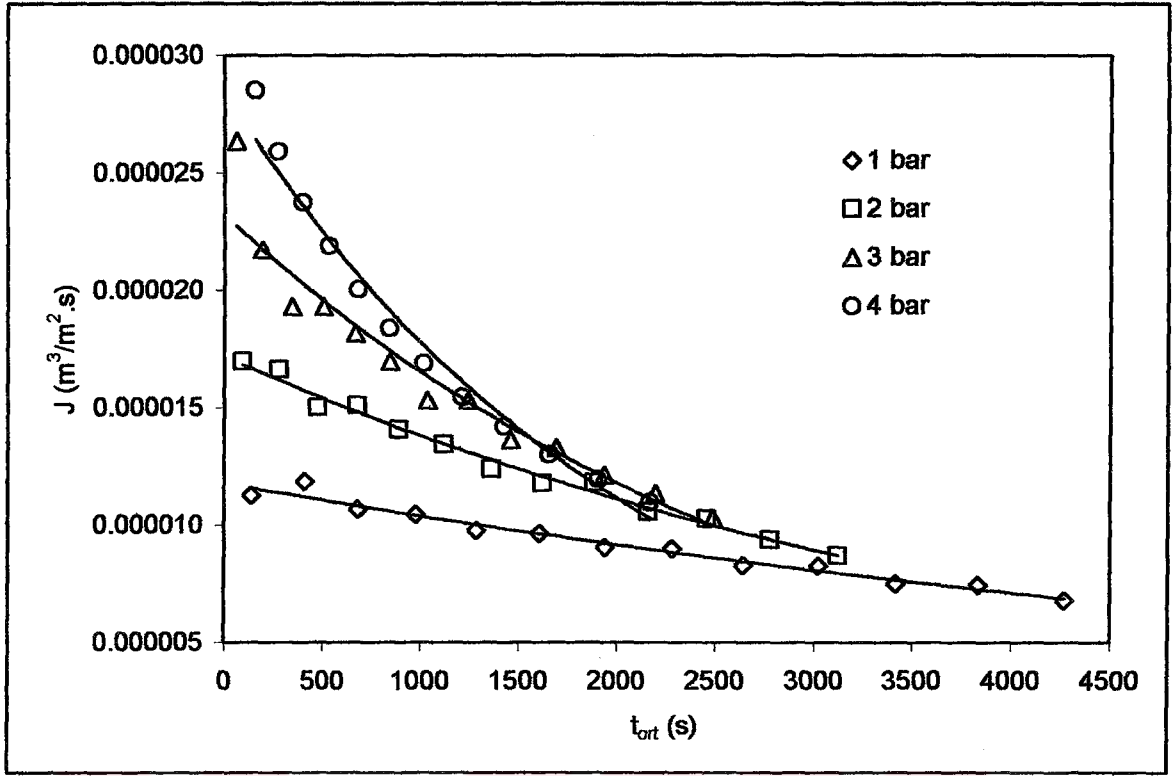
Çizelge 4.4. Farklı basınçlar için a ve b parametreleri ve kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)

P (bar)	a (s)	b (m^{-3})	k (m^{-1})	R_m (m^{-1})	r
1	6032.66	4276.24	13.75	0.83×10^{13}	0.99
2	3228.93	5401.27	17.37	1.12×10^{13}	0.99
3	1883.64	6727.52	21.63	1.22×10^{13}	0.99
4	1118.20	8625.33	27.73	1.24×10^{13}	0.99

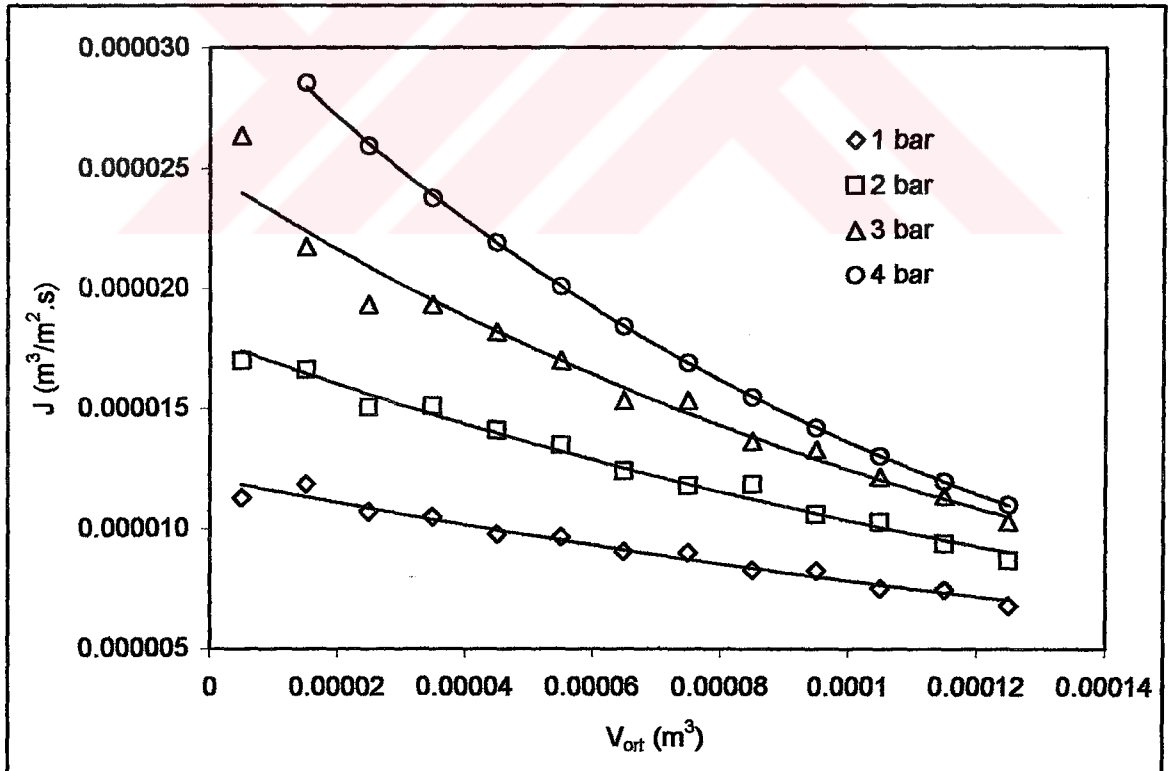
Çizelge 4.4 incelendiğinde, uygulanan basınç arttıkça, hem membran direnci (R_m) değerinin, hem de kirlenme sabiti (k) değerinin arttığı görülmektedir. Uygulanan basınç arttıkça membran daha sıkı bir yapı almakta, bu nedenle de membran direnci yükselmektedir. Bununla birlikte, uygulanan basıncın artmasıyla birlikte kirlenme sabiti değerinde artış görülmesi, ultrafiltrasyon ilerledikçe toplam dirençte ortaya çıkacak artışın daha yüksek olacağını, dolayısıyla akıda daha yüksek oranda azalma görüleceğini ifade etmektedir.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da farklı basınçlar için zaman (t) -akı (J) ve ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - akı (J) grafikleri verilmektedir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 incelendiğinde, basıncın artırılması ile başlangıç akısı değerlerinde bir artış olduğu, ancak ultrafiltrasyonun ileri aşamalarında, yüksek basınçlarda akıda meydana gelen düşüşün çok daha belirgin olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5'de, farklı basınçlar için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - akı (J) verilerinin, Eşitlik 3.13'e göre, Curve Expert ver.1.3 programı ile analiz edilmesi ile elde edilen başlangıç akısı (J_0) değerleri verilmektedir. Başlangıç akısı değerleri incelendiğinde, uygulanan basınç arttıkça başlangıç akısında belirgin bir artışın olduğu görülmektedir. 1 bar basınç altında başlangıç akısı değeri $1.204 \times 10^{-5} m^3/m^2.s$ iken, 4 bar basınç altında bu değer $3.224 \times 10^{-5} m^3/m^2.s$ 'ye yükselmektedir.



Şekil 4.8. Farklı basınçlar için zaman (t) – akı (J) grafikleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)



Şekil 4.9. Farklı basınçlar için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) grafikleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)

Çizelge 4.5. Farklı basınçlar için başlangıç akısı (J_0) değerleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)

P (bar)	J_0 ($m^3/m^2.s$)	r
1	1.204×10^{-5}	0.98
2	1.775×10^{-5}	0.99
3	2.512×10^{-5}	0.98
4	3.224×10^{-5}	0.99

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilen akı değişim grafiklerinde dikkat çeken bir diğer nokta, uygulanan basıncın artmasıyla, ultrafiltrasyon ilerledikçe akıda görülen düşmenin daha belirgin hale gelmesidir. Daha önce belirtildiği gibi, uygulanan basıncın artmasıyla kirlenme sabitinde (k) yükselme görülmesi de, akıda bu yönde bir değişim beklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.6'da, farklı basınçlar için, ortalama permeat hacmine karşılık, başlangıç akısına göre akıda meydana gelen azalma oranları verilmektedir.

Çizelge 4.6. Farklı basınçlar için, akıda meydana gelen azalma oranları (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)

V_{ort} (ml)	Akı Azalma Oranı (%)			
	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar
35	13.03	14.94	23.10	26.36
45	18.77	20.72	27.60	32.07
55	19.78	24.15	32.35	37.76
65	24.91	30.19	39.01	42.92
75	25.34	33.63	39.01	47.57
85	31.12	33.38	45.70	52.01
95	31.48	40.40	47.09	55.95
105	37.61	42.17	51.64	59.64
115	38.05	47.22	54.81	62.90
125	43.60	51.06	59.00	65.91

Çizelge 4.6 incelendiğinde, basınç arttıkça, ultrafiltrasyonun ileri aşamalarında akıda meydana gelen azalma oranında artış olduğu görülmektedir. Örneğin 35 ml permeat hacmi için akıda meydana gelen azalma 1 bar basınç altında %13.03 iken, bu değer 2 bar için %14.94, 3 bar için %23.10 ve 4 bar için ise % 26.36'ya yükselmektedir.

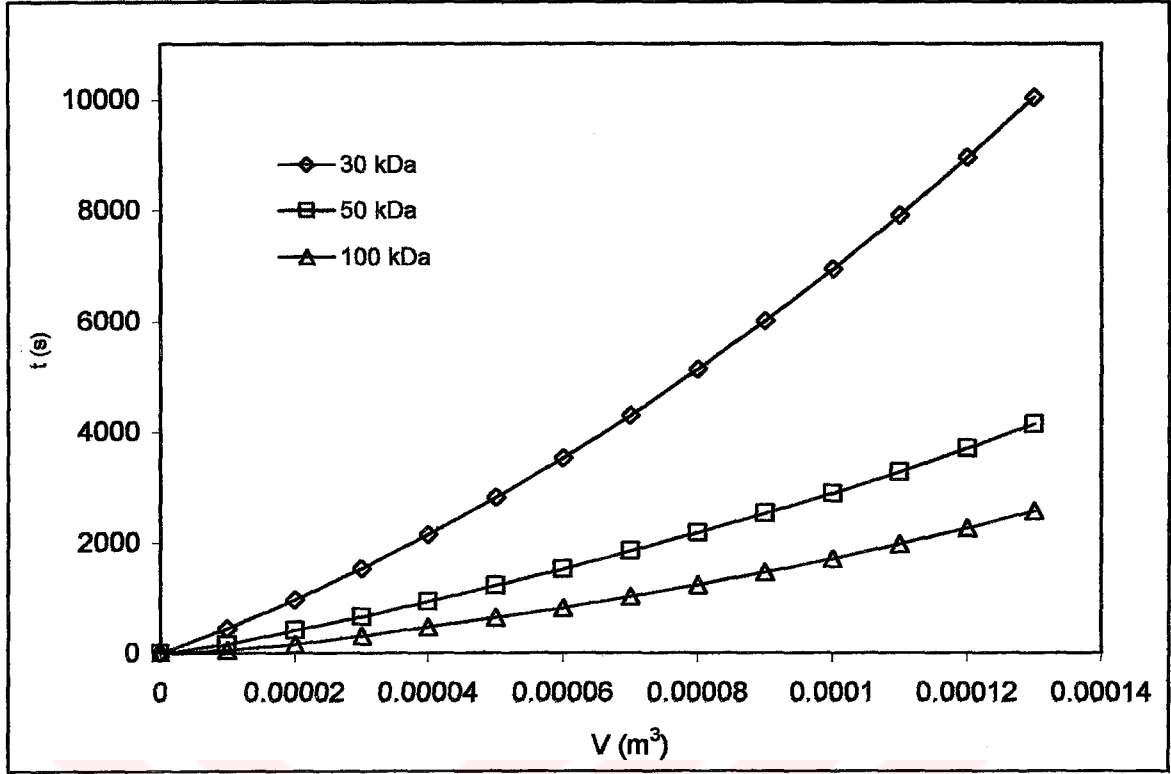
Akı grafikleri incelendiğinde, her ne kadar uygulanan basıncın artmasıyla akıda meydana gelen düşme oranı artsa da, ortalama akıda artış olduğunu görülmektedir. Bu durum, akı üzerine basıncın etkisinin, toplam direncin etkisinden çok daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Basınç arttıkça, kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerlerinde görülen artış, toplam direnci (R_{tot}) artırmakta; toplam direncin (R_{tot}) artması ise akı değerini düşürmektedir. Ancak, basıncın artırılması akıyı artıran bir faktördür ve akı üzerine basıncın etkisi, toplam direncin etkisinden çok daha fazla olduğundan, basıncın artırılması ile akıda artış görülür.

Literatürde benzer sonuçların bildirildiği çalışmalar mevcuttur. Marshall et al. (1993)'da, peynir altı suyunun ultrafiltrasyonu üzerine yapılan bir çalışmada, basıncın 1 bar'dan 4 bar'a çıkarılması ile permeat akısında artış sağlandığı, ancak aynı zamanda membran kirlenmesinin de arttığı bildirilmektedir. Aynı çalışmada, artan basınçla birlikte dirençte de artış görüldüğü bildirilmiştir. Bowen and Gan (1991), BSA ile yaptıkları çalışmada, basınç değerininin 0.14 bar'dan sırasıyla 0.34, 0.69 ve 1.38 bara çıkarılmasının başlangıç akısı değerini yükselttiğini, ancak aynı zamanda akı azalma oranını da artırdığını ortaya koymuşlardır. Marshall et al. (1993)'da, çiğ süt üzerine yapılan bir çalışmada, basıncın düşürülmesi ile akıdaki düşüşün azaldığı bildirilmiştir. Defris and Gekas (1988), basınç değerinin artırılmasının başlangıçta akıyı yükselttiğini, ancak ileri aşamalarda akı azalmasını hızlandırdığını bildirmişlerdir. Cheryan (1998), debiyi artırmanın yollarından birinin basıncı düşürmek olduğunu ifade etmektedir. Cheryan (1998)'a göre, prosesin başlangıcında, henüz membran üzerinde bir tabaka oluşmamışken basıncın artırılması ile akış debisi artacaktır. Ancak, basınç kritik sınırın üzerinde daha fazla artırılrsa dahi artık debi sabit kalacaktır. Membran üzerinde tıkanmaya sebep olan tabakaların oluşması halinde yüksek basınç altında bu tabakalar sıkışmaya başlar ve bu durum ciddi tıkanmalara sebebiyet verebilir. Song et al. (2003), kirlenme

potansiyelinde basınçla ortaya çıkan artışın muhtemel bir açıklamasının, yüksek basınçlarda daha yoğun bir kirlenme tabakasının oluşması; bu nedenle de kirlenmeye neden olan madde miktarı aynı olmasına rağmen permeat akısında daha yüksek oranda azalmanın görülmesi olabileceğini öne sürmektedir. Bruijn et al. (2002), yüksek basınç değerlerinde daha fazla miktarda kirlenme ve daha yüksek toplam direnç gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Bruijn et al. (2002)'a göre, membranın koloidal maddeler tarafından ne oranda tıkanacağı, maddelerin membran yüzeyinde birikme ve biriken maddelerin membran yüzeyinden uzaklaştırılma hızlarının birbirine oranı ile belirlenir. Yüksek basınçlarda, membran yüzeyinde birikme daha fazla olur ve yüksek basınç, membran yüzeyinde alıkonulan maddeleri; yüksek dirence sahip, kalın ve yoğun bir kirlenme tabakası oluşturacak şekilde sıkıştırır. Padilla-Zakour and McLellan (1993), akıda zamanla meydana gelen düşüşün sebebinin, membran yüzeyinde tutulan maddelerin bir tabaka oluşturması, bu tabakanın da toplam direnci artırması olduğunu öne sürmüşler ve genel olarak düşük basınç değerlerinde direncin azaldığını bildirmişlerdir. Rao et al. (1987), elma suyu ultrafiltrasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, basıncın maksimum yaklaşık 140-145 kPa'a kadar artırılması ile akının arttığını, ancak bu noktadan sonra basıncın daha fazla artırılması ile akıda düşüş görüldüğünü bildirmişlerdir. Belli bir basınçtan sonra akıda gözlemlenen bu düşüşün sebebinin, kirlenmeye sebep olan maddelerin çökerek sıkışması ve membran porlarını tıkaması olarak açıklamışlardır.

4.5. Membran Ayırma Sınırının Elma Suyunun Ultrafiltrasyon Performansına Etkileri

Şekil 4.10'da farklı MWCO için permeat hacmi (V) – zaman (t) grafikleri verilmiştir. Şekil 4.10 incelendiğinde, ultrafiltrasyonda kullanılan membranın MWCO değeri arttıkça, belirli miktarda permeat hacmi toplanması için gereken sürenin belirgin derecede kısalacağı görülmektedir. 30 kDa MWCO değerine sahip membran ile gerçekleştirilen ultrafiltrasyonda, 130 ml permeat toplanması için geçen süre 10046 s iken, bu süre membranın MWCO değeri yükseldikçe azalmakta, en yüksek MWCO değerine olan 100 kDa ayırma sınırına sahip olan membranın kullanıldığı ultrafiltrasyonda ise 2573 s'ye kadar düşmektedir.



Şekil 4.10. Farklı MWCO için permeat hacmi (V) – zaman (t) grafikleri (1:5 J-B, 2 bar)

Çizelge 4.7’de, hacim-zaman verileri kullanılarak Bölüm 4.2.’de açıklanan şekilde elde edilen a ve b parametreleri ile bu parametrelerden hesaplanan kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.7. Farklı MWCO için a ve b parametreleri ve kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m) değerleri (1:5 J-B, 2 bar)

MWCO (kDa)	a (s)	b (m ⁻³)	k (m ⁻¹)	R_m (m ⁻¹)	r
30	6690.07	7080.62	22.76	3.05×10^{13}	0.99
50	3387.18	6154.76	19.79	1.34×10^{13}	0.99
100	1073.09	9454.63	30.40	0.65×10^{13}	0.99

Çizelge 4.7 incelendiğinde, en düşük kirlenme sabiti (k) değerinin 30 kDa MWCO değerine sahip membrana, en yüksek değer ise 100 kDa MWCO değerine sahip membrana ait olduğu görülmektedir. Membran direnci (R_m) değeri ise, membranın MWCO değeri yükseldikçe düşmektedir. MWCO değeri yükseldikçe, membran por

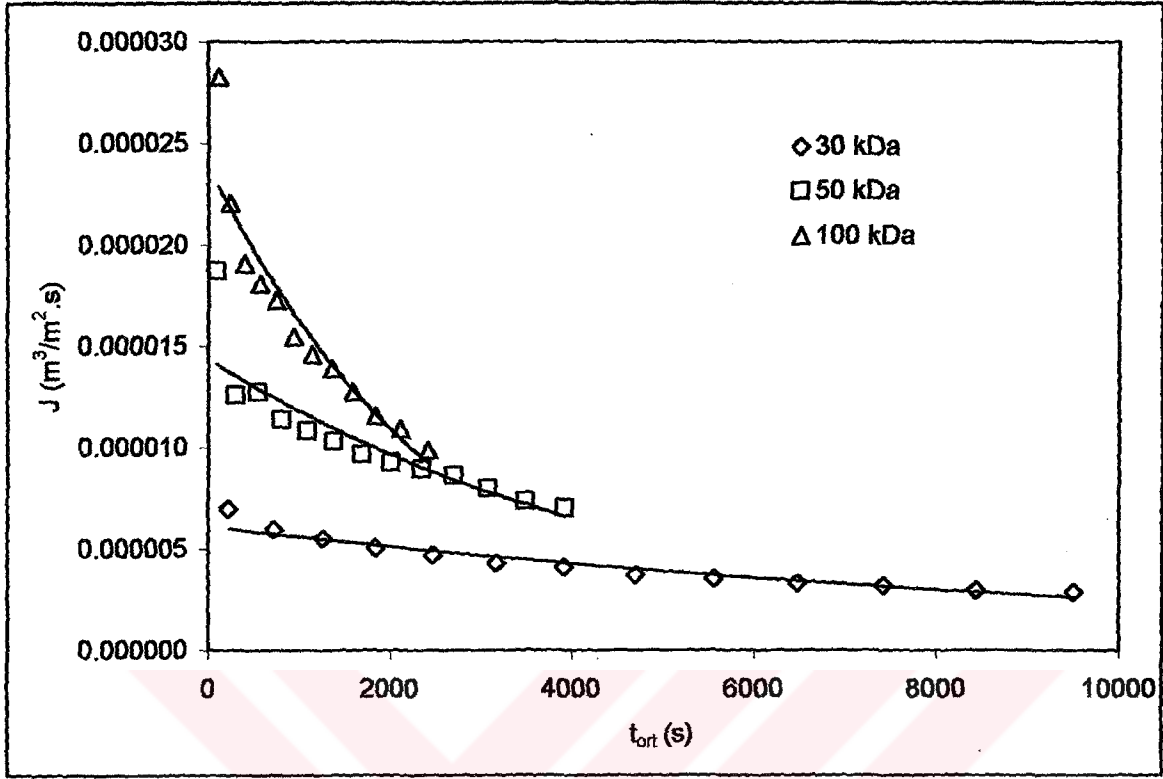
çapı da büyümekte ve porlardan geçiş kolaylaştığından membran direnci değeri düşmektedir. Ancak, por çapının büyümesi, porların içerisinde birikmenin olmasına ve membranın daha çabuk kirlenmesine sebep olmaktadır. MWCO değerinin artmasıyla kirlenme sabiti (k) değerinde görülen artış, ultrafiltrasyon ilerledikçe toplam dirençte medyana gelecek artışın daha yüksek olacağına, dolayısıyla akıda daha yüksek oranda düşme görüleceğinin göstergesidir. Çizelgelerde, 50 kDa MWCO değerine sahip membranın kullanıldığı ultrafiltrasyon işlemine ait kirlenme sabiti (k) değerinde sapma olduğu görülmektedir. Bu membran için beklenen kirlenme sabiti (k) değeri mevcut değerden daha yüksek bir değerdir.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de farklı MWCO için zaman (t) -akı (J) ve ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - akı (J) grafikleri, Çizelge 4.8'de ise, farklı MWCO için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - akı (J) verilerinin, Eşitlik 3.13'e göre, Curve Expert ver.1.3 programı ile analiz edilmesi ile elde edilen başlangıç akısı (J_0) değerleri verilmektedir.

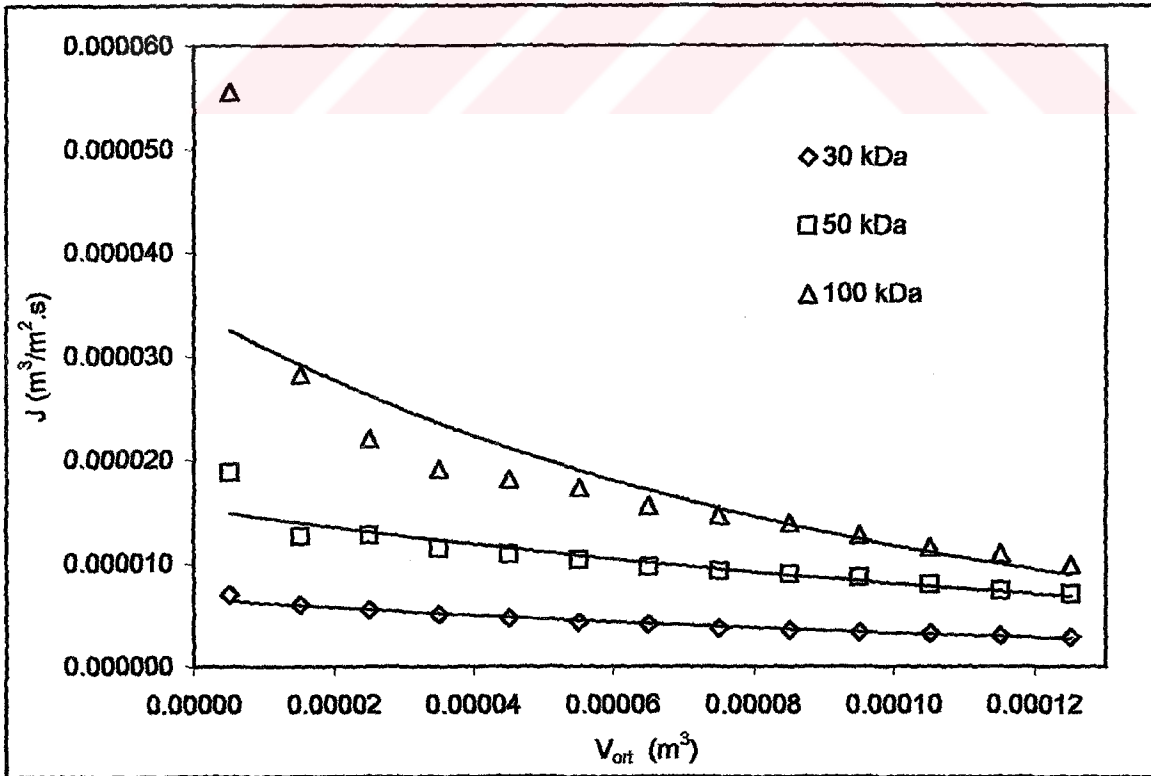
Çizelge 4.8. Farklı MWCO için başlangıç akısı (J_0) değerleri (1:5 J-B, 2 bar)

MWCO (kDa)	J_0 ($m^3/m^2.s$)	r
30	0.679×10^{-5}	0.99
50	1.605×10^{-5}	0.92
100	4.280×10^{-5}	0.87

Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi, MWCO değeri yükseldikçe başlangıç akısı değeri yükselmektedir. Elma suyu ultrafiltrasyonlarında ortalama 10 kDa MWCO değeri ne sahip membranlar kullanılır. Özellikle 50 ve 100 kDa MWCO değerine sahip membranlar, elma suyu ultrafiltrasyonuna uygun membranlar değildirler. Ancak, MWCO değerinin ultrafiltrasyon performansına etkisini ve De La Garza and Boulton (1984)'un üssel (exponential) modelinin farklı koşullar altında uygulanabilirliğini test etmek üzere, bu yüksek MWCO değerlerine sahip membranlarla denemeler yapılmıştır. Çizelge 4.8 incelendiğinde, membranın MWCO değeri arttıkça korelasyon katsayılarının düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi, yüksek MWCO değerine sahip membranların kullanıldığı denemelerde akının oldukça yüksek olması nedeniyle toplanan verilere ilişkin hata oranının artmasıdır.



Şekil 4.11. Farklı MWCO için zaman (t) – akı (J) grafikleri (1:5 J-B, 2 bar)



Şekil 4.12. Farklı MWCO için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) grafikleri (1:5 J-B, 2 bar)

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilen, 100 kDa MWCO değerine sahip membrana ait akı değişimi incelendiğinde, beklenildiği gibi, akıda, 30 ve 50 kDa MWCO değerine sahip membranların kullanıldığı ultrafiltrasyonlarda gerçekleşen akı düşmelerine oranla çok daha hızlı bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. 100 kDa MWCO değerine sahip membranın kullanıldığı ultrafiltrasyon işleminde başlangıç akısı $4.280 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ iken, 15ml / 55 ml / 95 ml / 125 ml ortalama permeat hacmi sonunda akı değeri sırasıyla $2.827 \times 10^{-5} / 1.728 \times 10^{-5} / 1.275 \times 10^{-5} / 0.987 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 'ye düşmektedir. İşlem sonunda, başlangıç akısına göre akıda meydana gelen azalmanın oranı %76.9'dur. 50 kDa MWCO değerine sahip membranın kullanıldığı ultrafiltrasyon işleminde başlangıç akısı $1.605 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ iken, 15ml / 55 ml / 95 ml / 125 ml ortalama permeat hacmi sonunda akı değeri sırasıyla $1.259 \times 10^{-5} / 1.033 \times 10^{-5} / 0.861 \times 10^{-5} / 0.702 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 'ye düşmektedir. İşlem sonunda, başlangıç akısına göre akıda %56.3 oranında azalma meydana gelmektedir. 30 kDa MWCO değerine sahip membranın kullanıldığı ultrafiltrasyon işleminde ise, başlangıç akısı $0.679 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$; 15ml / 55 ml / 95 ml / 125 ml ortalama permeat hacmi sonundaki akı değeri sırasıyla $0.596 \times 10^{-5} / 0.429 \times 10^{-5} / 0.331 \times 10^{-5} / 0.286 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, işlem sonunda, başlangıç akısına göre akıda meydana gelen azalmanın oranı %57.9'dur.

Membran seperasyon proseslerinde, kullanılacak membranın MWCO değerinin belirlenmesinde öncelikle dikkate alınması gereken unsur, çözüldüden ayrılmak istenen parçacıkların büyüklüğü ve özellikleridir. Ayrılmak istenen parçacık çapının, kullanılan membranın por çapı ile aynı büyüklüklerde olduğu durumlarda, besleme çözeltisinde bulunan daha küçük parçacıkların bazıları, porlardan geçmek yerine porların içerisinde birikebilmektedir. Porlarda meydana gelen bu fiziksel engelleme akıda ani bir düşüşün ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Cheryan,1998). 100 kDa MWCO değerine sahip membranda görülen akı düşüşünün sebebi de budur.

Bazı çalışmalarda, permeat akısına göre bir optimum por çapı tanımlaması getirilmektedir. Le et al. (1984), por çapının $0.2 \mu\text{m}$ 'den $0.45 \mu\text{m}$ 'ye çıkarılması ile debinin arttığını, ancak por çapının $0.45 \mu\text{m}$ 'den $0.60 \mu\text{m}$ 'ye çıkarılması ile tekrar düştüğünü bildirmişlerdir.

Por çapının artması ile membran direncinin düştüğü, ancak membran kirlenmesinin arttığı yönünde sonuçlara ulaşılan birçok çalışma mevcuttur. Gatenholm et al. (1988), 100 kDa UF membranı (yaklaşık por çapı 0.06 m) ve 0.8 m MF membranı kullanarak yaptıkları çalışmada, MF membranında akıdaki düşüşün çok daha yüksek olduğunu ve MF membrandaki son akının, UF membrandakinden daha düşük olduğunu saptamışlardır. Mondor et al. (2000), elma suyunun membran filtrasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, 100 kDa MWCO değerine sahip membran için başlangıç akısı değeri 157 l/m².h iken, 20 kDa MWCO değerine sahip membran için bu değerin 82 l/m².h'e, 10 kDa MWCO değerine sahip membran için ise 34 l/m².h'e düştüğünü bildirmişlerdir. Akıda meydana gelen düşme ise 100 kDa MWCO değerine sahip membran için en yüksek, 9 kDa MWCO değerine sahip membran için en düşüktür. Chmiel and McDonough (1989), yaptıkları çalışmada, büyük por çaplı MF membranında akıda meydana gelen düşüşün küçük por çaplı UF membranındakine oranla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda, De La Garza and Boulton (1984)'un üssel (exponential) modelinin elma suyunun ultrafiltrasyonunda elde edilen deneysel verilere uygun olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, elma suyu ultrafiltrasyonunda, akışa karşı oluşan toplam direnç permeat hacmi ile üssel bir şekilde artmakta, dolayısıyla permeat akısında üssel bir azalma görülmektedir.

Üssel model kullanılarak, elma suyuna uygulanan bazı ön işlemlerin, basınç ve ayırma sınırı gibi çeşitli proses parametrelerinin ultrafiltrasyon performansına (kirlenme sabiti (k) ve membran direnci (R_m)) etkileri sistematik olarak analiz edilebilmektedir.

Bu çalışmada dikey akış bir ultrafiltrasyon modülü kullanılmıştır. Oysa ticari ultrafiltrasyon sistemleri teğet akış prensibi ile çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Teğet akış ile membran yüzeyinde türbülans yaratılarak akı performansı iyileştirilebilmektedir. Araştırmada kullanılan dikey akış modülü manyetik karıştırıcı ile birlikte kullanılarak membran yüzeyinde türbülans oluşturulmuştur. Ancak bu deney düzeneğinde elde edilen sonuçların teğet akış sistemlerinde geçerliliğinin test edilmesi gerekmektedir.

Jelatin ve bentonit ile ön flokleştirmanın, akıda zamanla ortaya çıkan azalmayı sınırladığı, dolayısıyla sistem performansını geliştirdiği tespit edilmiştir. Kullanılan jelatin-bentonit konsantrasyonu arttıkça akıda meydana gelen düşüş azalmaktadır. Ancak, kullanılan jelatin-bentonit miktarının artırılması aynı zamanda atık miktarının ve elma suyu kayıplarının artmasına sebep olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, 1:5 J-B uygulaması optimum uygulama olarak değerlendirilebilir, çünkü daha az oranda jelatin-bentonit (1:10) uygulandığında akıdaki değişim, hiç jelatin-bentonit uygulanmamış elma suyu akı değişimine yakın değerlerde olmakta, sistem performansında dikkate değer bir gelişme görülmemektedir. 1:5 oranının üzerinde jelatin-bentonit uygulamalarında ise (1:2 ve 1:1), sistem akısında yüksek oranda gelişme görülmekle birlikte, uygulanan jelatin ve bentonit miktarının artması nedeniyle, hem elma suyu kayıpları artmakta, hem retentat derişimi

oldukça yoğun olduğundan sistemin temizlik ve rejenerasyonu zorlaşmakta, hem de bu yardımcı maddelerin fazla kullanımı sonucu maliyet artmaktadır.

Basıncın elma suyunun ultrafiltrasyon performansı üzerine etkisi hem olumlu, hem de olumsuz bir şekilde gerçekleşmektedir. Basıncı yükseltilmesi ile elma suyunun ultrafiltrasyonunda başlangıç permeat akısı yükselmektedir. Ancak yüksek basınç altında membran daha hızlı kirlendiğinden, düşük basınca göre daha ani bir akı azalışı ortaya çıkmaktadır.

Membran ayırma sınırı ile ilgili olarak da basınca benzer bir durum gözlenmektedir. Kullanılan membranın ayırma sınırı büyüdükçe elma suyunun başlangıç permeat akısı yükselmektedir. Ancak ultrafiltrasyonun ileri aşamalarında büyük porlara sahip membranların daha hızlı tıkanıdığı ve böylece permeat akısının ani bir şekilde azaldığı görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Acar,J., Gökmen,V.,2000, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt 1- Meyve ve Sebze Suyu Üretim Teknolojisi, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No:48, Ankara, 81-95,109-123.
- Acar,J., Gökmen,V.,2005, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt 1- Meyve ve Sebze Suları Üretimi, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara
- Aimar,P.,Taddei,C.,Lafaille,J.P.,Sanchez,V.,1988,Mass transfer limitations during ultrafiltration of cheese whey with inorganic membranes, Journal of Membrane Science 38 (3), 203-221.
- Altmann,J.,Ripperger,S., 1997, Particle deposition and layer formation at the crossflow microfiltration, Journal of Membrane Science 124, 119-128.
- Alvarez,S.,Alvarez,R.,Riera,F.A.,Coca,J., 1998, Influence of depectinization on apple juice ultrafiltration, Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects 138, 377-382.
- Alvarez,V.,Andres,L.J.,Riera,F.A.,Alvarez,R.,1996, Microfiltration of apple juice using inorganic membranes: process optimization and juice stability, The Canadian Journal of Chemical Engineering 74, 156-162.
- Bayındırlı,A.L.,1989, Mathematical Analysis of Apple Juice Filtration and Apple Juice Concentrate Production by Freze Concentration, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 69 s.
- Bayındırlı,L.,Özilgen,M.,Ungan,S.,1989, Modeling of apple juice filtrations, Journal of Food Science 54 (4), 1003-1006.
- Blatt,W.F.,Dravid,A.,Michaels,A.S.,Nelsen,L., 1970, Solute Polarization And Cake Formation in Membrane Ultrafiltration: Causes,Consequences and Control Techniques, Membrane Science and Technology-Industrial,Biological and Waste Treatment Processes, Flinn,J.E. (ed), Plenum Pres, New York-London, 47 p.
- Brauns,E.,Van Hoof,E.,Molenberghs,B.,Dotremont,C.,Doyen,W.,Leysen,R.,2002, A new method of measuring and presenting the membrane fouling potential, Desalination 150, 31-43.
- Bruijn,J.,Venegas,A.,Borquez,R.,2002, Influence of crossflow ultrafiltration on membrane fouling and apple juice quality, Desalination 148, 131-136.
- Borneman,Z.,Gökmen,V.,Nijhuis,H.H.,1997, Selective removal of polyphenols and brown color in apple juices using PES/PVP membranes in a single-ultrafiltration process, Journal of Membrane Science 134,191-197.

- Bowen,W.R.,Gan,Q.,1991, Properties of microfiltration membranes:Flux loss during constant pressure permeation of bovine serum albumin, *Biotechnology and Bioengineering* 38 (7), 688-696.
- Cemeroğlu,B. ve Karadeniz,F.,2001, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt 2- Meyve Suyu Üretim Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No:25, ISBN 975-93575-2-6, Ankara, 66-109,128-144.
- Chen,V.,Fane,A.G.,Madaeni,S.,Wenten,I.G.,1997, Particle deposition during membrane filtration of colloids: transition between concentration polarization and cake formation, *Journal of Membrane Science* 125, 109-122.
- Cheryan, M., 1998, *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*, Technomic Publication, ISBN 1-56676-598-6, Pennsylvania, 136-170, 237-288.
- Cheryan,M.,Nichols,D.J., 1992, *Modelling of Membrane Processes, Mathematical Modelling Of Food Processing Operations*, Thorne,S. (ed),Elsevier Applied Science, ISBN 1-85166-741-5, England, 49-98 p.
- Chmiel,H.,McDonough,R.M., 1989, 3rd International Conference on Fouling and Cleaning in Food Processing, (Eds: H.G.Kessler,D.B.Lund), Technische Universitat, Munich,313-322 p.
- Constenla,D.T.,Lozano,J.E.,1997, Hollow fibre ultrafiltration of apple juice: macroscopic approach, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 30, 373-378.
- Darcy,A.,1856, *Les Fontaines Publiques de la Ville Dijon*, Victor Dalmont, Paris
- Defrise,D.,Gekas,V., 1988, Microfiltration membranes and the problem of microbial adhesion:A literature survey, *Process Biochemistry* 23,105-116.
- De La Garza,F.,Boulton,R.,1984, The modeling of wine filtrations, *American Journal of Enology and Viticulture* 35 (4), 189-195.
- Elysee-Collen,B.,Lencki,R.W.,1997,Protein ultrafiltration concentration polarization layer flux resistance I.Importance of protein layer morphology on flux decline with gelatin, *Journal of Membrane Science* 129, 101-113.
- Gatenholm,P.,Fell,C.J.,Fane,A.,1988, Influence of the membrane structure on the composition of the deposit-layer during processing of microbial suspensions, *Desalination* 70, 363-378.
- Geankopolis,C.J.,1993, *Membrane separation Process, Transport Processes and Unit Operations*, 3rd. edition,Prentice-Hall,Inc., ISBN 0-1-045253-X, New Jersey, USA, 754-791.

- Girard, B., Fukumoto, L.R., 1999, Apple juice clarification using microfiltration and ultrafiltration polymeric membranes, *Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie* 32, 290-298.
- Gökmen, V., Artık, N., Acar, J., Kahraman, N., Poyrazoğlu, E., 2001, Effects of various clarification treatments on patulin, phenolic compound and organic acid compositions of apple juice, *European Research and Technology* 213, 194-199.
- Hermia, J., 1982, Constant pressure blocking filtration laws-Application to power-law non-newtonian fluids, *Transactions of the Institution of Chemical Engineering* 60, 183-187.
- Ho, C., Zydney, A.L., 2000, A combined pore blockage and cake filtration model for protein fouling during microfiltration, *Journal of Colloid and Interface Science* 232, 389-399.
- Huang, L., Morrissey, M.T., 1998, Fouling of membranes during microfiltration of surimi wash water: Roles of pore blocking and surface cake formation, *Journal of Membrane Science* 144, 113-123.
- Iritani, E., Hayashi, T., Murase, T., 1991, Analysis of filtration mechanism of crossflow upward and downward ultrafiltration, *Journal of Chemical Engineering of Japan* 24(1), 39-44.
- Jiraratananon, R., Chanachai, A., 1996, A study of fouling in the ultrafiltration of passion fruit juice, *Journal of Membrane Science* 111, 39-48.
- Kelly, S.T., Opong, W.S., Zydney, A.L., 1993, The influence of protein aggregates on the fouling of microfiltration membranes during stirred cell filtration, *Journal of Membrane Science* 80, 175-187.
- Lahoussine-Turcaud, V., Wiesner, M.R., Bottero, J., Fouling in tangential - flow ultrafiltration: The effect of colloid size and coagulation pretreatment, *Journal of Membrane Science* 52, 173-190.
- Le, M.S., Spark, L.B., Ward, P.S., 1984, The separation of aryl acylamidase by cross flow microfiltration and the significance of enzyme/cell debris interaction, *Journal of Membrane Science* 21, 219-232.
- Marshall, A.D., Munro, P.A., Tragardh, G., 1993, The effect of protein fouling in microfiltration and ultrafiltration on permeate flux, protein retention and selectivity: A literature review, *Desalination* 91, 65-108.
- McCabe, W.L., Smith J.C., Harriot, P., 2001, *Membrane Separation Processes, Unit Operations of Chemical Engineering*, McGraw-Hill Companies, Inc., ISBN 0-07-118173-3, New York, USA, 857-901.
- Mehta, B., 1973, Processing of model compositional whey solutions with pressure driven membranes, *Doktora Tezi*, Ohio State University, USA.

- Mondor, M., Girard, B., Moresoli, C., 2000, Modeling flux behavior for membrane filtration of apple juice, *Food Research International* 33, 539-548.
- Mulder, M., 1991, *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-0978-2, Netherlands, 281-311.
- Orr, C., 1977, *Filtration, Principles and Practises*, Marcel Dekker Inc., New York
- Padilla-Zakour, O., McLellan, M.R., 1993, Optimization and modelling of apple juice cross-flow microfiltration with a ceramic membrane, *Journal of Food Science* 58 (2), 369-374.
- Pirouzi Fard, M.K., 1993, *Ultrafiltrasyon İle Elma Suyu Eldesi Üzerinde Bir Araştırma, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 257 s.*
- Rao, M.A., Acree, T.E., Cooley, H.J., Ennis, R.W., 1987, Clarification of apple juice by hollow fiber ultrafiltration: Fluxes and retention of odor-active volatiles, *Journal of Food Science* 52 (2), 375-377.
- Riedl, K., Girard, B., Lencki, R.W., 1998, Interactions responsible for fouling layer formation during apple juice microfiltration, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 2458-2464.
- Sahin, S., Bayindirli, L., 1991, Assessment of the exponential model to sour cherry juice filtrations, *Journal of Food Processing and Preservation* 15, 403-411.
- Siebert, K.J., Troukhanova, N.V., Lynn, P.Y., 1996, Nature of Polyphenol - protein interactions, *Journal Of Agricultural and Food Chemistry* 44, 80-85.
- Singh, R.P., Heldmann, D.R., 2001, *Introduction to Food Engineering*, 3rd edition, Academic Pres, ISBN 0-12-646384-0, London, UK.
- Snir, R., Wicker, L., Koehler, P.E., Sims, K.A., 1996, Membrane fouling and molecular weight cutoff effects on the partitioning of pectinesterase, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44, 2091-2095.
- Song, L., 1998, Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: mechanisms and modeling of membrane fouling, *Journal of Membrane Science* 139, 183-200.
- Song, L., Chen, K.L., Ong S.L., Ng, W.J., 2004, A new normalization method for determination of colloidal fouling potential in membrane processes, *Journal of Colloid and Interface Science* 271 (2), 426-433.
- Sperry, D.R., 1917, *The Principles of Filtration*, *Chemical and Metallurgical Engineering* 17, 161-166.

- Şahin,S.,Bayındırlı,L., 1991, The effect of pretreatment on sour cherry juice filtration, Gıda, Gıda Teknolojisi Derneği (GTD) Yayın Organı 16 (3), 169-172.
- Tarleton,E.S., Wakeman, R.J., 1993, Understanding flux decline in crossflow microfiltration: Part I-Effects of particle and pore size,Transactions of the Institution of Chemical Engineering 71, 399-410.
- Toledo,R.T.,1991, Fundamentals Of Food Process Engineering,2nd Ed., Van Nostrand Reinhold, New York,602 p.
- Vyas,H.K.,Bennett,R.J.,Marshall,A.D.,2000, Influence of feed properties on membrane fouling in crossflow microfiltration of particulate suspensions, International Dairy Journal 100, 855-861.
- Vyas,H.K.,Bennett,R.J.,Marshall,A.D.,2001, Cake resistance and force balance mechanisms in the crossflow microfiltration of lactalbumin particles,Journal of Membrane Science 192, 165-176.
- Wang,L.,Song,L.,1999, Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: experimental verification of fouling dynamics, Journal of Membrane Science 160 ,41-50.
- Youn,K.S., Hong,J.H., Bae,D.H., Kim,S.J., Kim,S.D., 2004, Effective clarifying process of reconstituted apple juice using membrane filtration with filter-aid pretreatment, Journal of Membrane Science 228, 179-186.
- Zydney A.L.,Ho,C.,2002, Scale-up of microfiltration systems: fouling phenomena and V_{max} analysis, Desalination 146, 75-81.

EKLER

Ek 1. Farklı J-B için permeat hacmi (V) –süre (t) verileri (2 bar, 10 kDa MWCO)

V (ml)	Süre (s)				
	1:1 J-B	1:2 J-B	1:5 J-B	1:10 J-B	0:0 J-B
0	0	0	0	0	0
10	161	168	176	180	184
20	343	357	363	376	381
30	526	548	565	586	596
40	732	760	783	815	831
50	930	976	1013	1059	1079
60	1146	1208	1252	1322	1351
70	1355	1439	1506	1601	1643
80	1589	1686	1787	1908	1962
90	1820	1940	2094	2241	2307
100	2074	2216	2397	2586	2690
110	2317	2501	2733	2965	3100
120	2575	2810	3109	3395	3564
130	2819	3120	3513	3881	4086

Ek 2. Farklı basınçlar için permeat hacmi (V) – süre (t) verileri (1:5 J-B,10 kDa MWCO)

V (ml)	Süre (s)			
	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar
0	0	0	0	0
10	276	183	118	101
20	538	370	261	210
30	829	577	422	330
40	1126	783	583	461
50	1444	1004	754	603
60	1766	1235	937	758
70	2110	1486	1140	927
80	2456	1750	1343	1111
90	2831	2013	1571	1312
100	3208	2307	1805	1531
110	3622	2610	2061	1770
120	4039	2942	2335	2030
130	4497	3300	2637	2313

Ek 3. Farklı MWCO için permeat hacmi (V) – süre (t) verileri (1:5 J-B, 2 bar)

V (ml)	Süre (s)		
	30 kDa	50 kDa	100 kDa
0	0	0	0
10	446	166	56
20	968	413	166
30	1532	657	307
40	2148	930	470
50	2809	1217	642
60	3534	1518	822
70	4293	1840	1023
80	5127	2176	1236
90	6004	2524	1460
100	6942	2885	1704
110	7913	3275	1973
120	8959	3698	2258
130	10046	4141	2573

Ek 4. Farklı J-B için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) verileri * (2 bar, 10 kDa MWCO)

V_{ort} (ml)	Akı ($m^3/m^2.s$)				
	1:1 J-B	1:2 J-B	1:5 J-B	1:10 J-B	0:0 J-B
5	1.932E-05	1.851E-05	1.851E-05	1.728E-05	1.690E-05
15	1.709E-05	1.646E-05	1.595E-05	1.587E-05	1.579E-05
25	1.699E-05	1.628E-05	1.540E-05	1.481E-05	1.447E-05
35	1.510E-05	1.467E-05	1.427E-05	1.358E-05	1.323E-05
45	1.571E-05	1.440E-05	1.352E-05	1.275E-05	1.254E-05
55	1.440E-05	1.341E-05	1.301E-05	1.183E-05	1.143E-05
65	1.488E-05	1.346E-05	1.224E-05	1.115E-05	1.065E-05
75	1.329E-05	1.259E-05	1.107E-05	1.013E-05	9.749E-06
85	1.346E-05	1.224E-05	1.013E-05	9.340E-06	9.015E-06
95	1.224E-05	1.127E-05	1.026E-05	9.015E-06	8.120E-06
105	1.280E-05	1.091E-05	9.256E-06	8.206E-06	7.586E-06
115	1.205E-05	1.006E-05	8.271E-06	7.233E-06	6.703E-06
125	1.275E-05	1.003E-05	7.698E-06	6.399E-06	5.958E-06

* Ortalama permeat hacmi (V_{ort}) değerleri Eşitlik 3.11'e göre, akı (J) değerleri Eşitlik 3.10'a göre hesaplanmış ve bu veriler üssel (exponential) modele uyum testlerinde kullanılmıştır.

Ek 5. Farklı basınçlar için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - akı verileri * (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)

V_{ort} (ml)	Akı ($m^3/m^2.s$)			
	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar
5	1.127E-05	1.700E-5	2.636E-05	3.079E-05
15	1.187E-05	1.663E-05	2.175E-05	2.853E-05
25	1.069E-05	1.503E-05	1.932E-05	2.591E-05
35	1.047E-05	1.510E-05	1.932E-05	2.374E-05
45	9.780E-06	1.407E-05	1.819E-05	2.190E-05
55	9.659E-06	1.346E-05	1.700E-05	2.007E-05
65	9.041E-06	1.239E-05	1.532E-05	1.840E-05
75	8.989E-06	1.178E-05	1.532E-05	1.690E-05
85	8.294E-06	1.183E-05	1.364E-05	1.547E-05
95	8.250E-06	1.058E-05	1.329E-05	1.420E-05
105	7.512E-06	1.026E-05	1.215E-05	1.301E-05
115	7.458E-06	9.368E-06	1.135E-05	1.196E-05
125	6.791E-06	8.687E-06	1.030E-05	1.099E-05

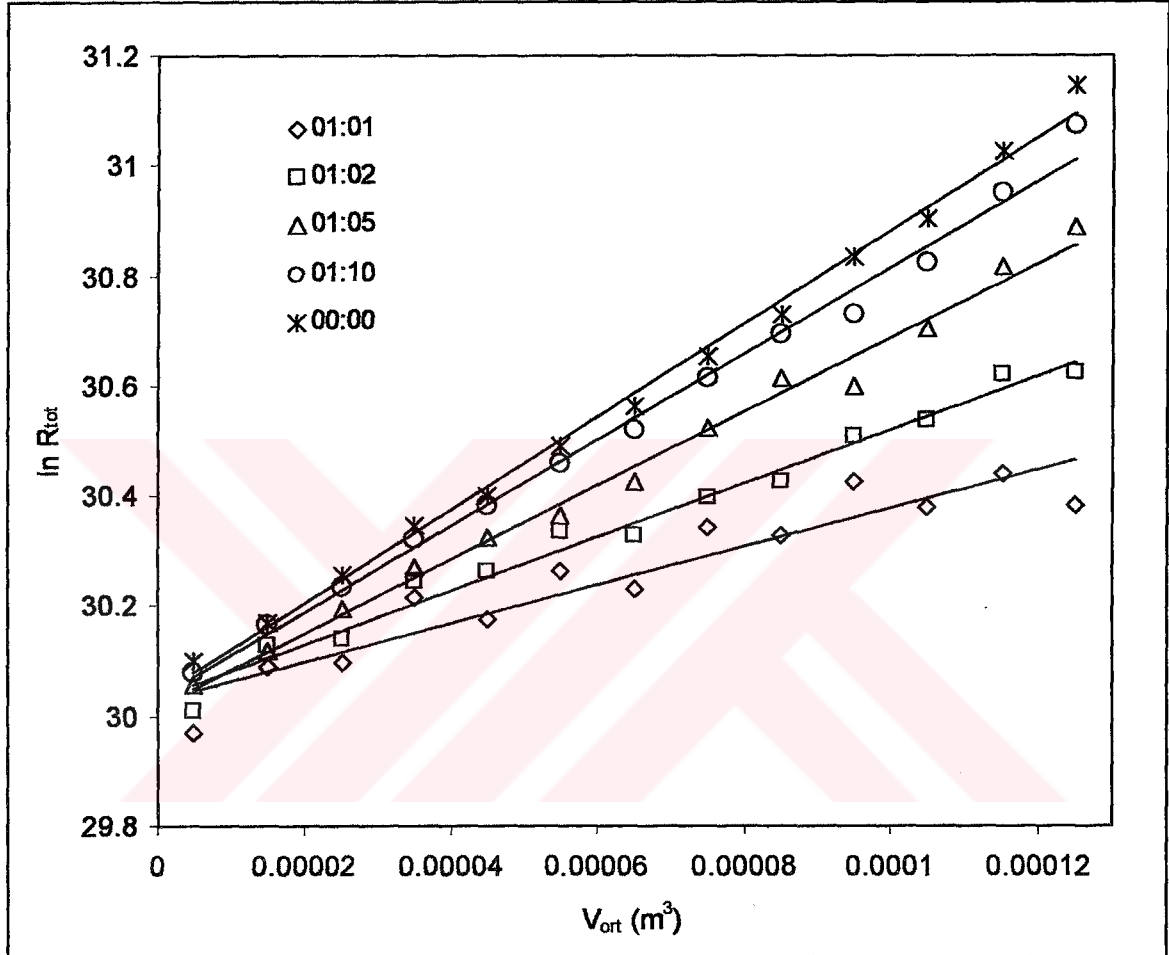
* Ortalama permeat hacmi (V_{ort}) değerleri Eşitlik 3.11'e göre, akı (J) değerleri Eşitlik 3.10'a göre hesaplanmış ve bu veriler üssel (exponential) modele uyum testlerinde kullanılmıştır.

Ek 6. Farklı MWCO için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) – akı (J) verileri * (1:5 J-B, 2 bar)

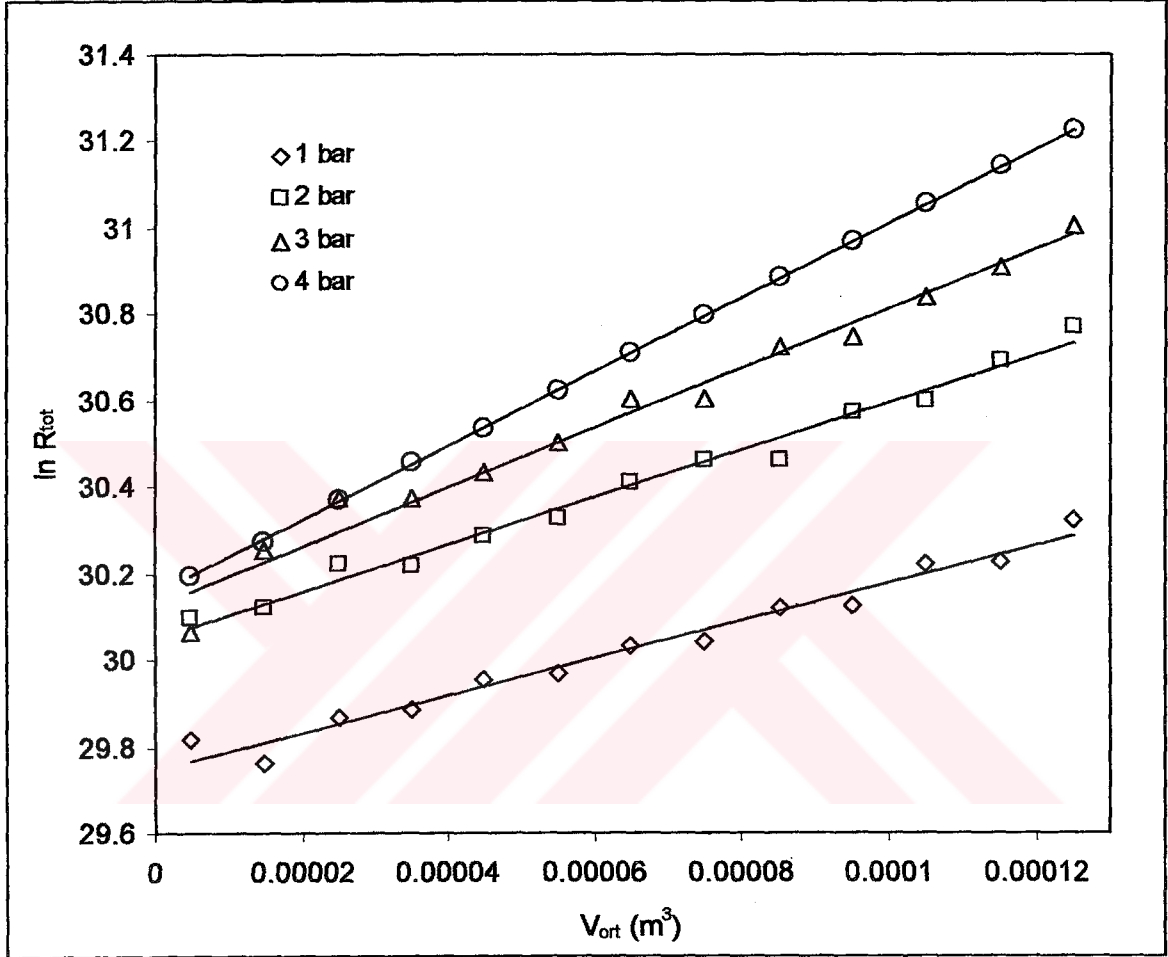
V_{ort} (ml)	Akı ($m^3/m^2.s$)		
	30 kDa	50 kDa	100 kDa
5	6.973E-06	1.874E-5	5.554E-5
15	5.958E-06	1.259E-5	2.827E-5
25	5.514E-06	1.275E-5	2.206E-5
35	5.049E-06	1.139E-5	1.908E-5
45	4.705E-06	1.084E-5	1.808E-5
55	4.290E-06	1.033E-5	1.728E-5
65	4.098E-06	9.659E-6	1.547E-5
75	3.729E-06	9.256E-6	1.460E-5
85	3.546E-06	8.937E-6	1.388E-5
95	3.316E-06	8.615E-6	1.275E-5
105	3.203E-06	7.975E-6	1.156E-5
115	2.973E-06	7.352E-6	1.091E-5
125	2.861E-06	7.020E-6	9.873E-6

* Ortalama permeat hacmi (V_{ort}) değerleri Eşitlik 3.11'e göre, akı (J) değerleri Eşitlik 3.10'a göre hesaplanmış ve bu veriler üssel (exponential) modele uyum testlerinde kullanılmıştır.

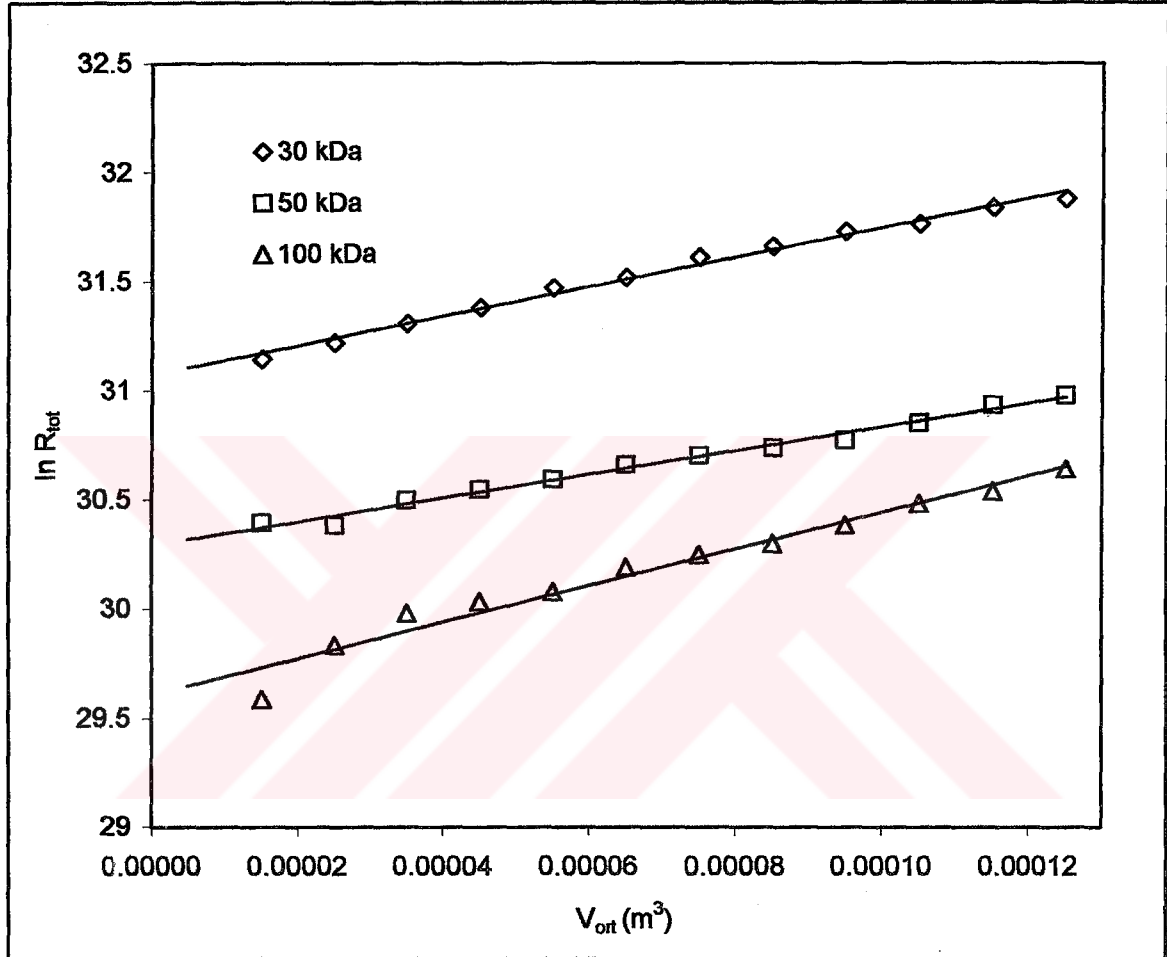
Ek 7. Farklı J-B için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - $\ln R_{tot}$ grafikleri (2 bar, 10 kDa MWCO)



Ek 8. Farklı basınçlar için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - $\ln R_{tot}$ grafikleri (1:5 J-B, 10 kDa MWCO)



Ek 9. Farklı MWCO için ortalama permeat hacmi (V_{ort}) - $\ln R_{tot}$ grafikleri (1:5 J-B, 2 bar)



ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Özge ÇETİNKAYA
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Yılı : 1979
Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1990-1997 Yıldırım Bayezit Anadolu Lisesi-Ankara
Lisans : 1997-2001 Hacettepe Üniversitesi Gıda Müh.Bölümü-Ankara

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi:

2001-2002 Catering Müdürü- NOR Organizasyon A.Ş. Ankara
2003-2004 Gıda Mühendisi- Real Hipermarketler Zinciri Bilkent Center -Ankara
2004- Araştırma Görevlisi-Hacettepe Üniv.Gıda Müh.Bölümü-Ankara