



Membrane technologies in the food and beverage industry

Cemre Çelikten¹, Rukiye Mavuş^{1*}, Sevgi Kemeç², Ümran Ünlü², Ayça Ergün², Hüseyin Deligöz^{2*}

¹Gemak Food Processing Machinery Trd. Inc., Ankara, 06930, Turkey

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, 34320, Turkey

Highlights:

- Basic principles of membrane technology
- Advantages of membrane technologies in the food and beverage industry
- Membrane types used in the food and beverage industry and industrial scale applications

Keywords:

- Food and beverage industry
- membranes
- membrane processes
- separation
- purification and concentration

Article Info:

Review Article

Received: 16.02.2021

Accepted: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.881087

Acknowledgement:

This study was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the project numbers of 3200785 and 1180083.

Correspondence:

Author: Rukiye Mavuş

e-mail:

rukiye mavus@gemak.com.tr

Author: Hüseyin Deligöz

e-mail: hdeligoz@iuc.edu.tr

phone: +90 212 473 7070 / 17758

Graphical/Tabular Abstract

Membrane technologies are widely used in the food and beverage industry, especially in the production and processing of milk and dairy products, fruit juices and alcoholic beverages.

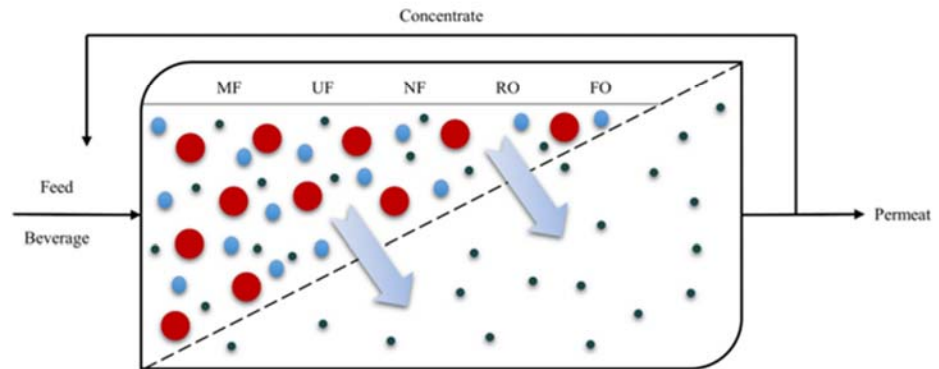
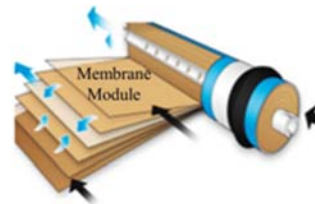


Figure A. Basic scheme of a membrane process.

Purpose: This review article includes detailed information about the advantages of membrane technologies used in the food and beverage industry compared to traditional methods, the basic principles of membrane technologies, membrane types, common application areas, and studies reported in the literature.

Theory and Methods:

The uses of (i) membrane separation, (ii) evaporation and (iii) freeze-concentration techniques are investigated for purification, separation and concentrated product preparation in the food and beverage industry.

Results:

Membrane processes are a more advantageous method than traditional methods to obtain high quality and cost-effective products in the food and beverage industry.

Conclusion:

The application of membrane processes as an alternative to traditional separation, purification, and concentrated product methods for "sustainable production" and "zero waste approach" in the food and beverage industry is a very popular and growing subject. Pressure-driven membrane processes, namely MF, UF, NF, and RO, lead to effective separation of components with a large range of particle sizes. Hence, this paves the way to find a wide range of membrane applications in the food and beverage industry. In addition, since membrane processes are more economical in terms of energy consumption compared to traditional techniques, it is predicted that their use will have an increasing trend.



Gıda ve içecek endüstrisinde membran teknolojileri

Cemre Çelikten¹, Rukiye Mavuş^{1*}, Sevgi Kemeç², Ümran Ünlü², Ayça Ergün², Hüseyin Deligöz^{2*}

¹Gemak Gıda İşleme Makinaları Tic. A.Ş., Ankara, 06930, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, -Cerrahpaşa, İstanbul, 34320, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Membran teknolojisinin temel ilkeleri
- Gıda ve içecek endüstrisinde membran teknolojilerinin avantajları
- Gıda ve içecek endüstrisinde kullanılan membran türleri ve endüstriyel ölçek uygulamaları

Makale Bilgileri

Tarama Makalesi

Geliş: 16.02.2021

Kabul: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.881087

Anahtar Kelimeler:

Gıda ve içecek endüstrisi,
membranlar,
membran süreçleri,
ayırma,
saflaştırma ve
derişiklendirme

ÖZ

Gıda ve içecek sektöründe “sürdürülebilir üretim” ve “sıfır atık yaklaşımı” için geleneksel ayırma, saflaştırma ve derişiklendirme yöntemlerine alternatif olarak membran süreçlerinin uygulanması oldukça popüler ve gelişmekte olan bir konudur. Gıda ve içecek sektöründe uygulama çeşitliliğine bağlı olarak uygun membran süreçlerinin kullanımının yaygınlaşmasının başlıca sebepleri; (i) geleneksel yöntemlere göre işlem basamaklarını azaltarak süreci kısaltması, (ii) geleneksel yöntemde uygulanan yüksek sıcaklığa bağlı olarak gıda ve içeceklerin içerdikleri besin ve aroma bileşenlerindeki değişikliklerin minimize edilerek son ürün kalitesini artırması, (iii) yüksek ayırma seçiciliği ve verimi, (iv) gıda içerisinde yer alan yararlı bileşenlerin zarar görmesini engelleyecek optimum koşullarda çalışma imkânı sunarak gıda güvenliğini sağlayan daha sağlıklı ve çevreci bir sistem olmasıdır. Basınç destekli Mikrofiltrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF) ve Ters Ozmoz (TO) membran süreçleri, geniş bir parçacık aralığında bileşenlerin etkin biçimde ayrılmasına ve membran uygulamalarının gıda ve içecek sektöründe geniş bir uygulama alanı bulmasına imkan tanımaktadır. Ayrıca membran süreçleri geleneksel yöntemlere göre enerji tüketimi açısından daha ekonomiktirler. Bu derleme makalede, gıda ve içecek sektöründe yer alan alkolsüz ve alkollü içeceklerde membran teknolojilerinin geleneksel yöntemlere göre sağladığı avantajlar, membran teknolojilerinin temel ilkeleri, kullanılan membran tipleri ve uygulama alanları ile endüstriyel ölçekte gerçek uygulama örnekleri hakkında detaylı bilgilere ve bu konuda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Membrane technologies in the food and beverage industry

H I G H L I G H T S

- Basic principles of membrane technology
- Advantages of membrane technologies in the food and beverage industry
- Membrane types used in the food and beverage industry and industrial scale applications

Article Info

Review Article

Received: 16.02.2021

Accepted: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.881087

Keywords:

Food and beverage industry,
membranes,
membrane processes,
separation,
purification and
concentration

ABSTRACT

The application of membrane processes as an alternative to traditional separation, purification, and concentrated product methods for “sustainable production” and “zero waste approach” in the food and beverage industry is a very popular and growing subject. The main reasons for the widespread use of suitable membrane processes in the food and beverage industry, depending on the variety of applications; (i) shortening the process by reducing the process steps compared to traditional methods, (ii) depending on minimized changes in the loss of aroma and nutritional components of food and beverages due to high-temperature employment in the traditional methods and increasing the end product quality, (iii) high process selection and efficiency, (iv) being a healthier and more environmentally-friendly system that ensures food safety by providing the opportunity to work under optimum conditions at which prevent to damage of the useful components in food. Pressure-driven membrane processes, namely MF, UF, NF, and RO lead to effective separation of components with a large range of particle sizes. Furthermore, membrane processes are more economical in terms of energy consumption compared to traditional techniques. This review article includes detailed information about the advantages of membrane technologies used in the production of non-alcoholic and alcoholic beverages in the food and beverage industry over the traditional methods, the basic principles of membrane technologies, membrane types and their application areas, real industrial scale application examples, and studies reported in the literature.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gıda ve içecek endüstrisi ekonominin gelişmesine katkı sağlayan endüstriler arasında yer almaktadır [1]. İçecek endüstrisi, en temel içecek olan suyun yanı sıra süt, meyve suyu, çay, kahve, şarap vb. içmeye hazır ürünler üretmektedir [2]. Alkolsüz ve alkollü içecekler olarak başlıca iki kategoride incelenen içeceklerin sınıflandırılması sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilmiştir [3]. Alkolsüz içecekler, fermente edilmemiş veya damıtılmamış içecekler olup [3], alkolsüz içecek hacminin %87-92’lik kısmını su oluşturmaktadır [4]. Alkollü içecekler ise tahıl, arpa, meyve, şeker kamışı ve pirinç gibi hammaddelerin kontrollü bir ortamda maya ile fermantasyonu sonucunda üretilmektedir [5, 6].

1960’larda laboratuvar ölçekli çalışmalardan endüstriyel ölçekli uygulamalara dönüşmeye başlayan membran teknolojileri günümüzde çeşitli uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [7-9]. En genel tanımıyla seçici geçirgen zarlar olarak ifade edilen membranlar genel olarak iki fazı birbirinden ayırmak, çeşitli bileşenlerin taşınımını sınırlandırmak ve daha saf veya derişik ürün elde etmek amacıyla kullanılmaktadır [10, 11]. Membran sistemleri atık su arıtma, ayırma ve saflaştırma, katma değeri yüksek kimyasalların geri kazanımı gibi farklı uygulama alanlarında yüksek ayırma performansı sağlamanın yanı sıra daha az enerji tüketimi ile de son dönemde öne çıkmaktadır [4].

Membranların kullanıldığı süreçlerde gerçekleşen ayırma işlemleri sıcaklık, basınç, kimyasal ve elektriksel potansiyel farkı gibi çeşitli yürütücü kuvvetlerin etkisi ile meydana gelmektedir [12]. Şekil 1’de gösterilen membran ile ayırma sürecinde yarı geçirgen zardan geçen kısım süzüntü akımı (*permeat*) olarak, alıkonulan kısım ise derişik akım (*retentat*) olarak adlandırılmaktadır [11].

Membran süreçleri, uygulanan yürütücü kuvvet ve kullanılan membranın gözenek boyutuna göre sınıflandırılmakta olup, mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (TO) yaygın olarak uygulanan membran süreçleridir. Bunların yanı sıra elektrodializ (ED), pervaporasyon (PV) ve ileri ozmoz (İO) gibi süreçler de son yıllarda gıda ve içecek sektöründe kullanılmaktadır. Tablo 3’te bu membran süreçlerine ait ayrıntılar verilmektedir.

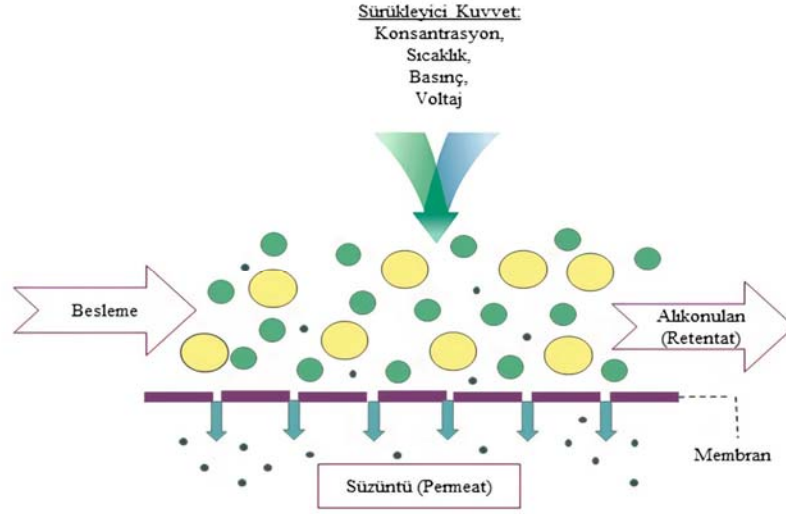
Membran teknolojileri kimya endüstrisinde ayırma, geri kazanım, saflaştırma, berraklaştırma ve derişiklendirme işlemleri için aktif olarak kullanılmaktadır [14]. Bununla birlikte, membran teknolojileri gıda ve içecek endüstrisinde özellikle süt ve süt ürünleri, meyve suları ve alkollü içeceklerin üretimi ile işlenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [15]. Örneğin; gıda ve içecek sektöründe MF prosesi yaygın olarak fermente ürünlerden mikroorganizma giderimi, UF işlemi meyve suyu ve çeşitli süt ürünlerinin üretimi, NF işlemi gıda endüstrisinde laktoz, glikoz ve sükroz gibi organik maddelerin uzaklaştırılması ve derişik ürünlerin hazırlanması; TO işlemi ise genellikle derişik ürünlerin hazırlanması gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [16]. Sıklıkla kullanılan NF membranların gözenek boyutları 100–1000 Da’luk molekül ağırlığına göre ayırma sınırı değerine (MWCO) karşılık gelen 0,5-2 nm arasında derişirken işletme basınçları 3-30 bar aralığında olup [1], NF membranların tek değerlikli iyonları geçirirken iki değerlikli iyonları geçirmemesi ve TO membranlara göre daha yüksek akı sağlması, bu tür membranların meyve suyu, süt ürünleri, şeker ve bitkisel yağ işleme gibi farklı alanlarda özel uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır [17, 18]. Gıda ve içecek endüstrisinde derişik ürün eldesi için kullanılan TO ve NF uygulamaları karşılaştırıldığında, TO membranlara göre daha düşük basınçlarda ayırma sağlayabilen NF membranları, TO membranların aksine bazı küçük moleküllerin geçişine izin

Tablo 1. Alkolsüz içeceklerin sınıflandırılması (The classification of non-alcoholic beverages) [3].

Alkolsüz İçecekler								
Gazlı / Gazsız İçecekler		Sıcak/Soğuk İçecekler		Hava Katılmış/Katılmamış İçecekler		Besleyici, Canlandırıcı veya Uyarıcı İçecekler		
Gazlı İçecekler (Soda, Kola)	Gazsız İçecekler (Meyve Suyu, Enerji İçeceği, Kahve, Çay, Süt)	Sıcak İçecekler (Çay, Süt, Kahve Ürünleri)	Soğuk İçecekler (Meyve Suyu, Milkshake, Soğuk Çay)	Hava Katılmış İçecekler (Soda, Enerji İçeceği)	Hava Katılmamış İçecekler (Meyve Suyu, Çay, Kahve, Süt)	Besleyici İçecekler (Süt, Meyve Suyu, Alkolsüz Kokteyl)	Canlandırıcı İçecekler (Alkolsüz Meyve Suyu, Şekerli İçecekler)	Uyarıcı İçecekler (Kahve, Çay, Kakao)

Tablo 2. Alkollü içeceklerin sınıflandırılması (Classification of alcoholic beverages) [3].

Alkollü İçecekler			
Fermente İçecekler		Fermente ve Distile İçecekler	
Arpa Kullanılan İçecekler (Bira)	Meyve Kullanılan İçecekler (Şarap, Elma Şarabı, Armut Şarabı, Bal Şarabı)	Arpa Kullanılan İçecekler (Viski)	Meyve Kullanılan İçecekler (Konyak, Rom)



Şekil 1. Yarı geçirgen bir membranda ayırmanın şematik gösterimi [13].
(Schematic representation of the separation in a semi-permeable membrane)

Tablo 3. Membran süreçlerinin yürütücü kuvvet, membran ve ayırma mekanizmasına bağlı olarak sınıflandırması [10].
(Classification of membrane processes depending on the driving force, membrane and separation mechanism)

Membran Prosesi	Sürücü Kuvvet	Membran Türü	Ayırma Mekanizması	Konsantre Akım	Süzüntü Akımı
Ters Ozmoz (TO)	Basınç	Asimetrik 1-10 Å	Boyut/Afinite	Maddeler, su	Su
Nanofiltrasyon (NF)	Basınç	Asimetrik	Boyut/Afinite	Çift değerlikli iyonlar, düşük molekül ağırlıklı moleküller	Tek değerlikli iyonlar, ayrılmamış asitler, su
Ultrafiltrasyon (UF)	Basınç	Asimetrik 0,001-0,1 µm	Boyut	Partiküller, bakteri, su	Küçük moleküller, su
Mikrofiltrasyon (MF)	Basınç	Mikro Gözenekli 0,1-10 µm	Boyut	Askıda katılar, su	Çözünmüş maddeler, su
Diyaliz	Değişim	-	-	Büyük moleküller, su	Küçük moleküller, su
Pervaporasyon	Basınç	İyon Değiştirici	Afinite	Uçucu olmayan maddeler, su	Uçucu küçük moleküller, su
Elektrodiyaliz	Potansiyel Fark	Homojen Simetrik / Asimetrik	Elektriksel Yük	Çözünmüş iyonik olmayan maddeler, su	Çözülmüş iyonlaşmış maddeler, su
İleri Ozmoz	Değişim Ozmotik Basınç Gradienti	Gözeneksiz Asimetrik	Boyut/Afinite	Maddeler, Su	Su

verse de bu durum tolere edilebilir seviyede olup son zamanlarda NF membranları TO membranlarının yerine kullanılmaya başlanmıştır.

2020 yılında hazırlanan rapora göre gıda ve içecek endüstrisinde membran kullanımının 2020-2024 yılları arasında küresel pazarda ortalama 2,38 milyon US\$ kadar artarak yıllık ortalama %8'lik bir büyüme hızı göstereceği öngörülmektedir [19]. Bu sektörde membran kullanımının yaygınlaşmasının başlıca sebepleri; (i) geleneksel

yöntemlere göre işlem basamaklarını azaltarak süreci kısaltması, (ii) geleneksel yöntemde uygulanan yüksek sıcaklığa bağlı olarak gıda ve içeceklerin içerdikleri aroma bileşenlerindeki değişiklikler ve bileşenlerin kaybının minimize ederek son ürün kalitesini artırması, (iii) ayırım seçiciliğinin ve veriminin yüksek olması, (iv) gıda içerisinde yer alan yararlı bileşenlerin zarar görmesini engelleyecek optimum koşullarda çalışma imkânı sunarak gıda güvenliğini sağlayan daha sağlıklı ve çevreci bir sistem olmasıdır [20]. Ayrıca membran teknolojisinin az atık ortaya

çıkarması ve diğer ayırma yöntemleri ile kolayca birleştirilebilmesi de önemli avantajlar olarak değerlendirilmektedir [21]. Bu derleme makalede, gıda ve içecek sektöründe geleneksel yöntemlere alternatif olarak membran teknolojilerinin süt ve süt ürünleri, meyve suyu, alkollü içecekler, kahve ve çay üretim süreçlerinde kullanımlarına ve üstünlüklerine odaklanılmış, örnek bir sektör olarak derişik kahve üretimine yönelik uygulanan yöntemler arasında bir karşılaştırma sunulmuştur.

2. AYIRMA VE SAFLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ (SEPARATION AND PURIFICATION METHODS)

Gıda ve içecek sektöründe saflaştırma, ayırma ve derişik ürün hazırlama çalışmalarında damıtma, özütleme ve kristalizasyon gibi bilinen yöntemlerin yanı sıra (i) membranla ayırma, (ii) buharlaştırma (evaporasyon) ve (iii) dondurarak yoğunlaştırma yöntemleri de uygulanmaktadır.

2.1. Membran Ayırma Süreçleri (Membrane Separation Processes)

Gıda ve içecek endüstrisinde yapılan çalışmalarda genellikle seramik ve polimerik membranlar tercih edilmektedir [22]. Seramik membranlar, kimyasal bozulmalara ve biyokirlenmelere karşı dirençli, uzun raf ömrüne sahip olmalarına karşın üretim maliyetlerinin yüksek olması kullanım alanlarını kısıtlamaktadır [23]. Çözücü direnci ve ısı kararlılık özelliklerinin önemli olduğu MF ve UF gibi uygulamalarda kullanılan seramik membranlar, titanyum, zirkonyum, silisyum ve alüminyum oksitler'den üretilmektedir [13]. Diğer sentetik membranlara göre seramik membranlar, düşük bakım maliyetine, yüksek akı değerlerine, üstün ısı dayanıma, kirlenmeye karşı dirence ve yüksek basınç sınırlamasına (2MPa) sahiptir [10]. Bu özelliklerinden dolayı gıda, biyoteknoloji ve ilaç gibi farklı endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [13]. Seramik membran seçici katmanları ağırlıklı olarak sol-jel tabanlı yöntemlerle oluşturulurken, metal alkoksit esaslı öncüller dar gözenek boyut dağılımlarına sahip ince MF ve UF seçici katmanlarının oluşturulmasında kullanılmaktadırlar [24-29]. Seramik seçici katmanların oluşturulmasında da kimyasal kararlılığı nedeniyle TiO₂ en çok kullanılan seramik oksit fazıdır. Kararlı olan rutil fazının ve fotokatalitik aktivitesi daha yüksek anataz fazının aktivitesini artırmak ve görünür bölgedeki ışıktan da yararlanmasını sağlama adına çeşitli metallerle katkılandırma çalışmaları yapılmıştır [30-33].

Membran ayırma işlemlerinde polimerik membranlar üstün ayırma performansı, düşük maliyet ve üretiminin daha kolay olması sebebiyle seramik esaslı membranlara göre daha çok tercih edilirken, çözelti içerisindeki parçacıkların membran gözeneklerini tıkaması ve konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılan membran yüzeyinde geçişi engelleyecek tabaka/katman oluşumu nedeniyle kirlenme eğilimleri gibi dezavantajlara sahiptirler. Bu sebeple, polimerik bir membranın endüstriyel uygulanabilirliğinde sürdürülebilir yüksek akı özelliği için kirlenmenin tamamen önlenmesi

mümkün olmasa bile membrana beslenecek çözeltinin ön bir arıtma işleminden geçirilmesi veya düzenli membran temizliğinin yapılması gerekmektedir.

İlk ticari membranlar selüloz, etil selüloz ve selüloz asetat (CA) yapılmıştır. Bu membran malzemeleri doğal kaynaklardan elde edilmiştir ve dolayısıyla uygun maliyetlidirler. Buna karşın, CA'nın düşük kimyasal kararlılığı, nispeten dar bir pH toleransına sahip olması ve biyolojik olarak bozunmaya uğraması kullanımını sınırlandırmaktadır [7, 34-36]. Bu ticari membranları takiben polisülfon (PSf), polieter sülfon (PES), poliakrilonitril (PAN), poliviniliden florür (PVDF), polikarbonat (PC), poliamid (PA), poliimid (PI), polieterimid (PEI), poliakrilonitril (PAN) gibi polimerik membranlar farklı uygulama ve süreçler için geliştirilmiştir [35]. Farklı uygulamalara bağlı olarak, istenen ayırma işlemlerine uygun özgün morfolojilere ve taşıma özelliklerine sahip polimerik membranlar hazırlamak için, kristalin veya amorf yapılarda birçok organik polimer kullanılabilir [35]. Endüstriyel süreçlerde sıklıkla kullanılan anizotropik membranlar, genellikle kalın mikro gözenekli (50-150 µm) bir alt destek tabaka üzerinde çok ince (0,1-1 µm) bir yüzey tabakasına sahiptir [37]. Sahip olduğu ince seçici tabaka sayesinde membran akıları oldukça yüksektir [37, 38]. Nispeten yeni kompozit membranlar ise ayırma ve su arıtımı için yüksek seçicilik ve akı, ısı ve kimyasal kararlılığın yanı sıra kendi kendini temizleme (self-cleaning) özelliklerini de sağlayabilmektedir [39-41]. Kompozit membranın aktif seçici tabakası, ara yüzey polimerizasyonu [42-45], çok tabakalı polielektrolit adsorpsiyonu [46-50], kimyasal çapraz bağlama [51, 52], çift tabakalı co-ekstrüzyon/co-casting [53, 54], daldırarak kaplama [55, 56] gibi çeşitli tekniklerle hazırlanabilmektedir. Örneğin; ince film kompozit (TFC) PA membranı, NF ve TO süreçlerinde atık su arıtma, tuzdan arındırma, gıda işleme ve biyo-ayırma gibi birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [57, 58].

2.1.1. Membran modülleri (Membrane modules)

Gerek laboratuvar gerekse endüstriyel ölçekte membran uygulamalarında daha üstün akı ve ayırma performansı için yüksek membran yüzey alanları gerektiğinden [59] membran modülleri kullanılmaktadır. Membran modülleri levha-çerçeve, kapiler (kılcal), spiral sargı, borsal ve içi boş lif (Hallow Fiber) olarak sınıflandırılabilirler [22, 60]. Farklı modüllere ait özellikler Tablo 4'te sunulmuştur. Modül tasarımlarına bağlı olarak yüzey alanlarının, kirlenme eğilimlerinin vb. farklılık göstermesi nedeniyle uygulama alanı esas alınarak farklı modüller kullanılabilir [22]. Örneğin; gıda ve içecek uygulamalarındaki polimer esaslı membran uygulamalarında ağırlıklı olarak spiral sargı yapısındaki modüller tercih edilmektedir.

2.2. Buharlaştırma (Evaporation)

Süt, gıda ve diğer üretim alanlarında kullanılan buharlaştırma (evaporasyon) işlemi, çözeltiden suyun uzaklaştırılmasına bağlı olarak kurutma, depolama ve

nakliye maliyetinin azaltılması gibi avantajlara sahiptir [61-62]. Ancak yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen bu işlemin gıda ve içecek endüstrisindeki uygulamalarda kullanımı (i) yüksek sıcaklıktan dolayı aroma ve uçucu bileşiklerin kaybına ve (ii) kullanılan çözücünün (suyun) buharlaşması sırasında askıdaki katı maddelerin topaklaşmasına neden olmaktadır [63]. Buna karşın, “taze gibi” lezzet talebinin artmasına bağlı olarak içecek üretiminde evaporasyon işleminin kullanılması azalsa da hala büyük ölçüde şeker, şurup, domates ürünleri ve süt ürünlerinin işlenmesinde kullanılmaktadır [64].

2.3. Dondurarak Yoğunlaştırma (Freeze Concentration)

Dondurarak yoğunlaştırma işlemiyle, evaporasyon işleminin aksine çözücü (çoğunlukla su) düşük sıcaklıklarda uzaklaştırıldığı için çözeltideki katı maddelerin kalitesi

korunmaktadır [65, 66]. Ancak bu yöntem karmaşık buz ayırma sistemleri ve işletme maliyetlerini artıran birçok hareketli parça içermektedir [21, 67, 68]. Şekil 2’de düşey film dondurarak yoğunlaştırma sistemine ait bir çizim gösterilmiştir. Ayrıca, içecek sektöründe derişik ürünlerin hazırlanmasında uygulanan yöntemler ilk yatırım maliyeti, işletmedeki zorluklar, ürün kalitesi ve enerji maliyetleri açısından Tablo 5’te karşılaştırılmıştır.

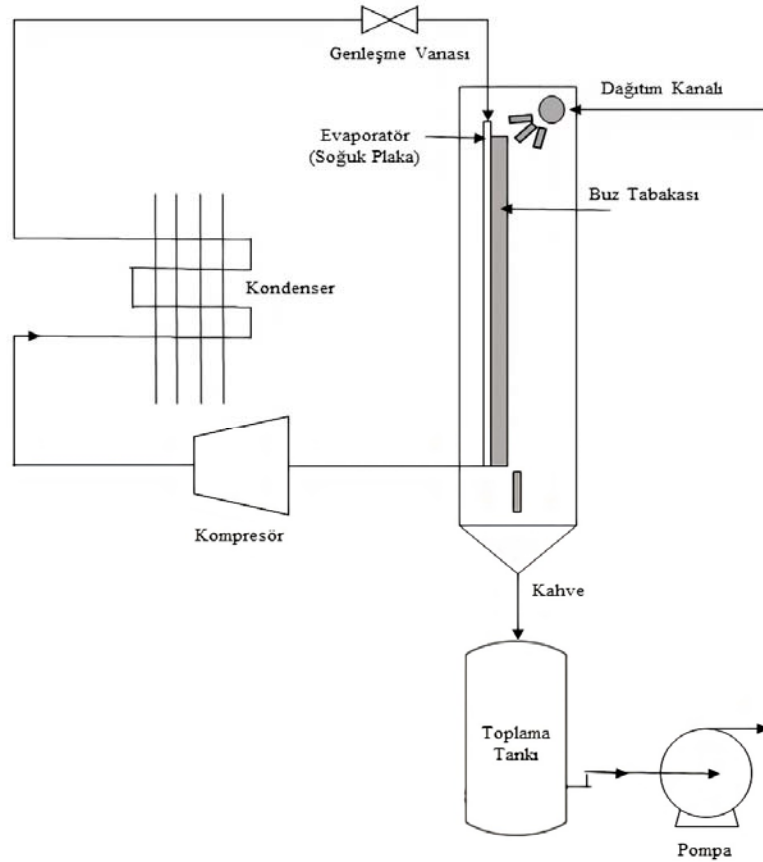
3. ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARDA MEMBRAN SÜREÇLERİ (MEMBRANE PROCESSES IN INDUSTRIAL APPLICATIONS)

3.1. Süt ve Süt Ürünlerinde Membran Süreçleri (Membrane Processes in Dairy Products)

Süt içerisinde bulunan kazein, peynir altı suyu proteinleri gibi yararlı ve katma değerli maddelerin etkin

Tablo 4. Farklı membran modül türlerine ait özellikler (Properties of different types of membrane modules) [8, 22].

Modül Türü	Kirlenme Kontrolü	Yüksek Basınç Prosesine Uygunluk	Maliyet	Kullanım Alanı
İçi Boş Lif	Zayıf	Evet	Çok Düşük	Gaz ayırma, TO
Kapiler	İyi	Hayır	Düşük	Gaz Ayırma, UF, MF, Pervaporasyon
Spiral Sargı	Orta	Evet	Düşük	NF, TO, UF, Gaz Ayırma, Pervaporasyon,
Levha-Çerçeve	İyi	Evet	Yüksek	UF, Pervaporasyon, Elektrodializ, MF, NF
Tübüler	Çok İyi	Değişken	Çok yüksek	MF, UF



Şekil 2. Düşey film dondurarak yoğunlaştırma deney düzeneği (Vertical film freeze densification experiment set-up) [66].

Tablo 5. Derişik ürünlerin hazırlanmasında uygulanan yöntemlerin karşılaştırılması.
(Comparison of the methods used in the preparation of concentrated products)

Yöntem	İlk Yatırım Maliyeti	İşletmede Zorluklar	Ürün Kalitesi	Enerji Maliyeti
Membran Sistemleri	Düşük [21, 61]	Membran kirlenme dayanımı az [21]	Yüksek [69]	Az [63]
Buharlaştırma (Evaporasyon) Teknolojisi	Yüksek [18, 69]	Son ürüne olumsuz etki [63], Karmaşık Sistemler [61,69]	Düşük [61]	Yüksek [61, 69]
Donma Derişimi Teknolojisi	Yüksek [66]	Karmaşık Sistem Ekipmanları [66]	Yüksek [66,68]	Çok yüksek [66]

kullanılabilmesi, standardizasyonu ve süt ile elde edilecek ürün (peynir, yoğurt, krema vb.) çeşitliliğini artırılması ve geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve verimli sonuçlar elde edilebilmesi bakımından membran teknolojileri süt endüstrisinde vazgeçilmez bir işlem haline gelmiştir [70]. Yağsız süttten bakteri ve virüs giderimi gibi birçok işlem membran süreçleriyle gerçekleştirilmektedir [71, 72]. Tablo 6'da süt ve süt ürünlerine uygulanan membran süreçlerine ait bazı güncel örnekler sunulmuştur.

Mikroorganizma varlığı süttün kalitesini ve raf ömrünü azaltan önemli etkenlerden olup [73], uzun süre yüksek ısıya maruz bırakarak süttün içerisindeki mikroorganizmayı gidermek mümkün olsa da bu işlem süttün organoleptik özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte ve besin değerini ciddi ölçüde azaltmaktadır [74]. Geleneksel yöntem olarak kullanılan membran teknolojileri, süttü ısıtma işlemine maruz bırakmaksızın besin değerini koruyarak daha kaliteli bir ürün elde edilmesini sağlamaktadır. Griep vd. [73], süttün kalitesi ve raf ömrünü uzatmak amacıyla bakteri sporların giderilmesi için 1,4 ve 1,2 µm gözenek boyutuna sahip seramik yapıllı membranlar kullanarak gerçekleştirdikleri bir çalışmada, 6°C sıcaklıkta 4,1 m/s çapraz akış hızı ile MF işlemi uygulamışlardır. Yapılan çalışmalarda, sporların küçük boyutlara sahip olmasından dolayı 1,4 µm'den daha küçük gözenek boyutuna sahip MF membran kullanımının mikroorganizmaların uzaklaştırmasında daha fazla verim sağladığı ve böylece süttün kalitesini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. Benzer bir çalışmada, Fritsch ve Moraru [75] yağsız süttün kalitesini ve raf ömrünü iyileştirmek amacıyla gözenek boyutu 1,4 µm olan seramik membran kullanılarak 6±1°C, 52 ve 131 kPa transmembran basınçları ve 5-7 m/s çapraz akış hızında MF işlemi gerçekleştirmişlerdir. Bu şekilde, yağsız süttten bakteri sporların etkili bir şekilde uzaklaştırılması sağlanırken süttün protein içeriğindeki değişimin yok denecek kadar az olduğu ve işlemin süt kalitesi ile raf ömrünü iyileştirmenin mümkün olduğu saptanmıştır. Diğer bir çalışmada Wang vd. [76] 2019'da hem yağsız süttün kalitesi ve raf ömrünü iyileştirmek hem de ısıtma işlemine karşı soğuk MF işlem performansını değerlendirmek amacıyla 1,4 µm gözenek boyutlu seramik membran kullanılarak 6±1°C'de, 75,8 kPa transmembran basıncı ve 7 m/s akış hızı ile süttü MF işlemi uygulamışlardır. Çalışmada, ısıtma işlemi sonucunda süttün 92 gün boyunca 6°C'da muhafaza edilebileceği görülmüştür. Isıtma işlemine karşı soğuk MF işlemi uygulanarak süttün organoleptik özellikleri ve kalitesi etkilenmeden süttün içerisinde

bulunabilecek birtakım mikroorganizmaların verimli bir şekilde giderilebileceği saptanmıştır. Süt ve süt ürünlerinde membran kullanımı birçok avantaj sağlamasına karşın kullanılacak membran türüne göre büyük ölçekli endüstriyel uygulamalarda membran kirlenmesi gibi dezavantajları olabilmektedir [77]. Bu problemin çözümü için farklı bir çalışmada, Bildyukevich vd. [78] yağlı süttü ile PSf, PAN ve CA gibi UF membranları kullanarak membran kirlenmesi ve membranın fiziksel-kimyasal özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Protein molekülleri için en yüksek adsorpsiyonun PAN esaslı membranda olduğu, PSf ve CA esaslı membranların kirlenme açısından önemli ölçüde farklılık gösterdiği saptanmıştır. Sonuç olarak, yapılan çalışmada süt ve süt ürünleri üretiminde membran kirliliğinin kullanılan membran yapısı ve türüne göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Laktosuz süt üretiminde de membran süreçlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Doğal bir süt şekeri olan laktoz [79], laktaz enzimi aracılığıyla sindirilebilmekte ve vücutta yeterli miktarda bulunmadığında şişkinlik, gaz ve ağrı gibi etkileri olan laktoz intoleransına neden olabilmektedir [80]. Bu sebeple, geleneksel enzimatik işlemlere alternatif olarak UF, ED ve NF hibrit membran konfigürasyonu ile yapılan çalışmada Zhang vd. [81], az miktarda laktoz içeren süt tozu üretim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, yüksek akış hızına ulaşılması ve kirliliğin düşük olması için iki aşamalı UF işlemi kullanılarak protein, yağ vb. büyük moleküllerin tutulması sağlanmıştır. İlk aşamada süttün yağı ve kazein proteinlerinin uzaklaştırılması için pastörize edilmiş süt oda sıcaklığında, 2 L/dk besleme hızı ve 1 bar basınçta 100 kDa PVC esaslı UF membranı ile filtre edilmiş; ikinci aşamada ise laktoz, mineraller ve bazı proteinlerin filtrelenmesi amacıyla süztü 10 hücreden oluşan PES esaslı UF membranlar kullanılarak farklı akış hızı ve basınç değerlerinde işleme tabi tutulmuştur. UF aşamasının ardından tuzun verimli ve hızlı bir şekilde arındırılabilmesi için ED işlemi ve ardından laktoz geri kazanımı sağlamak için NF (5-35 bar basınçta) işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada, yaklaşık %0,2'den daha az miktarda laktosa sahip süt ve %95,7 saflıkta laktoz içeren süt tozu eldesi için umut verici sonuçlar ortaya konulmuştur. Bu çalışmaların yanı sıra süt ve süt ürünlerinde Govindasamy-Lucey vd. UF ile [82], Xia vd. MF ve TO ile [83] benzer araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. TO membran kullanımıyla derişik süt [84] ve süt tozu [85] üretimi, süt yağı globül zarını ayırma işlemi [86-87], süttten laktik asit giderimi [88-89], elektrodializ ile

Tablo 6. Süt ve Süt ürünlerine uygulanan membran süreçlerine ait bazı güncel literatür örnekleri
(Some current literature examples on membrane processes applied to dairy products.)

Yazar	Yayın Yılı	Membran Türü	Uygulama Alanı	Membran Performans Sonucu	Referans
Zhang vd.	2020	Polimerik Membran	Laktozsuz Süt Tozu Üretimi	Yaklaşık %0,2'den daha az miktara sahip ve %95,7 saflıkta laktoz içeren süt tozu elde edilmiştir.	[81]
Pouliot vd.	2020	Polimerik Membran (UF için Polietersülfon, TO için Poliamid)	Peynir Üretimi	-Peynir verimi TO konsantrisinde yüksek laktoz derişimi nedeniyle UF peynirine göre %7 fazla, peynir nemi ise TO peynirinde UF peynirine göre yaklaşık %3 daha fazla olduğu görülmüştür. -Pıhtılaşma TO konsantrisinde %20 artırılmıştır. -TO ve UF peynirlerinin protein-yağ oranlarının aynı olduğu saptanmıştır.	[93]
Bildyukevich vd.	2020	Polimerik Membran (PSf, PSA, PAN ve CA, PA, RC)	Yağsız Süt Ultrafiltrasyonunda Membran Kirlenmesi	-Protein adsorpsiyon miktarına göre; PAN-100> PSA-100> PSF-100> PA-100> CA-100≥ RC-100 -Poliakrilonitril membranda en yüksek protein adsorpsiyonu görülmüştür.	[78]
Christiansen vd.	2020	Polimerik Membran	Yağsız Süt Konsantrilerini İyileştirme	Yağsız süt konsantrilerine TO uygulanarak enerji tasarrufu sağlandığı ve üretilecek süt ürünlerinin işlevselliğinin artacağı saptanmıştır.	[94]
Wang vd.	2019	Seramik Membran	Yağsız Sütün Kalitesi ve Raf Ömrünü İyileştirme	-Bitkisel bakterilerde ortalama $3,38 \pm 1,40$ log azalma sağlanmıştır. -MF geçirgenliğinde çok düşük bir SCC saptandı (200 hücre / mL)	[76]
Griep vd.	2018	Polimerik ve Seramik Membran	Sütten Mikroorganizma Giderimi	1.4 µm'den küçük gözenek boyutlu mikrofiltrasyon membran kullanımının mikroorganizma giderimi için daha fazla verim sağlayacağı belirlenmiştir.	[73]
Pouliot vd.	2018	Polimerik Membran	Yoğurt Üretimi	-Süt üzerinde UF işlemi süt bileşenlerinin daha iyi değerlendirilmesini sağlarken, yoğurt üzerinde UF için 80 mil kalınlığa sahip membran ayırıcının yeterli olmadığı görülmüştür.	[95]
Rodríguez vd.	2014	Seramik Membran	ESL Süt Üretimi	MF bakterilerin uzaklaştırılmasında başarılı sonuç vermiştir. MF + Pastörizasyon aşamalarının birlikte kullanılması ile normal pastörize süten %70 daha uzun raf ömrüne sahip süt üretimi sağlanmıştır.	[96]

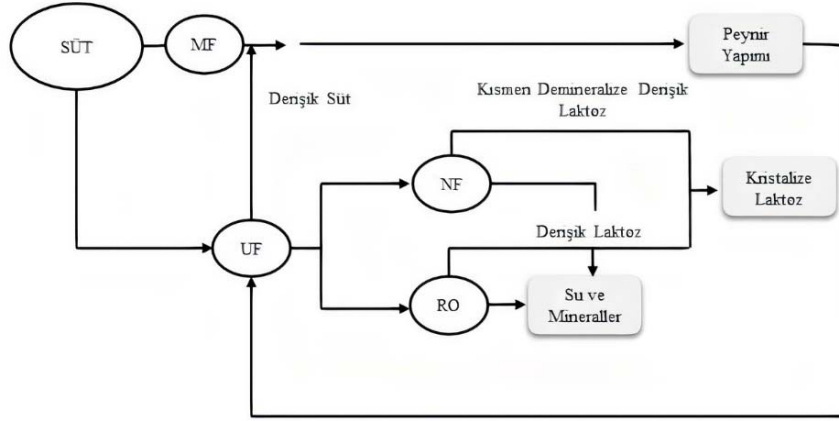
** (Polisülfon (PSf), Polisülfonamid (PSA), Poliakrilonitril (PAN) ve Selüloz Asetat (CA), Aromatik Poliamid (PA), Rejenere Selüloz (RC), Extended Shelf Life (ESL) Uzatılmış Raf Ömrü

peynir altı suyu demineralizasyon işlemi [90], derişik peynir altı suyu eldesi [91] ve peynir üretiminde protein standardizasyonu gerçekleştirilmiştir. Süt ve süt ürünlerinde membran süreçlerinin kullanımına ait şematik bir gösterim Şekil 3'te sunulmuştur.

3.2. Meyve Suyu Endüstrisinde Membran Sistemleri (Membrane Systems in the Fruit Juice Industry)

Son yıllarda sağlıklı beslenmeye olan ilginin artmasına paralel olarak meyveli içecekler, meyve nektarları ve meyve

suları olarak sınıflandırılan ürünlere talep ve ilgi artmaktadır [97-99]. Özellikle derişik meyve suları için uygulanan geleneksel yöntemlerde; (i) işlem sayısının fazla olması, (ii) yüksek kalitede ürün eldesi için gereken çöktürme işlemi süresinin uzun olması (6-18 saat), (iii) ek ajanlara ihtiyaç duyulması, (iv) meyve sularının içerisinde yer alan yüksek besin değerine sahip maddelerin yüksek ısı işlemler sonucunda olumsuz etkilenmesi ve (v) nihai ürünün görünüm ve tat kalitesinde bozulmaların meydana gelmesi önemli dezavantajlardır [23]. Buna karşın, geleneksel yöntemlere alternatif olarak membran süreçleri, yüksek



Şekil 3. Süt ve süt ürünlerinde membran süreçlerinin kullanımına ait şematik bir gösterim.
(A schematic representation for usage of membrane processes in dairy food) [92].

verime sahip olması ve yüksek ısı işlem gerektirmemesi gibi birçok avantaj sunmaktadır. Meyve sularında kullanılan membran sistemlerinden bazıları MF, UF, TO ve membran destilasyonudur [3, 22, 100].

MF, boyutları 0.05-10 µm aralığında olan parçacıkların ayrılması ile yalnızca askıda katı maddelerin süzüntü akımına geçmesini engellerken, UF ise askıda katı maddelerin yanı sıra proteinlerin, tuzların ve aminoasitlerin geçişinin kısmen engellenmesi için uygulanmaktadır [23, 101]. Arıtma performansını arttırmak için UF öncesi ön filtrasyon işlemleri uygulanabilmektedir [15]. Meyve sularının UF ile arıtımında seramik membranlar endüstriyel olarak uygulansa dahi son zamanlarda bu tür membranların yüksek maliyetleri nedeniyle PA [102], PP ve PVDF [103] gibi polimerik membranlar tercih edilmeye başlanmıştır [23, 104]. Ancak polimerik membranlarda farklı nedenlerle kirlenmeye bağlı tıkanmaların meydana gelmesi ve ürün kararlılığının pH'dan etkilenmesi çözülmesi gereken problemler oluşturmaktadır [23]. Bu sorunların çözümü için yüzeyi modifiye edilmiş veya nanokompozit yapılı polimerik membranlar üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, farklı yaklaşımlar uygulanabilmekle birlikte gıda ve içecek sektöründe kullanımına yönelik bazı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Severcan vd. [105] 2020 yılında, nar suyunun MF ile arıtma performansının artırılabilmesi amacıyla PSf/PEI polimer matrisine farklı oranlarda (ağırlıkça %0,01, %0,03, %0,05) TiO₂ ve Al₂O₃ nanoparçacıklarını ekleyerek polimerik kompozit yapılı membranlar hazırlamışlardır. Membranların gözeneklilik ve temas açısı gibi karakteristik özelliklerini inceledikten sonra kapalı uçlu (dead-end) filtrasyon yöntemi ile çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, nanoparçacıkların eklenmesinin membranın gözenekliliğini, hidrofilitliğini ve saf su akısını artırdığı tespit edilmiştir. Filtrasyon sonrasında nar sularının renk, bulanıklık, toplam fenolik içeriği ve toplam çözünür katı madde gibi özelliklerini inceleyerek karakterize etmişler ve

ağırlıkça %0,05 Al₂O₃ içeren PSf/PEI MF membranının diğer membranlara göre nar suyunun arıtımında daha üstün performans sergilediğini göstermişlerdir. Gulec vd. [106] 2018 yılında düşük basınçlı oksijen plazma işlemi ile PSf membranların yüzey modifikasyonunu sağlayarak elma suyu arıtımında kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri modifikasyon ile membranların daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve artan hidrofiliteleri nedeniyle kirlenme önleyici bir davranış sergilediğini ifade etmişlerdir. Silva ve Veleirinho [107], elektroçizme (electrospinning) yöntemini kullanarak kendinden destekli nanoelyaf PET (PET ENM) membranları hazırlamış ve bu membranları elma suyu arıtımında geleneksel filtreleme ve klasik UF yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Geleneksel filtreleme, UF ve PET ENM'nin çalışma süreleri karşılaştırıldığında sırasıyla 160 dk, 35 dk ve 6 dk çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, PET ENM'nin UF'a göre daha düşük çalışma basıncı ve geleneksel filtrasyona göre ek filtreleme malzemesi gerektirmemesi nedeniyle daha ekonomik olduğu ancak arıtılmış elma suyunun bulanıklık değerlerinin UF ile hemen hemen benzer olduğu rapor edilmiştir. Kahraman vd. [108] ise ağırlıkça %20 PSf, %2 PEI ve farklı SiO₂ oranlarına (%0,01, %0,03, %0,05) sahip PSf/PEI/SiO₂ nanokompozit membranları hazırlayarak elma suyunun berraklaştırılmasında bu membranların kullanım performanslarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda SiO₂ ile modifiye edilmiş membranların, modifiye edilmeyen membranlara göre düşük bulanıklık ve yüksek katı madde içeriği gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca membran hidrofilitesi ve saf su akısı açısından en iyi sonuca, ağırlıkça %0,01 SiO₂ içeren nanokompozit membranda ulaşıldığı bildirilmiştir.

Meyve sularında derişik ürün eldesinde geleneksel olarak endüstriyel ölçekli üretimlerde çok aşamalı vakumlu evaporasyon işlemleri uygulanabilmekle birlikte uygulanan yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan dezavantajların bertaraf edilmesi amacıyla suyun uzaklaştırılmasını sağlayan

dondurarak yoğunlaştırma (freze concentration) yöntemi de uygulanabilmektedir [109]. Bu yöntemin, ulaşılan nihai derişim ve yüksek enerji tüketimi açısından önemli dezavantajları bulunmaktadır. Bu sebeple, membran sistemleri yüksek performansının yanı sıra daha az enerji tüketimi nedeniyle son dönemde meyve sularının derişiklendirme uygulamalarında öne çıkmaktadır [23]. Meyve sularında NF ile derişiklendirme işleminde suyun geçişine izin verirken özellikle şeker gibi moleküllerin derişik akımda tutulması sağlanmaktadır [110, 111]. TO, özellikle elma suyunun derişikleştirilmesinde evaporasyon işlemleri ile kullanılan geleneksel yöntemlere göre yaklaşık %70 enerji tasarrufu sağlamaktadır [15]. Ancak TO sistemlerinde gerekli olan yüksek basınç sebebiyle, NF-TO sistemlerinin birlikte kullanılması alternatif olarak önerilmektedir [112]. Meyve sularında uygulanan diğer membran sistemleri ise membran distilasyonu, osmotik destilasyon (MD-OD) ve pervaporasyon sistemleridir. Bu sistemler hakkında da literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Elma suyunun arıtımı ve derişiklendirilmesi üzerine yapılan bir çalışmada Aguiar vd. [113] polimerik membranlar kullanarak farklı koşullarda gerçekleştirilen MF, TO ve osmotik evaporasyon aşamalarının bir arada kullanılmasının ürünün fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, başlangıçta yaklaşık 95 g/kg olan katı madde miktarında osmotik evaporasyon aşaması sonunda 527 g/kg'a ulaşıldığı ve duyuşal incelemenin tüketiciler için kabul edilebilir düzeyde olduğu ifade edilmiştir. Diğer bir çalışmada, Cassano vd. [114] nar suyunun arıtımı ve derişik hale getirilmesinde beş adet içi boş elyaf içeren UF membranı kullanarak 0,96 bar transmembran basıncında berraklaştırma işlemleri, sonrasında ise 0,4 bar transmembran basıncında ortalama 0,2 µm gözenek çapına sahip polimerik membranlarla gerçekleştirilen derişiklendirme işlemleri neticesinde 162 g/kg toplam çözünür katı değerine ulaşılmıştır. Rehman vd. [115] nar suyunun derişiklendirme ve kirlenmenin performansa ve akı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada 0,04 µm gözenek çapına sahip içi boş elyaf PP membran kullanmışlardır. Bu çalışmada, derişiklendirme işlemleri sonrasında 13° briks değerinden 52° briks değerine ulaşılmıştır. Ayrıca membran yüzeyinde meydana gelen kirlenmenin gözenekleri tıkadığı ve kütle transferi için bariyer etkisi oluşturduğu tespit edilmiş olup membran temizliğinin membran yüzeyinde kalan parçacıkların uzaklaştırılması için önemli olduğu vurgulanmıştır. Bir başka çalışmada, Rehman vd. [116] nar suyunun OD ile derişimi için politetrafloroetilen (PTFE) ve PVDF esaslı membranlar kullanılarak PVDF membranın PTFE membrana göre daha fazla ıslanma göstermesine karşın PTFE membran ile OD işlemleri sonrasında daha yüksek bir derişime ulaşıldığı rapor edilmiştir. Farklı bir çalışmada, Onsekizoglu [117] arıtma işlemleri için UF kullandıktan sonra derişiklendirme için OD, MD-OD ve ısı derişiklendirme yöntemlerini kullanarak karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. UF ile MD-OD'nin birlikte uygulanmasının ulaşılan derişim ve çalışma koşulları açısından daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Burada değinilen çalışmalar dışında da meyve sularının arıtımı ve

derişik hale getirilmesinde membran sistemlerinin kullanımı üzerine literatürde benzer çalışma ve sonuçlar rapor edilmiştir [118-121].

3.3. Alkollü İçecek Üretiminde Membran Süreçleri (Membrane Processes in Alcoholic Beverage Production)

Membran süreçlerinin uygulandığı alkollü içeceklerden şarap, fermente bir ürün olması nedeniyle içerisinde mikroorganizma, bakteri, maya ve küf bulundurabilmekte ve bu durum şarabın tat, aroma ve görüntüsünün bozulmasına sebep olabilmektedir [20, 122-124]. Bu sebeple, depolama şartlarından bağımsız olarak şişeleme öncesi veya sonrası nihai üründe bulunması istenmeyen mikroorganizmaların, bakteri ve maya miktarının mümkün olduğunca azaltılması, çökelti oluşumunun engellenmesi ve sıcaklığa bağlı tartarik asit kristallerinin oluşumunun önlenmesi amaçlanmaktadır [125]. Özellikle mikroorganizmaların sınırlandırılması ve stabilizasyonu bakımından MF ve tartarik asit kristallerinin giderilmesinde elektrodializ (ED) membran süreçleri başarı ile gerçekleştirilmektedir [20, 125]. Yenilikçi yöntemler arasında yer alan çapraz akışlı MF işlemleri, şarabın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik stabilizasyonunu sağlamak amacıyla şişeleme işlemlerinden hemen önce kullanılmaktadır [122, 126]. Endüstriyel ölçekte genellikle şarapta bulunan küçük moleküllü bileşenlerin geçebileceği ancak protein gibi büyük moleküllü bileşenlerin geçemeyeceği seramik veya polimerik membranlar kullanılmaktadır [122]. Gerçekleştirilen bir çalışmada, şarap 2×10⁵ Pa basınç ve 2m/sn çapraz akış hızıyla [20] membrandan geçirilerek, istenmeyen parçacıkların yarı geçirgen zarın yüzeyinde kalması sağlanmış ve özellikle şarabın tadı veya renginde değışikliğin oluşmaması için filtreleme çalışmalarında dar gözenekli membran kullanılmaması gerektiği tespit edilmiştir [127]. İşlem sıcaklığı, askıda katı madde miktarı ve parçacık boyu, şarap ve üzüm çeşidi göz önüne alınarak MF ile yapılan bir seri çalışmada, optimal membran gözenek boyutları kırmızı şarapta 0,2 µm ve beyaz şarapta 0,1-0,22 µm olarak tespit edilirken, Urkiaga vd. [127] tarafından yapılan çalışmada kırmızı şarapta filtreleme işlemleri için en iyi sonucu 0,2-0,45 µm gözenek boyutuna sahip selüloz asetat (CA) esaslı membranın verdiği raporlanmıştır [20, 126].

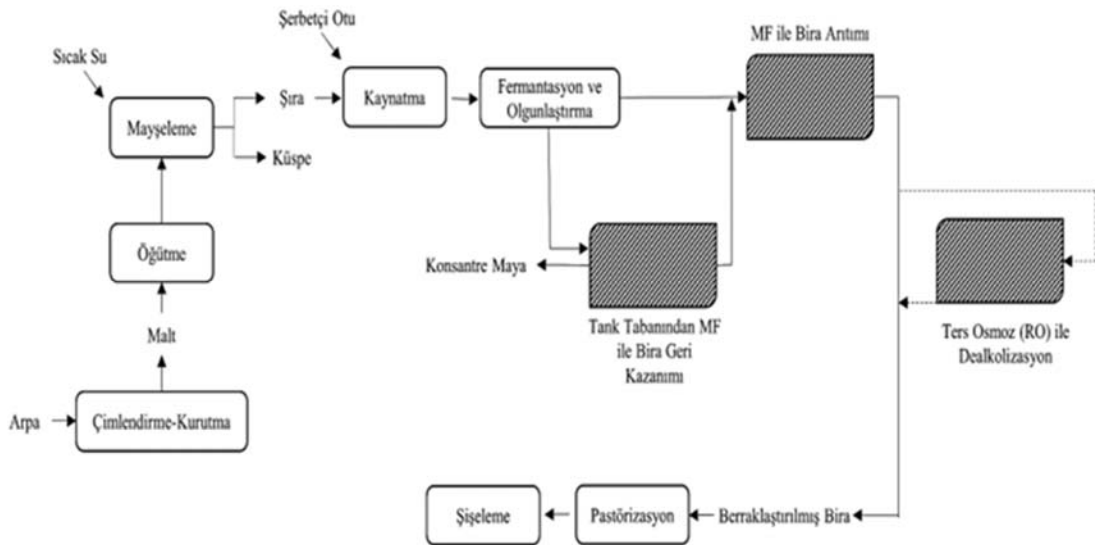
Üzümün doğal yapısında bulunan tartarik asit kristallerinin çökmesini engellemek için geleneksel yöntemlere göre daha ekonomik, 10 kat daha az enerji tüketen ve verimli tartarik asit stabilizasyonunu sağlamaya yardımcı olan ED yöntemi -4°C de 1 hafta bekleterek gerçekleştirilen soğuk stabilizasyon yönteminin yerini almıştır [20, 128, 129]. ED yöntemi, şaraptaki potasyum iyonlarıyla hidrojen veya sodyum iyonlarının elektrik alanının etkisiyle yer değıştirmesi prensibi ile çalışan tek kademeli bir işlem [129] olup bu yöntem hem şarabın organoleptik özelliklerini bozmaması hem de tartarik kararlılığını sağlaması bakımından avantaj göstermektedir [122, 123, 129]. Gonçalves vd. [129] ED yöntemiyle gerçekleştirdikleri çalışmada beyaz şarapta %14,5'lik bir deiyonizasyon gerçekleştirirken %10,9'luk tartarik asit giderimi için doyma sıcaklığının 14,8°C'a ulaştığını ve 0°C'a kadar kararlılık sağlandığını

saptamışlardır. Bdiri vd. [130] 2020’de gerçekleştirdikleri çalışmada, şarapta tartarik asit kararlılığı için ED yöntemi kullanarak şarap içerisinde bulunan fenolik bileşik kirliliğini ve kirlenme mekanizmasını araştırarak membran üzerinde oluşabilecek birikimlerin iyon değişim kapasitesi ve elektriksel iletkenliği düşürdüğünü saptamışlardır.

Membran teknolojileri dünya genelinde çokça tüketilen [20, 131] diğer bir içecek olan biranın üretiminde filtreleme, arıtma, dealkolizasyon gibi farklı aşamalarda uygulanabilmektedir [23]. Şekil 4’te biranın işlenmesine yönelik bir akış şeması gösterilmiştir.

Mayşenin filtrasyonu ve sert biranın berraklaştırılması aşamasında, kullanılan tahılın filtrelenmesini sağlayarak yüksek kaliteli tatlı şıranın elde edilmesi amaçlanmaktadır [23]. Bira üretimi sırasında elde edilen mayşenin geleneksel yöntemler ile işlenmesinde akı hızı ve şıranın kalitesinin birbirine tezat oluşturacak şekilde değişmesi nedeniyle geliştirmelere ihtiyaç bulunmaktadır. Geleneksel sistemlerde filtrasyon için Kieselguhr (diatomik toprak) kullanılsa da alternatif olarak daha az madde kaybı ve daha teknolojik süreçler sunması sebebiyle membran sistemleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir [132]. Bu amaçla, Daoud [133] iki kademeli bir MF sistemi için patent almıştır. Fermantasyon işlemi tamamlanarak elde edilen bira içerisinde yer alan ve bulanıklığa sebep olan parçacıkların uzaklaştırılabilmesi ve stabilizasyonun sağlanabilmesi amacıyla MF işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu aşama, aktif maya hücrelerinin uzaklaştırılmasını, pıhtılaşma sonucu oluşan topakların uzaklaştırılmasını (polifenolik ve proteinli bileşikler) ve aroma veren bileşiklerin tutulmasını sağlamaktadır [134]. Fakat membran sistemlerinde kirlenmelerin meydana gelmesi ile elde edilen süzüntüde bira kalitesinin yeterli olmaması sebebi ile endüstride çok fazla tercih edilmemektedir [20]. Cimini ve Moresi [135], değişik gözenek boyutlarına sahip boru tipi çapraz akışlı seramik MF membranlar kullanarak farklı başlangıç

bulanıklık değerlerinde berraklaştırma için deneysel ve matematiksel olarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Bunun yanı sıra 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada ise belirli çalışma koşullarında (transmembran basıncı=2,35 bar, yüzeyel hız=2,5 m/s, sıcaklık=10°C) seramik içi boş elyaf membran modülüne sahip çapraz akışlı MF ile bira berraklaştırma işleminde membran gözenek boyutunu 0,2-1,4 µm arasında değiştirerek son ürün kalitesine etkisini incelemişlerdir. Farklı özellikler açısından karşılaştırıldığında, 0,2 ve 0,5 µm gözenek çapında daha iyi bulanıklık değerleri elde edilirken akı değerlerinin düşük kaldığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, 0,8 µm gözenek boyutuna sahip membran modülünün uygulama için daha uygun olduğunu ancak burada elde edilen akı değerlerinin geleneksel yöntemle göre çok daha düşük seviyede kaldığını ifade etmişlerdir. Bunun üzerine 1,4 µm gözenek boyutlu membran modülünde daha yüksek akı değerleri elde edilmiş, kalite ve akı arasında yapılan karşılaştırmalar sonucunda en uygun gözenek boyutu olarak belirlenmiştir [136]. Diğer bir çalışmada, Gan vd. [134], farklı gözenek çaplarına sahip (0,2, 0,5 ve 1,3 µm) boru tipi çapraz akışlı seramik MF (CF-MF) membranları bira arıtma aşamasında kullanarak akı, kirlenme ve seçicilik açısından incelemişlerdir. Öncelikle klasik CF-MF işlemini 24 saat boyunca farklı transmembran basınçlarında uygulamışlar ve kirlenmeye bağlı olarak akı değerinin ortalama 5 kg/h.m²’den az olduğunu, diğer bir ifadeyle geleneksel diatomik toprak kullanılarak gerçekleştirilen filtrasyona oranla daha kötü olduğunu saptamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda kirlenmeye neden olan bileşikler karbonhidratlar, glukanlar, pentozanlar ve hidrofilik bulanıklık proteinleri olarak belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda, akı kalitesinin ters yıkama uygulandığında artış gösterdiği ve 2-10°C’de gerçekleştirdikleri denemelerinde 10°C’de daha yüksek bir akı değeri verdiği belirlenmiştir. Ek olarak, bu çalışmada süzüntü kısmından beslemenin verilmesi ve besleme kısmından süzüntünün alınması şeklinde uygulanan ters membran konfigürasyonu kullanılmıştır. Diğer taraftan, 1,3



Şekil 4. Biranın işlenmesine yönelik akış şemasının gösterimi (A schematic flow chart representation for beer processing).

μm gözenek çapında membranlar kullanıldığında süzütüde daha yüksek bulanıklık meydana gelirken gözenek çapı 0,2 μm 'de membranlar kullanılması durumunda ise biraya köpük özelliği veren maddelerin derişiminin istenilen değerin altında olması nedeniyle CF-MF çalışmalarını gözenek boyutu 0,5 μm olan membranlarla gerçekleştirmişlerdir. Membran sistemlerinin kullanıldığı bir diğer alan ise biranın dealkolizasyon aşaması olup alkolsüz bira üretimi için gözeneksiz MD [137], TO [138], İO [139] gibi farklı membran teknolojileri kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Purwasasmita vd. [137], ince film PA membran içeren spiral sargı modülünü kullanarak membran destilasyonu ile hacimce %5 etanol içeriğine sahip bira için farklı besleme ve vakum basıncında dealkolizasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca çalışmada artan besleme hızı ve vakum basıncı ile akının iyileştirilebildiği ancak vakum basıncının artmasının seçicilikte azalmaya neden olduğu ve optimum koşullarda (besleme basıncı: 3000 mbar, vakum basıncı: 580 mbar) 6 saatlik bir çalışma süresi ile tat veren bileşikler uzaklaştırmadan alkol içeriğinin hacimce %2,5'e düşürülebileceğini tespit etmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise CA ve PA membranları, farklı transmembran basınçlarında uygulanarak TO yöntemi ile dealkolizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, CA membran ve uygun transmembran basıncı (40 bar) seçilerek alkol içeriği hacimce %5,5'ten yaklaşık %0,5'e düşürülmüştür [138]. İO prosesi kullanılarak dealkolizasyon uygulanan farklı bir çalışmada ise 20 cm^2 etkili alana sahip triasetat asimetrik katmana gömülü polyeater ağdan oluşan bir düz levha membran modülü kullanılarak hacimce %5 alkol içeriğini %0,5'e indirebilmek için teorik olarak diyafiltrasyon aşama sayısı hesaplanmış, uygulamalar sonucunda ise alkol içeriğiyle beraber bazı organoleptik özellik veren bileşiklerin de azaldığı ancak birada alkol oranını azaltmak için bu yöntemin bazı geliştirmeler sonrası kullanılabilir olduğu sonucu bildirilmiştir [139].

3.4. Kahve ve Çay Üretiminde Membran Teknolojileri (Membrane Technologies in Coffee and Tea Production)

Kahve, dünya genelinde en çok tüketilen ve pazar payı yüksek demlenmiş içeceklerden bir tanesidir [63, 140]. Demlenme sıcaklığı, özütlenme temas süresi, özütlenme basıncı, kahve çekirdeğinin öğütülme boyutu, kahve çekirdeğinin kavrulma yöntemi vb. işleme koşulları kahve özütündeki kafein miktarını ve aromasını doğrudan etkilemektedir [67, 141-143]. Soğuk ve sıcak demleme yöntemlerine bağlı olarak polifenol, kafein, uçucu madde ve toplam katı madde içeriğinde büyük farklar ortaya çıkmaktadır. Tüketiciler genellikle sıcak kahve tercih etseler de son zamanlarda düşük sıcaklıklarda daha uzun süre özütlemeye tabi tutularak üretilen soğuk kahvenin tüketimi Kuzey Avrupa ülkelerinde, Amerika ve Japonya'da artış göstermektedir [141, 142]. Kahve ürünlerinden biri olan soğuk demlenmiş (cold brew), kafein/aroma vb. özellikleri korunabilen/kontrol edilebilen derişik kahve son zamanlarda popüler içeceklerden bir tanesidir. Derişik kahve üretiminde geleneksel yöntemlerden olan dondurarak yoğunlaştırma (Freeze Concentration) yönteminde iyi kalitede ürün elde

edilirken yüksek miktarda enerji harcanmaktadır. Diğer bir yöntem olan yüksek sıcaklık uygulayarak gerçekleştirilen evaporasyon yönteminde ise yüksek sıcaklıktan dolayı aroma ve uçucu bileşiklerin kaybı nedeniyle tüketim kalitesini etkileyen tat bozuklukları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, hazırlanan ürünün demlenmesi esnasında kullanılan çözütünün (suyun) buharlaşması sırasında kullanılan yer alan askıdaki katı maddelerin topaklaşması önemli bir problem oluşturmaktadır [63]. Bu yöntemlere alternatif olarak geliştirilen/geliştirilmekte olan membran sistemleri ile daha az enerji harcayarak yüksek sıcaklık uygulamaksızın kahvenin aroması bozulmadan kahve konsantratu elde etmek mümkün olmaktadır [21]. Ayrıca kahve konsantratu eldesinde uygulanan geleneksel yöntemler ile membran sistemleri verimlilik ve ekonomik yönden karşılaştırılarak incelenmiştir.

Organik bileşik uzaklaştırımının üstün olduğu bilinen NF ile arıtım konsantre kahve üretiminde gündeme gelmiş uygulamalardan birisidir [21]. Kahve ekstraktının NF ile derişik hale getirilmesinde Pan vd. [63] spiral sargılı NF membran ile alikonulan ve süzütü akımlarının besleme tankına geri göndererek 40 bar basınç altında ve 40°C sıcaklıkta yaptığı laboratuvar boyutlu çapraz akışlı filtrasyon çalışmasında, %10 kahve içeriğinin %39,4'e yükseltildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarda saf su ile yüksek akı veren NF membranlarına kahve çözeltisi beslendiğinde akının başlangıçta daha yüksekken bir süre sonra oldukça düştüğü gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar, NF membranlarının kahve özütünü belirli bir seviyeye kadar derişiklendirme ve geleneksel buharlaştırma yönteminin yerini kısmen alma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Bu konuda gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, Vincze ve Vatai [21] kahve çekirdeklerinden elde edilen kahve özütünün derişik hale getirilmesinde NF işleminin TO'a göre verimliliğini kontrol etmek için bir çalışma yapmışlardır. Levha-çerçeve modülü NF45 membran kullanılarak çapraz akışlı filtrasyon sisteminde 42°C'de ve 5-20 bar basınç aralığında yapılan çalışmalarda 1,49 g/L kafein içeren kahve çözeltisinin kafein içeriği 5,51 g/L'ye, 10,3 g/L toplam katı içeren kahve çözeltisi ise 45,0 g/L toplam katı içeriğine derişiklendirilmiştir. Bu çalışmada, ayrıca membranın reddetme oranı %98,75 olarak hesaplanmış ve sıcaklık artırıldığında akıların da geliştiği tespit edilmiştir. Literatür değerleriyle yapılan ekonomik değerlendirme sonucunda NF işleminin maliyetinin TO işleminin maliyetine göre daha düşük olduğu ve kahve özütünün derişiminde NF işleminin TO işleminin yerine kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Bir başka çalışmada, Dat vd. [144] kapalı uçlu yöntemle %3,71 toplam katı ve %0,22 kafein içeren kahve özütü NF membranları kullanılarak 40 bar basınç altında derişiklendirmeye çalışmış, toplam katı ve kafein içeriğinin %70'lerin üzerine çıktığını rapor etmişlerdir. Yine bu çalışmada 0-50 bar basınç aralığında çalışma sonuçları incelendiğinde akı ve katı reddi açısından NF99 membranın daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş ve kahve özütünün derişimi için bu membranın daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Kahvenin derişiklendirilmesinin yanı sıra ülkemizde en fazla

ve saflaştırılması için ultrason destekli 20 kDa MWCO değerine sahip UF membranları ile süzütünden yüksek saflıkta polifenol bileşeni elde edilebileceğini saptamıştır. Bu çalışmaların yanı sıra çay endüstrisinde sıcak su ile özütlenen siyah çaydaki uçucu aromatik bileşiklerin geri kazanımında [153] ve atık su arıtma işlemlerinde [154] membran işlemleri kullanılmaktadır. Li vd. 2020 yılında yaptıkları çalışmada, çözelti döküm yöntemi ile elde edilen çok katmanlı karbon nanotüp (KNT)/ polidimetilsiloksan (PDMS) karışık matris membran kullanılarak pervaporasyon teknolojisi ile çayın kalitesini önemli ölçüde etkileyen uçucu aromatik bileşiklerin demlenmiş siyah çay içerisinden geri kazanımını araştırmışlardır [153]. Söz konusu bu karışık matris membranda uçucu aromatik bileşiklerin -linalool, MetSa ve β Ionone- difüzyon katsayılarının sırasıyla 3,68, 5,51 ve $41,2 \times 10^{-2}$ (cm²/s) olduğu ve bu değerlerin sadece PDMS esaslı membrana göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Chen vd. 2015 yılında, hazır toz çay üretimi yapan fabrikanın atık sularının arıtımı için UF ve NF membranlar oluşan bütünleşmiş arıtma sürecini çalışmışlardır [154]. Çalışma sonucunda, UF membranın akısının ön işlem uygulanmaksızın gerçekleştirilen tipik akı değerinden yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. %77,3'lük KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) giderimi ve bulanıklıkta %99,8'lik azalma ile optimum sonuçlar elde edilen bu çalışma, hazır toz çay üretim tesisinde atık su arıtımı için koagülasyon-flokülasyon, UF ve NF'nun başarılı bir şekilde

uygulandığı ilk çalışma olarak tanımlanmıştır. Das vd. [155] 2019 yılında bu konu üzerine yapmış oldukları farklı bir çalışmada, çay üretiminde oluşan atık giderimi için asimetrik polimerik membran (5–50 kDa'luk) UF hibrit sistemi uygulamış olup süzütünün berraklığında maksimum yaklaşık %94,5'a ulaştığı ve etkili bir arıtma işleminin sağlandığı tespit edilmiştir.

3.5. Konsantrre Ürünler için Örnek Fizibilite Çalışmaları (Sample Feasibility Studies for Concentrated Products)

Jevons ve Awe [61] yaptığı çalışmada evaporasyon ile membran uygulamalarını ekonomik yönden karşılaştırmış, “Yeniden Buhar Sıkıştırma (MVR)” bazlı buharlaştırma yönteminin TO işlemine göre yatırım maliyetinin iki katı işletme maliyetine neden olduğunu ortaya koymuştur. Tablo 7 ve Tablo 8'de görüldüğü gibi, yağsız sütün derişikleştirilmesi buharlaşma, ters ozmoz ve buharlaşma birleşik sisteminin maliyetleri incelenmiş, her ne kadar sermaye ve işleme maliyetleri iki yaklaşım için eşdeğer olsa da tek başına buharlaşma için enerji ihtiyacının birleştirilmiş sistemden çok daha yüksek olduğunu gösterilmiştir.

Dondurarak yoğunlaştırma işlemiyle kahve özütü %32-35'e kadar derişikleştirilmektedir [156, 157]. Ancak bu yöntem, karmaşık buz ayırma sistemleri ve işletme maliyetlerini artıran birçok hareketli parça içermektedir [22, 158]. Moreno

Tablo 7. TO ve çok aşamalı buharlaştırma yöntemlerinin işletme maliyetleri [69]. (Operating costs of RO and multi-stage evaporation methods)

Yöntemler	Ürün Derişimi (%Kati)	Yıllık Maliyet (\$/yıl)	Uzaklaştırılan suyun işletme maliyeti (¢ /ton)
Ters Ozmoz (TO)	8,8-13,9	175.900	793,4
	8,8-17,6	233,900	779,9
	8,8-21,3	275,300	777,7
	8,8-25,0	302,200	777,5
	8,8-25,0	472,000	1.215,4
	8,8-45,0	545,000	1.128,3
Çok aşamalı buharlaştırma (ÇAB)	13,9-45,0	376,800	1.434,1
	17,6-45,0	316,600	1.731,6
	21,3-45,0	273,500	2.093,4
	25,0-45,0	239,800	2.553,0
	8,8-13,9	552,700	1.114,4
TO ve ÇAB	13,99-45,0
	8,8-17,6	550,500	1.139,8
	17,6-45,0
	8,8-21,3	548,500	1.136,2
	21,3-45,0
	8,8-25,0	542,000	1.122,1
	25,0-45,0

Tablo 8. Ters ozmoz membran prosesi için enerji ihtiyacı [69]. (Energy demand for a RO membrane process)

Ürün Derişimi (% Kati)	Elektrik kWh/gün	Elektrik kWh/Mg	Enerji Tüketimi (kJ/Mg)	Enerji Tüketimi (kJ/ton)
13,9	674,9	10,077	36.300	152.400
17,6	741,9	8,187	29.500	123.800
21,3	808,9	7,563	27.200	114.500
25,0	875,9	7,460	26.900	112.800

Tablo 9. Çok aşamalı buharlaştırma sisteminde enerji gereksinimi [69].
(Energy demand for a multi-stage multi-stage evaporation system)

Ürün Derişimi (% Katı)	Buhar kg/kg su uzaklaştırımı	Enerji Tüketimi (kJ/Mg ton su uzaklaştırımı)	Enerji Tüketimi (kJ/ ton su uzaklaştırımı)
8,8-45,0	0,1182	275.300	344.300
13,9-45,0	0,1185	275.700	346.600
17,6-45,0	0,1188	276.400	346.600
21,3-45,0	0,1192	277.300	346.600
25,0-45,0	0,1198	278.700	348.900

vd. [66] kahve konsantratu eldesini üç aşamada gerçekleştirmişlerdir. İlk olarak kahve özütü düşey film yöntemi ile dondurarak yoğunlaştırılmış, ikinci aşamada oluşan buz içerisinde kalan çözünmüş maddeleri geri kazanmak için kısmi buz çözme yöntemi uygulanmış ve son olarak buz çözme aşamasında elde edilen seyreltilmiş kısım blok yöntemiyle dondurarak yoğunlaştırılarak kalan çözünmüş maddeler geri kazanılmıştır. Yapılan çalışma ile düşey film dondurarak yoğunlaştırmanın kahve özütünün derişimini 6,2 kat artırdığı, üç aşama sonunda kahve özütünün %5'ten %32,5'e derişikleştirildiği ve endüstri tarafından istenilen seviyeye yükseltilebildiği bildirilmiştir. Ancak bu uygulama sonrasında yüksek miktarda katı buzda elde edilmiştir.

Sonuç olarak, buharlaştırma işlemi yüksek sıcaklıklarda çalışmasından dolayı yüksek enerji maliyetleri gerektirdiği ve son ürün kalitesini etkilediği için bu işlemin yerine kullanılabilir yeni teknolojiler geliştirilmelidir. Dondurarak yoğunlaştırma yöntemi ile son ürün kalitesinin korunması sağlanırken yüksek sermaye maliyetleri gerektirdiğinden dondurarak yoğunlaştırma yöntemi güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenebilirse enerji maliyetlerinde azalma sağlanarak bu yöntemin kullanımı uygulanabilir hale getirilebilir. Membran filtrasyon ekipmanının kurulum maliyeti evaporasyon ekipmanına göre önemli ölçüde daha azdır.

3.6. Gıda ve İçecek Endüstrisinde Membran Süreçlerinin Mevcut Durumu

(The Current State of Membrane Processes in Food and Beverage Industry)

Gıda ve içecek endüstrisinde ülkemizde faaliyet gösteren bazı firmaların kullandığı membranlı proses içeren endüstriyel gerçek uygulamalar şu şekilde özetlenebilir.

- Meyve suyu sektöründe Döhler-Karaman fabrikasında kırmızı (örn, havuç) ve beyaz (örn, elma) olarak iki ayrılan meyve sularının berraklaştırma amaçlı UF süreci ile yine meyve suyu sektöründe, çok yaygın olmasa da evaporatör öncesi konsantre etme amaçlı tek tek veya bütünlük NF/TO süreçleri,
- Afyon Şeker fabrikasında şeker ya da şurup derişimi için TO süreci ve
- Rize Çaykur firmasında derişik ürün eldesinde TO süreçleri kullanılmaktadır.

Endüstriden diğer örneklere bakıldığında ise;

- Yumurta endüstrisinde yumurta beyazından lizozim eldesi için UF,
- Süt endüstrisinde raf ömrü uzun süt üretimi için süttten bakteri uzaklaştırılmasında MF ve
- Peyniraltı suyundan protein eldesinde ve süzme yoğurt üretiminde UF süreçleri kullanılmaktadır.

Kullanılan bu proseslerin ise bazı dezavantajları/zorlukları bulunmaktadır. Bunlar arasında kullanılan membranın hızla kirlenmesi ve yıkama/değıştirme sıklığının artmasına bağlı olarak işletim maliyetlerinin yükselmesi en öne çıkan problemidir. Örneğin, membrana yağlı süt beslemesinde süttteki yağ ve bakterinin kullanılan membranın hızlıca kirlenmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, süt işleme süresince uygulanan sıcaklıklarda özellikle yağlı ürünlerin membran yüzeyinde birikmesine dolayısıyla kirlenmesini hızlandırmaktadır. Çay ve kahve berraklaştırılması, derişikleştirilmesi vb. farklı endüstriyel uygulamalarda da karşılaşılan membran kirlenmesi probleminin nedenlerinden birisi de ürünlerin membrana beslenmeden önce kaba filtrelerden geçirilmemesidir. Endüstriyel ölçekte karşılaşılan bu problemler firmalar tarafından tespit edilmesine karşın membran kullanım ömürlerinin uzatılmasına yönelik somut bir gelişme sağlanamamıştır. Buna karşın, önceki bölümlerde verildiği üzere membranların gıda ve içecek endüstrisinde kullanımları konusunda yaşanan problemler ve olası çözümlerine ait bilimsel çalışmalarda ümit verici sonuçlar alındığı raporlanmıştır. Membran süreçlerinin gıda ve içecek sektöründe endüstriyel ölçekte kullanımının gelecekte daha da artacağı değerlendirilmekle birlikte özellikle membran kirlenmesinin geciktirilmesi ve bunun için Ar-Ge faaliyetlerinde elde edilen sonuçların sanayiye aktarılmasının bu uygulamaların daha da yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4. KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

CA	: selüloz asetat
ED	: elektrodiyaliz
ESL	: artırılmış raf ömür (extended shelf life)
İO	: ileri ozmoz
KNT	: karbon nanotüp
MD	: membran distilasyonu

MF	: mikrofiltrasyon
MWCO	: moleküler ağırlığa göre ayırma sınırı (molecular weight cut off)
MVR	: yeniden buhar sıkıştırma
NF	: nanofiltrasyon
OD	: osmotik destilasyon
PA	: poliamid
PAN	: poliakrilonitril
PC	: polikarbonat
PDMS	: polidimetilsiloksan
PE	: polietilen
PEI	: polieterimid
PES	: polieter sülfon
PET	: polietilen tereftalat
PI	: poliiimid
PP	: polipropilen
PSf	: polisülfon
PSA	: polisülfonamid
PTFE	: politetrafloraetilen
PV	: pervaporasyon
PVA	: polivinil alkol
PVC	: polivinil klorür
PVDF	: poliviniliden florür
RC	: rejenere selüloz
TFC	: ince film kompozit
TO	: ters ozmoz
UF	: ultrafiltrasyon

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Gıda ve içecek sektöründe geleneksel ayırma, saflaştırma ve derişiklendirme yöntemlerine alternatif olarak membran süreçlerinin uygulanması oldukça popüler ve gelişmekte olan bir konudur. Gıda ve içecek sektöründe uygulama çeşitliliğine bağlı olarak uygun membran süreçlerinin kullanımının yaygınlaşmasının başlıca sebepleri; (i) geleneksel yöntemlere göre işlem basamaklarını azaltarak süreci kısaltması, (ii) geleneksel yöntemde uygulanan yüksek sıcaklıkla birlikte gıda ve içeceklerin içerdikleri aroma bileşenlerindeki değişiklikler ve bileşenlerin kaybının minimize edilmesine bağlı olarak son ürün kalitesini arttırması, (iii) işlem seçimliliğinin ve veriminin yüksek olması, (iv) gıda içerisinde yer alan yararlı bileşenlerin zarar görmesini engelleyecek optimum koşullarda çalışma imkânı sunarak gıda güvenliğini sağlayan daha sağlıklı ve çevreci bir sistem olmasıdır. Membran süreçlerinin gıda ve içecek sektöründe endüstriyel ölçekte kullanımının gelecekte daha da artacağı değerlendirilmekle birlikte özellikle membran kirlenmesinin geciktirilmesi ve bunun için Ar-Ge faaliyetlerinde elde edilen sonuçların sanayiye aktarılmasının bu uygulamaların daha da yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda tüm dünyada “sürdürülebilir üretim” ve “sıfır atık yaklaşımı” için membran süreçlerinin farklı sektörlerde kullanımının giderek artan bir akıma sahip olacağı öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı'nın (TEYDEB) 3200785 ve

1180083 numaralı projeleri ile desteklenmiştir. Yazarlar, desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Conidi C., Castro-Muñoz R., Cassano A., Nanofiltration in beverage industry, In *Nanotechnology in the Beverage Industry*, Elsevier, 525–48, 2020.
2. Berryman P., *Advances in Food and Beverage Labelling: Information and Regulations*, Elsevier Inc., 2014.
3. Jain A., De S., *Processing of Beverages by Membranes*. In: *Processing and Sustainability of Beverages*, Elsevier, 517–60, 2019.
4. Shachman M., *The Soft Drinks Companion: A Technical Handbook for the Beverage Industry (1st ed.)*, CRC Press, 2004.
5. Buglass A.J., *Handbook of Alcoholic Beverages: Technical, Analytical and Nutritional Aspects*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 1–2, 2011.
6. Walker G.M., Walker R.S.K., *Enhancing Yeast Alcoholic Fermentations*, *Advances in Applied Microbiology*, 105, 87–129, 2018.
7. Fane, A. T., Wang, R., & Jia, Y., *Membrane technology: past, present and future*. In *Membrane and Desalination Technologies*, 1-45, Humana Press, Totowa, NJ, 2011.
8. Baker R.W., *Membrane Technology and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2004.
9. Purkait M.K., Mohanty K. (Eds.), *Membrane Technologies and Applications (1st ed.)*, CRC Press, 2012.
10. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran teknolojileri ve Uygulamaları Cilt 1: Membran Teknolojileri ve Su Arıtma, İsmail Koyuncu, Yıldızlar Ofset Mat. Yay. Rek. İç Dış Tic. Ltd. Şti., Ankara, Türkiye, 2018.
11. Kumar P., Sharma N., Ranjan R., Kumar S., Bhat Z.F., Jeong D.K., *Perspective of membrane technology in dairy industry: A review*, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26 (9), 1347–58, 2013.
12. Tabani H., Nojavan S., Alexovič M., Sabo J., *Recent developments in green membrane-based extraction techniques for pharmaceutical and biomedical analysis*, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Elsevier B.V., 160 244–67, 2018.
13. Ergün A., LBL İnce Film Membranların Ters Osmoz Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.
14. Castro-Munoz, R., Boczkaj, G., Gontarek, E., Cassano, A., *Membrane technologies assisting plant-based and agro-food by-products processing: a comprehensive review*, *Trends in Food Science & Technology*, 95, 219–232, 2020.
15. Peinemann K.V., Nunes S.P., Giorno L., *Membrane Technology*, 3, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 3, 2010.
16. Peyravi M., Jahanshahi M., Banafti S., *Application of membrane technology in beverage production and*

- safety, In *Safety Issues in Beverage Production: The Science of Beverages*, Elsevier, 18, 271–308, 2019.
17. Abdel-Fatah, M.A., Nanofiltration systems and applications in wastewater treatment: Review article. *Ain Shams Engineering Journal*, 9 (4), 3077-3092, 2018.
 18. Mohammad, A.W., Teow, Y.H., Ang, W.L., Chung, Y.T., Oatley-Radcliffe, D.L., Hilal, C., Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. *Desalination*, 356, 226-254, 2015.
 19. Technavio. Membrane Market for Food and Beverage Processing Market by Geography and Filtration Process- Forecast and Analysis 2020-2024. <https://www.technavio.com/report/membrane-market-for-food-and-beverage-processing-market-industry-analysis>. Ekim 2020. Erişim Tarihi Kasım 12, 2020.
 20. Daufin G., Escudier J.P., Carrère H., Bérot S., Fillaudeau L., Decloux M., Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry, *Food and Bioproducts Processing: Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part C*, 79 (2), 89–102, 2001.
 21. Vincze, I., Vatai G., Application of nanofiltration for coffee extract concentration, *Desalination*, 162 (1), 287-294, 2004.
 22. Bekassy-Molnar E., Lipnizki F., Vatai, G., *Engineering Aspects of Membrane Separation and Application in Food Processing* (R. Field, Ed.) (1st ed.). CRC Press, 2016.
 23. Cassano A., Drioli E., *Integrated Membrane Operations*, De Gruyter, Berlin, Boston, 2013.
 24. Tsuru, T., Nano/subnano-tuning of porous ceramic membranes for molecular separation, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 46 (3), 349-361, 2008.
 25. Topuz, B., Gas permeation through sol-gel derived alumina and silica based membranes, *Doktora Tezi*, İzmir Institute of Technology, Institute of Engineering and Sciences, İzmir, 2009.
 26. Topuz, B., & Çiftçioğlu, M., Sol-gel derived mesoporous and microporous alumina membranes. *Journal of sol-gel science and technology*, 56 (3), 287-299, 2010.
 27. Topuz, B., & Çiftçioğlu, M. Preparation of particulate/polymeric sol-gel derived microporous silica membranes and determination of their gas permeation properties. *Journal of Membrane Science*, 350 (1-2), 42-52, 2010.
 28. Topuz, B., & Çiftçioğlu, M., Preparation and characterization of diphasic sol-gel derived unsupported mullite membranes, *Journal of sol-gel science and technology*, 58 (1), 6-11, 2011.
 29. Duvarci, Ö. Ç., & Çiftçioğlu, M., Preparation and characterization of nanocrystalline titania powders by sonochemical synthesis, *Powder technology*, 228, 231-240, 2012.
 30. Hanaor, D. A., & Sorrell, C. C., Review of the anatase to rutile phase transformation, *Journal of Materials science*, 46 (4), 855-874, 2011.
 31. Hanaor, D., Michelazzi, M., Veronesi, P., Leonelli, C., Romagnoli, M., & Sorrell, C., Anodic aqueous electrophoretic deposition of titanium dioxide using carboxylic acids as dispersing agents, *Journal of the European Ceramic Society*, 31 (6), 1041-1047, 2011.
 32. Huang, X., Leal, M., & Li, Q., Degradation of natural organic matter by TiO₂ photocatalytic oxidation and its effect on fouling of low-pressure membranes, *Water research*, 42 (4-5), 1142-1150, 2008.
 33. Yan, J., Wu, G., Guan, N., Li, L., Li, Z., & Cao, X. Understanding the effect of surface/bulk defects on the photocatalytic activity of TiO₂: anatase versus rutile. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 15 (26), 10978-10988, 2013.
 34. Loeb, S., & Sourirajan, S., Sea water demineralization by means of an osmotic membrane, *Saline Water Conversion-II*, 117-132, 1962.
 35. Ren, J., & Wang, R. Preparation of polymeric membranes, *Membrane and Desalination Technologies, Handbook of Environmental Engineering*, Editör: Wang L.K., Chen J.P., Hung Y.T., Shammass N.K., Humana Press, Totowa, NJ, 13, 47-100, 2011.
 36. Abdullah, N., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Jaafar, J., & Ismail, A. F., Membranes and Membrane Processes: Fundamentals. In *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes*, 45-70, Elsevier, 2018.
 37. Purkait, M. K., Sinha, M. K., Mondal, P., & Singh, R., Introduction to membranes. In *Interface science and technology*, 25, 1-37, Elsevier, 2018.
 38. Tewari, P.K., *Nanocomposite Membrane Technology: Fundamentals and Applications*, CRC Press, Boca Raton, A.B.D., 2015. <https://doi.org/10.1201/b19213>
 39. Escobar-Ferrand, L., Layer by Layer, Nano-particle “Only” Surface Modification of Filtration Membranes, *Doctoral Dissertation*, Columbia University, 2013.
 40. Petersen, R. J., Composite reverse osmosis and nanofiltration membranes, *Journal of membrane science*, 83 (1), 81-150, 1993.
 41. Jons, S., Ries, P., & McDonald, C. J., Porous latex composite membranes: fabrication and properties, *Journal of membrane science*, 155 (1), 79-99, 1999.
 42. Song, Y., Sun, P., Henry, L. L., & Sun, B., Mechanisms of structure and performance controlled thin film composite membrane formation via interfacial polymerization process, *Journal of membrane science*, 251 (1-2), 67-79, 2005.
 43. Yuan, S., Zhang, G., Zhu, J., Mamrol, N., Liu, S., Mai, Z., Puyvelde, P.V., Van der Bruggen, B., Hydrogel assisted interfacial polymerization for advanced nanofiltration membranes, *Journal of Materials Chemistry A*, 8 (6), 3238-3245, 2020.
 44. Gong, Y., Gao, S., Tian, Y., Zhu, Y., Fang, W., Wang, Z., Jin, J., Thin-film nanocomposite nanofiltration membrane with an ultrathin polyamide/UIO-66-NH₂ active layer for high-performance desalination, *Journal of Membrane Science*, 600, 117874, 2020.
 45. Liang, Y., Zhu, Y., Liu, C., Lee, K. R., Hung, W. S., Wang, Z., Li, Y., Elimelech, M., Jin, J., Lin, S., Polyamide nanofiltration membrane with highly uniform sub-nanometre pores for sub-1 Å precision separation, *Nature communications*, 11 (1), 1-9, 2020.

46. Bruening, M., Controlling the ion-permeability of layered polyelectrolyte films and membranes, In *Multilayer thin films*, Wiley-VCH Weinheim, 487-510, 2003.
47. Fadhillah, F., Javaid Zaidi, S. M., Khan, Z., Khaled, M., Rahman, F., & Hammond, P., Development of multilayer polyelectrolyte thin-film membranes fabricated by spin assisted layer-by-layer assembly, *Journal of applied polymer science*, 126 (4), 1468-1474, 2012.
48. te Brinke, E., Achterhuis, I., Reurink, D. M., de Grooth, J., & de Vos, W. M., Multiple approaches to the buildup of asymmetric polyelectrolyte multilayer membranes for efficient water purification, *ACS Applied Polymer Materials*, 2 (2), 715-724, 2020.
49. Ergün, A., Tümer, E. H., Cengiz, H. Y., & Deligöz, H., Monitoring the Salt Stability of Layer-by-Layer Self-Assembled Films From Polyelectrolyte Blends by Quartz Crystal Microbalance-Dissipation and Their Ion Separation Performances, *Polymer Engineering & Science*, 60 (5), 1006-1018, 2020.
50. Arslan, M., Dönmez, G., Ergün, A., Okutan, M., Albayrak Arı, G., & Deligöz, H., Preparation, characterization, and separation performances of novel surface modified LbL composite membranes from polyelectrolyte blends and MWCNT, *Polymer Engineering & Science*, 60 (2), 341-351, 2020.
51. Liu, Y., Wang, R., & Chung, T. S., Chemical cross-linking modification of polyimide membranes for gas separation, *Journal of Membrane Science*, 189 (2), 231-239, 2001.
52. Valamohammadi, E., Behdarvand, F., Tofighy, M. A., & Mohammadi, T., Preparation of positively charged thin-film nanocomposite membranes based on the reaction between hydrolyzed polyacrylonitrile containing carbon nanomaterials and HPEI for water treatment application, *Separation and Purification Technology*, 242, 116826, 2020.
53. Setiawan, L., Shi, L., Krantz, W. B., & Wang, R., Explorations of delamination and irregular structure in poly (amide-imide)-polyethersulfone dual layer hollow fiber membranes, *Journal of membrane science*, 423, 73-84, 2012.
54. Hashemifard, S. A., Ismail, A. F., & Matsuura, T., Co-casting technique for fabricating dual-layer flat sheet membranes for gas separation, *Journal of membrane science*, 375 (1-2), 258-267, 2011.
55. Wenten, I. G., Khoiruddin, K., Wardani, A. K., Aryanti, P. T. P., Astuti, D. I., & Komaladewi, A. A. I. A. S. Preparation of antifouling polypropylene/ZnO composite hollow fiber membrane by dip-coating method for peat water treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 34, 101158, 2020.
56. Kim, K. J., Chowdhury, G., & Matsuura, T., Low pressure reverse osmosis performances of sulfonated poly (2, 6-dimethyl-1, 4-phenylene oxide) thin film composite membranes: effect of coating conditions and molecular weight of polymer. *Journal of Membrane Science*, 179 (1-2), 43-52, 2000.
57. Lau W.J., Polyamide Membrane, In: *Encyclopedia of Membranes*, Drioli E., Giorno L. (eds), Springer, Berlin, Heidelberg, 2015.
58. Xu, G. R., Xu, J. M., Feng, H. J., Zhao, H. L., & Wu, S. B., Tailoring structures and performance of polyamide thin film composite (PA-TFC) desalination membranes via sublayers adjustment-a review, *Desalination*, 417, 19-35, 2017.
59. Yılmaz M., *Membran Biyoreaktörlerde (MBR) Tıkanma Kontrolü için Titreşim Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
60. Salt Y., Dinçer S., An Option for Special Separation Operations: Membrane Processes, *SIGMA, Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4 (212), 1-23, 2006.
61. Jevons, K., Awe, M., Economic benefits of membrane technology vs. evaporator, *Desalination*, 250 (3), 961-963, 2010.
62. *Dairy Processing Handbook*, Teknotext AB, Tetra Pak Processing Systems, Lund, Sweden.
63. Pan, B., Yan, P., Zhu, L., Li, X., Concentration of coffee extract using nanofiltration membranes, *Desalination*, 317, 127-131, 2013.
64. Kerr, W.L., *Food Drying and Evaporation Processing Operations, Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery*, William Andrew Inc., Georgia, USA, 303-340, 2007.
65. Sequera, S.C., Ruiz, Y., Moreno, F.L., Quintanilla-Carvajal, M.X., Salcedo, F., Rheological evaluation of gelation during thermal treatments in block freeze concentration of coffee extract, *Journal of Food Engineering*, 242, 76-83, 2019.
66. Moreno, F.L., Hernandez, E., Raventos, M., Robles, C., Ruiz, Y., A process to concentrate coffee extract by the integration of falling film and block freeze-concentration, *Journal of Food Engineering*, 128, 88-95, 2014.
67. Lane, S., Palmer, J., Christie, B.R., Ehling, J., Le, C.H., Can cold brew coffee be convenient? A pilot study for caffeine content in cold brew coffee concentrate using high performance liquid chromatography, *The Arbutus Review*, 8 (1), 2017.
68. Mulder, M., *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1996.
69. Stabile R.L., Economics of reverse osmosis and multistage evaporation for concentrating skim milk from 8.8 to 45% solids, *Journal of dairy Science*, 66 (8), 1765-1772, 1982.
70. Çağlar A., Çağlar M.Y., *Süt ve Süt Ürünleri, Uluslararası 2. Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi, Konya-Türkiye*, 18-76, 7-10 Kasım, 2013.
71. Brans G., Schroën C.G.P.H., Van Der Sman R.G.M., Boom R.M., Membrane fractionation of milk: State of the art and challenges, *Journal of Membrane Science*, 243 (1-2), 263-72, 2004.
72. O'Mahony J.A., Tuohy J.J., Further Applications of Membrane Filtration in Dairy Processing, In *Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications*, Blackwell Publishing Ltd.225-61, 2012.

73. Griep E.R., Cheng Y., Moraru C.I., Efficient removal of spores from skim milk using cold microfiltration: Spore size and surface property considerations, *Journal of Dairy Science*, 101 (11), 9703–13, 2018.
74. Ünver N., Çelik Ş., İçme Sütü Üretiminde ESL (Extended Shelf Life) Teknolojisinin Kullanımı, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21 (2), 247–58, 2017.
75. Fritsch J., Moraru C.I., Development and optimization of a carbon dioxide-aided cold microfiltration process for the physical removal of microorganisms and somatic cells from skim milk, *Journal of Dairy Science*, 91 (10), 3744–60, 2008.
76. Wang D., Fritsch J., Moraru C.I., Shelf life and quality of skim milk processed by cold microfiltration with a 1.4- μm pore size membrane, with or without heat treatment, *Journal of Dairy Science*, 102 (10), 8798–806, 2019.
77. Hu K., Dickson J.M., *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2015.
78. Bilydukevich A. V., Plisko T. V., Lipnizki F., Pratsenko S.A., Correlation between membrane surface properties, polymer nature and fouling in skim milk ultrafiltration, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 605 (July 2020), 125387, 2020.
79. Yaman İ., Bekik K., Çeri Z., Şen Z., Dinçer B., Süt ve Laktozsuz Sütlerin Fiziksel ve Kimyasal Analizlerinin Değerlendirilmesi, TÜBİTAK Projesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Çayeli- Rize, 1–10, 2019.
80. Malik T.F., Panuganti K.K., *Lactose Intolerance*, StatPearls Publishing, 2020.
81. Zhang H., Tao Y., He Y., Pan J., Yang K., Shen J., Gao C., Preparation of Low-Lactose Milk Powder by Coupling Membrane Technology, *ACS Omega*, 5 (15), 8543–50, 2020.
82. Govindasamy-Lucey S., Jaeggi J.J., Martinelli C., Johnson M.E., Lucey J.A., Standardization of milk using cold ultrafiltration retentates for the manufacture of Swiss cheese: Effect of altering coagulation conditions on yield and cheese quality, *Journal of Dairy Science*, 94 (6), 2719–30, 2011.
83. Xia X., Tobin J.T., Sharma P., Fenelon M., McSweeney P.L.H., Sheehan J.J., Application of a cascade membrane filtration process to standardise serum protein depleted cheese milk for cheddar cheese manufacture, *International Dairy Journal*, 110, 104796, 2020.
84. Walstra, P., Wouters, J.T.M. & Geurts, T.J., *Concentrates milks*. Dairy Science and Technology, CRC Press (Taylor & Francis group), Boca Raton, FL, 497–512, 2006.
85. Garem A., Schuck P., Maubois J.-L., Cheesemaking properties of a new dairy-based powder made by a combination of microfiltration and ultrafiltration, *Le Lait*, INRA Editions, 80 (1), 2000.
86. Jukkola A., Hokkanen S., Kämäräinen T., Partanen R., Heino A., Rojas O.J., Changes in milk fat globules and membrane lipids under the shear fields of microfiltration and centrifugation, *Journal of Membrane Science*, 573, 218–25, 2019.
87. Hansen S.F., Petrat-Melin B., Rasmussen J.T., Larsen L.B., Ostefeld M.S., Wiking L., Placing pasteurisation before or after microfiltration impacts the protein composition of milk fat globule membrane material, *International Dairy Journal*, 81, 35–41, 2018.
88. Bouteille R., Gaudet M., Lecanu B., This H., Monitoring lactic acid production during milk fermentation by in situ quantitative proton nuclear magnetic resonance spectroscopy, *Journal of Dairy Science*, 96 (4), 2071–80, 2013.
89. Norddahl, B., Fermentative production and isolation of lactic acid, United States of America Patent Application, No. 6319382B1, 2001.
90. Diblíková L., Čurda L., Kinčl J., The effect of dry matter and salt addition on cheese whey demineralisation, *International Dairy Journal*, 31 (1), 29–33, 2013.
91. Hasanoğlu A., Comparison of various membrane contactor systems for whey concentration process, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (3), 1565–74, 2020.
92. Koch Membrane Systems Inc., Dairy Solutions. <https://www.kochseparation.com/wp-content/uploads/2020/10/dairy-brochure.pdf>. 2015. Erişim Tarihi 1 Aralık, 2020.
93. Lauzin A., Pouliot Y., Britten M., Understanding the differences in cheese-making properties between reverse osmosis and ultrafiltration concentrates, *Journal of Dairy Science*, 103 (1), 201–9, 2020.
94. Christiansen M.V., Pedersen T.B., Brønd J.N., Skibsted L.H., Ahrné L., Physical properties and storage stability of reverse osmosis skim milk concentrates: Effects of skim milk pasteurisation, solid content and thermal treatment, *Journal of Food Engineering*, 278 (January), 2020.
95. Valencia A.P., Doyen A., Benoit S., Margni M., Pouliot Y., Effect of ultrafiltration of milk prior to fermentation on mass balance and process efficiency in Greek-style yogurt manufacture, *Foods*, 7 (9), 2018.
96. Fernández García L., Riera Rodríguez F.A., Combination of microfiltration and heat treatment for ESL milk production: Impact on shelf life, *Journal of Food Engineering*, 128 1–9, 2014.
97. Hui Y.H., *Handbook of Fruits and Fruit Processing*, Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA, 2006.
98. Henning S.M., Yang J., Shao P., Lee R.P., Huang J., Ly A., Hsu M., Lu Q.Y., Thames G., Heber D., Li Z., Health benefit of vegetable/fruit juice-based diet: Role of microbiome, *Scientific Reports*, 7 (1), 1–9, 2017.
99. Türk Gıda Kodeksi Meyve Suyu ve Benzeri Ürünler Tebliği, T.C. Resmî Gazete, 29080, Tebliğ No: 2014/34, 6 Ağustos 2014.
100. Jiao B., Cassano A., Drioli E., Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: A review, *Journal of Food Engineering*, 63 (3), 303–24, 2004.
101. Urošević T., Povrenović D., Vukosavljević P., Urošević I., Stevanović S., Recent developments in microfiltration and ultrafiltration of fruit juices, *Food and Bioproducts Processing*, 106 147–61, 2017.

102. Echavarría A.P., Falguera V., Torras C., Berdún C., Pagán J., Ibarz A., Ultrafiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of fruit juices at pilot plant scale, *LWT- Food Science and Technology*, 46 (1), 189–95, 2012.
103. Cassano A., Donato L., Drioli E., Ultrafiltration of kiwifruit juice: Operating parameters, juice quality and membrane fouling, *Journal of Food Engineering*, 79 (2), 613–21, 2007.
104. Capannelli G., Bottino A., Munari S., Lister D.G., Maschio G., Becchi I., The use of membrane processes in the clarification of orange and lemon juices, *Journal of Food Engineering*, 21 (4), 473–83, 1994.
105. Severcan S.S., Uzal N., Kahraman K., Clarification of pomegranate juice using PSF microfiltration membranes fabricated with nano TiO₂ and Al₂O₃, *Journal of Food Processing and Preservation*, 44 (8), 2020.
106. Gulec H.A., Bagci P.O., Bagci U., Performance enhancement of ultrafiltration in apple juice clarification via low-pressure oxygen plasma: A comparative evaluation versus pre-flocculation treatment, *LWT- Food Science and Technology*, 91 511–7, 2018.
107. Veleirinho B., Lopes-da-Silva J.A., Application of electrospun poly (ethylene terephthalate) nanofiber mat to apple juice clarification, *Process Biochemistry*, 44 (3), 353–6, 2009.
108. Kahraman K., Uzal N., Severcan S.Ş., PSF/SiO₂ Nanokompozit Membran Üretimi ve Elma Suyu Berraklaştırma Prosesinde Kullanımı, *Gıda / the Journal of Food*, 44 618–28, 2019.
109. Chandini S.K., Rao L.J., Subramanian R., Membrane Clarification of Black Tea Extracts, *Food and Bioprocess Technology*, 6 (8), 1926–43, 2013.
110. Salehi F., Current and future applications for nanofiltration technology in the food processing, *Food and Bioproducts Processing*, 92 (2), 161–77, 2014.
111. Warczok J., Ferrando M., López F., Güell C., Concentration of apple and pear juices by nanofiltration at low pressures, *Journal of Food Engineering*, 63 (1), 63–70, 2004.
112. Rosenberg M., Current and future applications for membrane processes in the dairy industry, *Trends in Food Science and Technology*, 6 (1), 12–9, 1995.
113. Aguiar I.B., Miranda N.G.M., Gomes F.S., Santos M.C.S., Freitas D.D.G.C., Tonon R. V., Cabral L.M.C., Physicochemical and sensory properties of apple juice concentrated by reverse osmosis and osmotic evaporation, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16 137–42, 2012.
114. Cassano A., Conidi C., Drioli E., Clarification and concentration of pomegranate juice (*Punica granatum* L.) using membrane processes, *Journal of Food Engineering*, 107 (3–4), 366–73, 2011.
115. Rehman W.U., Muhammad A., Khan Q.A., Younas M., Rezakazemi M., Pomegranate juice concentration using osmotic distillation with membrane contactor, *Separation and Purification Technology*, 224 481–9, 2019.
116. Rehman W.U., Muhammad A., Younas M., Wu C., Hu Y., Li J., Effect of membrane wetting on the performance of PVDF and PTFE membranes in the concentration of pomegranate juice through osmotic distillation, *Journal of Membrane Science*, 584 66–78, 2019.
117. Onsekizoglu P., Production of high quality clarified pomegranate juice concentrate by membrane processes, *Journal of Membrane Science*, 442 264–71, 2013.
118. Onsekizoglu P., New Membrane Processes for Concentration of Fruit Juices: Membrane Distillation, 37, 103–10, 2012.
119. Onsekizoglu P., Bahceci K.S., Acar M.J., Clarification and the concentration of apple juice using membrane processes: A comparative quality assessment, *Journal of Membrane Science*, 352 (1–2), 160–5, 2010.
120. Cassano A., Jiao B., Drioli E., Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process, *Food Research International*, 37 (2), 139–48, 2004.
121. De Oliveira R.C., Docê R.C., De Barros S.T.D., Clarification of passion fruit juice by microfiltration: Analyses of operating parameters, study of membrane fouling and juice quality, *Journal of Food Engineering*, 111 (2), 432–9, 2012.
122. Grainger K., Tattersall H., *Wine Production: Vine To Bottle*, 2007.
123. Butzke C., *Winemaking Problems Solved*. In *Winemaking Problems Solved*, 2010.
124. Moreno-Arribas, M.V., Polo, M.C., Wine chemistry and biochemistry. In *Wine Chemistry and Biochemistry*, 2009, <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74118-5>.
125. El Rayess Y., Albasi C., Bacchin P., Taillandier P., Raynal J., Mietton-Peuchot M., Devatine A., Cross-flow microfiltration applied to oenology: A review, *Journal of Membrane Science*, 382 (1–2), 1–19, 2011.
126. Palacios V.M., Caro I., Pérez L., Comparative study of crossflow microfiltration with conventional filtration of sherry wines, *Journal of Food Engineering*, 54 (2), 95–102, 2002.
127. Urkiaga A., De Las Fuentes L., Acilu M., Uriarte J., Membrane comparison for wine clarification by microfiltration, *Desalination*, 148 (1–3), 115–20, 2002.
128. Kontogiannopoulos K.N., Patsios S.I., Karabelas A.J., Tartaric acid recovery from winery lees using cation exchange resin: Optimization by Response Surface Methodology, *Separation and Purification Technology*, 165 32–41, 2016.
129. Gonçalves F., Fernandes C., Cameira dos Santos P., De Pinho M.N., Wine tartaric stabilization by electro dialysis and its assessment by the saturation temperature, *Journal of Food Engineering*, 59 (2–3), 229–35, 2003.
130. Bdiri M., Perreault V., Mikhaylin S., Larchet C., Hellal F., Bazinet L., Dammak L., Identification of phenolic compounds and their fouling mechanisms in ion-exchange membranes used at an industrial scale for wine tartaric stabilization by electro dialysis, *Separation and*

- Purification Technology, 233 (August 2019), 115995, 2020.
131. Nelson M., The barbarian's beverage: A history of beer in ancient Europe, Routledge Taylor & Francis Group, 2005.
 132. Cimini A., Moresi M., Combined enzymatic and crossflow microfiltration process to assure the colloidal stability of beer, *LWT- Food Science and Technology*, 90 132–7, 2018.
 133. P. E. Yeung, United States Patent (19), 19, 1987.
 134. Gan Q., Howell J.A., Field R.W., England R., Bird M.R., O'Shaughnessy C.L., MeKechinie M.T., Beer clarification by microfiltration- Product quality control and fractionation of particles and macromolecules, *Journal of Membrane Science*, 194 (2), 185–96, 2001.
 135. Cimini A., Moresi M., Beer Clarification Using Ceramic Tubular Membranes, *Food and Bioprocess Technology*, 7 (9), 2694–710, 2014.
 136. Cimini A., Moresi M., Beer Clarification by Novel Ceramic Hollow-Fiber Membranes: Effect of Pore Size on Product Quality, *Journal of food science*, 81 (10), E2521–8, 2016.
 137. Purwasasmita M., Kurnia D., Mandias F.C., Khoiruddin, Wenten I.G., Beer dealcoholization using non-porous membrane distillation, *Food and Bioprocess Technology*, 94 180–6, 2015.
 138. Catarino M., Mendes A., Madeira L.M., Ferreira A., Alcohol removal from beer by reverse osmosis, *Separation Science and Technology*, 42 (13), 3011–27, 2007.
 139. Ambrosi A., Motke M.B., Souza-Silva É.A., Zini C.A., McCutcheon J.R., Cardozo N.S.M., Tessaro I.C., Beer dealcoholization by forward osmosis diafiltration, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63, 102371, 2020.
 140. De Lima, L. M., Elias, L.P., Silva, M.M.C.D., Da Silva, K.V. ve Pacheco, A.S.V., Behavioral aspects of the coffee consumer in different countries: the case of Brazil, 2020.
 141. Wonorahardjo, S., Yuniawati, N., Molo, A.D.P., Rusdi, H.O., Purnomo, H., Different chemical compound profiles of Indonesian coffee beans as studied chromatography/mass spectrometry, *Esarth and Environmental Science*, 276, 2019, DOI: 10.1088/1755-1315/276/1/012065.
 142. Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Innocenti, M., Bellumori, M., Parenti, A., Characterization and comparison of cold brew and cold drip coffee extraction methods, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, DOI: 10.1002/jsfa.9200.
 143. Hamilton, L.M., Lahne, J., Assessment of instructions on panelist cognitive framework and free sorting task results: a case study of cold brew coffee, *Food Quality and Preference*, 83, 2020, DOI: 10.1016/j.foodqual.2020.103889.
 144. Dat, L.Q., Quyen, N.T.N., Nanofiltration for concentration of roasted coffee extract: from bench to pilot, The 3rd International Conference on Chemical Engineering, food and Biotechnology (ICCFB2017), Ho Chi Minh City-Vietnam, 12-13 Ekim, 2017.
 145. Çay Araştırma ve Uygulama Merkezi. Türkiye'de Çay. <https://www.caymer.com.tr/icerik/turkiyede-cay>. 2017. Erişim Tarihi 30 Aralık, 2020.
 146. Çakıloğlu E., Bayrak A., Çay İşleme Sırasında Aroma Maddelerindeki Değişim, *Gıda*, 34, 115–9, 2009.
 147. Zhu Z., Liu D., Cai S., Tan Y., Liao J., Fang Y., Dyes removal by composite membrane of sepiolite impregnated polysulfone coated by chemical deposition of tea polyphenols, *Chemical Engineering Research and Design*, 156 289–99, 2020.
 148. Evans P.J., Bird M.R., Rogers D., Wright C.J., Measurement of polyphenol-membrane interaction forces during the ultrafiltration of black tea liquor, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 335 (1–3), 148–53, 2009.
 149. Kawakatsu T., Kobayashi T., Sano Y., Nakajima M., Clarification of Green Tea Extract by Microfiltration and Ultrafiltration, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 59 (6), 1016–1020, 1995.
 150. Chandini S.K., Rao L.J., Subramanian R., Membrane Clarification of Black Tea Extracts, *Food and Bioprocess Technology*, 6 (8), 1926–43, 2013.
 151. Zhang T., Huang W., Jia T., Liu Y., Yao S., Ionic liquid@ β -cyclodextrin-gelatin composite membrane for effective separation of tea polyphenols from green tea, *Food Chemistry*, 333 (April), 127534, 2020.
 152. Sousa L. dos S., Cabral B.V., Madrona G.S., Cardoso V.L., Reis M.H.M., Purification of polyphenols from green tea leaves by ultrasound assisted ultrafiltration process, *Separation and Purification Technology*, 168 188–98, 2016.
 153. Li J., Liao H., Sun Y., Li R., Zhu B., Zhong Z., Yao Z., Fabrication of MWCNTs/PDMS mixed matrix membranes for recovery of volatile aromatic compounds from brewed black tea, *Separation and Purification Technology*, 259 (July 2020), 118101, 2020.
 154. Chen B., Xiong X., Yao Z., Yin N., Low Z.X., Zhong Z., Integrated membrane process for wastewater treatment from production of instant tea powders, *Desalination*, 355, 147–54, 2015.
 155. Saha S., Boro R., Das C., Treatment of tea industry wastewater using coagulation-spinning basket membrane ultrafiltration hybrid system, *Journal of Environmental Management*, 244 (April), 180–8, 2019.
 156. Van Mil, P.J.J.M., Bouman, S.R., Freeze concentration of dairy products, *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 44, 21–31, 1990.
 157. Van Pelt, W.H.M., Bassoli, D.G., Freeze concentration: coffee-product and economic analysis, *Cafe Cacao The*, 34 (1), 37–45, 1990.
 158. Pan Z., Song C., Li L., Wang H., Pan Y., Wang C., Li J., Wang T., Feng X., Membrane technology coupled with electrochemical advanced oxidation processes for organic wastewater treatment: Recent advances and future prospects, *Chemical Engineering Journal*, 376 (November), 1–19, 2019.

