







Peyniraltı Suyunun Fraksiyonlarına Ayrılmasında Bütünleşik Membran İşlemlerinin Uygulanabilirliği

İrem Özdemir^{1,2} , Esra Altıok¹ , Dilek Selvi Gökkaya¹ , Semih Ötleş² , Nalan Kabay¹ ,
Mithat Yüksel¹ 

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İzmir

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 26.05.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 23.05.2018

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): semih.otles@gmail.com (S. Ötleş)

☎ 0 232 311 30 24 📠 0 232 342 75 92

ÖZ

Peyniraltı suyu süt teknolojisinin önemli bir yan ürünüdür. Peynir üretim endüstrilerinin yan ürünü olan peyniraltı suyu, BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) ve KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) değerlerinin yüksek olması nedeniyle çevre kirleticisi olarak düşünülmektedir. Peyniraltı suyunun yüksek organik yükü, artık süt besinlerinin varlığından kaynaklanmaktadır. Sütten türetilen ürünlere olan talebin artması, ciddi bir atık yönetimi sorunu olan peyniraltı suyu üretiminde artışına neden olmuştur. Bu sorunun üstesinden gelmek için, çeşitli teknolojik yaklaşımlar uygulanarak peyniraltı suyu katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmektedir. Peyniraltı suyunun işlenmesi için membran teknolojisi kullanılarak, peyniraltı suyunun demineralize edilmesi, konsantre hale getirilmesi ve peyniraltı suyunun verimli bir şekilde fraksiyonlarına ayrılması ve böylelikle atık yan ürünün değerli ürünler haline getirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, peyniraltı suyunun fraksiyonlanmasında ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoza (TO) dayalı bütünleşik membran işleminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, laboratuvar ölçekli bir membran test sistemi (SEPA CF II GE-Osmonics) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Konsantre ve süzüntü örneklerinin pH, sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik ve toplam çözünmüş katı (TÇK) değerleri, Hach Lange-HQD çoklu ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Örneklerin protein içeriği, Kjeldahl-N ölçümü ile, laktoz derişimi ise HPLC yöntemi kullanılarak tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, UF membranının süzüntüsü NF-90 membranından geçirildiğinde iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimi %90'lara kadar ulaşırken, NF-270 membranında %40'larda giderim sağlanmıştır. Bütünleşik UF-NF-90 ve UF-NF-270 çalışmalarında, proteinin zenginleşme oranı %26-28, protein giderimi ise %69-74 civarındayken, laktozun zenginleşme oranı sırasıyla %28 ve %11, laktoz giderimi ise sırasıyla %99 ve %97 düzeyinde olmuştur. Son aşamada, NF-270 konsantre bileşeni, BW30-RO membranı ile muamele edildiğinde laktozun zenginleşme oranı %11'lerden %19-20 düzeyine, laktoz giderimi ise %99 düzeyine kadar ulaşmıştır. Bu da bize bütünleşik bir biçimde ardışık olarak kullanılan membran işlemlerinin peyniraltı suyunun fraksiyonlarına ayrılmasında daha etkin sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bütünleşik membran işlemi, Peyniraltı suyu, Ultrafiltrasyon, Nanofiltrasyon, Ters osmoz

Application of Integrated Membrane Processes in Cheese Whey Fractionation

ABSTRACT

Whey is an important by-product of milk technology. The byproduct of cheese-producing industries, cheese whey, is considered as an environmental pollutant due to its high biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) values. High organic load of whey arises from the presence of residual milk nutrients. As demand for milk-derived products is increasing, it leads to the increased production of whey, which has a serious waste

management problem. To overcome this problem, various technological approaches have been employed to convert cheese whey into value-added products. Using membrane technology to whey processing, it has become possible to demineralize, concentrate, and fractionate cheese whey in an efficient way and thus convert the waste by-product into highly valuable products. In this study, the potential of an integrated membrane process based on ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) was investigated for fractionation of cheese whey components. Experimental studies were performed using a laboratory scale membrane test system (SEPA CF II GE-Osmotics). The pH, temperature, salinity, conductivity, and total dissolved solids (TDS) of the concentrate and permeate samples were measured by Hach Lange-HQD multi-meter. Protein contents of samples were determined by Kjeldahl-N measurement and the lactose concentration with HPLC method. According to the results, when the permeate of the UF membrane was passed through the NF-90 membrane, the conductivity, total dissolved solids (TDS) and salinity removal reached up to 90%, while the NF-270 membrane was removed at 40%. In the integrated UF-NF-90 and UF-NF-270 studies, the enrichment rate of protein was 26-28%, protein rejections were 69-74%, respectively, while the enrichment rate of lactose was 28% and 11%, lactose rejections were 99% and 97% respectively. Lastly, when the NF-270 concentrate composition was treated with the BW30-RO membrane, the enrichment rate of lactose reached up to 19-20% from 11% and lactose rejection was reached up to 99%. This showed that integrated membrane processes are more effective than a single membrane process in separating the fractions of whey.

Keywords: Cheese whey, Integrated membrane process, Ultrafiltration, Nanofiltration, Reverse osmosis

GİRİŞ

Peynir üretimi esnasında peynirin süzülmesi ile çıkan yeşil sarımsı sıvı, peyniraltı suyudur [1-2]. Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliğinde verilen tanıma göre; peyniraltı suyu, sütün peynir mayası ya da organik asitler ve/veya starter kültür yardımıyla asitliği artırılarak sıvı halden jel haline dönüştürülmesi ile elde edilen ürünün (pıhtı) kesimi sonrasında pıhtıdan ayrılan sıvı yan üründür. Peyniraltı suyu, esasen laktoz, mineraller, peynir altı suyu proteinleri, yağ ve peynir üretiminin yan ürünleri olmak üzere yaklaşık %6 düzeyinde katı içerir. Bileşimi, peynir üretim metodu, uygulanan ısı işlem ve peynirin çeşidine göre değişmektedir. Peyniraltı suyunun bileşiminde yüksek oranda protein, laktoz, yağ ve tuzlar ile laktik asit bulunur [3-5]. Genelde 'ekşi peyniraltı suyu' ve 'tatlı peyniraltı suyu' olmak üzere iki çeşit peyniraltı suyu vardır. Sütün laktik asit bakteri kültürleri yardımıyla asitleştirilmesi veya süte organik asit katılması yöntemiyle peynir yapımında açığa çıkan peynir suyu 'ekşi peyniraltı suyu' ya da 'asit peyniraltı suyu' olarak bilinir. Buna karşın peynir üretiminde pıhtılaştırıcı ajan peynir mayası enzimi (rennet) kullanılması durumunda ortaya çıkan yan ürün ise 'maya peyniraltı suyu' ya da 'tatlı peyniraltı suyu' olarak tanımlanır. Bunların gerek bileşimleri gerekse özellikleri oldukça farklıdır [6].

Peynir üretimindeki artış ile beraber elde edilen peyniraltı suyu miktarı da artmıştır. Bugün, büyük peynir üreticisi işletmeler peyniraltı suyundan yan ürün olarak yararlanmak zorundadır. Peyniraltı suyunun bazı uygulamaları mevcut olsa da, peynir endüstrisinin hala bir atık ürünü olarak kabul edilmektedir. Günümüzde, peyniraltı suyunun minör bileşenlerinin kullanımı, peyniraltı suyunun işlenmesinde büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Genellikle ön işleme tabi tutulmuş peyniraltı suyu, süt sanayinin diğer sıvıları ile birlikte kanalizasyona atıldığında, biyolojik oksijen ihtiyacının yüksek olması nedeniyle ciddi boyutlarda çevre kirliliği sorununa yol açmaktadır. Ayrıca, peyniraltı suyunun yüksek tuz ve laktoz konsantrasyon özellikleri insan beslenmesinde kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, peynir üretiminde daha çevre dostu ve verimli prosesler tasarlamak gereklidir [7-10].

Ekonomiye kazandırdığı değer ve çevre kirliliğinin önlenmesi gereğiyle peyniraltı suyu değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Peyniraltı suyundan proteinlerin ayrılmasında mikrofiltrasyon (MF), UF, NF, TO gibi membran ayırma teknikleri; laktoz, mineral tuzların ve diğer iyonların giderilmesinde ise elektrodiyaliz (ED), NF, TO ve iyon değiştirme (ID) yöntemleri kullanılmaktadır [11-14]. Bu teknikler uzun bir süredir çeşitli ülkelerde milyonlarca ton atık peyniraltı suyunun değerlendirilmesi amacıyla gerek tekli gerekse bütünlük bir biçimde ardışık olarak incelenmiş ve bu proseslerin ekonomik analizleri yapılmıştır. Peyniraltı suyunun fraksiyonlara ayrılmasında bütünlük membran proseslerin, tekli işlemlere kıyasla daha etkin sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu proseslerde işin ekonomisi kadar proseslerin sürdürülebilirlikleri de önem kazanmaktadır [15-16].

Bu çalışmada, peyniraltı suyunun fraksiyonlarına ayrılmasında farklı membranların kullanılabilirliği ve bütünlük membran yöntemlerinin uygulanabilirliği incelenmiştir.

MATERYAL ve METOT

Peyniraltı Suyunun Hazırlanması

Çalışmalarda kullanmak için, Tekirdağ'da bulunan Malkara Birlik Süt ve Süt Mamülleri A.Ş.(Maybi) firmasından Tablo 1'de özellikleri verilen peyniraltı suyu tozu örneği temin edilmiştir. Membran ayırma çalışmaları için, temin edilen peyniraltı suyu tozunun ultrasaf su içinde hazırlanmış %6'lık çözeltisi kullanılmıştır.

Tablo 1. Peyniraltı suyu tozu örneğinin bileşimi

Bileşen	Bileşim (%)
Protein	11.55
Laktoz	78.82
Yağ	0.33
Tuz	Belirtilmemiştir.
pH	6.48

Membranlar

Sepa CF-II (Sterlitech Corporation, ABD) membran test hücrelerinde, 19 cm x 14 cm boyutlarında düz tabaka membran yerleştirilerek membran testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda 2 farklı UF, 2 farklı NF, bir tane TO membranı ile testler yapılmıştır. NF

membran testleri için NF-90 ve NF-270 membranları (DOW FILMTEC™, ABD); UF membranı olarak Osmonics-JW, -GM membranları (GE Osmonics, ABD), TO membran testleri için ise Dow FilmTech BW30 membranı (DOW FILMTEC™, ABD) kullanılmıştır. Bu membranların özellikleri Tablo 2- 4'de verilmiştir.

Tablo 2. UF membranlarının özellikleri (GE Osmonics Water & Process Technologies, 2014)

Membran Türü	JW	GM
Üretici	GE Osmonics	GE Osmonics
Malzeme	Poliviniliden Florür	Polietilen Glikol
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	50	50
Maksimum Çalışma Basıncı (bar)	7	13.8
Tipik İşletme Akısı (gfd*)	5-20	5-20
pH Kullanım Aralığı	2-10	2-10

*gfd: l/m².h

Tablo 3. NF membranlarının özellikleri (Dow Water & Process Solutions, 2014)

Membran Türü	NF-270	NF-90
Üretici	DOW FILMTEC	DOW FILMTEC
Malzeme	İnce Film Kompozit	İnce Film Kompozit
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	45	45
Maksimum Çalışma Basıncı (bar)	41	41
pH Kullanım Aralığı	3-10	3-10
Tuz Giderimi (%)	> 97.0	> 85.0
Moleküler Ağırlığı Ayırma Sınırı (dalton*)	400	200

*Dalton: Atomik kütle birimi.

Tablo 4. TO membranının özellikleri (Dow Water and Process Solutions, 2014)

Membran Türü	TO-BW30
Üretici	DOW FILMTEC
Malzeme	İnce Film Kompozit
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	45
Maksimum Çalışma Basıncı (bar)	41
pH Kullanım Aralığı	2-11
Serbest Klor Toleransı (mg/L)	< 0.1
Süzüntü Akış Hızı (psig) (1 bar)	15

UF membran testinde farklı membran türleri kullanılıyor gibi görünse de, elimizde tek tür membranın (Osmonics-JW) yeterli miktarda bulunmamasından dolayı, özellikleri birbirine yakın ve aynı işlevi gören Osmonics-GM membranı ile işlemlere devam edilmiştir. NF membran testlerinde farklı membran türlerinin kullanılmasının amacı; membran türlerini birbiriyle kıyaslamak ve peyniraltı suyunun bileşenlerine ayırımında en uygun olan membran türünü tespit edebilmektir. TO işleminde tek tür membran (BW30) kullanılmasının nedeni ise elimizde bulunan membran türlerinin arasında, peyniraltı suyu çalışmasında kullanılabilir en uygun, tek membran türü olmasıdır.

Çapraz Akışlı Membran Test Sistemi

Deneyisel çalışmalarda laboratuvar ölçekli çapraz akışlı düz tabaka membran test ünitesi (SEPA CF II GE Osmonics) (Sterlitech Corporation, ABD) kullanılmıştır. Sistem üzerinde düz tabaka membran ünitesi, kontrol paneli, hidrolik el pompası (Enerpac P-2282 model),

yüksek basınç pompası (Hydra Cell D/G-03-X Tipi) ve besleme tankları Şekil 1'de görüldüğü gibi özel imal edilen paslanmaz çelik masa üzerine yerleştirilmiştir.

Analizler

Laboratuvar ölçekli membran test sistemi (SEPA CF II GE-Osmonics) kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar boyunca, besleme, konsantre ve süzüntü örneklerinin pH, sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik ve TÇK (toplam çözünmüş katı) gibi parametreleri Hach Lange-HQD çoklu ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Hach Lange-HQD çoklu ölçüm cihazı; pH, OIP (oksidasyon indirgeme potansiyeli), iletkenlik, TÇK, direnç ve tuzluluk gibi birçok parametre için çift kanallı portatif multimetredir. Dijital ölçüm cihazı/elektrot sistemi, güvenilirlik, esneklik ve kolay kullanımı bir araya getirir. Birbirinin yerine kullanılabilen elektrotlar, otomatik olarak tanınır ve tüm ilgili verileri depolar. Bu çalışmada, Hach Lange-HQD çoklu ölçüm cihazı ile peyniraltı suyunun deneme başlangıcında besleme çözeltisinin, deneme

sırasında ve sonunda ise süzüntü ve konsantre bileşenlerinin iletkenlik, TÇK ve tuzluluk değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar tablolaştırılarak, başlangıçtaki besleme çözeltisi ile, zamanla değişkenlik gösteren süzüntü ve konsantre bileşenlerinin iletkenlik, TÇK ve tuzluluk değerleri arasındaki fark hesaplanarak, besleme çözeltisi üzerinden giderimler belirlenmiştir.

Sonuç olarak, iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimlerinin belirlenmesiyle, kullanılan membranın süzüntü ve konsantre bileşenlerini birbirinden ayırma etkinliği en iyi şekilde gözlenmiş olur.



Şekil 1. Laboratuvar ölçekli çapraz akış düz tabaka membran test ünitesi.

Denemeler sırasında ve sonrasında toplanan besleme, konsantre ve süzüntü örneklerinin protein içeriği, Kjeldahl-N yöntemiyle, laktoz içeriği ise HPLC kullanılarak belirlenmiştir.

HPLC analizi [17], RI dedektörlü Agilent 1200 model cihaz kullanılarak, mobil faz olarak 0.6 mL/dk akışta ultrasaf su, 65°C kolon sıcaklığında kolondan (Bio Rad HPX-87H kolonu) geçirilerek yapılmıştır.

Kjeldahl-N analizi [18], Gerhart Vapodest 20 model protein tayin cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Laktoz ve protein analizlerinde, besleme, süzüntü ve konsantre akımlarındaki laktoz ve protein miktarı mg/l cinsinden bulunup, yüzde (%) olarak ifade edilmiştir. Protein ve laktoz giderimleri ise, başlangıçta besleme içerisindeki protein ya da laktoz miktarının, membran işlemi sonrasında süzüntü içerisinde kalan o bileşenin miktarı arasındaki fark alınarak, % olarak ifade edilmiştir. Ayrıca protein ve laktoz bileşenlerinin zenginleştirme oranları verilmiştir. Zenginleştirme oranı; peyniraltı suyunun membran işlemi ile değerlendirilmesinden sonra elde edilen içindeki bileşenin (protein, laktoz vb.) derişiminin, peyniraltı suyunun işlenmeden önce içinde bulunan yine aynı bileşenin derişimine yüzdesel oranıdır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Bütünleşik UF + NF İşlemi

UF+NF bütünleşik ilk membran çalışmasında, UF membranı olarak Osmonics –JW; NF membranı olarak FilmTech NF-90 membranı kullanılmıştır. İkinci

çalışmada ise, UF membranı olarak Osmonics –JW; NF membranı için ise FilmTech NF-270 membranı kullanılmıştır. Uygulanan bütünleşik membran yöntemlerinin akım şeması Şekil 2’de verilmiştir.

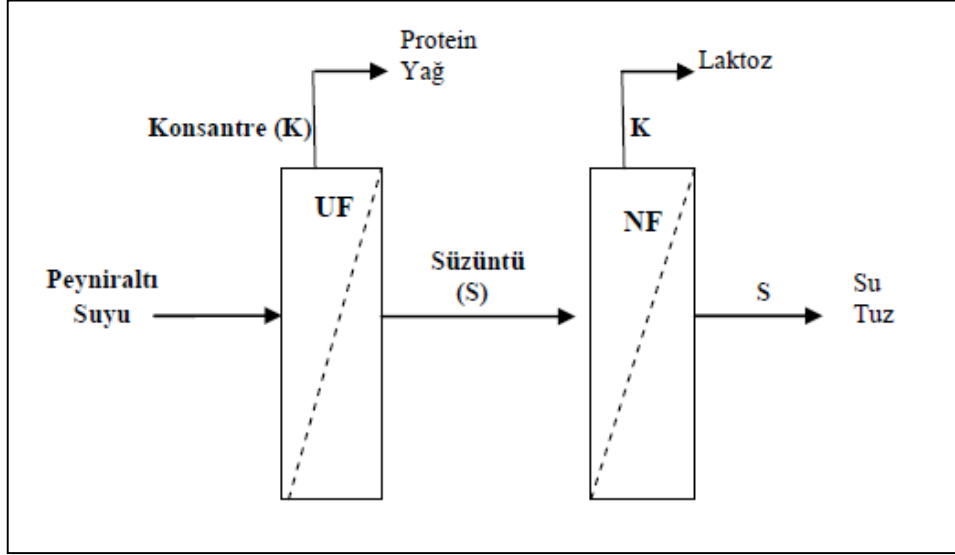
JW-UF membranı ile yapılan deneyler 7 bar basınç altında gerçekleştirilmiş, NF-90 ve NF-270 membranları için süzüntü toplanmıştır. JW-UF membranının ortalama süzüntü akışı 24.3 - 24.5 L/m².saat’dir.

Her iki çalışmada UF aşamasında besleme, konsantre ve süzüntü örneklerinin protein içerikleri (Kjeldahl metodu) ve çalışma sonrası besleme örneğindeki protein giderimi Tablo 5’te verilmiştir.

JW-UF membranından toplanan süzüntü, NF-90 ve NF-270 membranları için besleme çözeltisi olarak kullanılmıştır. NF membranlarıyla 10 bar basınç altında, 4 saat süreyle çalışılmıştır. NF-90 ve NF-270 membranları için zamana karşı süzüntü akışı değişimi Şekil 3’de gösterilmiştir. NF-90 ve NF-270 membranlarının ortalama süzüntü akıları sırasıyla 22.5 ve 36.6 L/m².saat’dir.

NF-90 ve NF-270 membranları ile elde edilen süzüntü ve konsantre örneklerinin zamana karşı pH, iletkenlik, TÇK ve tuzluluk değişimleri Tablo 6’da verilmiştir.

UF süzüntüsünden NF-90 ve NF-270 membranları kullanılarak elde edilen zamana karşı iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimleri Şekil 4a-c’de gösterilmiştir. NF-90 membranı için ortalama iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimi sırasıyla %88.9, %88.9 ve %85.6 düzeyinde iken, NF-270 membranı ile bu değerler sırasıyla %39.9, %41.5 ve %42.0 düzeyindedir.

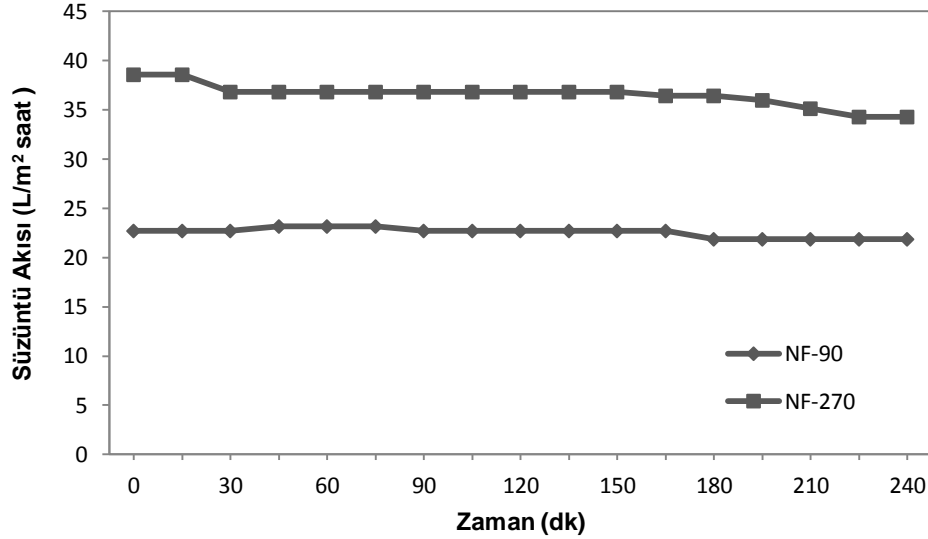


Şekil 2. Bütünleşik UF+NF işlemi ile peyniraltı suyu bileşenlerinin ayrılması

Tablo 5. UF-JW membranı için peyniraltı suyu besleme, konsantre ve süzüntü bileşenlerinin protein içerikleri

Bileşenler	Protein (%)		Zenginleştirme Oranı (%)		Protein Giderimi (%)	
	1. Çalışma	2. Çalışma	1. Çalışma	2. Çalışma	1. Çalışma	2. Çalışma
UF-Besleme	0.81	0.77	-	-	75.30	68.83
UF-Konsantre	1.04	0.97	28.30	25.84	-	-
UF- Süzüntü	0.20	0.24	-	-	-	-

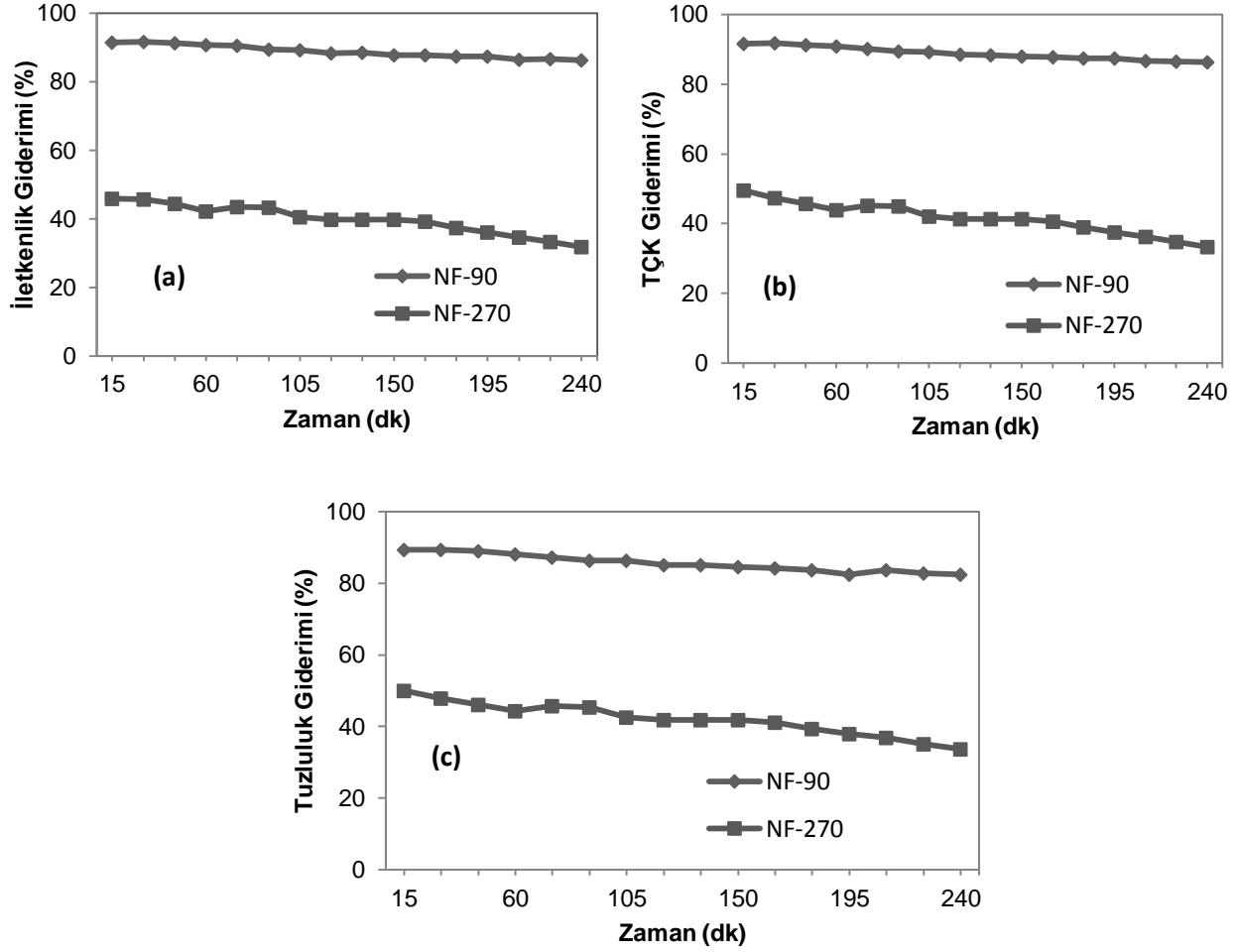
*1. Çalışma: NF-90 membranına besleme yapmak için JW-UF membranı ile yapılan çalışma
*2. Çalışma: NF-270 membranına besleme yapmak için JW-UF membranı ile yapılan çalışma



Şekil 3. NF-90 ve NF-270 membranları için süzüntü akısının zamana karşı değişimi

Tablo 6. NF membranlarına ilişkin peyniraltı suyu bileşenlerinin özellikleri

Değerler	NF-90			NF-270		
	Besleme	Süzüntü	Konsantre	Besleme	Süzüntü	Konsantre
pH	5.50	5.08	5.52	5.60	5.67	5.67
TÇK (mg/L)	3010	335.4	2990	2740	1602	2715
İletkenlik (µS/cm)	6015	670	5986	5200	3126	5178
Tuzluluk (‰)	3.27	0.33	3.23	2.81	1.62	2.77



Şekil 4. NF-90 ve NF-270 membranları ile elde edilen zamana karşı (a) iletkenlik, (b) TÇK ve (c) tuzluluk giderimleri

NF-90 ve NF-270 membran çalışmalarından sonra elde edilen besleme, konsantre ve süzüntü örneklerinin

laktöz içerikleri ve besleme örneğindeki laktöz giderimi Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. NF-90 ve NF-270 membranları için peyniraltı suyunun besleme ve konsantre bileşenlerinin laktöz içerikleri

Bileşenler	Laktöz (%)		Zenginleştirme Oranı (%)		Laktöz Giderimi (%)	
	NF-90	NF-270	NF-90	NF-270	NF-90	NF-270
Besleme	56.0	41.3	-	-	99.10	97.76
Konsantre	72.0	46.0	28.60	11.40	-	-
Süzüntü	0.50	0.92	-	-	-	-

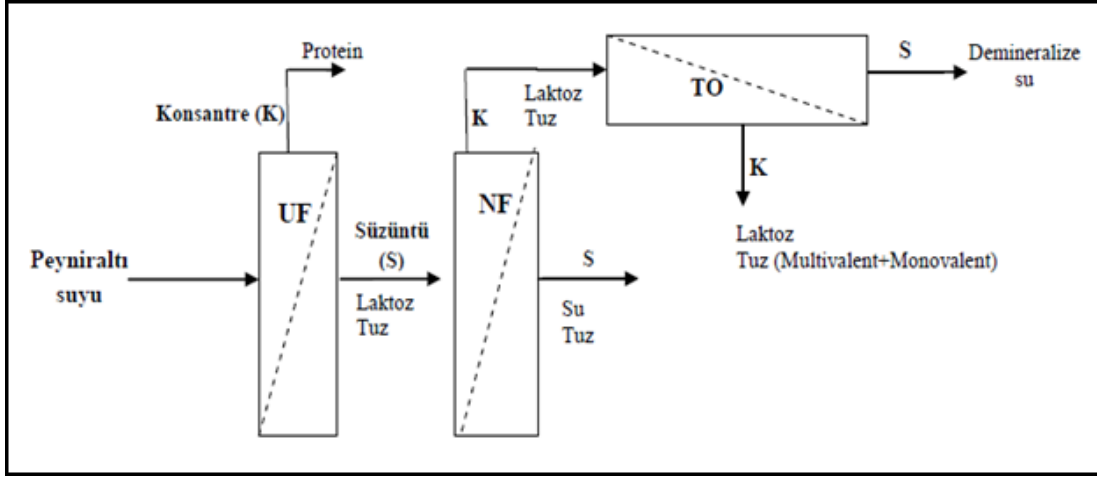
Bütünleşik UF + NF + TO İşlemi

UF+NF+TO bütünleşik membran denemesinde, UF membranı için Osmonics –JW ve GM; NF membranı için NF-270; TO membranı için ise BW30 membran modelleri kullanılmıştır. Uygulanan bütünleşik membran yöntemlerinin akım şeması Şekil 5'de verilmiştir.

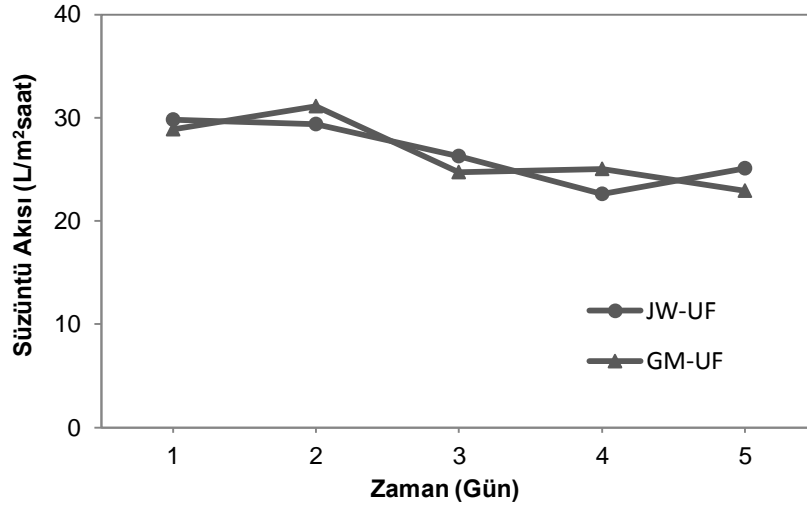
JW-UF ve GM-UF membranlarının zamana karşı süzüntü akısı değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir. UF membranlarının ortalama süzüntü akıları sırasıyla 26.6 L/m².saat ve 26.5 L/m².saat'tir.

UF-JW ve -GM membranlarıyla yapılan çalışmalara ilişkin besleme, konsantre ve süzüntü örneklerindeki protein içerikleri ve besleme örneğindeki protein giderimi Tablo 8'de verilmiştir.

JW-UF ve GM-UF membranlarından toplanan süzüntü, 10 bar basınç altında NF-270 membranından geçirilmiştir. NF-270 membranı ile elde edilen süzüntü ve konsantre örneklerinin zamana karşı pH, iletkenlik, TÇK ve tuzluluk değişimleri Tablo 9'da verilmiştir.



Şekil 5. UF+NF+TO membran deneme sonrası peyniraltı suyu bileşenlerinin ayrımı



Şekil 6. JW-UF ve GM-UF membranları için süzüntü akısının zamana karşı değişimi

Tablo 8. UF membranları için peyniraltı suyunun besleme, konsantre ve süzüntü bileşenlerinin protein içerikleri

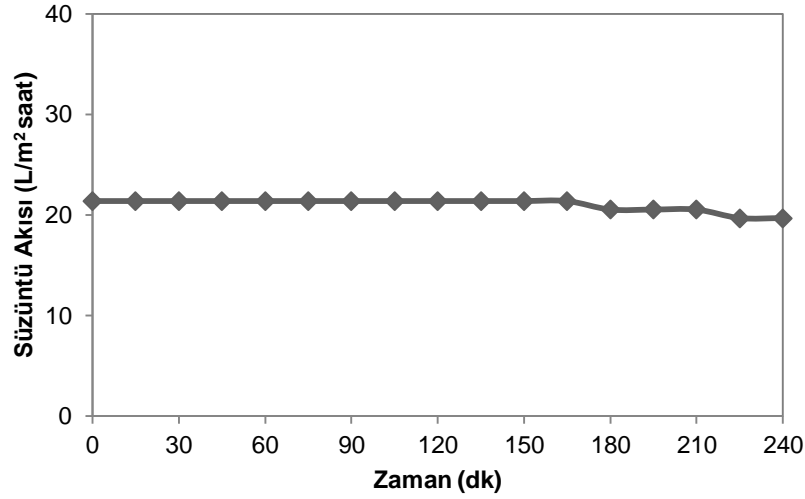
Bileşenler	Protein (%)		Zenginleştirme Oranı (%)		Protein Giderimi (%)	
	-JW	-GM	-JW	-GM	-JW	-GM
UF-Besleme	0.68	0.66	-	-	76.47	81.10
UF-Konsantre	0.83	0.83	22.1	25.8	-	-
UF- Süzüntü	0.16	0.12	-	-	-	-

NF-270 membranından toplanan konsantre örneği, 20 bar basınç altında BW30-RO membranına beslenmiştir. BW30-RO membranının süzüntü akısının zamana karşı değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. BW30-RO membranının ortalama süzüntü akısı 21.1 L/m².saat'dir.

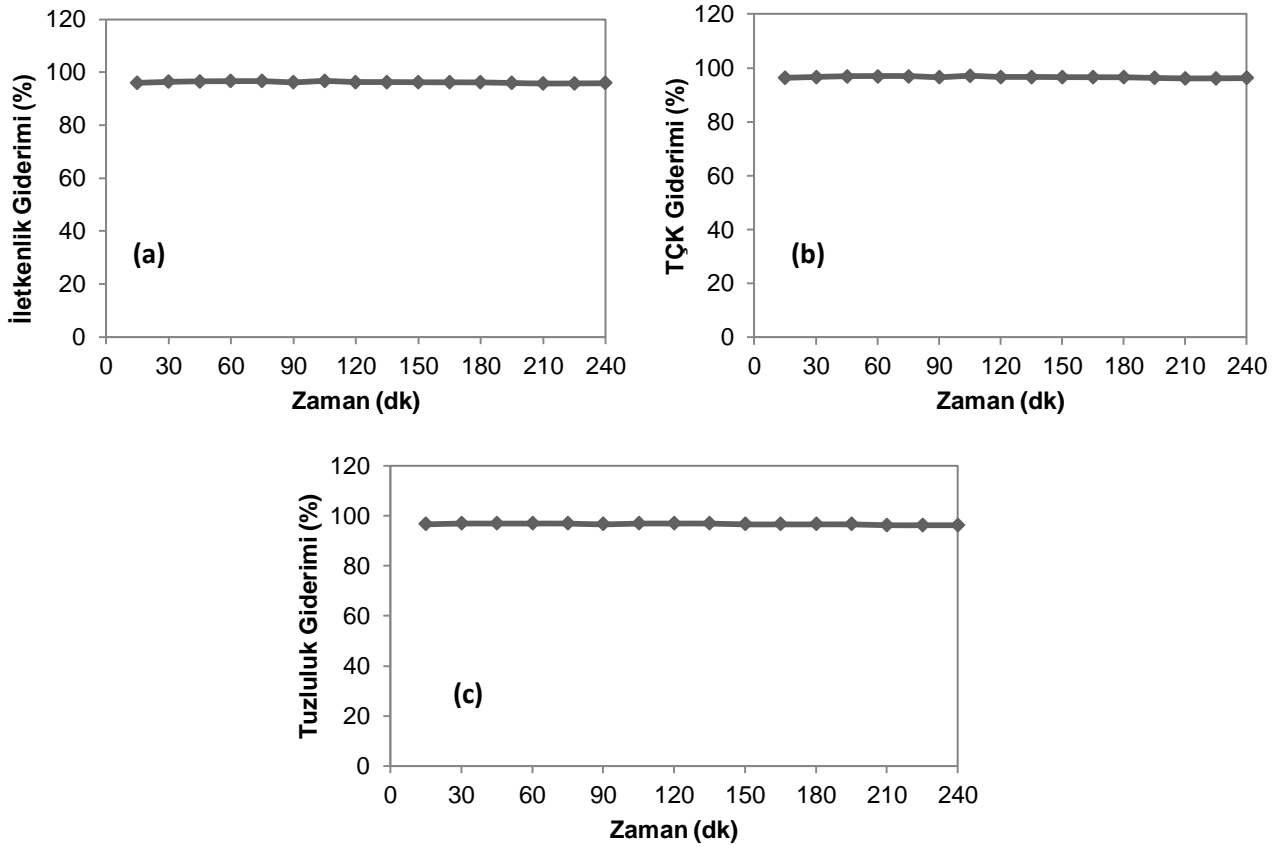
BW30-RO membranının zamana karşı iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimleri Şekil 8a-c'de gösterilmiştir. BW30-RO membranı ile elde edilen ortalama iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimleri sırasıyla %96.2, %96.6 ve %96.7 düzeyindedir.

Tablo 9. NF-270 membranına ilişkin peyniraltı suyunun bileşenlerinin özellikleri

Değerler	Besleme	Süzüntü	Konsantre
pH	4.75	4.77	4.87
TÇK (mg/L)	2820	2280	2890
İletkenlik (µS/cm)	5240	4370	5350
Tuzluluk (‰)	2.82	2.33	2.89



Şekil 7. BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı süzüntü akısı değerleri



Şekil 8. BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı (a) iletkenlik, (b) TÇK ve (c) tuzluluk giderimi.

Denemenin ikinci aşaması olan NF-270 membran çalışmasında ve son aşaması olan BW30-RO membran çalışmasında elde edilen besleme, konsantre ve

süzüntüdeki laktoz içerikleri ve laktoz giderimleri sırasıyla Tablo 10-11'de verilmiştir.

Tablo 10. NF-270 membranı için besleme ve konsantre örneklerinin laktoz içerikleri

Bileşenler	Laktoz (%)	Zenginleştirme Oranı (%)
NF-270 Besleme (UF Süzüntü)	42.7	-
NF-270 Konsantre	47.1	10.3

Tablo 11. BW30-RO membranı için besleme, konsantre ve süzütü örneklerinin laktoz içerikleri

Bileşenler (Ortalama)	Laktoz (%)	Zenginleştirme Oranı (%)	Laktoz Giderimi (%)
BW30 Besleme (NF-270 Konsantre)	47.1	-	99.64
BW30 Konsantre	56.3	19.5	-
BW30 Süzütü	0.12	-	-

Yaptığımız çalışmada, peyniraltı suyunun değerlendirilmesi için UF, NF ve TO membran prosesleri sırasıyla uygulanmış ve bu şekilde peyniraltı suyunun bileşenlerine (protein, laktoz vb.) ayırımında daha etkin sonuçlar alınması beklenmiştir. Vourch ve diğ. [19], peyniraltı suyunun değerlendirilmesinde ilk aşama olarak NF'yi araştırmış ve iyi sonuçlar almıştır. Ancak bu çalışmada, bizim çalışmamızda kullanılan peyniraltı suyuna göre organik yükleri çok daha düşük olan model peyniraltı suyu kullanılmıştır. Bu nedenle, ilk aşama olarak NF kullanımı başarılı olmuştur.

Rektor ve Vatai [15]'de aynı şekilde peyniraltı suyunun değerlendirilmesinde NF'nin performansını araştırmışlardır. Yapılan bu çalışmada ilk aşama olarak mikrofiltrasyon (MF) ve sonraki aşamada ise UF kullanımı sonucunda, NF'in peyniraltı suyunun değerlendirilmesinde bizim çalışmamıza göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. İncelenen araştırma metninde, uygun membran prosesleri tasarlanırken UF, NF ve TO'nin bir aşamalı işlemleri de gerçekleştirilmiş, fakat bütünleşik işlemlerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Rektor ve Vatai [15], yaptıkları bu çalışmada peyniraltı suyunun değerlendirilmesinde membran proseslerinin önemini araştırmışlar ve çeşitli membran işlemlerine yer vermişlerdir. Burada yapılan UF membran çalışması sonucunda protein giderimini %75 düzeyinde tespit etmişlerdir. Ancak bizden farklı olarak, UF öncesi MF kullanılmasından dolayı, UF'de protein gideriminin bizim çalışmamıza göre (UF'de protein giderimimiz %74 düzeyindedir) daha iyi olması beklenirdi.

Yorgun ve ark. [20], peyniraltı suyunun değerlendirilmesinde UF, NF ve TO membranlarını kullanıp, performanslarını karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, UF ile yapılan deneme sonucunda protein giderimi %78 civarında iken (bizim çalışmamızda UF ile protein giderimi %74 düzeyine kadar ulaşmıştır), en iyi laktoz giderimini %96 ile NF+TO bütünleşik membran işleminde elde etmişlerdir (bizim çalışmamızda NF+TO işlemleriyle laktoz giderimi %98 düzeylerine çıkmıştır). Bu çalışma ile bizim yaptığımız çalışma koşullar açısında da benzerlik gösterdiği için, paralel bir çalışma olmuştur.

Hinkova ve ark. [11]'nin NF ile yaptığı peyniraltı suyu fraksiyonlanması çalışmasında çeşitli NF türleri kullanılarak laktoz ayırma etkinlikleri araştırılmıştır. Bu çalışmada da %95'lere varan laktoz giderimi elde edilmiş ve bizim çalışmamızla paralellik gösteren sonuçlara rastlanılmıştır.

SONUÇ

Elde edilen sonuçlara göre, UF ve NF bütünleşik membran çalışmasında, UF aşaması için kullanılan

Osmonics -JW membranının süzütüsü NF-90 membranından geçirildiğinden iletkenlik, TÇK ve tuzluluk giderimi %90'lara kadar ulaşmıştır.

Peyniraltı suyu çözeltisindeki protein, UF membranının konsantre bileşeni içinde toplanırken (Proteinin zenginleşme oranı %25-30, protein giderimi ise %69-74 civarında), laktoz UF membranından geçerek UF membranının süzütü bileşeninde toplanmaktadır. NF-90 ile yapılan çalışmada laktozun NF-90 membranı konsantre bileşeninde zenginleşme oranı %28 iken, NF-270 ile yapılan çalışmada bu değer %11 civarındadır (Laktoz giderimi ise sırasıyla %99 ve %97 düzeyindedir).

NF-270 membranında laktoz giderimi, NF-90 membranı ile karşılaştırıldığında biraz daha düşüktür; bu da iyi bir geçirgenliğe sahip olmasına rağmen, bu membranın, peyniraltı suyunu tuzdan arındırmada daha az uygun olduğu anlamına gelir.

UF, NF ve TO bütünleşik membran çalışmasında ise, NF-270 membranı ile yapılan aşamada laktozun zenginleşme oranı %10-11 civarında iken, NF-270 konsantre bileşeni BW30-RO membranı ile muamele edildiğinde laktozun zenginleşme oranı %19-20 düzeyine (laktoz giderimi ise %99 düzeyine) ulaşmıştır. Bu da bize bütünleşik bir biçimde ardışık olarak kullanılan membran işlemlerinin peyniraltı suyunun fraksiyonlarına ayrılmasında daha etkin sonuçlar verdiğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma TÜBİTAK-NASU projesi kapsamında desteklenmiştir (Proje No: 114M551). Peyniraltı suyu tozunun temin edilmesinde yardımcı olan Malkara Birlik Süt ve Süt Mamülleri A.Ş.(Maybi)'e, Gıda Tekn. Berna Erdoğan ve Arş. Gör. Canan Kartal'a da analiz aşamalarında verdikleri katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Basette, R., Acosta, J.S. (1988). Composition of milk products. In: Fundamentals of Dairy Chemistry, Edited by N. Wong, R. Jeness, M. Keeney and E. Marth, Van Nostrand Reinhold, New York, 39-80p.
- [2] Smithers, G. (2008). Whey and whey proteins-From 'gutter-to-gold'. *International Dairy Journal*, 18, 695-704.
- [3] De la Fuente, M.A., Hemar, Y., Tamehana, M., Munro, P., Singh, H. (2002). Process - induced change in whey proteins during the manufacture of whey protein concentrates. *International Dairy Journal*, 12, 361-369.

- [4] De la Fuente, M.A., Singh, H., Hemar, Y. (2002). Recent advances in the characterization of heat-induced aggregates and intermediates of whey proteins. *Trends Food Science and Technology*, 13, 262-274.
- [5] Dinçoğlu, A.H., Ardiç, M. (2012). Peyniraltı suyunun beslenmemizdeki önemi ve kullanım olanakları. *Harran Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 1(1), 54-60.
- [6] Patel, M.T., Kilara, A., Huffman, L.M., Hewitt, S.A., Houlihan, A.V. (1990). Studies on whey protein concentrates: 1. Composition and thermal properties. *Journal of Dairy Science*, 73, 1434-1449.
- [7] Üçüncü, M. (2008). A'dan Z'ye Peynir Teknolojisi. 2. Cilt, 2. Baskı, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, 1147-1151p.
- [8] Cuartas-Urbe, B., Alcaina-Miranda, M.I., Soriano-Costa, E., Mendoza-Roca, J.A., Iborra-Clar, M.I., Lora-García, J. (2009). A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration. *Desalination*, 241, 244-255.
- [9] Pearce, R.J. (1992). Whey Protein recovery and Whey Protein fractionation. In: *Whey and Lactose Processing*, Edited by J.G. Zadow, Elsevier Science Publications, London.
- [10] Van der Horst, H.C., Timmer, J.M.K., Robbertsen, T. Leenders, J. (1995). Use of nanofiltration for concentration and demineralisation in the dairy industry: model for mass transport. *Journal of Membrane Science*, 245, 205-218.
- [11] Hinkova, A., Zidova, P., Pour, V., Bubnik, Z., Henke, S., Salova, A., Kadlec, P. (2012). Potential of membrane separation processes in cheese whey fractionation and separation. *Procedia Engineering*, 42, 1425-1436.
- [12] Greiter, M., Novalin, S., Vendland, M., Kulbe, K.D., Fischer, J. (2002). Desalination of whey by electro dialysis and ion exchange resins. *Journal of Membrane Science*, 210, 91-102.
- [13] Diblíková, L., Curda, L., Kincl, J. (2013). The effect of dry matter and salt addition on cheese whey demineralisation. *International Dairy Journal*, 31, 29-33.
- [14] Pouliot, Y. (2008). Membrane processes in dairy technology-From a simple idea to worldwide panacea. *International Dairy Journal*, 18, 735-740.
- [15] Rektor, A., Vatai, G. (2004). Membrane filtration of Mozzarella whey. *Desalination*, 162, 279-286.
- [16] Brans, G., Schroen, C.G.P.H., Van der Sman, R.G.M. and Boom, R.M. (2004). Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. *Journal of Membrane Science*, 243, 263-272.
- [17] Troiano, R., Denaro, F. (2016). "The Analysis of Lactose in Milk and Cheese Products by HPLC with RI Detection," *PerkinElmer, Inc. Application Note*, Italy.
- [18] Official Methods of Analysis, (2001). 14th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD, sec. 33.7.12, Method 991.20.
- [19] Vourch, M., Balannec, B., Chaufer, B. and Dorange, G. (2005). Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse. *Desalination*, 172, 245-256.
- [20] Yorgun, M.S., Balcioglu, I.A, Saygin, O. (2008). Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment. *Desalination*, 229, 204 -216.
-
-