



## Use of Membrane Separation Techniques in Dairy Technology and Its Effects on Dairy Products

Merve Özcan<sup>1,a,\*</sup>, Ece Büyükgümüş<sup>1,b</sup>, Selda Bulca<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Aydın Adnan Menderes University, Aydın, Türkiye

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 26/03/2022 Accepted : 29/09/2022</p> <p><b>Keywords:</b> Membrane separation Fouling Filtration techniques Reverse osmose Nanofiltration</p>	<p>Membrane separation techniques are used to separate certain components (protein, fat, water, etc.) in liquid products such as milk and to obtain these components in pure form, and also to remove microorganisms in these liquid products. In addition, these techniques are used to concentrate milk in the dairy industry. In membrane separation, components pass through pores of a certain size and are separated according to molecular weights. The basic principle in separation techniques is based on the fact that the liquid is passed through the pores of the membrane under certain pressure, the desired components (retantat) are kept in the pores and other components (permeate) pass through the membrane. The techniques used are grouped into four main categories: Microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF) and hyperfiltration (reverse osmosis). Among the advantages of the membrane separation technique are the low electricity consumption, the possibility of use in various areas, and the fact that it does not cause undesired changes in the product characteristics. There are disadvantages such as the cost of initial installation, fouling of the membrane pores, and the membrane cleaning takes a long time.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(11): 2115-2124, 2022

## Membran Seperasyon Tekniklerinin Süt Teknolojisinde Kullanımı ve Süt Ürünlerindeki Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 26/03/2022 Kabul : 29/09/2022</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Membran seperasyon Fouling Filtrasyon teknikleri Ters osmoz Nanofiltrasyon</p>	<p>Membran seperasyon teknikleri süt gibi sıvı ürünlerde bazı bileşenleri (protein, yağ, su vb.) ayırıp saf halde elde etmek ve ayrıca mikroorganizmaları uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra süt endüstrisinde sütü konsantre etmek için de bu tekniklerden yararlanılmaktadır. Membran seperasyonunda bileşenler belirli büyüklükte olan gözeneklerden geçerek molekül ağırlıklarına göre ayrılmaktadır. Seperasyon tekniklerinde temel prensip sıvı akışkanın belirli basınç altında membranın gözeneklerinden geçirilerek istenen bileşen veya bileşenlerin (retantat) gözeneklerde tutulması ve diğer bileşenlerin (permeat) membrandan geçmesi esasına dayanmaktadır. Kullanılan teknikler dört ana başlıkta toplanmaktadır: Mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve hiperfiltrasyon (ters osmoz). Membran seperasyon tekniğinin avantajları arasında elektrik tüketiminin az olması, çeşitli alanlarda kullanım olanağı sağlaması, ürün özelliğinde istenmeyen değişikliklere neden olmaması yer almaktadır. İlk kurulumunun maliyetli olması, membran gözeneklerinin tıkanması (fouling) ve membran temizliğinin uzun zaman alması gibi dezavantajları bulunmaktadır.</p>

<sup>a</sup> [mervozcan@gmail.com](mailto:mervozcan@gmail.com)  
<sup>c</sup> [sbulca@adu.edu.tr](mailto:sbulca@adu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0489-5484>  
<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7405-2872>

<sup>e</sup> [ecbuyukgumus@hotmail.com](mailto:ecbuyukgumus@hotmail.com) <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5542-2145>



## Giriş

Çiğ süt doğası gereği oldukça zengin bir mikrofloraya sahiptir ve sayısız mikroorganizmayı bünyesinde barındırmaktadır. Bu florada laktik asit bakterilerinin yanı sıra insan sağlığını riske atabilecek patojen mikroorganizmalar da bulunmaktadır. Bu nedenle çiğ süt, kullanılmadan önce mutlaka güvenli hale getirildikten sonra tüketilmelidir. Bu amaçla süte farklı işlemler uygulanmakta olup bunlardan en yaygın olarak kullanılanı ısıtma işlemidir. Bu teknik süt endüstrisi için önemli bir proses basamağı teşkil etmektedir. İşlem sonunda üründe gıda güvenliği sağlanmakta, raf ömrü uzatılmakta ve ürüne çeşitli fonksiyonel özellikler kazandırılmaktadır. Ancak belirli bir sıcaklığın üzerinde uygulanan ısıtma işlemi; serum proteinleri başta olmak üzere vitaminler, mineraller gibi ısıya duyarlılık gösteren süt bileşenlerinde fiziksel, kimyasal ve fonksiyonel özellikleri açısından birtakım değişiklikler meydana getirmektedir (Fernandez ve ark., 2012). Süt proteinlerinde ısının meydana getirdiği değişimler Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Süte uygulanan ısıtma işlemi ile günümüzde tüketicilerin farkındalıklarının artması ve giderek bilinçlenmeleri, işlenmemiş gıdalara ve yüksek kalitede ürünlere olan taleplerinin artması gibi nedenlerden dolayı ısıtma olmayan yeni teknolojilere olan ilgi son yıllarda artmaya başlamıştır. Bunun sonucunda gıda endüstrisi de ısıtma işleminin gıdanın kalitesi üzerine olumsuz etkilerini azaltmak hedefiyle geleneksel işleme tekniklerine nazaran daha düşük sıcaklıklarda yürütülen proseslere eğilim göstererek membran seperasyon teknikleri, ultra ses, ultraviyole (UV), vurgulu elektrik alanı (PEF), vurgulu ışık, Ohmik ısıtma, ultrasonik vibrasyon ve yüksek basınç (HP) uygulamaları gibi ısıtma olmayan teknolojiler kullanmaya başlamıştır. Membran seperasyon tekniklerinden en yaygın olarak kullanılanları mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ters ozmoz olmak üzere dört ana başlıkta incelenmektedir (Akai ve Mercanoğlu, 2020).

Süt endüstrisinde; santrifüj, buharlaştırma, bakteri yükünün azaltılması gibi bazı işlemlere bir alternatif olarak, peyniraltı suyundan protein, yağ gibi süt bileşenlerinin geri kazanılmasını, saflaştırılmasını, değerli bileşenlerin boyut ve konsantrasyonuna göre seperasyonunu sağlamada; bunların yanı sıra sütün berraklaştırılmasında, ısıtma işleminin maruziyeti söz konusu olmadan raf ömrünün ve çeşitli süt ürünlerinin iyileştirilmesinde ve özelleştirilmesinde, veriminin artırılmasında, peynir altı suyunun demineralizasyonunda, UF peyniri, fonksiyonel ürünler vb. yenilikçi ürünler elde edilmesinde, özellikle peynirde son ürün yapısı ve veriminin geliştirilmesi gibi alanlarda; çevre dostu ve ekonomik olabilecek membran proses uygulamaları kullanılmaktadır (Daufin ve ark., 2001; Akpınar ve ark., 2009; Sisay ve László, 2021; Nandini ve ark., 2021). Ayrıca membran filtrasyon işlemi, peyniraltı suyunda çeşitli nedenlerden kaynaklanabilecek ısıya dayanıklı fajların inaktive edilmesi amacıyla ısıtma işlemi, ultraviyole gibi proseslerin yanında ve termal işlemlerle kombine olarak kullanılmaktadır (Panzai, 2021).

Süt endüstrisinde kullanım olanağına sahip söz konusu membran tekniklerinin sağladığı olanaklar kısaca düşük enerji tüketimi, çevre dostu uygulama performansı, yüksek kalitede su ve olumlu gelecek perspektifi olarak sıralanabilmektedir (Oro ve ark., 2021).

## Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon, özellikle süt endüstrisinde bakteriyolojik tehlikeleri elimine ederek mikrobiyal güvenliği sağlamak amacıyla uygulanan ve bunun yanı sıra yüksek derecelere ulaşan ısıtma işlemlerinin, sütteki çeşitli bileşenler üzerine olan olumsuz etkilerini bertaraf edebilmek amacıyla uygulanan, ısıtma işlemi alternatif bir tekniktir (Kulozik, 2019).

İşlem, diğer tekniklere benzer şekilde sıvı içerisinde farklı boyutlardaki maddelerin geçişine imkân tanımaktadır. Bu teknikte ayrılabilen partiküller, 0,1-5,0 µm arasında değişen boyutlardadır. Süt endüstrisinde, koloidal partikülleri (kazein miselleri vb.), süt yağ globüllerini, emülsifiye yağları, serum protein agregatlarını, somatik (vücut) hücreleri, bakteri, küf ve maya gibi farklı mikroorganizmaları ve biyolojik orijinli partikülleri ayırmak için kullanılmaktadır (Mourozis ve Karabelas, 2006; Pinto ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2015). Bununla birlikte virüslere karşı kesin bir bariyerin olmadığı bilinmektedir. Mikrofiltrasyon, molekül ağırlıkları 200 kDa'dan daha büyük partiküllerin ayrılmasında kullanılan bir teknik olup uygulama basıncı da 0,1-0,5 bar arasında değişmektedir. MF'da kullanılan membran, diğer tekniklerde kullanılan membranlara göre daha büyük membran gözenek boyutuna sahiptir. MF membranlarının gözenek boyutu 0,1-10 µm arasında değişkenlik göstermektedir (Panopoulos ve ark., 2020) Mikrofiltrasyon işlemi Şekil 1'de gösterilmiştir.

## Mikrofiltrasyonda Kullanılan Membranların Yapısı

Süt endüstrisinde kullanılan mikrofiltrasyon membranları, konfigürasyon ve yapı olarak çeşitlilik göstermektedir. Membran materyalinin seçimi kullanım amacına göre belirlenmektedir. Mikrofiltrasyon membranları, simetrik ve asimetrik olarak gruplandırılmaktadır. Şekil 2'de simetrik ve asimetrik membranlar gösterilmiştir. Simetrik membranlar, üniform yapıda, tek tip boyutta gözenekler içermekte; asimetrik membranlar ise farklı yapı ve gözenek boyutlarında birden fazla katman içermektedir. Simetrik membranların yapısı nedeniyle gözeneklerin tıkanıp akışın azalması kullanımını sınırlayabildiğinden ticari olarak kullanılan en yaygın membranlar asimetrik membranlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Strathmann ve ark., 2011; Wang ve Zhou, 2013; France ve ark., 2021).

## Mikrofiltrasyon (MF) Tekniğinin Bakteri ve Sporların Uzaklaştırılmasında Kullanımı

MF tekniği üzerine yapılan araştırmalar mikroorganizmaların, somatik hücrelerin (%100 başarıyla uzaklaştırılması) ve sporların membranlar tarafından alınmadığı, diğer süt bileşenlerinin ise önemli kısmının membrandan geçtiği ortaya konmuştur. Ayrıca süte mikrofiltrasyon işlemi uygulandığında; ısıtma işlemi uygulamaları sonrasında meydana gelen protein yapılarında değişim, besin değerlerinde kayıp ve sütün kendine has tadının değişmesi gibi olumsuzluklarla karşılaşılmamaktadır (Yetişemiyen ve Yıldız, 2006;

Tomasula ve ark., 2011). MF tekniği ile sütün toplam bakteri yükünde 4 log düzeyinde, bakterilerin spor formunda ise 2-3 log düzeyinde bir azalma meydana gelmektedir (Garcia ve ark., 2014). Aslında MF, sütün mikrobiyal yükünde önemli ölçüde bir düşüş sağlıyor olmasına rağmen, sütün daha sonra depolama aşamasına geldiğinde sütteki patojen mikroorganizmaların gelişmesi gıda güvenliği açısından tehlike oluşturmaktadır. Bu yüzden süte mikrofiltrasyonun yanında ek bir ısıtma işlemi uygulaması seçilerek iki işlem kombine kullanıldığında sütün raf ömrünün artırılmasına ve mikrobiyolojik güvenliğinin daha iyi sağlanmasına katkı yapacaktır (Fernández García ve Riera Rodríguez, 2014).

Yetişemiyen ve Yıldız'ın yaptıkları bir çalışmada, 0,2 µm çapa sahip olan membranlar kullanılmış; *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus*, *Candida famata* ve *Pseudomonas fluorescens* türlerini barındıran (10<sup>8</sup> kob/mL civarı) bir süspansiyona, mikrofiltrasyon işlemi uygulandığında bu mikroorganizmaların tekrardan kazanıldığı saptanmıştır. 72°C'de 15 saniyelik bir pastörizasyon işlemiyle toplam bakteri yükünün %98 oranında azaldığı, MF tekniği ile de bu oranın %99,9'a kadar çıktığı belirlenmiştir. MF tekniği kullanılarak yağsız sütte bulunan bakterilerin alıkonulması kapsamındaki çalışmalarda sütte bulunan toplam bakteri sayısı %99,10 ile %99,90 aralığında; *Bacillus cereus* sporlarının %99,95'den, laktatı fermente etme yeteneğine sahip bakteri sporlarının ise %98,40'dan fazlasının alıkonulduğu saptanmıştır (Özcan ve Kurtuldu, 2011). Son zamanlarda geliştirilen ters akış mikrofiltrasyon tekniği (CFMF- cross flow microfiltration), çiğ süttten bakterilerin ve sporlarının

uzaklaştırılmasında yaygın bir şekilde kullanım olanağı bulunmuştur. Çizelge 2'de 50°C'de uygulanan MF işleminin, çiğ sütteki bakteriyel yük üzerine etkileri gösterilmiştir.

*Bacillus (B.) licheniformis*'in sporları kullanılarak yapılan bir çalışmada, sütte bulunan sporları ayırmak için sıcaklık 6°C, çapraz akış hızı 4,1 m/s, trans membran basıncı 69 kPa koşullarında 1,2 µm çapa sahip membranlar kullanılmıştır. Sonuçta membransız kullanıma göre daha yüksek ayırım gösterdikleri belirtilmiştir. Ayrıca kullanılan bu gözenekte bir membranın bakterilerin ayrılmasında tatmin edici olduğu fakat sporlarının da ayrılması için seçilecek membranın gözenek çapının daha küçük olması gerektiği belirtilmiştir (Griep ve ark., 2018).

### İçme Sütü Üretiminde Mikrofiltrasyonun Kullanımı

Süt üretiminde olması gerekli tüm hijyen koşulları sağlansa dahi süte taşıma-depolama vb. farklı aşamalarda birçok mikroorganizma bulaşmakta ve bunun sonucunda sütte insan sağlığını tehdit edecek *Brucella*, *Listeria*, *Salmonella* gibi patojenlerin bulunma riski artmaktadır. Tüketim için mikrobiyal güvenilirliği sağlayabilmek adına yıllardır süte HTST pastörizasyon ya da UHT gibi ısıtma işlemleri uygulanmaktadır. Ancak çoğu mikroorganizma yok edilse dahi, onların sporları ve aktif enzimleri işlem sonrasında hala sütte bulunabilmektedir (Saboya ve Maubois, 2000). Sütün duyu özelliklerinde değişikliğe neden olmadan, bakteriler ve sporlarının MF tekniğiyle ayrıştırılması, süt endüstrisinde yıllardır dikkat çekici bir konu olarak görülmüştür (Fernandez ve ark., 2012).

Çizelge 1. Süt proteinlerinde ısıtma işleminin meydana getirdiği bazı değişimler (Robin ve ark., 2006)

Table 1. Some changes in milk proteins by heat treatment (Robin et al., 2006)

Kazein (teknolojik olarak yaygın olmayan yüksek sıcaklıklarda)	Defosforilasyon (>120°C) Proteoliz Kovalent bağ oluşumu
Kazein misel yapısı	Zeta potansiyelinin değişmesi Hidrasyon (su tutma) özelliğinin değişmesi Birleşme-çözünme
Serum proteinleri	Globüler yapıda açılma-agregasyon-denatürasyon Disülfit ara değişimi reaksiyonları

Çizelge 2. Mikrofiltrasyon uygulamasının çiğ sütteki bakteriyel yüke etkisi

Table 2. Effect of microfiltration application on bacterial load in raw milk

Bakteri Tipi	Yağsız Sütün Bakteri Yükü (kob/mL)	Bakteri Redüksiyonu	Kaynaklar
Toplam Bakteri	6 000-50 000	%99,1-99,9	Malmberg ve Holm (1987)- Olesan ve Jensen (1989) Vincens ve Tabard (1988)- Lidberg ve Bredahl(1990)
Bacillus cereus sporları	>15 000	>%99,95	Olesan ve Jensen(1989)
Laktatı fermente eden bakteri sporları	>1 100	%98,40	Olesan ve Jensen(1989)

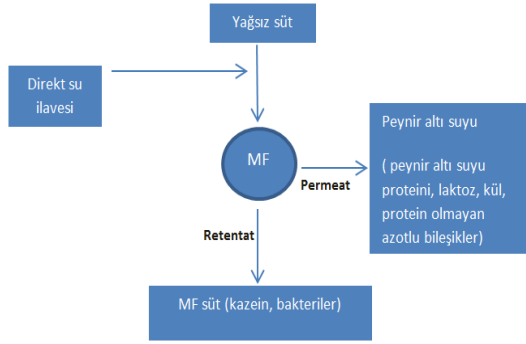
Çizelge 3. Ultrafiltrasyonda kullanılan membran materyallerinin kimyasal, termal ve mekanik dirençleri (Shi ve ark., 2014)

Table 3. Chemical, thermal and mechanical resistance of membrane materials used in ultrafiltration (Shi et al., 2014)

Membranlar	CA*	PAN	PES	PS	PVDF	Seramik
Mekanik dayanıklılık	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	Çok İyi
Sıcaklık Toleransı (°C)	30	40	80	75	40	Çok Yüksek
pH	4-8	2-10	2-12	1-13	2-10,5	Çok Yüksek
Oksidasyon toleransı	Orta	Orta	İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi

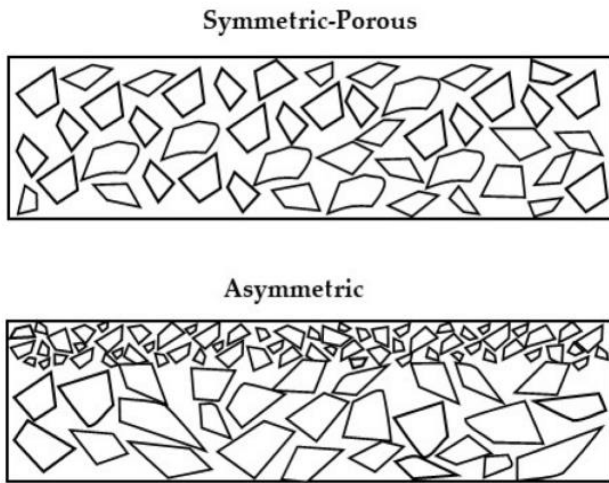
\*CA: Selüloz asetat, PAN: poliakronitril, PES: polietersülfon, PS: polisülfan, PVDF: polivinilidinden florür

Bir çalışmada; 45°C sıcaklık, 0,55 bar basınç altında seramik membranlar kullanılarak uygulanan bir MF (450-500 L/h permeat akış hızı) işlemiyle değişen normlarda ısıtılmış işlem uygulamasıyla uzun raf ömrüne sahip içme sütü üretimi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, MF ile birlikte 125-130°C sıcaklıklarda ısıtılmış işlem uygulanarak oda sıcaklığında 74 güne kadar dayanan en uzun raf ömrüne sahip süt elde edildiği bildirilmiştir (Garcia ve Rodriguez, 2014). MF tekniği uygulanarak üretilmiş sütün depolama süresinin, pastörizasyon uygulanarak üretilmiş sütte göre daha uzun olduğu ortaya konmuştur (Zhang ve ark., 2015; Brans ve ark., 2004; Avalli ve ark., 2004). Bu yüzden, farklı teknolojilerin kombine olarak kullanılmasıyla, +4°C’de depolandığında pastörize sütte kıyasla uzun bir raf ömrüne sahip süt olarak da tanımlanan “raf ömrü uzatılmış süt (ESL: Extended Shelf Life)” üretiminde UHT, darbeli elektrik alan, baktöfugasyon, yüksek hidrostatik basınç, gibi farklı teknolojilerin yanı sıra MF uygulaması da kullanılabilir. Ancak endüstride pastörizasyon-mikrofiltrasyon kombinasyonu yaygın olarak kullanılmaktadır (Tomasula ve ark., 2011; Doll ve ark., 2017; Ünver ve Çelik, 2017).



Şekil 1. Mikrofiltrasyon uygulaması (Zeman ve Zydney, 1996).

Figure 1. Application of microfiltration (Zeman and Zydney, 1996).



Şekil 2. Düzgün ve düzgün olmayan yapıya sahip membranların görüntüsü (France ve ark., 2021).

Figure 2. Image of smooth and irregular membranes (France et al., 2021).

## Peynir Üretiminde Mikrofiltrasyonun Kullanımı

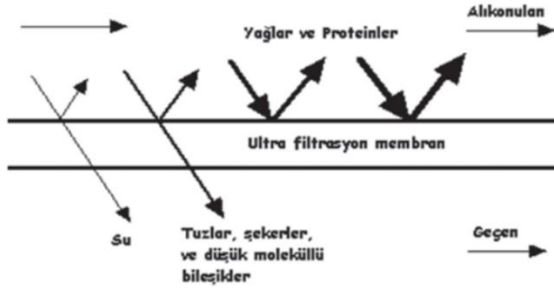
MF tekniğinin endüstriyel olarak ilk kez karşımıza çıkması 1980’li yıllarda peynir üretim proseslerinde kullanılmasıyla olmuştur. Yarı sert ve sert peynirlerin üretiminde teknolojik bağlamda problem oluşturan *Clostridium tyrobutricum*’un sporlarının tutulması amacıyla MF tekniği kullanılmıştır (Puhan, 2000). MF, çiğ sütün peynire işlenmesinde, bakteri ve sporlarını süttten uzaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadır (Brans ve ark., 2004). MF uygulamasıyla sütte bir ön işlem uygulama, hem üretimin mikrobiyal açıdan kontrol altında tutulmasını ve hem de ürünün pastörize süt kullanılarak üretilen peynirler kadar güvenli olmasını sağlamaktadır (Saboya ve Maubois, 2000). Isıtılmış işlemin ürüne olumsuz etkisi bir nevi azalmakta ve sütün maya ile pıhtılaşabilme yeteneği artmaktadır ki bu da randımanı artırır (Govindasamy-Lucel ve ark., 2007; Kumar ve ark., 2013; Carter ve ark., 2021). Sonuçta mikrofiltrasyon edilmiş sütün en az çiğ süt kadar iyi bir pıhtılaşma yeteneğine sahip olduğu belirtilmiştir (Maubois, 1997; Kosikowski ve Mistry, 1997; Saboya ve Maubois, 2000).

## Mikrofiltrasyonun Diğer Kullanım Alanları

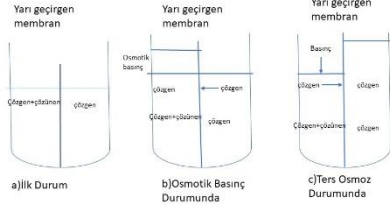
İçme sütü, peynir gibi süt ürünleri dışında bir çalışmada membran filtreleme bebek maması formülasyonundaki doğal peynir altı suyu proteinlerini artırma amacıyla uygulanmıştır. Çalışma sonucunda bebek maması üretim formülasyonu aşamasında membran filtrasyon olan mikrofiltrasyon aşamasının dahil edilmesiyle, anne sütüne yakın bileşimde doğal proteinlerin içeriğinin yüksek düzeyde artırıldığı saptanmıştır (Chen ve ark., 2021). Yine benzer bir çalışmada minimum düzeyde işlenen bebek maması tozunun üretimine membran filtrasyon tekniği dahil edilerek yarı endüstriyel üretimi araştırılmış ve çalışma sonucunda üretime membran filtrasyon tekniğinin dahil edilmesiyle bakteriyolojik açıdan güvenilir, yüksek oranda doğal proteine sahip bir bebek formülasyonunun üretilebildiği ortaya konmuştur (Yu ve ark., 2021). MF tekniği süt endüstrisinin yanı sıra gıda endüstrisinin çeşitli alanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin şarap ve bira sanayinde soğuk sterilizasyon amacıyla, sirke ve şarabın berraklaştırılmasında, salamuranın arıtılmasında, yağ seperasyonu sağlamak amacıyla, CIP temizlik uygulamalarındaki organik madde barındıran unsurları ayırarak işlemin kolaylaştırılması ve atık miktarını azaltmak amacıyla etkin olarak kullanılmaktadır (Rippenger, 1992; Mourozis ve Karabelas, 2006).

## Nanofiltrasyon (NF)

NF membranları, nispeten yeni bir teknoloji olup son zamanlarda kullanımı hızla artmaktadır. NF teknolojisi, ultrafiltrasyon ile ters osmoz arasında yer alan, asimetric yapıda, basınç altında uygulanan bir ayırım işlemidir. Maddelerin geçiş mekanizması, çözelti difüzyonuyla gözeneklerden akışın birleşmesine dayanır. NF membranları, çalışma prensibi bakımından ters osmozla benzerlik göstermektedir ancak NF tekniğinde ters osmoza kıyasla daha düşük bir basınç uygulanmaktadır. (Anonim, 2015). Nanofiltrasyon tekniğiyle, gözenekleri yaklaşık 0,002 µm büyüklüğe sahip membranlar ile 5-35 bar basınç altında mono/di/oligosakkaritler ve iyonların ayrımı sağlanmaktadır (Akcal ve Mercanoğlu, 2020).



Şekil 3. UF da geçen moleküller (Aslan, 2016)  
Figure 3. Molecules passing through UF (Aslan, 2016)



Şekil 4. Osmoz ve ters osmoz (Jiang ve ark., 2018)  
Figure 4. Osmosis and reverse osmosis (Jiang et al., 2018)

### Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon, 0,5-35 nm arası değişen gözenek çapına sahip membranlar kullanılarak, basınç altında molekül boyutuna göre ayırmanın gerçekleştirildiği bir membran separasyon sistemidir (Hayaloğlu ve Özer, 2021). Belirli bir molekül ağırlığına sahip olmayanlar filtrede tutulamazlar (Steffens ve ark., 2019). Süt bileşenlerinden olan süt yağı ve proteinler (kazeinler ve serum proteinleri) yüksek molekül ağırlığına sahiptir bundan dolayı membranın gözeneklerinden geçemez ve membranın üst kısmında (retentat) birikirler; düşük molekül ağırlığına sahip su, tuzlar ve vitaminler de filtreden geçip permeat olarak ayrılmaktadır (Aslan, 2016). Elde edilen bu retentat, peynir ve yoğurt üretimi için kullanılabilir konsantre sütü sağlamaktadır (Limsawat ve Pruksasri, 2010). UF'den geçen moleküller Şekil 3'te gösterilmiştir.

Ultrafiltrasyonun kullanım alanları çeşitli olup şu şekildedir:

- Atık suların arıtılmasında (özellikle yağ içeren)
- Klorlamada kullanılan trihalometanların uzaklaştırılmasında
- İlaç sanayiinde
- Ev ve endüstriyel atık suların temizlenmesinde
- Kâğıt ve boya sanayiinde
- Ters osmoz öncesinde ön filtreleme olarak kullanımları yaygındır.

### Süt Endüstrisinde Nanofiltrasyonun Kullanımı

Süt endüstrisinde membranlar; genel olarak süt ürünlerinin saflaştırılmasında, fraksiyonlanmasında ve konsantre edilmesinde kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon da

bu amaçlar için kullanılan, basınç ile çalışan membran proseslerinden birisidir (Mohammad ve ark., 2019). Süt endüstrisinde nanofiltrasyon esas olarak, peyniraltı suyu veya bunun kısmi demineralizasyonu, laktozsuz süt üretimi, peyniraltı suyunun konsantrasyonu, peyniraltı suyu ve UF süzütüsünden kısmen tuzların uzaklaştırılması, CIP (yerinde temizlik) sisteminde kimyasalların saflaştırılması gibi özel uygulamalar için kullanılmaktadır. Böylelikle peynir altı suyuna membran teknolojileri uygulanarak peynir üretiminden elde edilen yan ürün atığının da değerli bir ürüne dönüştürülmesi sağlanmış olur (Anonymous, 2012; Salehi, 2014). Bir çalışmada da peynir altı suyuna nanofiltrasyon tekniği uygulanmasının asıl amacının, pas içeriğinde bulunan tuz ve su miktarının azaltılarak kurumaddesinin artırılması olarak belirtilmiştir (Yılmazok ve Ersöz, 2020). Membranlar; NaCl, KCl gibi tek değerlikli tuzlar için yüksek geçirgenlik sağlayarak tuzların permeata geçmesini, protein, laktoz gibi organik bileşiklere de düşük geçirgenlik göstererek retentatta tutulmasını sağlamaktadır (Pan ve ark., 2011; Mohammed ve ark., 2015). Nanofiltrasyon tekniği elektro-diyaliz ve iyon değiştirme işlemlerinden önce akışkanların iyonik tuzlarından arındırılması (ön desalinasyon) amacıyla da uygulanmaktadır ki bu hem uygulama maliyetlerini azaltır hem de eşzamanlı konsantrasyon-demineralizasyon ile süre avantajı yaratır (Suárez ve ark., 2006; Yetişemiyen ve Yıldız, 2011).

### Ultrafiltrasyonda Kullanılan Membranların Yapısı

Filtrelemede kullanılan membranların belli başlı özellikleri olmalıdır. Mekanik olarak dayanıklı, ısıya karşı oldukça stabil ve kimyasallara karşı dirençli olmalıdır (Cassano ve Basile, 2011). UF'da kullanılan membran materyallerinin kimyasal, termal ve mekanik dirençleri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

UF de kullanılan membranlar selüloz asetat (CA), polisülfan (PS), poliakronitril (PAN), polivinilidin florür (PVDF), polietersülfon (PES) membranlardır (Henning ve ark., 2006). Selüloz asetat membranlar hidrofilik yapıda olup proteinlerle bağ yapma dereceleri düşüktür. Poliakronitril membranların organik çözücülere karşı dirençleri oldukça yüksektir. Polietersülfon ve Fosfotidil Serin kaplamalı membranların ikisi de çok yüksek sıcaklıklarda etkin çalışma gösterebilmektedirler. Bu yüzden otoklavlanabilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı gıda sanayiinde rahatça kullanımları mevcuttur. Ancak oksidatif bozulmalara sebebiyet veren maddelere karşı hassastırlar. Seramik membranlar pahalı ve polimerik membranlara kıyasla daha kalın olmalarına rağmen hem mekanik olarak hem de sıcaklığa karşı toleransları yüksek olduğundan son yıllarda kullanımları artmıştır (Shi ve ark., 2014).

### Ultrafiltrasyon Tekniğinin Süt Endüstrisinde Kullanımı

UF tekniğinin süt teknolojisinde daha çok peynir ve yoğurt üretiminde kullanımı mevcuttur. Peynir üretiminde kullanılacak süt, ultrafiltre edilerek protein oranı artırılır (Sandra ve ark., 2011). Sütün ultrafiltre edilerek peynir üretiminde kullanılmasının amacı ise peynire işlenecek

sütteki proteini konsantre hale getirmektedir (Arısoy ve Özer, 2019). Böylece artan protein oranına bağlı olarak rennetle koagülasyon süresi kısalmaktadır (Le ve ark., 2014; Sharma ve ark., 2020). Böylelikle enzim ve starter kültür kullanım miktarlarında azalma söz konusudur (Akoum ve ark., 2005; Soltani ve ark., 2015; Faion ve ark., 2020). Ek olarak konsantrasyon işlemi UF ile gerçekleştiğinden işletmelerin buhar tüketimi azalmakta bu da maliyete olumlu yansımaktadır (Hayaloğlu ve Özer, 2021; Haydamaka ve ark., 2001). UF ile peynir üretiminde temel amaç proteince zengin peynir üretmek ve verimi artırmaktır (Govindasamy ve ark., 2004). UF ile proteinler ve yağlar retantatta tutulurken geriye kalan laktoz ve mineraller ayrılmaktadır. Bu da bir avantaj olarak görülmektedir. Çünkü peynir aslında protein ve yağlardan oluşmaktadır (Steffens ve ark., 2019).

Ayrıyeten laktozun, laktoz intoleransı bulunan kişilerin süt ve süt bazlı ürünleri tüketimini sınırlandırması sebebiyle laktozu süttten uzaklaştırma aşamasında kullanılan membran teknolojisinin kullanımı çeşitli teknolojilere de alternatif sağlamakta ve enerji tasarrufu sayesinde bu konuda ultrafiltrasyonun kullanımı giderek artan bir ilgi görmektedir (Limsawat ve Pruksasri, 2010).

Hussain ve ark. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada ultrafiltre edilmiş süttten Mozeralla peyniri üretimi araştırmasında inek sütünün ultrafiltre edildikten sonra protein oranının %3,29'dan %4,80'e çıktığı bildirilmektedir. Yine aynı çalışmada ultrafiltre edilen süttten üretilen Mozeralla peyniri için koagülasyon süresinin 25 dakika olduğu belirtilirken normal sütte bu değer 37 dakika olduğu bildirilmektedir (Hussain ve ark., 2013).

UF ile peynir üretimi yapılırken süttün protein oranı arttığından viskozite de artmaktadır. Artan bu viskoziteden dolayı akış azalmakta ve membranlarda gözenek tıkanmasına neden olmaktadır (Shi ve ark., 2014).

Ultrafiltrasyon tekniği yoğurt üretiminde de oldukça önemlidir. Yoğurt teknolojisinde sineresiz olayının gerçekleşmesi istenmeyen ve oldukça önemli bir kusurdur. Yoğurtta protein oranının artmasından kaynaklı fonksiyonel bir özellik olan su tutma kapasitesi proteinler tarafından sağlanmakta ve serum ayrılması olarak bilinen sineresiz azalmaktadır. Ultrafiltre edilen sütlerde protein oranı yüksektir ve bu sütler kullanılarak elde edilen yoğurtlarda protein oranı da daha yüksek olmaktadır. Sinerezin yanı sıra yoğurt pıhtısının tekstürel özelliklerinin daha iyi olduğu belirtilmektedir. Böylelikle yoğurt teknolojisinde stabilizatör kullanımı azaltılmış olacaktır (Moreno-Montoro ve ark., 2015; Narayana ve ark., 2016). Narayana ve ark. (2016)'nın yaptığı çalışmada UF ile yoğurt üretimi yapılmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. 1.5 ve 2 kat ultrafiltrasyonla konsantre edilmiş sütlerden üretilen yoğurtlarda sinerezin meydana gelmediği belirtilmiştir. Bunlara ek olarak su tutma kapasitesinin arttığı belirtilirken tekstürel özellikleri değerlendirildiğinde konsantre oranı arttıkça pıhtı sıklığının arttığı da belirtilmiştir.

Ultrafiltrasyonun süt pazarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ultrafiltrasyonla konsantre edilen sütlerin yüksek protein oranına ve neredeyse normal sütlerin yarısı kadar şekere sahip olması, yüksek değere sahip süt ürünleri inovasyonu ve Ar-Ge faaliyetlerinde uygulanabilirliğini artırmaktadır. Böylelikle endüstride

giderek yükselen bir değere sahip olacağı düşünülmektedir (Reig ve ark., 2021).

### Membran Tıkanması (Fouling)

Membranlardaki gözeneklerin tıkanması denilen olay çok çeşitli partiküllerin, makromoleküllerin, biyolojik partiküllerin sıvı akışını azaltması olayıdır (Kazemimoghadam ve Mohammadi, 2007). Bunun sonucunda maliyet artar, enerji gereksinimi artar ve en önemlisi üretim akışı durur (Katsoufidou ve ark., 2008; Liang ve ark., 2008). Gözeneklerin tıkanması geri dönüşümlü olduğu takdirde uygun temizleme aşamasından sonra partiküllerden kurtulmak mümkündür ancak geri dönüşümsüz olduğunda uygun temizleme sonrasında bile partiküllerin oluşturduğu tıkanmadan kurtulmak mümkün olmamaktadır. Fouling etkisinden tamamen kaçınmak imkânsızken onun etkisini minimum seviyeye indirmek mümkündür. Uygun membran seçimi, membran temizliği, uygulanan ön işlemler sayesinde bu etki azaltılabilmektedir.

Ultrafiltrasyon tekniğinde karşılaşılan membran tıkanması olayına daha çok proteinler sebep olmaktadır (Naim ve ark., 2012). Proteinler stabil yapı göstermediklerinden ısıyla, çeşitli çözücülerle denatüre olduklarından membran yüzeyine çok hızlı bir şekilde absorbe edilmektedirler. Fouling olayı doğal olarak kullanılan membrana, por büyüklüklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Membran temizliği genelde 2 kategoride olmaktadır: kimyasal ve fiziksel temizleme. Fiziksel temizleme bağlamında elektriksel, hidrolik ve mekanik olarak temizleme yapmak mümkündür. Hidrolik ve mekanik temizlemede membran yüzeyine uygulanan bir kuvvet söz konusuyken elektriksel anlamda temizlik de membrana uygulanan bir elektrik vardır. Kimyasal temizlikte çeşitli kimyasal çözücüler kullanılmaktadır (asitler, alkaliler, oksidanlar, yüzey aktif maddeler, enzimler vb.) Bu çözücüler iki farklı şekilde etki etmektedir. Bunlardan birincisi çözerek ikincisi de kirleticilerin yapısını değiştirerek olmaktadır (D'souza ve Mawson, 2005; Mohammada ve ark., 2012; Shi ve ark., 2014).

### Ters Osmoz Tekniği (Hiperfiltrasyon)

Ters osmoz (hiperfiltrasyon), 300-500 dalton arasında değişen molekül ağırlığındaki maddelerin geçişine olanak sağlayan süt endüstrisinde sadece suyun geçişine izin verilen diğer bileşenlerin (laktoz, mineraller, vitaminler) retantat kısmında tutulduğu bir membran seperasyon tekniğidir (Taivasola ve ark., 2019; Hayaloğlu ve Özer, 2021.). Şekil 4'te de belirtildiği üzere ters osmozda uygulanacak basıncın ozmotik basınçtan yüksek uygulanması durumunda istenilen ayırım gerçekleşebilecektir (Le ve ark., 2014).

Süt endüstrisinde sadece suyun geçişine izin verildiğinden evaporasyon tekniği altında kullanımı mevcuttur. Süt belirli oranda konsantre edilmektedir. %70 oranında su süttün yapısından uzaklaştırılmakta ve koyulaştırılmaktadır (Wenten ve ark., 2016; Meyer ve Kulozik, 2016). Ters osmozla süttün yağ, protein, laktoz oranı artmaktadır (Meeana ve ark., 2021).

## Ters Osmozda Kullanılan Membranların Yapısı

Hiperfiltrasyon tekniğinde kullanılan membranlar suyun geçirgenliğini sağlarken çözünmeyen maddelerin geçişine, bakteri ve organik materyallerin geçişine izin vermemelidir (Kang Hu ve Dickson, 2015). Kullanılan membranlar inorganik ve polimerik membranlardır. İnorganik membranlar daha çok seramik membran olarak adlandırılmakta ve alüminyum, silika ve başka metallerin karışımından oluşmaktadır. Maliyeti yüksektir ancak polimerik membranların kullanılmadığı durumlarda kolaylıkla kullanılabilir. Ek olarak kimyasal ve mekanik kuvvetlere karşı direnci yüksektir (Shenvi ve ark., 2015). Ters osmozda daha çok zeolite membran kullanılmaktadır. Polimerik membranların maliyeti düşük, membran gözeneklerinin esnekliği yüksek, kurulum olarak daha az alan kaplamaktadır. Ancak mekanik olarak dayanıklılıkları düşük olması dezavantaj sağlamaktadır. En çok kullanılan membranlar selüloz asetatlar (CA) ve aromatik poliamitlerdir (Kang Hu ve Dickson, 2015).

## Süt Ürünlerinde Ters Osmoz Tekniğinin Kullanımı

Ters osmoz, süt sanayiinde çoğunlukla sütü ve serumu konsantre etmede kullanılırken çeşitli peynirlerin üretiminden de bu teknolojiye yararlanır (Aydiner ve ark., 2014). Ters osmozla su uzaklaştırıldığından bu seperasyon tekniği evaporasyon olarak da kullanılmaktadır. Bu yüzden süt tozu üretiminde de kullanımı mevcuttur (Hu ve Dickson, 2015; Sørensen ve ark., 2017)). Yağsız sütün ters osmozla konsantrasyonunda kurumda oranı %22-25'e ulaşabilmektedir. Ancak evaporasyonla kıyaslandığında konsantrasyonu daha düşük ürünler elde edilebilmektedir. Bunun da nedeni hem ozmotik basıncın etkisinin zayıf kalabilmesi hem de kullanılan membranların gözeneklerinde tıkanmaların meydana gelmesidir (Hu ve Dickson, 2015). Sütün ters osmozla konsantrasyonu yoğurt üretiminden önce de istenilen bir durumdur (Taivosalo ve ark., 2019). Çünkü yoğurt üretim prosesinde kurumda çeşitli şekillerde artırılmaktadır: Sütü kaynatmak, süt tozu ilave etmek, evaporasyon, membran seperasyon teknikleri, peyniraltı suyu tozu ilave etmek gibi yöntemler sıkça kullanılmaktadır. Bu hem yasal düzenlemeler açısından hem istenilen aromayı sağlaması açısından hem de istenilen kıvamı sağlaması açısından gereklidir. RO ile peynir üretimi alternatif yol olarak görülmektedir. Çünkü peynirde yağ ve protein oranı çok olduğundan RO edilmiş sütün de protein ve yağ oranı fazla olmakta bu da peynir prosesi için alternatif yol olarak görülmektedir (Meena ve ark., 2020). Rennet ile koagülasyon süresinde kısalma yolu açtığı belirtilmektedir (Wiking ve ark., 2019). Pouliot ve ark. (2019) yaptığı çalışmada UF ve RO işleme tabii sülenen sütlerden elde edilen peynirlerin koagülasyon süreleri karşılaştırılmıştır. UF konsantratının koagülasyon süresinin RO ile kıyaslandığında oldukça kısa olduğu belirtilmiştir. Maksimum pıhtı oluşum oranının da konsantrasyonla ilişkili olduğu belirtilmiş ve bu yüzden bu değer UF konsantratında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada peynirin protein oranı karşılaştırılmış ve UF konsantratından elde edilen peynirlerde protein oranının daha fazla olduğu

belirtilmiştir. Bu da aslında koagülasyon süresinin daha kısa sürmesi durumuyla birebir örtüşmektedir.

## Ters Osmoz Membranların Tıkanması (Fouling)

Membran gözeneklerinin tıkanması her seperasyon tekniğinde olduğu gibi RO tekniğinde de karşılaşılan bir problemdir (Alhseinat ve Sheikholeslami, 2012). Genellikle buna sebep olanlar gözeneklerde oluşan mikrobiyel gelişim, kireçlenme, çözünmeyen organik bileşenlerin varlığıdır. Mikrobiyel gelişim membran yüzeyinde hem biyofilm oluşumuna hem de mikroorganizmaların faaliyetine bağlı olarak asitliğin artmasına neden olabilmektedir. Asitlik gelişimi söz konusu olduğunda membran yapısı bozulmaktadır. Mikrobiyel gelişimi önlemek için dört metot kullanılmaktadır: Ozon, klorin gibi mikroorganizmaları inaktive eden maddeler kullanmak, UV ışık kullanmak, gözenek tıkanmasına karşı daha dirençli olan membranlar kullanmak ve RO işleminden önce MF ya da UF gibi ön işlemler uygulamak (Malaeb ve ark., 2011).

## Sonuç

Membran ayırma teknikleri, 1950'li yıllardan günümüze gıda, biyoteknoloji, kimya, tekstil, tıp, eczacılık, deri ve metal endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Membran konsantre süt kullanılarak peynirde kalitenin iyileştirilmesinden yola çıkılarak çok uzun yıllardır da süt endüstrisine entegre edilmesi sağlanmıştır. Genel olarak süt endüstrisinde ticari olarak membran uygulamaları; santrifüj-buharlaştırma gibi bazı işlemlere alternatif olması, peyniraltı suyu ayrımı, protein geri kazanımı gibi ayırım işlemleri, UF peynirleri gibi yenilikçi ürünler elde edilmesi, ürünlerin kıvam ve randımanında artış sağlanması başlıkları altında toplanabilir. Membran tekniklerinin birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlardan en önemlileri, termal bir işlem olmaması ve uygulama esnasında faz değişimine neden olmaması sayesinde enerji ihtiyacının düşük olmasıdır. Ayrıştırma esnasında ekstrakte edici/absorblayıcı maddeler kullanılmamasından dolayı da ürün kalitesinin artmasını sağlaması ile gıda endüstrisinde kullanılmalarını artırmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin kurulması oldukça basit, kompakt ve uygulaması kolaydır. Tüm bu avantajlarına ek olarak; prosesin ilk yatırımının oldukça maliyetli olması, membranların periyodik kontrolü/bakımındaki zorluklar ve değişimleri gerektiğinden membranların da ek maliyeti, bu alanda yetişmiş uzman personel azlığı gibi dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar tercih edilmesini olumsuz etkilese de tüm bunlara rağmen son yıllarda dünyada ve ülkemizde kaliteli ürüne olan talebin artmaya başlamasıyla birlikte üretimde bu yeni proseslere yer vermeye başlanmıştır. Membranlardaki teknolojik gelişmelerle birlikte proses mühendisliğindeki gelişmeler, süt bileşenlerinin işlevselliğinin daha iyi anlaşılması ve üst düzeyde yararlanım sağlanması, süt endüstrisindeki membran proseslerinin içeriğini genişletmeye devam etmektedir. Zamanla membran teknolojisi daha rahat ve geniş bir uygulama alanı bulacaktır.

## Kaynaklar

- Akal C, Mercanoğlu Taban B. 2020. The Influence of Microfiltration on Raw Milk Quality. *Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(9): 1935-1941.
- Akoum O, Jaffrin MY, Ding LH. 2005. Concentration of total milk proteins by high shear ultrafiltration in a vibrating membrane module. *Journal of Membrane Science*, 247(1-2): 211-220.
- Akpınar-Bayazit A, Özcan T, Yılmaz-Ersan L. 2009. Membrane Processes In Production of Functional Whey Components. *Mljekarstvo*, 59(4): 282-288.
- Alhseinat E, Sheikholeslami R. 2012. A completely theoretical approach for assessing fouling propensity along a full-scale reverse osmosis process. *Desalination*, 301: 1-9.
- Anonim 2015. [www.fuzyonsu.com](http://www.fuzyonsu.com)'den 17/05/2021 tarihinde esinlenilmiştir.
- Anonymous 2012. Membrane filtration in the dairy industry. GEA Filtration Technology Seminar, GEA.
- Arısoy Z, Öner Z. 2019. Ultrafiltrasyon tekniği ile üretilen beyaz peynirlerin fiziko-kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri üzerine farklı pıhtılaştırıcı enzimlerin etkisi. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1): 68-86.
- Aslan M. 2016. Mmembran Teknolojileri. T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 77-90.
- Avalli AM, Povoło D, Carminati G, Contarini G. 2004. Significance of 2-heptanone in evaluating the effect of microfiltration/pasteurisation applied to goats' milk. *International Dairy Journal*. 14(10): 915-921.
- Aydiner C, Sen U, Topcu S, Sesli D, Ekinci D, Altınay AD, Keskinler B. 2014. Techno-economic investigation of water recovery and whey powder production from whey using UF/RO and FO/RO integrated membrane systems. *Desalination and Water Treatment*, 52(1-3): 123-133.
- Brans GCGPH, Schroën RGM, Van der Sman, Boom RM. 2004. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. *Journal of Membrane Science*. 243(1-2): 263-272.
- Carter BG, Cheng N, Kapoor R, Meletharayil GH, Drake MA. 2021. Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *Journal of Dairy Science*.
- Cassano A, Basile A. 2011. Membranes for industrial microfiltration and ultrafiltration. In *Advanced Membrane Science and Technology for Sustainable Energy and Environmental Applications* (pp. 647-679). Woodhead Publishing.
- Chen Y, Callanan M, Shanahan C, Tobin J, Gamon LF, Davies MJ, Brodtkorb A. 2021. The Use of Membrane Filtration to Increase Native Whey Proteins in Infant Formula. *Dairy*, 2(4): 515-529.
- Daufin G, Escudier JP, Carrère H, Bérot S, Fillaudeau L, Decloux M. 2001. Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry. *Food and Bioproducts Processing*, 79(2): 89-102.
- Deshwal GK, Akshit Kadyan S, Sharma H, Singh AK, Panjagari NR, Meena GS. 2021. Applications of reverse osmosis in dairy processing: an Indian perspective. *Journal of Food Science and Technology*, 1-13.
- Deshwal GK, Ameta Sharma H, Singh AK, Panjagari NR, Baria B. 2020. Effect of ultrafiltration and fat content on chemical, functional, textural and sensory characteristics of goat milk-based Halloumi type cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 126(2020).
- Doll EV, Scherer S, Wenning M. 2017. Spoilage of Microfiltered and Pasteurized Extended Shelf-Life Milk Is Mainly Induced by Psychrotolerant Spore-Forming Bacteria that often Originate from Recontamination. *Frontiers in Microbiology*. 8:145.
- D'souza NM, Mawson AJ. 2005. Membrane cleaning in the dairy industry: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 45(2): 125-134.
- Faion AM, Becker J, Fernandes IA, Steffens J, Valduga E. 2019. Sheep's milk concentration by ultrafiltration and cheese elaboration. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4), e13058.
- Faion AM, Menegotto ALL, Fernandes IA, Steffens C, Steffens J, Valduga E. 2020. Production of Serra da Estrela cheese from ultrafiltered sheep's milk. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 384-390.
- Fane AG, Wang R, Jia Y. 2008. (Edt:Wang LK, Chen PJ, Hung YT, Shammass NK.). *Membrane and Desalination Technologies. Handbook Environmental Engineering*, 13:7-8.
- Fernández García L, Álvarez Blanco S, Riera Rodríguez FA. 2013. Microfiltration applied to dairy streams: removal of bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2): 187-196.
- Fernández-Molina JJ, Fernández-Gutiérrez SA, Altunakar B, Bermúdez-Aguirre D, Swanson GG, Barbosa-Cánovas GV. 2005. The combined effect of pulsed electric fields and conventional heating on the microbial quality and shelf life of skim milk. *J Food Process Preserv*, 29: 390-406.
- France TC, Kelly AL, Crowley SV, O'Mahony JA. 2021. Cold microfiltration as an enabler of sustainable dairy protein ingredient innovation. *Foods*, 10(9): 2091.
- García LF, Rodríguez FR. 2014. Combination of microfiltration and heat treatment for ESL milk production: Impact on shelf life. *Journal of Food Engineering*, 128: 1-9.
- Griep ER, Cheng Y, Moraru CI. 2018. Efficient removal of spores from skim milk using cold microfiltration: Spore size and surface property considerations. *Journal of Dairy Science*, 101: 1-11.
- Haydamaka AW, Wilbey RA, Lewis MJ, Kuo AW. 2001. Manufacture of heat and acid coagulated cheese from ultrafiltered milk retentates. *Food Research International* 34(2001): 197-205.1
- Henning DR, Baer RJ, Hassan AN, Dave R. 2006. Major advances in concentrated and dry milk products, cheese, and milk fat-based spreads. *Journal of Dairy Science*, 89(4): 1179-1188.
- Hussain I, Bell AE, Grandison AS. 2013. Mozzarella-type curd made from Buffalo, cows' and ultrafiltered cows' milk. 1. rheology and Microstructure. *Food and Bioprocess Technology*, 6(7): 1729-1740.
- Govindasamy-Lucey S, Jaeggi JJ, Bostley AL, Johnson ME, Lucey JA. 2004. Standardization of milk using cold ultrafiltration retentates for the manufacture of Parmesan cheese. *Journal of dairy Science*, 87(9): 2789-2799.
- Govindasamy-Lucey S, Jaeggi JJ, Johnson ME, Wang T, Lucey, JA. 2007. Use of cold microfiltration retentates produced with polymeric membranes for standardization of milks for manufacture of pizza cheese. *Journal of dairy science*, 90(10): 4552-4568.
- Jiang L, Tu Y, Li X, Li H. 2018. Application of reverse osmosis in purifying drinking water. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 38, p. 01037). EDP Sciences.
- Jost R, Jelen P. 1997. Cross-flow microfiltration-an extension of membrane processing of milk and whey. *Bulletin of the IDF* 320: 9-15.
- Katsoufidou K, Yiantsios SG, Karabelas AJ. 2008. An experimental study of UF membrane fouling by humic acid and sodium alginate solutions: the effect of backwashing on flux recovery. *Desalination*, 220(1-3): 214-227.
- Kazemimoghdam M, Mohammadi T. 2007. Chemical cleaning of ultrafiltration membranes in the milk industry. *Desalination*, 204(1-3): 213-218.
- Kulozik U. 2019. Ultra-and Microfiltration in dairy technology. In *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (pp. 1-28). Elsevier.
- Kumar P, Sharma N, Ranjan R, Kumar S, Bhat ZF, Jeong DK. 2013. Perspective of membrane technology in dairy industry: A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(9): 1347.



- Lauzin A, Pouilot Y, Britten M. 2019. Understanding the differences in cheese-making properties between reverse osmosis and ultrafiltration concentrates. *Journal of Dairy Science*, 103:201-209.
- Le TT, Cabaltica AD, Bui VM. 2014. Membrane separations in dairy processing. *J. food res. technol*, 2(1): 1-14.
- Lidberg E, Bredahl B. 1990. Mikrofilterad Ystmjölks anvanbarhet vid tillverkning af svensk haardost. Rapport fraan SMR's FOV-enhet, Malmö och Falkenberg.
- Liang H, Gong W, Chen J, Li G. 2008. Cleaning of fouled ultrafiltration (UF) membrane by algae during reservoir water treatment. *Desalination*, 220(1-3): 267-272.
- Limsawat P, Pruksasri S. 2010. Separation of Lactose from Milk by Ultrafiltration. *Asian Journal of Food Agro Industry*, 3(02): 236-243.
- Malaeb L, Ayoub GM. 2011. Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review. *Desalination*, 267 (2011): 1-8.
- Malmberg R, Holm S. 1987. Producing low bacteria milk by microfiltration. *Food Focus*, 16-17.
- Maubois JL. 1997. Current uses and future perspectives of MF technology in the dairy industry. *Bulletin of the IDF* 320, (37-40).
- Meyer P, Kulozik U. 2016. Impact of protein removal by an upstream ultrafiltration on the reverse osmosis of skim milk and sweet whey. *Chemie Ingenieur Technik*, 88(5):585-590.
- Mohammad AW, Ying NgC, Pei Lim Y, Hong NgG. 2012. Ultrafiltration in Food Processing Industry: Review on Application, Membrane Fouling, and Fouling Control. *Food Bioprocess Technol* (2012) 5:1143-1156.
- Mohammad AW, Teow YH, Ho KC, Rosnan NA. 2019. Recent developments in nanofiltration for food applications. In *Nanomaterials for Food Applications* (pp. 101-120). Elsevier.
- Mohammad AW, Teow YH, Ang WL, Chung YT, Oatley-Radcliffe DL, Hilal N. 2015. Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. *Desalination*, 356: 226-254.
- Moreno-Montoro M, Olalla M, Giménez-Martínez R, Bergillos-Meca T, Ruiz-López MD, Cabrera-Vique, Navarro-Alarcón, M. 2015. Ultrafiltration of skimmed goat milk increases its nutritional value by concentrating nonfat solids such as proteins, Ca, P, Mg, and Zn. *Journal of dairy science*, 98(11): 7628-7634.
- Mourouzidis-Mourouzidis SA, Karabelas AJ. 2006. Whey protein fouling of microfiltration ceramic membranes—pressure effects. *Journal of Membrane Science*, 282(1-2): 124-132.
- Mudiyanselage N, Narayana NK, Gupta VK. 2016. Quality of Plain Set Yoghurt as affected by Levels of Ultrafiltration Concentration of Milk and Inoculum of Yoghurt Culture. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(6): 508-514.
- Naim R, Levitsky I, Gitis V. 2012. Surfactant cleaning of UF membranes fouled by proteins. *Separation and purification technology*, 94: 39-43.
- Nandini K, Praneeth CN, Rao A. 2021. (November). A review on membrane processes in dairy technology. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2387, No. 1, p. 030001). AIP Publishing LLC.
- Olesen N, Jensen N. 1989. Microfiltration-The influence of operation parameters on the process. *Milchwissenschaft* 44: 476-479.
- Oro CED, Dos Santos MS, Dallago RM, Tres MV. 2021. Membrane Applications in the Dairy Industry.
- Özcan T, Kurtuldu O. 2011. Sütün Raf Ömrünün Uzatılmasında Alternatif Yöntemler, Uludağ. Üni. Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 25, Say. 1: 119-129 (Journal of Agricultural Faculty of Uludağ University).
- Parris N, Purcell JM, Ptashkin SM. 1991. Thermal denaturation of whey proteins in skim milk. *J. Agric. Food Chem.* 39(12): 2167-2170.
- Pan K, Song Q, Wang L, Cao B. 2011. A study of demineralization of whey by nanofiltration membrane. *Desalination*, 267(2-3): 217-221.
- Panezai N. 2021. Strategies Used to Control Bacteriophages Contamination in Dairy Food and Industry. *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*, 4(Special Is): S1-S10.
- Panopoulos G, Moatsou G, Psychogiopoulou C, Moschopoulou, E. 2020. Microfiltration of Ovine and Bovine Milk: Effect on Microbial Counts and Biochemical Characteristics. *Foods*, 9(3): 284.
- Pinto MS, Pires AC, Sant'Ana HM, Soares NF, Carvalho AF. 2014. Influence of multilayer packaging and microfiltration process on milk shelf life. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(2): 151-159.
- Puhan Z. 2000. Dairy technology on the turn of the millennium. *Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani. Kmetijska Zootehnika*, 76(2): 31-40.
- Reig M, Vecino X, Cortina JL. 2021. Use of Membrane Technologies in Dairy Industry: An Overview. *Foods*, 10(11): 2768.
- Rippenger S. 1992. Mikrofiltration mit Membranen. *Grundlagen, Verfahren, Anwendungen* p.285. Germany.
- Robin O, Turgeon S, Paquin P. 2006. Functional properties of milk proteins (pp.277-334). In:Hui Y.H.(ed.), *Dairy Science and Technology Handbook 1.Principles and Properties*. Vol.1, Wiley and Sons, Cambridge.
- Saboya L, Maubois JL. 2000. Current developments of microfiltration in dairy industry. *Lait* 80(2000): 541-553.
- Salehi F. 2014. Current and future applications for nanofiltration technology in the food processing. *Food and Bioprocess Processing*, 92(2): 161-177.
- Sandra S, Cooper C, Alexander M, Corredig M. 2011. Coagulation properties of ultrafiltered milk retentates measured using rheology and diffusing wave spectroscopy. *Food Research International*, 44(4): 951-956.
- Shenvi SS, Isloor AM, Ismail AF. 2015. A review on RO membrane technology: Developments and challenges. *Desalination*, 368: 10-26.
- Shi X, Tal G, Hankins NP, Gitis, V. 2014. Fouling and cleaning of ultrafiltration membranes: A review, *Journal of Water Process Engineering*, (121-138).
- Sisay EJ, László Z. 2021. Trend and Novel Possibilities of Dairy Wastewater Treatment by Membrane Filtration. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 14(1).
- Soltani M, Guzeler N, Hayaloglu AA. 2015. The influence of salt concentration on the chemical, ripening and sensory characteristics of Iranian white cheese manufactured by UF-Treated milk. *The Journal of dairy research*, 82(3): 365.
- Sørensen I, Le TT, Larsen LB, Wiking L, 2019. Rennet coagulation and calcium distribution of raw milk reverse osmosis retentate. *International Dairy Journal* 95(2019): 71-77.
- Sørensen I, Neve T, Ottosen N, Larsen LB, Dalsgaard TK, Wiking L. 2017. Storage stability of whole milk powder produced from raw milk reverse osmosis retentate. *Dairy Science and Technology*, 96(6): 873-886.
- Strathmann H, Giorno L, Drioli E. 2011. Introduction to membrane science and technology (Vol. 544). Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
- Suárez E, Lobo A, Álvarez S, Riera FA, Álvarez R. 2006. Partial demineralization of whey and milk ultrafiltration permeate by nanofiltration at pilot plant scale. *Desalination* 198: 274-281
- Taivosalo A, Kriščiunaite T, Stulova I, Part N, Rosend J, Sörmus A, Vilu R. 2019. Ripening of Hard Cheese Produced from Milk Concentrated by Reverse Osmosis. *Foods*, 8(5):165.
- Tomasula PM, Mukhopadhyay S, Datta N, Porto-Fett A, Call JE, Luchansky JB, Tunick M. 2011. Pilot-scale crossflow-microfiltration and pasteurization to remove spores of *Bacillus anthracis* (Sterne) from milk. *Journal of dairy science*, 94(9): 4277-4291.

- Ünver N, Çelik Ş. 2017. İçme Sütü Üretiminde ESL (Extended Shelf Life) Teknolojisinin Kullanımı. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* (2017) 21(2): 247-258.
- Vincens D, Tabard J. 1988. L'elimination des germes bacterines sur membranes de microfiltration. *Tecnique Laitiere*, 1033: 62-64.
- Wang H; Zhou H. Understand the basics of membrane filtration. *Chem. Eng. Prog.* 2013, 109: 33–40.
- Wenten IG, Khoiruddin 2016. Reverse Osmosis Applications: Prospect and Challenges. *Desalination* 391(2016): 112–125.
- Yılmazok G, Ersöz M. 2020. (21-23 Ekim). Nanofiltrasyondan Geçirilen Peynir Altı Suyu ile Kefir Üretimi, Türkiye 13. Gıda Kongresi, Çanakkale.
- Yetişemiyen A, Yıldız F. 2006. (24-26 Mayıs). Süt Endüstrisinde Mikrofiltrasyonun Kullanımı, Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu.
- Yetişemiyen A, Yıldız F. 2011. 'Membran Ayırma Tekniklerinin Peynir Teknolojisinde Kullanımı', (Ed. Ali Adnan Hayaloğlu-Ed Barbaros Özer), *Peynir Biliminin Temelleri*, Sidas Medya., İzmir 2011, s.309.
- Yu X, Leconte N, Méjean S, Garric G, Even S, Henry G Deglaire, A. 2021. Semi-industrial production of a minimally processed infant formula powder using membrane filtration. *Journal of Dairy Science*, 104(5): 5265-5278.
- Zargar M, Jin, B, Dai S. 2015. (Edt: Kang Hu, Dickson JM.). *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*, IFT Press; 139-143.
- Zhang S, Liu L, Pang X, Lu J, Kong F, Lv J. 2016. Use of Microfiltration to Improve Quality and Shelf Life of Ultra-High Temperature Milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4): 707-714.