



The Influence of Microfiltration on Raw Milk Quality

Ceren Akal^{1,a,*}, Birce Mercanoğlu Taban^{1,b}

¹Department of Dairy Technology, Faculty of Agriculture, Ankara University, 06560 Ankara, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Review Article</p> <p>Received : 04/05/2020 Accepted : 04/09/2020</p> <p>Keywords: Raw milk Pathogenic bacteria Microfiltration Shelf life Quality</p>	<p>Although the milk's predominant microflora consists of lactic acid bacteria, it is probable that pathogenic bacteria such as <i>Listeria</i>, <i>Brucella</i>, <i>Mycobacterium</i>, <i>Staphylococcus</i>, <i>Escherichia coli</i> O157: H7 and <i>Salmonella</i> are also present. Due to the fact that milk contains components with high nutritional value and therefore suitable for the growth of microorganisms, the microorganism populations in the milk can reach to the numbers that can threaten human health in a short time. Therefore, it is very important to ensure the microbial safety of the milk before it is consumed. Microfiltration, one of the techniques that can be used for this purpose, physically separates the microorganisms from the milk by passing the milk through the membranes having pores with certain diameters by the effect of pressure. Studies on the microorganism load of milk that microfiltration is used showed that the number of microorganisms in milk generally decreases depending on the working conditions such as pore diameters of the membranes, the initial microorganism load of milk, temperature and pressure. The membranes used in microfiltration technique are chosen according to the purpose. It is known that membranes with a pore diameter of 1,4 µm cause a pasteurization effect and membranes with a pore diameter of 0,2 µm cause a sterilization effect. Therefore, the choice of suitable membrane is very important for microfiltration application. Several studies have been done on the effect of microfiltration on extension of shelf life in drinking milk, the removal of bacterial spores which can withstand high temperatures and can cause milk deterioration of milk, the production of dairy products like cheese without damaging the natural components of milk. These researches are important in terms of providing information on a technique that allows the removal of pathogen microorganisms which cause a risk for public health and can cause food poisoning in case of consumption of raw milk and raw milk cheeses, without any change in the natural structure of milk.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(9): 1935-1941, 2020

Mikrofiltrasyon Uygulamasının Çiğ Sütün Mikrobiyel Kalitesine Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Derleme Makale</p> <p>Geliş : 04/05/2020 Kabul : 04/09/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Çiğ süt Patojen bakteri Raf Ömrü Mikrofiltrasyon Kalite</p>	<p>Sütte laktik asit bakterileri daha fazla olmasına karşın, <i>Listeria</i>, <i>Brucella</i>, <i>Mycobacterium</i>, <i>Staphylococcus</i>, <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ve <i>Salmonella</i> cinsi patojen bakterilerin de varlığı muhtemeldir. Süt yüksek besin değerine sahip bileşenler içermesi ve dolayısıyla mikroorganizma gelişimi ve çoğalması için uygun ortam olması nedenleriyle, içerdiği mikroorganizma popülasyonları insan sağlığını tehdit edecek sayılara kısa süre içinde ulaşabilmektedirler. Bu nedenle sütün tüketilmeden önce mikrobiyel açıdan güvenli hale getirilmesi oldukça önemli bir konudur. Bu amaçla uygulanabilecek tekniklerden biri olan mikrofiltrasyon işlemi, basınç etkisiyle sütün belirli çaplarda gözeneklere sahip membranlardan geçirilmesi sonucu süttten mikroorganizmaların fiziksel olarak ayrılmasını sağlamaktadır. Mikrofiltrasyon uygulanan sütün mikroorganizma yükü ile ilgili yapılan çalışmalar süttteki mikroorganizma sayısının, kullanılan membranların gözenek çapları, sütün başlangıç mikroorganizma yükü, sıcaklık ve basınç gibi çalışma koşullarına bağlı olarak genellikle azaldığını göstermiştir. Mikrofiltrasyonda kullanılacak membranlar amaca yönelik olarak seçilmektedir. Gözenek çapı 1,4 µm olan membranların pastörizasyon etkisine, 0,2 µm gözenek çapına sahip membranların ise sterilizasyon etkisine sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle uygun membran seçimi mikrofiltrasyon uygulaması için oldukça önemlidir. Mikrofiltrasyonun, içme sütlerinde raf ömrünün uzatılması, yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve sütte bozulmalara neden olabilecek bakteri sporlarının uzaklaştırılması, sütün doğal bileşenlerine zarar vermeden peynir gibi bazı süt ürünlerine işlenmesi üzerine etkilerini ortaya koymak amacıyla farklı araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, çiğ süt veya diğer süt ürünlerinin üretiminde ısı işlem uygulanması nedeniyle özellikle çiğ süttten elde edilen peynirlerin tüketilmesi durumunda halk sağlığı açısından risk oluşturan ve gıda zehirlenmelerine neden olabilecek patojen mikroorganizmaların sütün doğal yapısında bir değişiklik yaratmadan uzaklaştırılmasına imkân tanıyan bir teknik hakkında bilgi vermeleri açısından önemlidir.</p>

^a akal@ankara.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0002-0441-541X>

^a btaban@ankara.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0002-4347-2935>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Çiğ süt, Türk Gıda Kodeksi-Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliğinde “Bir veya daha fazla inek, keçi, koyun veya mandanın sağılmasıyla elde edilen, 40°C'nin üzerine ısıtılmamış veya eşdeğer etkiye sahip herhangi bir işlem görmemiş kolostrum dışındaki meme bezi salgısı” olarak tanımlanmıştır (Anonim, 2000). Bir canlının hayatını sürdürmesi için ihtiyaç duyduğu tüm besin maddelerini yeterli ve dengeli miktarlarda içeren süt, bebek ve çocuk beslenmesi başta olmak üzere insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Süt, yüksek besleyici özelliğe sahip birçok bileşeni (karbonhidrat, protein, yağ, vitamin, mineral maddeler ve esansiyel aminoasitler gibi) içermesinin yanı sıra nötrale yakın bir pH değerine sahip olması ve yüksek miktarda su içermesi nedenleriyle mikroorganizma gelişimi ve çoğalması için oldukça uygun bir ortam oluşturmaktadır. Çiğ sütün doğal mikroflorası oldukça karmaşıktır ve birçok farklı tür mikroorganizma içermektedir. Bu mikroorganizmalar arasında baskın olan laktik asit bakterileri olsa da, insan sağlığı açısından risk oluşturan patojenlerin de bulunması kuvvetle muhtemeldir. Bu nedenle; sütün mikrobiyel açıdan güvenli hale getirilmeden tüketilmesi mümkün değildir. Bu amaçla ısıtım işlemi, yüksek hidrostatik basınç uygulaması, vurgulu elektrik alan uygulaması gibi farklı yöntemlerle sütün mikrobiyolojik aktivitesinin durdurulması veya kontrol altına alınması gerekmektedir. Belirtilen yöntemler arasında ısıtım işlemi en yaygın kullanılan yöntemdir. Ancak ısıtım işlemi uygulaması ile sütte meydana gelen bazı değişimler, sütün esansiyel aminoasit, vitamin ve mineral içeriğinden dolayı sahip olduğu besleyicilik özelliklerinde olumsuzluklar meydana getirmektedir. Örneğin, yüksek sıcaklıkta pastörizasyon veya ultra yüksek sıcaklık (UHT) kullanılarak ısıtım işlemi uygulamasının suda çözünen vitaminlerin ve esansiyel bir aminoasit olan lizin kaybına, süt yağının oksidasyonuna, peyniraltı suyu proteininin (serum) denatürasyonuna ve bazı mineral maddelerin çözünebilirlik özelliklerinin azalmasına neden olduğu bilinmektedir (Gündoğdu ve ark., 2012; Metin, 2008; Ohlsson ve Bengtsson, 2002). Benzer şekilde süte uygulanan ısıtım işlemi ile günümüzde tüketicilerin sağlıklı beslenmeye ilgili farkındalığının ve işlenmemiş gıdalara olan taleplerinin artması, ısıtım işlemi alternatif tekniklere yönelik araştırmalara yön vermiştir. Çeşitli araştırmaların sonucunda bulunan bu yöntemler sütün besleyicilik özellikleri üzerinde daha az değişikliğe neden olmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda yoğun olarak ısıtım işlemi alternatif yöntemler üzerinde durulmaktadır. Nispeten düşük basınç (~1 bar) ve sıcaklıklarda (35-50°C) uygulanan ve membran filtrasyon tekniklerinden olan mikrofiltrasyon (Garcia ve ark., 2013), pastörizasyona alternatif uygulanabilecek etkin bir yöntemdir. Diğer yandan, süt endüstrisinde yaygın olarak kullanılan salamura ve temizleme çözeltilerinin tekrar kullanımlarını arttırmak için mikroorganizma sayılarının azaltılmasında veya yayıkaltından fosfolipidlerin ekstraksiyonunda mikrofiltrasyon tekniğinin kullanılabilmesi üzerine çalışmalar da devam etmektedir.

Çiğ Sütün Mikroflorası

Çiğ inek sütünün mikroflorasının büyük bir kısmını laktik asit bakterileri oluşturmaktadır. Bu laktik asit bakterilerinin bir kısmı farklı ürünlerin üretimlerinde kullanılması nedeniyle teknolojik olarak önemliyken (*Lactococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* spp.); *Pediococcus*, *Enterococcus* ve *Weissella* gibi bazı türler teknolojik olarak önem taşımamaktadır (Quigley ve ark., 2013). Laktik asit bakterileri dışında *Corynebacterium*, *Brevibacterium* ve *Propionibacterium* cinsleri de yaygın olarak çiğ sütte bulunmaktadır (Quigley ve ark., 2011). Belirtilen mikroorganizmalar dışında çiğ sütte patojen bakteriler ile birlikte maya ve küfler de bulunabilmektedir. Sütün sağım sırasında ve/veya sağımdan sonra patojen bir mikroorganizma ile bulaşması olasıdır ve bu durumda patojen mikroorganizma ile sütte çok kısa sürede yüksek sayılara ulaşabilmektedir. Bu nedenle çiğ süt tüketimi mikrobiyolojik olarak güvenli değildir. Çiğ süttten elde edilen peynirler üzerine yapılan araştırmalar, söz konusu peynirlerde patojen mikroorganizmalara rastlanıldığını göstermiştir. Brooks ve ark. (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada 41 adet çiğ süttten elde edilen peynir örneğinde *Escherichia (E.) coli* O157:H7, *Listeria (L.) monocytogenes*, *Salmonella* ve *Campylobacter* bulunduğu saptanmıştır. Keçi ve koyun sütünden elde edilen peynir örnekleri üzerine yapılan başka bir araştırma sonucunda ise örneklerde *Salmonella* (%1,4-2,4), *L. monocytogenes* (%2,9-3,6), *E. coli* O157 (%4,3-4,8) ve *Staphylococcus (S.) aureus* (%35-39) bulunduğu bildirilmiştir (Gonzalez-Barron ve ark., 2017). Yine Mercanoglu Taban ve ark. (2017)'in yaptıkları bir çalışma sonucunda Ankara piyasasında açıkta satılan 63 adet Beyaz ve Tulum peyniri örneklerinin 11'inde enterotoksijenik özellikteki *S. aureus* varlığına rastlanılmıştır.

Halk sağlığı açısından bakıldığında çiğ süt tüketimine bağlı olarak görülen hastalıklar birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler arasında;

- Mikroorganizmanın patojenitesi,
- Mideye giren mikroorganizma sayısı,
- Enfektif doz,
- Tüketicinin sağlık durumu sayılabilir (Claeys ve ark., 2013).

Çiğ süt tüketimine bağlı olarak *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* ve *S. aureus* salgın hastalıklara neden olan temel bakteriler olarak bilinmektedir (Oliver ve ark., 2005).

Campylobacter spp.

Campylobacter spp. arasında en bilinen türler *C. jejuni* ve *C. coli*'dir. Birçok gıdada bulunabilen *Campylobacter* spp. çiğ süt ve ürünlerinde de bulunabilmektedir (Davis ve ark., 2016). Gıda kaynaklı patojenler içinde oldukça önemli bir bakteri olmasına karşın, düşük sıcaklık, yüksek tuz içeriği gibi çevre şartlarına karşı dayanıklı olmaması nedeniyle birçok süt ürünüde özellikle de peynirlerde canlılığını koruyamamaktadır (Yoon ve at., 2015). Ancak çiğ süt tüketiminin yasal olduğu bölgelerde, *Campylobacter* spp.'nin neden olduğu salgınlar oldukça yaygındır. 2007-2011 yılları arasında meydana gelen çiğ süt kaynaklı hastalıkların %80'inin *Campylobacter* türlerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Longenberger ve ark., 2013).

Salmonella türleri

Yetersiz pastörizasyon uygulanması veya çiğ süttten peynir üretilmesi sonucu süt ürünlerinde bulunan *Salmonella enterica* tüm dünyada salgınlara neden olan gıda kaynaklı bir patojendir (Majowicz ve ark., 2010). Diğer patojenlere göre zor şartlara nispeten daha dirençli olduğu için *Salmonella* türleri gıdalarda çok az miktarlarda bulunsalar bile, salmonellozis adı verilen bir dizi hastalığa neden olabilmektedir (Yoon ve ark., 2015). Salmonellozis, canlı bakteri içeren gıda tüketimiyle patojenin ince barsaklarda gelişimi ve enterokolite neden olan bir inflamasyonun sonucu olarak ortaya çıkan ve gıdanın tüketiminden 12-36 saat sonra semptomları görülen bir hastalıktır (Taban ve ark., 2007).

Escherichia coli O157:H7

Shiga-toksin üreten *E. coli* (STEC) özellikle *E. coli* O157:H7 (EHEC) gıda kaynaklı hastalıklara neden olan ve fekal yolla bulaşan bir patojendir. Bilinen ilk EHEC kaynaklı salgın, 1983 yılında yayınlanmış (Riley ve ark., 1983) ve gıda maddelerinde bulunmasıyla halk sağlığını tehdit eden başlıca patojen bakterilerden biri olduğu ortaya çıkmıştır (Honish ve ark., 2005). Yapılan çalışmalarda çiğ inek sütü peyniri tüketimine bağlı olarak görülen gıda kaynaklı hastalıklardan genellikle STEC suşlarının sorumlu olduğu bildirilmiştir (Espie ve ark., 2006; Bayliss, 2009).

E. coli O157:H7 (EHEC), kırmızı kan hücrelerinin parçalanmasına neden olan sitotoksinler (Shiga veya Vero toksinler) üretmektedir. Bu toksinler insanda hemolitik-üremik sendromla sonuçlanan birçok farklı rahatsızlığa neden olmaktadır (Batt, 2014a).

Listeria monocytogenes

Gıda kaynaklı enfeksiyonlardan sorumlu olan bir diğer patojen *L. monocytogenes*, süt ve süt ürünlerinde de bulunabilmektedir (Sanaa ve ark., 1993; Yoshida ve ark., 1998). *L. monocytogenes* çiğ süte iki farklı yolla bulaşmaktadır. Sağım hayvanının dışkılarından veya sağım alanının hijyenik özelliklerinin yetersiz olmasından kaynaklı bir bulaş söz konusu olabileceği gibi hayvanda mastitis veya listeriosis gibi hastalıkların olması da sütte *L. monocytogenes* bulaşısının olmasına neden olabilmektedir (Aytac ve Mercanoglu Taban, 2014; Schoder ve ark., 2011).

L. monocytogenes kaynaklı ilk salgın Massachusetts'te 1983 yılında görülmüş ve salgında yetersiz pastörizasyon uygulanmış süt tüketimine bağlı olduğu düşünülen 49 vaka tespit edilmiş ve 14 hasta salgına bağlı olarak hayatını kaybetmiştir (Fernandes, 2009). Ancak halen her yıl *L. monocytogenes* kaynaklı yaklaşık 1600 vaka görülmektedir (Batt, 2014b). Sağlıklı bireylerde, vücuda alınan bakteri sayısına bağlı olarak, hastalık belirtisi göstermezken, gençler, yaşlılar ve hamileler başta olmak üzere bağışıklık sistemi zayıflamış her bireyde hastalığa neden olmaktadır. *L. monocytogenes*, septisemi, menenjit, beyin iltihaplanması ve rahim içi enfeksiyonlar başta olmak üzere birçok farklı hastalığa neden olabilmektedir. Enfektif doz kesin olarak bilinmemektedir. Ancak enfektif dozun, farklı suşlar arasında farklılık gösterecek olsa da yaklaşık 1000 hücre gibi az sayıda olduğu varsayılmaktadır.

Staphylococcus aureus

Çiğ süt ve çiğ süttten elde edilen süt ürünlerinde tespit edilen patojenlerden biri de *S. aureus*'tur (Aytac ve Mercanoglu Taban, 2010). Sağım hayvanlarının vajina ve burunlarındaki mukozal membran üzerinde bulunan *S. aureus* ısıya karşı hassasiyet göstermesine karşın ısıya karşı oldukça dirençli enterotoksinler üretmektedir (Aytac ve Mercanoglu Taban, 2010; Aytac ve Mercanoglu Taban, 2014; Jakobsen ve ark., 2011). Gıda işleme ve hazırlama sırasında uygun hijyenik koşulların sağlanamaması ve/veya korunamaması sonucu gıdaların *S. aureus* ile bulaşı halinde olmasında en büyük rolü insanlar oynamasına karşın, başta mastitisli hayvanlardan sağılan sütler olmak üzere, bulaşı halindeki sütler ve süt ürünlerinin, özellikle de çiğ süttten üretilen peynirlerin stafilokokal intoksikasyonlar yönünden büyük risk taşıdıkları (Jorgensen ve ark., 2005; Zweifel ve ark., 2006) ve hatta bu peynirlerden *S. aureus*'un sıklıkla izole edildiği bildirilmektedir (Karimihachehsoo, 2016; Mercanoglu Taban ve ark., 2017; Rosengren ve ark., 2010). Süt ve süt ürünleri esaslı stafilokokal intoksikasyonlar; enterotoksijenik özelliğe sahip stafilokokların süt ve süt ürünlerinde 10^5 - 10^6 kob/g-mL veya daha yüksek sayıya ulaşması sırasında sentezlenen, ekzotoksin özellikteki stafilokokal enterotoksinlerin (SE) beslenme yolu ile alımı sonucu oluşmaktadır (Karimihachehsoo, 2016). Genellikle gıda kaynaklı hastalıklara *S. aureus*'un koagülaz pozitif olan suşları neden olurken, bazı koagülaz negatif suşlar da enterotoksin oluşturabilmektedir (Karimihachehsoo, 2016; Küçükçetin ve Milci, 2008; Mercanoglu Taban ve ark., 2017).

Diğer Patojen Mikroorganizmalar

Brucella spp., çiğ süt ve ürünlerinde tespit edilen bir patojendir. *Brucella* türlerinin neden olduğu brusellozis halk sağlığı açısından risk oluşturan ve en sık görülen zoonotik hastalıklar dizisidir (Aytac ve Mercanoglu Taban, 2010; Aytac ve Mercanoglu Taban, 2014; Yüce ve Alp-Çavuş, 2006).

Çiğ sütte bulunan diğer patojenler arasında *Coxiella burnetii* (Loftis ve ark., 2010), *Yersinia enterocolitica* (Lambertz ve ark., 2008), *Mycobacterium bovis* (Rowe ve Donaghy, 2008) sayılabilir.

Süt Teknolojisinde Uygulanan Membran Ayırma Teknolojileri

Membran ayırma teknolojisi, belirli gözenek çaplarına sahip membranlar kullanılarak basınç etkisiyle akışkan içindeki bileşenlerin büyüklüklerine göre ayrılması esasına dayanmaktadır. Membran ayırma teknikleri genellikle dört ana gruba ayrılmaktadır:

- Mikrofiltrasyon,
- Ultrafiltrasyon,
- Nanofiltrasyon
- Ters Ozmoz'dur.

Ters ozmoz tekniğinde; 0,002 µm'den küçük çapta gözenek büyüklüğüne sahip membranlarla 15-150 bar basınç uygulayarak suyun ve aminoasit, glukoz gibi çok küçük moleküllü bileşenlerin geçişine izin verilmektedir. Nanofiltrasyonda, yaklaşık 0,002 µm büyüklüğündeki gözeneklere sahip membranlarla 5-35 bar basınç ile mono,

di-, oligosakkaritler ve iyonlar ayrılmaktadır. Ultrafiltrasyon tekniğinde, 0,2-0,02 µm gözeneğe sahip membran ve 1-10 bar basınç kullanılarak, proteinler, polisakkaritler ve makro moleküller ayrılmaktadır. En büyük gözenek büyüklüğüne sahip mikrofiltrasyon tekniğinde ise 0,02-4 µm çapa sahip gözenekler içeren membranlar kullanılmaktadır. İki bardan daha yüksek basınç uygulanan mikrofiltrasyonda partiküller ve bakteriler ayrılmaktadır (Wagner, 2001; Saboya ve Maubois, 2000).

Mikrofiltrasyon

Molekül ağırlıkları 200 kDa'dan büyük olan maddeleri ayırmak amacıyla 0,1-0,5 bar arasında basınç uygulanarak kullanılan mikrofiltrasyon yönteminde (Zeman, 1996) membranların gözenek çapları 0,1-10 µm aralığındadır (Rosenberg, 1995). Mikrofiltrasyon üzerine yapılan araştırmalar; mikroorganizma, somatik hücre ve sporların membranlarda tutulduğunu, diğer süt bileşenlerinin büyük oranda membrandan geçtiğini göstermiştir. Sütte mikrofiltrasyon uygulandığında; ısıl işlemde meydana gelen protein yapılarının değişmesi, besleyici özelliklerin kaybı veya karakteristik süt lezzetinin değişmesi gibi olumsuzluklar meydana gelmemektedir (Yetişmeyen ve Yıldız, 2006). Bu nedenle, sütün raf ömrünün arttırılması ve mikrobiyel açıdan güvenilir hale getirilmesi amacıyla mikrofiltrasyon uygulaması tercih edilmektedir. Mikrofiltrasyon ile pastörizasyon uygulanan süt örnekleri raf ömürleri açısından birbirleriyle karşılaştırıldığında, mikrofiltrasyon sütünün daha uzun raf ömrüne sahip olduğu saptanmıştır (Avali ve ark., 2004). Bu yüzden, farklı teknolojilerin uygulanmasıyla, buzdolabı sıcaklığında muhafaza edildiğinde pastörize sütün daha uzun raf ömrüne sahip süt olarak tanımlanan "raf ömrü uzatılmış süt (Extended Shelf Life- ESL)" üretiminde mikrofiltrasyon uygulaması tercih edilebilmektedir. ESL sütün üretiminde mikrofiltrasyon uygulaması dışında yüksek ısıl işlem (özellikle UHT), yüksek hidrostatik basınç, darbeli elektrik alanları, baktöfugasyon gibi farklı teknolojiler de uygulanabilmektedir ancak en yaygın kullanım pastörizasyon-mikrofiltrasyon kombinasyonudur (Doll ve ark., 2017; Ünver ve Çelik, 2017). Uygulama tekniğe bağlı olarak değişmekle birlikte ESL sütün raf ömrü +4°C'de 20 gün ila 90 gün arasında olabilmektedir (Doll ve ark., 2017; Lorenzen ve ark., 2011).

Mikrofiltrasyon çığ sütün peynir üretiminde bakteri ve sporları sütün uzaklaştırmak amacıyla da kullanılabilmektedir (Brans ve ark., 2004). Sütte mikrofiltrasyon uygulanmasındaki en önemli sorun, mikroorganizmalardan daha büyük boyuta sahip olan yağın membranlarda tıkanıklığa neden olmasıdır. Bu tıkanıklığı önlemek amacıyla ya yağı alınmış sütün mikrofiltrasyon edilmesi ya da yüksek hızda ters akış sağlayacak tekniklerin uygulanması gerekmektedir (Guerra ve ark., 1997).

Mikrofiltrasyon veya Mikrofiltrasyon/Diğer Yöntem Kombinasyonlarının Uygulanması ile Sütten Bakterilerin Uzaklaştırılması

Membran filtrasyon teknolojisi uygulamalarında membran materyali olarak başta polisülfon (PS) ve polietersülfon (PES) olmak üzere selüloz asetat, selüloz ester, polivinil klorür, polietilen gibi organik veya seramik, karbon gibi inorganik materyaller kullanılabilmektedir

(Aslan, 2016; Kelly, 2002). Ancak süte mikrofiltrasyon uygulamasında kullanılan gözenekli membranların kullanımında ayırma özelliklerini, kullanılan materyalden çok gözenek büyüklüğü ve gözenek boyutunun dağılımı etkilemektedir. Membranlar yapısına göre de sınıflandırılabilir. Bunlardan en yaygın kullanılanları asimetrik ve kompozit membranlardır. Kalınlığı yaklaşık 100-200 µm olan asimetrik membranlar, daha ince ve yoğun olan ve üst tabakada bulunan aktif ayırma bölgesi dışında baştan sona aynı polimer malzemeden üretilmektedir. Kompozit membranlar ise asimetrik membranlara membran kalınlığının %1-3'ü kadarlık ince bir tabakanın eklenmesiyle elde edilmektedir (Aslan, 2016).

Filtrasyon amacıyla kullanılan membranların çok yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olması nedeniyle, uygulanacak sıcaklığın belirlenmesinde membranlar sınırlandırıcı olmamaktadır (Saboya ve Maubois, 2000). Bununla birlikte filtrasyonda kullanılan membran materyaline bağlı olarak pH-değerine karşı direnç farklılık göstermektedir. Organik membranlar için optimum pH aralığı 4,5-8 iken inorganik membranlar daha geniş bir pH aralığında (3-13 pH) kullanılabilmektedir (Aslan, 2016).

Çığ sütte bulunan ve insan sağlığı açısından risk oluşturan bakterilerin mikrofiltrasyon uygulaması ile sütün ayrılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Mikrofiltrasyon sütün Cheddar peyniri üretiminde, 1,4 µm gözenek büyüklüğüne sahip membran ve 0,25 bar membran arası basınç kullanılarak uygulanan mikrofiltrasyon tekniğinin, ürünlerdeki *E. coli* sayısı üzerine etkisi araştırıldığında bakteri sayısını önemli derecede (%88 oranında) azalttığı saptanmıştır (Amornkul ve Henning, 2007). Aynı çalışmada mikrofiltrasyonla beraber, antibakteriyel bir enzim olan laktoperoksidazın sodyum tiyosiyanat ve hidrojen peroksit varlığında aktif olması olarak bilinen laktoperoksidaz sisteminin de uygulanmasının, mikroorganizma sayısını azaltmada daha etkili (%96) olduğu bildirilmiştir. Schmidt ve ark. (2012) önce mikrofiltrasyon ve ardından pastörizasyon olacak şekilde iki teknolojinin ardarda uygulanmasının, sütün mikrobiyel yükü üzerine etkisini araştırmış ve 1,4 µm gözeneğe sahip seramik membranlar kullanılarak elde edilen mikrofiltrasyon sütte 77°C sıcaklıkta 30 s süreyle pastörizasyon uygulandığında, mikroorganizma sayısının 5-6 log azaldığı ve son üründe mikroorganizma sayısının 1 kob/mL'nin altında olduğu bildirilmiştir. Farklı bir çalışmada ise pastörizasyon, vurgulu elektrik alan ve mikrofiltrasyon tekniklerinin yağsız süte uygulanmasının, sütteki doğal mikrobiyel yük (toplam aerobik mezofilikler, toplam termodurik mezofilikler, toplam stafilkoklar, toplam laktik asit bakterileri, toplam ve termodurik psikrotroflar, termodurik termofiller, maya ve küfler) üzerine etkisi araştırılmıştır (Walkling-Ribeiro ve ark., 2011). Pastörizasyonda 4,6 log kob/mL, mikrofiltrasyonda 3,7 log kob/mL, vurgulu alan uygulamasında 2,5 log kob/mL ve vurgulu alan-mikrofiltrasyon beraberliğinde ortalama 4,4 log kob/mL azalma saptanmıştır. Garcia ve Rodriguez (2014) tarafından yürütülen bir çalışmada, uzun raf ömrüne sahip içme sütünün üretimi için seramik membranlar kullanılarak, 45°C sıcaklıkta, 0,55 bar basınç altında mikrofiltrasyon uygulaması (permeat akış hızı 450-500 L/h) ile farklı normlarda ısıl işlem uygulaması incelenmiştir. Araştırma sonucunda, mikrofiltrasyonla birlikte 125-130°C

sıcaklıklarda ısıtma işlemi en uzun raf ömrüne (oda sıcaklığında 74 gün) sahip süt elde edildiği bildirilmiştir. Elwell ve Barbano (2006) toplam bakteri sayılarını sırasıyla $2,4 \times 10^3$, $3,6 \times 10^3$ ve $1,475 \times 10^3$ kob/mL olarak belirledikleri üç farklı yağsız çiğ süte mikrofiltrasyon tekniği uyguladıktan sonra aynı sütlerin toplam bakteri sayılarını sırasıyla 0,2, 0,9 ve 0,2 kob/mL olarak saptamışlardır. Benzer şekilde Pafylas ve ark. (1996) da paralel yönlü akışa sahip ve geleneksel mikrofiltrasyon uygulanmış sütlerde 4-5 log azalma belirlemiştir.

Mikrofiltrasyon Uygulaması ile Sütten Sporların Uzaklaştırılması

Spor, zor çevre şartlarında kendi neslini korumak için bakterilerin geliştirdiği bir form değişikliğidir. Spor, genellikle ortamın gıda içeriğinin azaldığı ve/veya çevresel şartların değiştiği durumlarda oluşmaktadır. Spor oluşturan *Bacillus* cinsi bakteriler, sütte pastörizasyon sonrası yaşamını sürdürebilme yeteneğine sahip önemli bakterilerdir (Kalkan ve Halkman, 2006). *B. cereus*'un sporları, pastörize sütte canlı olarak kaldıklarından, sütlerin oda sıcaklığında bozulmasına yol açmaktadır (Kalaylı ve Beyatlı, 2003). *Clostridium (C.) tyrobutyricum* ve *C. sporogenes* türlerinin oluşturduğu ısıya dirençli sporlar ise, özellikle peynir üretiminde yüksek miktarda gaz oluşumuna neden olarak üründe kusur ve dolayısıyla bozulmalara yol açmaktadır.

Mikrofiltrasyon ile bakteri sporlarının süttten ayrılması üzerine farklı çalışmalar yapılmıştır. "Bactocatch" olarak da adlandırılabilen bu yöntemde yüksek lineer hız (6-8 m/s) kullanılması ve membranlar arasındaki basıncın filtre boyunca sabit kalması için filtratın devir daim ettirilmesi gerekmektedir. Griep ve ark. (2018), *Bacillus (B.) licheniformis* sporları üzerine yaptıkları araştırma sonucunda sütteki sporların, gözenek çapı 1,2 µm olan membranlar kullanılarak, (transmembran basıncı 69 kPa, çapraz akış hızı 4,1m/s, 6°C sıcaklık) süttten daha fazla oranlarda ayrıldıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte, kullanılan bu gözenek çapının bakteri uzaklaştırılması için yeterli olduğu ancak sporların da süttten ayrılması istendiğinde membran gözeneklerinin 1,4 µm'den daha küçük olması gerektiğini göstermiştir. Ancak aynı çalışmada, *Geobacillus* ssp. sporlarının mikrofiltrasyon ile ayrılmasında 1,4 µm gözeneğe sahip membranlar (transmembran basıncı 74 kPa, çapraz akış hızı 4.1m/s, 6°C sıcaklık) kullanımının da yeterli olabileceği bildirilmiştir. Mikrofiltrasyon uygulaması ile sütteki *C. tyrobutyricum* ve *B. cereus* sporlarının uzaklaştırılması üzerine yapılan bir diğer çalışmada (transmembran basıncı 0,2 bar, 50°C sıcaklık) asimetrik 0,87 µm çaptaki membran kullanımı ile sporların indirgeme faktörünün (indirgeme faktörü=başlangıç spor sayısı (sayı/mL)-permeat spor sayısı (sayı/mL)) 10^4 - 10^5 olduğu belirlenmiştir (Guerra ve ark., 1997).

Sonuç

Çiğ süttün patojen mikroorganizma içerikleri üzerine yapılan çalışmalar, bu ürünlerde insan sağlığı açısından tehlike oluşturabilecek sayıda patojen mikroorganizma bulunduğunu göstermektedir. Süttün mikrobiyel açıdan güvenli hale getirilmesi için en yaygın kullanılan yöntem olan pastörizasyon süttün, özellikle de peynir ve tereyağı

üretiminde tipik aroma ve tadın oluşmasında rol oynayan yüksek katma değere sahip bazı önemli bileşenlerinde değişikliklere neden olduğu için uzun zamandır alternatif yöntemler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olarak kabul edilen mikrofiltrasyon tekniği üzerine yapılan çalışmalar, yöntemin sütte kuvvetle muhtemel bulunan bakteri ve spor sayısının azaltılmasında etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir (Papadatos ve ark., 2003). Mikrofiltrasyon, membran gözenek büyüklüğüne ve uygulanan basınca bağlı olarak süttün mikrobiyel güvenilirliğini sağlamaktadır. Mikrofiltrasyon tekniği, mikrobiyel açıdan avantaj sağladığı gibi süt bileşenlerinin özellikle de proteinlerin ayrılması işleminin diğer ayırma tekniklerine oranla daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesine de olanak sağlamaktadır.

Kaynaklar

- Amornkul Y, Henning DR. 2007. Utilization of microfiltration or lactoperoxidase system or both for manufacture of Cheddar cheese from raw milk. *Journal of Dairy Science*, 90: 4988-5000.
- Anonim. 2000. Türk Gıda Kodeksi. Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği (2000/6). Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ankara.
- Aslan M. 2016. Membran Teknolojileri. Türkiye Çevre Koruma Vakfı. ISBN: 978-605-9351-02-7.
- Avalli A, Povo M, Carminati D, Contarini, G. 2004. Significance of 2-heptanone in evaluating the effect of microfiltration/pasteurisation applied to goats' milk. *International Dairy Journal*, 14: 915-921.
- Aytac SA, Mercanoğlu Taban B. 2010. Gıda Kaynaklı İntoksikasyonlar. In: Erkmen O (editor). Gıda Mikrobiyolojisi. Eflatun Basım Dağıtım Yayıncılık, pp. 178-189. ISBN: 978-605-4343-02-5.
- Aytac SA, Mercanoglu Taban B. 2014. Foodborne Microbial Diseases and Control: Foodborne Infections and Intoxications. In: Malik Z, Erginkaya S, Erten H (editors). *Food Processing: Strategies for Quality Assessment*. Springer, pp. 191-225. ISBN: 978-1-4939-1377-0.
- Batt CA. 2014a. *Escherichia coli*. In: Tortorello, ML, Batt CA (editors). *Encyclopedia of Food Microbiology (Vol 1)*. Elsevier pp. 688-694. ISBN: 978-0-12-384730-0.
- Batt CA. 2014b. *Listeria monocytogenes*. In: Tortorello, ML, Batt CA (editors). *Encyclopedia of Food Microbiology (Vol 2)*. Elsevier pp. 490-493. ISBN: 978-0-12-384730-0.
- Bayliss CL. 2009. Raw milk and raw milk cheeses as vehicles for infection by Verocytotoxin-producing *Escherichia coli*. *International Journal of Dairy Technology*, 62 (3): 293-307.
- Brans G, Schoren CGPH, van der Sman RGM, Boom RM. 2004. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. *Journal of Membrane Science & Technology*, 243: 263-272.
- Brooks JC, Martinez M, Stratton J, Bianchini A, Krokstrom R, Hutkins R. 2012. Survey of raw milk cheeses for microbiological quality and prevalence of foodborne pathogens. *Food Microbiology*, 31: 154-158.
- Claeys WL, Cardoen S, Daube G, Block JD, Dewettinck K, Dierick K, Zutter L, Huyghebaert A, Imberechts H, Thiange P, Vandenplas Y, Herman L. 2013. Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. *Food Control*, 31: 251-262.
- Davis KR, Dunn AC, Burnett C, McCullough L, Dimond M, Wagner J, Smith L, Carter A, Willardson S, Nakashima AK. 2016. *Campylobacter jejuni* infections associated with raw milk consumption. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 65 (12): 301-305.

- Doll EV, Scherer S, Wenning M. 2017. Spoilage of Microfiltered and Pasteurized Extended Shelf Life Milk Is Mainly Induced by Psychrotolerant Spore-Forming Bacteria that often Originate from Recontamination. *Frontiers in Microbiology*, 8:145.
- Elwell MW, Barbano. 2006. Use of microfiltration to improve fluid milk quality. *Journal of Dairy Science*, 89 (E. Suppl): 10-30.
- Espie E, Vaillant V, Mariani-Kurkdjian P, Grimont F, Artin-Schaller R, Valk HD, Vernozy-Rozand C. 2006. *Escherichia coli* O157 outbreak associated with fresh unpasteurized goats' cheese. *Epidemiology and Infection*, 134: 143-146.
- Fernandes R. 2009. *Microbiology Handbook Dairy Products*. Leatherhead Food International Ltd, UK. ISBN: 978-1-905224-62-3.
- Garcia LF, Blanco SA, Rodriguez FAR. 2013. Microfiltration applied to dairy streams: removal of bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93: 187-196.
- Garcia LF, Rodriguez FAR. 2014. Combination of microfiltration and heat treatment for ESL milk production: Impact on shelf life. *Journal of Food Engineering*, 128: 1-9.
- Gonzalez-Barron U, Gonçalves-Tenorio A, Rodrigues V. 2017. Foodborne pathogens in raw milk and cheese of sheep and goat origin: a meta-analysis approach. *Current Opinion in Food Science*, 18: 7-13.
- Griep ER, Cheng Y, Moraru CI. 2018. Efficient removal of spores from skim milk using cold microfiltration: Spore size and surface property considerations. *Journal of Dairy Science*, 101: 1-11.
- Guerra A, Jonson G, Rasmussen A, Nielsen EW, Edesten D. 1997. Low cross-bow velocity microfiltration of skim milk for removal of bacterial spores. *International Dairy Journal*, 7: 849-861.
- Gündoğdu E, Yıldız, H, Çakmakçı S. 2012. Süt Bileşenleri Üzerine Isıl İşlemin Etkileri ve Besin Değeri Konusunda Değerlendirmeler. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 5 (1): 162-165.
- Honish L, Pedy G, Hislop N, Chui L, Kowalewska-Grochowska K, Trottier L, Kreplin C, Zazulak I. 2005. An outbreak of *E. coli* O157:H7 hemorrhagic colitis associated with unpasteurized Gouda cheese. *Canadian Journal of Public Health*, 96 (3): 182-184.
- Jakobsen RA, Heggebo R, Sunde EB, Skjervheim M. 2011. *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* in Norwegian raw milk cheese production. *Food Microbiology*, 28: 492-496.
- Jorgensen HJ, Mork T, Hogasen HR, Rovik LM. 2005. Enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* in bulk milk in Norway. *Journal of Applied Microbiology*, 99(1): 158-167.
- Kalaylı E, Beyatlı Y. 2003. *Bacillus* cinsi bakterilerin antimikrobiyal aktiviteleri, PHB üretimleri ve plazmid DNA'ları. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 1 (12): 24-35.
- Kalkan S, Halkman K. 2006. *Bacillus cereus* ve içme sütünde oluşturduğu sorunlar. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 4 (1): 1-11.
- Karimihachehsoo S. 2016. Ankara piyasasında açıkta satılan Beyaz ve Tulum peynirlerinden *Staphylococcus aureus* varlığının belirlenmesi ve belirlenen suşlarda bazı klasik enterotoksijenik özelliklerin polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Kelly PM. 2002. Membrane Separation. In: Roginski H. (editor) *Encyclopedia of Dairy Sciences*. pp. 1776-1786. Elsevier Ltd, UK. ISBN: 978-0-12-227235-6
- Küçükçetin A, Milci S. 2008. *Staphylococcus aureus* ile kontamine olan peynirlerden kaynaklanan gıda zehirlenmeleri. *Gıda*, 33 (3): 129-135.
- Lambertz ST, Nilsson C, Hallanvuo S, Lindblad M. 2008. Real-time PCR method for detection of pathogenic *Yersinia enterocolitica* in food. *Applied Environmental Microbiology*, 74 (19): 6060-6067.
- Loftis AD, Priestley RA, Masung RF. 2010. Detection of *Coxiella burnetii* in commercially available raw milk from the United States. *Foodborne Pathogens and Disease*, 7 (12): 1453-1456.
- Longenberger AH, Palumbo AJ, Chu AK, Moll ME, Weltman A, Ostroff SM. 2013. *Campylobacter jejuni* infections associated with unpasteurized milk-multiple states, 2012. *Clinical Infectious Diseases*, 57 (2): 263-266.
- Lorenzen PC, Clawin-Rädecker I, Einhoff K, Hammer P, Hartmann R, Hoffmann W, Martin D, Molkenkin J, Walte HG, Devrese M. 2011. A survey of the quality of extended shelf life (ESL) milk in relation to HTST and UHT milk. *International journal of dairy technology*, 64 (2): 166-178.
- Majowicz SE, Musto J, Scallan E, Angulo FJ, Kirk M, O'Brien SJ, Jones TF, Fazil A, Hoekstra RM. 2010. The global burden of nontyphoidal *Salmonella* gastroenteritis. *Clinical Infectious Diseases*, 50: 882-889.
- Mercanoglu Taban B, Akineden O, Karimihachehsoo S, Gross M, Usleber E. 2017. Enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* in brined cheese from weekly street markets in Ankara, Turkey. *Journal of Food Safety and Food Quality*, 68: 117-123.
- Metin M. 2008. Süt Teknolojisi. İzmir: Ege Üniv. Müh. Fak. Yayınları
- Ohlsson T, Bengtsson N. 2002. *Minimal Processing Technologies in the Food Industry*. England: Woodhead Publishing.
- Pafylis I, Cheryan M, Mehaia MA, Saglam N. 1996. Microfiltration of milk with ceramic membranes. *Food Research International*, 29 (2): 141-146.
- Oliver SP, Jayaro BM, Almeida RA. 2005. Foodborne pathogens in milk and the dairy farm environment: Food safety and public health implications. *Foodborne Pathogens and Disease*, 2 (2): 115-129.
- Papadatos A, Neocleous M, Berger AM, Barbano DM. 2003. Economic feasibility evaluation of microfiltration of milk prior to cheesemaking. *Journal of Dairy Science*, 86 (5): 1564-1577
- Quigley L, O'Sullivan O, Beresford TP, Ross, RP, Fitzgerald, GF, Cotter PD. 2011. Molecular approaches to analysing the microbial composition of raw milk and raw milk cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 150: 81-94.
- Quigley L, McCarthy R, O'Sullivan O, Beresford TP, Fitzgerald, GF, Ross PR, Stanton C, Cotter PD. 2013. The microbial content of raw and pasteurized cow milk as determined by molecular approaches. *Journal of Dairy Science*, 96: 4928-4937.
- Riley LW, Remis RS, Helgerson SD, McGee HD, Wells JG, Davis BR, Hebert RJ, Olcott ES, Johnson LM, Hargrett NT, Blake PA, Cohen ML. 1983. Hemorrhagic colitis associated with a rare *Escherichia coli* serotype. *The New England Journal of Medicine*, 308: 681-685.
- Rosenberg 1995. M. Current and future applications for membrane processes in the dairy industry. *Trends in Food Science & Technology*, 6: 12-19.
- Rosengren A, Fabricius A, Guss B, Sylvéna S, Lindqvist R. 2010. Occurrence of foodborne pathogens and characterization of *Staphylococcus aureus* in cheese produced on farm-dairies. *International Journal of Food Microbiology*, 144 (2): 263-269.
- Rowe M, Donaghy J. 2008. *Mycobacterium bovis*: the importance of milk and dairy products as a cause of human tuberculosis in the UK. A review of taxonomy and culture methods, with particular reference to artisanal cheeses. *International Journal of Dairy Technology*, 61 (4): 317-326.

- Saboya LV, Maubois JL. 2000. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. *Le Lait*, 80: 541-553.
- Schmidt VSJ, Kaufmann V, Kulozik U, Scherer S, Wenning M. 2012. Microbial biodiversity, quality and shelf life of microfiltered and pasteurized extended shelf life (ESL) milk from Germany, Austria and Switzerland. *International Journal of Food Microbiology*, 154: 1-9.
- Schoder D, Melzner D, Schmalwieser A, Zangana A, Winter P, Wagner M. 2011. Important vectors for *Listeria monocytogenes* transmission at farm dairies manufacturing fresh sheep and goat cheese from raw milk. *Journal of Food Protection*, 74 (6): 919-924.
- Taban, B. 2007. İmmunomanyetik ayırma-Polimeraz zincir reaksiyonu (İMA-PZR) yönteminin uygulanması ile tavuk etlerinde *Salmonella* spp.'nin belirlenmesi. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Ünver N, Çelik Ş. 2017. İçme Sütü Üretiminde ESL (Extended Shelf Life) Teknolojisinin Kullanımı. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* (2017) 21(2): 247-258.
- Sanaa M, Potrel B, Menard JL, Serieys F. 1993. Risk factors associated with contamination of raw milk by *Listeria monocytogenes* in dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 76: 2891-2898.
- Walkling-Ribeiro, M, Rodríguez-González O, Jayaram S, Griffiths MW. 2011. Microbial inactivation and shelf life comparison of 'cold' hurdle processing with pulsed electric fields and microfiltration, and conventional thermal pasteurisation in skim milk. *International Journal of Food Microbiology*, 144: 379-386.
- Wagner J. 2001. *Membrane Filtration Handbook Practical Tips and Hints*. 2nd ed. USA: Osmonics, Inc.
- Yetişmeyen A, Yıldız, F. 2006. Süt Endüstrisinde Mikrofiltrasyonun Kullanımı. Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs, Bolu, Türkiye.
- Yoon Y, Lee H, Lee S, Kim S, Choi KH. 2015. Membrane fluidity-related adaptive response mechanisms of foodborne bacterial pathogens under environmental stresses. *Food Research International*, 72: 25-36.
- Yoshida T, Sato M, Hirai K. 1998. Prevalance of *Listeria* species in raw milk from farm bulk tanks in Nagano prefecture. *Journal of Veterinary Medical Science*, 60 (3): 311-314.
- Yüce A, Alp-Çavuş S. 2006. Türkiye'de Bruselloz: Genel Bakış. *Klimik Dergisi*, 19 (3): 87-97.
- Zeman LJ, Zydney AL. 1996. *Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications*. 1st ed. New York: CRC Press.
- Zweifel C, Rusch M, Corti S, Stephan R. 2006. Determination of various microbiological parameters in raw milk and raw milk cheese produced by biofarms. *Archiv für Lebensmittelhygiene*, 57: 13-16.