

UHT İçme Sütlerinde Jelleşme Sorunu: Çiğ Süt Özelliklerinin ve İşlem Değişkenlerinin Etkisi

Firuze Ergin¹ , Özge Gökçe^{2,3} , Ahmet Küçükçetin¹  ✉

¹Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya

²Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Burdur

³Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya

Geliş Tarihi (Received): 10.08.2019, Kabul Tarihi (Accepted): 28.11.2019

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): kucukcetin@akdeniz.edu.tr (A. Küçükçetin)

☎ 0 242 310 65 69 📠 0 242 310 63 06

ÖZ

Sütün raf ömrünü uzatmak için endüstride kullanılan en yaygın ısı işlem UHT (Ultra High Temperature-Çok Yüksek Sıcaklık) işlemidir. Ancak, depolama sırasında enzimatik ve fiziksel etkilere bağlı olarak gelişen jel oluşumu UHT içme sütlerinin raf ömrünü kısaltmaktadır. Hayvanı enfeksiyonlara karşı korumada görev alan somatik hücrelerin artmasıyla sütün ısıl stabilitesi azalmaktadır. Ayrıca, UHT işleminde kullanılan direkt ve indirekt sistemler ile sıcaklık-süre normları, UHT sütte jel oluşumunu etkilemektedir. Son yıllarda, UHT sütlerde jel oluşumunu engellemeye yönelik yüksek basınçlı homojenizasyon, mikrofiltrasyon, ultrases, gaz enjeksiyonu gibi yüksek sıcaklıklarda ısı işlem gerektirmeyen uygulamaların da etkinliği incelenmiştir. Bu derlemede, UHT içme sütlerinde meydana gelen jelleşmenin oluşumunu etkileyen işlem değişkenleri hakkında bilgi verilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: UHT içme sütü, Jelleşme, Plasmin, Proteoliz

The Age Gelation Problem in UHT Milk: Effect of Process Parameters

ABSTRACT

The most prevalent heat treatment method used in the industry to extend shelf life of milk is UHT (Ultra High Temperature) process. However, the gel formation developed depending on enzymatic and physical effects during the storage shortens the shelf life of the UHT milk. The thermal stability of milk decreases with the increase of somatic cells which take part in protecting animals against infections. Besides, direct and indirect systems used in the heat treatment and temperature-time norms of heat treatment affect the formation of gel in UHT milk. In recent years, to prevent the gel formation in UHT milk, efficiency of applications, which do not require heat treatment at high temperatures, such as high-pressure homogenization, microfiltration, ultrasound and gas injection has been investigated. In this review, it is aimed to give information about the process parameters affecting gelation formation in UHT milk.

Keywords: UHT milk, Gelation, Plasmin, Proteolysis

GİRİŞ

Bireylerin beslenmesinde temel gıdalardan biri olan süt, zengin bileşimi ve nötre yakın pH değerine sahip olması ile mikroorganizmaların gelişimi için uygun bir ortam oluşturmaktadır [1, 2]. Çiğ sütü mikrobiyolojik açıdan

güvenilir hale getirip raf ömrünü uzatmak amacıyla farklı ısı işlem uygulamaları yapılmaktadır [3]. Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği'ne göre ısı işlem görmüş içme sütü; pastörizasyon, UHT veya sterilizasyon işlemlerinden biriyle ısı işlem görerek tüketiciye sunulan süt olarak

tanımlanmaktadır [4]. UHT işleminde çiğ süt, 130-150°C gibi çok yüksek sıcaklıklara kısa sürelerde maruz bırakıldıktan sonra aseptik koşullarda ambalajlanarak 6-9 ay gibi uzun bir süre tüketilebilmektedir. UHT işleminde hedef, en az fizikokimyasal değişim ile çiğ sütün içerdiği tüm mikroorganizma ve başta proteinazlar olmak üzere tüm enzimlerin inaktif hale getirildiği, oda sıcaklığında saklanabilen uzun raf ömrüne sahip içme sütü üretilmesidir [5]. UHT içme sütlerinde raf ömrünü kısaltan çeşitli fizikokimyasal değişimler meydana gelmektedir [6]. Söz konusu değişimlerden biri, yüksek sıcaklığa dirençli bakteri proteinazları ile sütün doğal enzimlerinden olan plazmin sistemi enzimlerinin ve ısı işlem sırasında çeşitli fizikokimyasal reaksiyonların neden olduğu jelleşmedir [7]. UHT içme sütlerinde bakteri ve süt kaynaklı enzimler, kazein miselinden β -laktoglobulin ve κ -kazeinden oluşan bileşiğin ayrılmasını hızlandırmakta ve kazeini proteolitik hidrolize uğratarak jelleşme sorununa yol açmaktadır [8]. UHT içme sütlerinde jelleşmenin oluşumu, üretimde kullanılan çiğ sütün özelliklerinden, bileşiminden, uygulanan UHT işleminin sıcaklık-süre normlarından, üretim değişkenlerinden ve depolama sıcaklığından etkilenmektedir [9]. Bu derlemede UHT içme sütlerinde meydana gelen jelleşmenin oluşumunu etkileyen değişkenlerin açıklanması amaçlanmaktadır.

ÇİĞ SÜT ÖZELLİKLERİNİN UHT İÇME SÜTLERİNDEKİ JEL OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİLERİ

Çiğ süt, 40°C'nin üzerine ısıtılmamış veya eşdeğer etkiye sahip herhangi işlem görmemiş kolostrum dışındaki meme bezi salgısı olarak tanımlanmakta [10] ve buzdolabı koşullarında (4-6°C) üç ile beş gün arasında depolanabilmektedir. Süt toplama koşulları, taşıma teknikleri, sağıım ortamının hijyeni, depolama sıcaklığı, mevcut bakteri yükü ve somatik hücre sayısı (SHS) gibi faktörler çiğ sütün raf ömrünü etkilemektedir [11]. Doğumdan sonra hayvan bağışıklık sisteminin bir parçasını oluşturan ve hayvanı mastitis olarak adlandırılan patojen bakterilerin neden olduğu meme bezi enfeksiyonlarına karşı korumada görev alan somatik hücreler, çiğ süt kalitesini değerlendirmek için sıklıkla kullanılmaktadır [12]. Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği'ne göre 500000 SHS/mL'nin üzerindeki inek ve manda sütlerinin satışı ve ürüne işlenmesi yasaklanmıştır [4]. Yüksek SHS'ye sahip süt, yüksek oranda patojen bakteri ve antibiyotik kalıntısı içerebilmektedir. Bununla birlikte, somatik hücreler protein ve enzim kaynağıdır. Somatik hücrelerin parçalanmasıyla süte, lipaz, oksidaz, glikozidaz, kazein hidrolizine neden olan elastaz, klinojenaz, plazmin ve katepsin (B, C, D, G) gibi enzimler salınmaktadır [13]. Mastitis ile birlikte sütte serum proteinleri ve immunoglobulin konsantrasyonu artarken, SHS'deki artışa bağlı olarak da kazein miktarında azalış görülmektedir. Söz konusu değişiklikler, sütün ısıl stabilitesinde azalmaya, UHT işlemi sırasında çökme ve jelleşmeye neden olmaktadır [14].

Yapılan bir çalışmada, yüksek (631000 SHS/mL) ve düşük (140000 SHS/mL) SHS'ye sahip sültere 138°C'de

2.4 saniye (s) UHT işlemi uygulanmış ve her iki süt grubuna 0.16mg/L plazmin ile 0.19 mg/L plazminojen eklenmiştir. Çalışmanın kontrol örneklerini herhangi bir enzim eklenmeyen yüksek ve düşük SHS'ye sahip sülterden üretilen UHT sülter oluşturmuştur. Şişelere doldurulan örnekler 20°C'de 180 gün süresince depolanmış ve jel oluşumu, viskozite ve enzim aktivitesi değerleri incelenmiştir. Yüksek SHS'ye sahip kontrol örneklerinde depolamanın 150. gününden itibaren şişenin dibinde çökelti oluşumu gözlemlenmiştir. Depolama sonunda en yüksek viskozite değeri yaklaşık 35 mPa.s ile plazminojen eklenen yüksek SHS'ye sahip sülterde belirlenirken, en düşük viskozite değeri yaklaşık 17 mPa.s ile düşük SHS'ye sahip kontrol örneklerinde tespit edilmiştir. Plazminojen eklenen düşük SHS'ye sahip sülterde plazminojen düzeyinin arttığı ve depolama süresince plazminojen:plazmin oranının 18.1'den 10.4'e düştüğü saptanmıştır. Plazminojen ilavesi yapılan yüksek SHS'ye sahip sülterde ise plazminojen aktivasyonunun, plazminojen eklenen düşük SHS'ye sahip örneklerden daha yüksek olduğu, 180 gün sonunda plazminojen:plazmin oranının 20.8'den 1.2'ye düştüğü tespit edilmiştir. SHS'deki artışa bağlı olarak sütteki plazminojen aktivatör miktarının arttığı ve sonuçta plazminojenin plazmine dönüşüm oranının yükseldiği değerlendirilmiştir (Tablo 1) [15]. Zachos ve ark. [16] erke ve geç laktasyon dönemindeki 40 farklı inekten yüksek ($>10^6$ SHS/mL) ve düşük (5×10^4 SHS/mL) SHS'ye sahip sülter toplayıp, laktasyon evresi ile SHS'nin plazminojen aktivatörünün aktivasyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, laktasyon evresinin plazminojen aktivatörünün aktivasyonu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanırken, sağlıklı ineklerden elde edilen SHS düşük sülterde ve mastitisli ineklerden elde edilen SHS yüksek sülterde plazminojen aktivatörü aktivitelerinin sırasıyla 7.6 ± 2.1 ve 60.6 ± 13.52 ünite (U)/ 10^6 hücre olduğu belirlenmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise süt sağıımından önce meme içindeki ortamı simüle edebilmek için 500000 SHS/mL ile 4.85 μ g/mL plazminojen içeren süt 37°C'de 7 saat süresince inkübe edilmiş ve β -kazein parçalanma oranı araştırılmıştır. İnkübasyonun 3. saatinde plazmin aktivitesine bağlı β -kazeinin parçalanma oranı %5.9 olarak tespit edilirken, 7. saatin sonunda bu oran %28.4 olarak belirlenmiştir. Sağıımdan önce meme içerisinde somatik hücrelere bağlı plazminojen aktivatörü için ideal ortamın oluştuğu ve plazminojenin plazmine dönüşerek β -kazeinin parçalanma oranını arttırdığı değerlendirilmiştir [17].

Farklı yağ oranlarında olacak şekilde üretilen UHT içme sülterinde depolama süresince jelleşme ve çökme oluşumlarında farklılıklar gözlemlenmektedir. Doğrudan (direct, direkt) UHT yöntemiyle 147°C'de 2 s süresince sterilize edilen tam yağlı ve yağsız sülter 22°C'de 11 hafta depolanmış ve proteoliz sonucu oluşan protein fraksiyonları incelenmiştir. Depolama sonunda yağlı sülterdeki β - ve κ - kazeinin parçalanma oranları sırasıyla %5 ve 14 olarak saptanırken, yağsız sülterde bu oranlar sırasıyla %13 ve 58 olarak tespit edilmiştir. Plazmin ve psikrotrof bakteri proteinazlarının aktivitesi ile kazeinin parçalanması sonucu oluşan büyük kütleye sahip peptit fraksiyonları yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile analiz edilmiştir. Tam yağlı ve yağsız sülterde

depolama süresince bakteri proteinazlarından kaynaklanan parçalanma ürünlerinde artış belirlenirken, tam yağlı sütlerde plazmin aktivitesi kaynaklı parçalanma ürünlerinin miktarında değişiklik olmadığı, yağsız sütlerde ise bu miktarın azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 1). Yağsız sütlerde plazmin aktivitesi sonucu oluşan büyük kütleye sahip peptit fraksiyonlarının

bakteri proteinazları ile tekrar parçalanması sonucunda daha küçük kütleye sahip peptit fraksiyonlarının olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonucunda, süt yağının proteinleri proteolize karşı koruduğu değerlendirilmiştir [18]. Çiğ süt özelliklerinin plazmin enzim sistemleri üzerine etkisi ile ilgili çalışmaların sonuçları Tablo 1’de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Çiğ süt özelliklerinin plazmin enzim sistemleri üzerine etkisi

Etken	Özellik	Sonuç
Somatik hücre sayısı (SHS)	Yüksek (631000 SHS/mL) Düşük (140000 SHS/mL)	SHS’deki artışa bağlı olarak sütteki plazminojen aktivatör miktarının arttığı belirlenmiştir [15].
Laktasyon evresi	Erken evre Geç evre	Laktasyon evresinin plazminojen aktivatörünün aktivasyonu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanmıştır [16].
Somatik hücre sayısı	Yüksek (>10 ⁶ SHS/mL) Düşük (5x10 ⁴ SHS/mL)	Mastitisli ineklerden elde edilen SHS yüksek sütlerde plazminojen aktivatörü aktivitesinin SHS düşük sütlerden yaklaşık 8 kat yüksek olduğu tespit edilmiştir [16].
Yağ oranı	Tam yağlı	Süt yağının proteinleri proteolize karşı koruduğu değerlendirilmiştir [18].

Grewal ve ark.’nın [19] yaptıkları bir çalışmada ise farklı jel elektroforez yöntemleri kullanılarak 138°C’de 6 s süresince UHT işlemi uygulanan yağlı (34 g yağ/L) ve yağsız (1 g yağ/L) sütlerdeki protein fraksiyonlarının değişimi 20, 30, 40 ve 50°C’lerde 28 gün depolama süresince belirlenmiştir. Doğal jel elektroforezi kullanılarak yapılan analizler sonucunda kazein ve peyniraltı suyu proteinlerinin bant yoğunluklarının 20, 30 ve 40°C’lerde 14 gün depolanan yağlı ve yağsız sütlerde değişmediği, 40°C’de 28 gün sonunda ise yağlı sütlerde bant yoğunluklarındaki azalmaya bağlı olarak yüksek molekül ağırlığına sahip protein agregatlarının arttığı saptanmıştır. Süt yağının, 40°C’de sıvı forma geldiği ve böylelikle kazein ve peyniraltı suyu proteinlerinin etrafını sararak proteinler arasındaki etkileşim olasılığını arttırdığı bildirilmiştir. Ayrıca yüksek depolama sıcaklıklarında lipidlerin peroksidasyonu sonucu oluşan ara ve son ürünlerin amino asitler ile etkileşerek proteinlerin çapraz bağlanmasına neden olduğu değerlendirilmiştir. Çalışmada, indirgeyici ajan kullanılmadan gerçekleştirilen sodyum dodesil sülfatlı jel elektroforezi ile kovalent bağlarla etkileşime girmeyen agregatların ayrılması hedeflenmiştir. Depolama sıcaklığı 20°C olan yağsız sütlerde 28 gün süresince indirgenmemiş peyniraltı suyu ve kazein agregatlarının miktarında değişim olmadığı, 20, 30 ve 40°C’lerde depolanan yağlı sütlerde ise 14 günün sonunda kovalent olmayan etkileşimlerle jel yapısının oluşumuna neden olan β-laktoglobülinin miktarının azaldığı ve buna bağlı olarak da indirgenmemiş peyniraltı suyu ve kazein agregatlarının miktarının arttığı belirlenmiştir. UHT içme sütlerinde yağ miktarı ile beraber depolama sıcaklığının da önemli olduğu ortaya konulmuştur.

Çiğ sütün UHT işlemine karşı dayanıklılığını arttırmak için stabilize edici tuzlar kullanılabilir. Sodyum fosfat ve sodyum sitratın UHT içme sütlerinde jel oluşumunu hızlandırdığı, sodyum heksametafosfat gibi polifosfatların ise jel oluşumunu geciktirdiği bildirilmektedir. Polifosfatlar, zincir uzunlukları ve ortamdaki konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak UHT içme sütlerini jelleşmeye karşı daha fazla

korumaktadır [20]. Chen ve ark. [21] farklı tuzların, sütün sağıldığı mevsimin ve uygulanan ısı işlemlerin sütün ısı stabilitesine olan etkisini araştırmışlardır. Di-sodyum hidrojen fosfat (DSHF), tri-sodyum sitrat (TSS) veya kalsiyum klorür (KK) eklenen ve herhangi bir tuz ilave edilmeyen farklı mevsim (kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar) sütleri iki gruba ayrılmıştır. Bir gruba 140°C’de 5.5 s UHT işlemi uygulanırken, diğer grup 121°C’de 20 dakika süresince klasik sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Herhangi bir tuz ilave edilmeyen kontrol grubu sütler ile DSHF, TSS ve KK eklenen sütlerdeki ortalama çökelti miktarları klasik sterilizasyon sonrasında sırasıyla %0.24, 1.15, 0.75 ve 0.23; UHT işlemi sonrasında %0.19, 0.24, 0.33 ve 0.31 olarak saptanmıştır. Çalışmada, çökelti miktarı %0.5’in üzerinde olan ısı işlem görmüş sütler, düşük ısı stabiliteye sahip olarak değerlendirilmiştir. DSHF ve TSS eklenerek klasik sterilizasyon işlemi uygulanan sütlerde kalsiyum (Ca²⁺) miktarının azalması ile k-kazeinin misellerden ayrışmasına bağlı olarak sütün ısı işlem sırasında stabilitesinin bozulduğu bildirilmiştir. KK eklenen sütlerde ise Ca²⁺ miktarının artıp pH değerinin düşmesi ile ısı stabilitesinin azaldığı belirtilmiştir. UHT işlemi uygulanan kontrol sütlerinde, yaz dönemi sütlerindeki çökelti miktarlarının sonbahar ve kış dönemi sütlerinden fazla olduğu, klasik sterilizasyon işlemi uygulanan kontrol grubu sütlerde ise çökelti miktarı üzerine mevsim farklılığının etkisinin istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir.

ISIL İŞLEM SİSTEMLERİNİN VE DEPOLAMA SICAKLIĞININ UHT İÇME SÜTLERİNDEKİ JEL OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİLERİ

Süt endüstrisinde UHT sistemleri direkt ve dolaylı (indirect, endirekt) ısıtılmalı olarak iki gruba ayrılmaktadır. Genel olarak direkt ısıtılmalı sistemlerde UHT işlemi buhar enjeksiyon ve buhar infüzyon yöntemleri ile gerçekleştirilebilirken, endirekt ısıtılmalı sistemlerde plakalı ve borulu ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Buhar enjeksiyon yönteminde, ön ısıtma uygulanan sütün

sıcaklığı doymuş buhar enjeksiyonu ile kısa sürede 135-150°C'lere yükseltilmektedir. Yaklaşık birkaç saniye süre ile istenilen sıcaklıkta bekletilen sütün sıcaklığı vakum altında ani bir genişleme ile düşürülerek, buhar enjeksiyonu sırasında ilave edilen su süttün uzaklaştırılmaktadır [22]. Diğer bir direkt ısıtma sistemi olan buhar infüzyon yönteminde ise süt sıcaklığının artırılması sütün buhar içine püskürtülmesi ile gerçekleşmektedir. Direkt ısıtma sistemlerinde süt ısı kaynağı olan buhar ile direkt temas halindeyken, endirekt ısıtma sistemlerinde süt ısı kaynağı ile temas etmemektedir. Endirekt ısıtma sistemlerinde ısı aktarımı, sütün plakanın ya da borunun diğer tarafından geçen buhar veya sıcak su ile ısıtılan metal yüzey ile teması sonucu olmaktadır [22]. Endirekt ısıtma sistemlerinde süt daha fazla ısıtma maruz kaldığı için proteaz aktivitesi engellenmekte ve jel oluşumu geciktirilebilmektedir [11].

Direkt ve endirekt ısıtma sistemlerinin UHT içme sütlerinde depolama süresince jel oluşumuna etkisinin incelendiği bir çalışmada, direkt ısıtma için süt infüzyon yöntemiyle 142°C'de 5 s tutulurken, endirekt ısıtma için süte plakalı ısı değiştiriciler kullanılarak 145°C'de 3 s ısıtma işlemi uygulanmıştır. Farklı yöntemlerle UHT işlemi uygulanan sütler aseptik koşullarda paketlenerek 4, 22, 25 ve 37°C'lerde 182 gün süresince depolanmıştır. Depolama sıcaklığı yükseldikçe UHT içme sütlerinin pH değerlerinde düşüş olduğu belirlenmiş olup, 37°C'de depolanan UHT içme sütlerinde söz konusu düşüşün Maillard reaksiyonuna bağlı olarak proteinlerdeki serbest pozitif uçların laktoza bağlanmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Direkt ısıtma yöntemi uygulanarak 22 ve 25°C'lerde depolanan UHT içme sütlerinde sırasıyla 84. ve 98. günlerde viskozite değerinin 10 mPa.s üzerine çıkarak jel oluşumunun başladığı belirlenmiştir. Direkt ısıtma yöntemi uygulanarak 4 ve 37°C'lerde depolanan UHT içme sütleri ile endirekt ısıtma uygulanan farklı sıcaklıklarda depolanan UHT içme sütlerinin viskozite değerlerinde 182 gün sonunda istatistiksel açıdan önemli bir değişikliğin olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan çiğ sütteki plazmin ve plazminojen aktivitesi değerleri sırasıyla ortalama 21 ve 84 U/mL olarak saptanmıştır. Direkt ısıtma yönteminden sonra plazmin ve plazminojen aktivitesi değerlerinin sırasıyla ortalama 4 ve 31 U/mL; endirekt ısıtma yönteminden sonra ise sırasıyla 0 ve 16 U/mL olduğu belirlenmiştir. Direkt ve endirekt ısıtma yöntemleri uygulanan UHT içme sütlerinde depolama süresince plazminojen aktivitesindeki düşmeye bağlı olarak plazmin aktivitesinin arttığı saptanmıştır. Direkt ısıtma yöntemi uygulanarak 37°C'de depolanan UHT içme sütlerinde plazmin aktivitesinin 22 ve 25°C'lerde depolananlara göre yüksek olduğu ve jel oluşumu ile plazmin aktivitesi arasında ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Yüksek depolama sıcaklıklarında proteolitik enzimlerin artan aktivitelerine bağlı olarak proteinlerin daha fazla parçalandığı ve söz konusu proteinlerin Maillard reaksiyonuna katılarak jel oluşturmaları bildirilmiştir [23]. Malmgren ve ark. [24] buhar enjeksiyon ve buhar infüzyon yöntemleri ile 140°C'de 4 s ısıtma işlemi uygulayarak farklı sıcaklıklarda (5, 22, 30 ve 40°C) 6 ay süresince depoladıkları sütlerde enzimatik aktivite,

kazein misellerinin modifikasyonu, çökeltme ve jel oluşumunu incelemişlerdir. Buhar enjeksiyon yöntemi uygulanan sütlerdeki laktuloz, β -laktoglobülin ve α -laktalbümin miktarları sırasıyla 92.0 \pm 7.0, 38.0 \pm 0.5 ve 78.6 \pm 1.3 mg/mL; buhar infüzyon yöntemi uygulanan sütlerdeki ise sırasıyla 100.0 \pm 1.0, 38.4 \pm 1.5 ve 77.1 \pm 1.8 mg/mL olarak tespit edilmiş ve farklı direkt ısıtma yöntemleri arasında sütün maruz kaldığı ısı yükü açısından fark olmadığı belirlenmiştir. Isıl işlem yönteminden bağımsız olarak 22°C'de depolanan UHT içme sütlerinin partikül boyutlarının ilk 4 ay süresince azaldığı, 5. ayda ise arttığı belirlenmiştir. UHT içme sütlerinin partikül boyutlarındaki hızlı artış, jel oluşumunun göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, 30°C'de depolanan UHT içme sütlerinde 3. ayın sonunda jel oluşumu gözlemlenirken, 5 ve 40°C'lerde aynı süre depolanan sütlerde jel yapısının oluşmadığı saptanmıştır. Ambalajlı UHT içme sütlerinin taban kısımlarından alınan örneklerde çökeltme analizleri gerçekleştirilmiş ve depolama sıcaklığı ile süresinden bağımsız olarak buhar enjeksiyon yöntemi uygulanan UHT içme sütlerindeki çökeltinin, buhar infüzyon yöntemi uygulananlara göre daha fazla ve hızlı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Buhar enjeksiyonu ile UHT işlemi uygulanan, 5 ve 40°C'lerde depolanan sütlerde 6 ay sonunda çökelti miktarlarının sırasıyla 0.99 ve 2.46 g/L olduğu; buhar infüzyon yöntemi ile UHT işlemi uygulanan sütlerde ise sırasıyla 0.62 ve 1.72 g/L olduğu saptanmıştır. Depolama sıcaklığı 40°C olan UHT içme sütlerinde sıvı kromatografisi-kütle spektrometresi (LC-MS) ile yapılan analizlerde, Maillard reaksiyonu sonucu β -kazein ve peyniraltı suyu proteinlerinin etkileşimi ile oluşan bileşikler belirlenmiştir. Maillard reaksiyonu ile proteinlerin pozitif uçlarının laktozla birleşerek jel oluşumunu engellediği bildirilmiştir. Buhar infüzyon yöntemi uygulanan, 22 ve 30°C'lerde depolanan UHT içme sütlerinde depolama sonunda plazmin aktivitesinden dolayı β -kazein miktarının azaldığı, γ_2 - ile γ_3 -kazein miktarlarının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, söz konusu UHT içme sütlerinde depolama süresince β -laktoglobülin, α -laktalbümin ve α_1 -kazein miktarlarının azaldığı, kromatogramda α_1 -kazein ve β -kazeinin parçalanma ürünlerine ait yeni piklerin olduğu saptanmıştır. Depolama sıcaklığı 5°C olan UHT içme sütlerinde plazmin aktivitesinin engellendiği ve kazein fraksiyonlarının düşük sıcaklıklarda hidrolize olmadığı belirlenmiştir.

Ülkemizde, buhar enjeksiyon yöntemiyle 145 ve 150°C'lerde 4 s süresince UHT işlemi uygulanan düşük (621000 SHS/mL, psikrotrofik bakteri sayısı: 4872 koloni oluşturan birim (kob)/mL), orta (315000 SHS/mL, psikrotrofik bakteri sayısı: 5100 kob/mL) ve yüksek (212000 SHS/mL, psikrotrofik bakteri sayısı: 2121 kob/mL) kalitedeki sütlerin 25°C'de 180 gün süresince azot miktarları ile duyu özellikleri incelenmiştir. Depolama sonunda pH 4.6'da çözünen azot miktarının 145°C'de UHT işlemine maruz bırakılan düşük, orta ve yüksek kalitedeki sütler için sırasıyla %74.7, 53.8 ve 33.8 oranlarında; 150°C'de UHT işlemine maruz bırakılan düşük, orta ve yüksek kalitedeki sütler için ise sırasıyla %57.9, 31.3 ve 17.1 oranlarında arttığı belirlenmiştir (Tablo 2). UHT işlem sıcaklığı 150°C olan sütler ile 145°C'de UHT işlemi uygulanan yüksek kaliteli

sütlerdeki peptit sayısının ve yoğunluğunun 145°C'de UHT işlemi uygulanan orta ve düşük kaliteli sültere göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Hidrofobik peptit oluşumunun, β -kazeinin plazmin ile bakteriyel proteinazların hidrolizinden kaynaklandığı ve UHT içme sülterinde buruk/acımtırak tattan sorumlu olduğu bildirilmiştir. Yapılan duysal analiz sonucunda, en yoğun buruk/acımtırak tadın 145°C'de UHT işlemi uygulanan düşük kaliteli sülterde olduğu saptanmıştır. UHT işlem sıcaklığı 145°C olan düşük ve orta

kalitelerdeki sülterde sırasıyla depolamanın 150 ve 180. günlerinde jel oluşumu belirlenirken, 150°C'de UHT işlemi uygulanan orta ve yüksek kaliteli sülterde depolamanın sonunda jel oluşumu tespit edilememiştir. Panelistler tarafından 150°C'de UHT işlemi uygulanan sülterde pişmiş tadın 145°C'de UHT işlemi uygulanan sültere göre daha fazla algılandığı saptanmıştır [25]. UHT sistem değişkenlerinin UHT sülterin jelleşmesi üzerine etkisi ile ilgili çalışmaların sonuçları Tablo 2'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 2. UHT sistem değişkenlerinin UHT sülterin jelleşmesi üzerine etkisi

UHT sistemi	Sıcaklık-süre normu	Sonuç
Buhar infüzyon	142°C'de 5 s	22 ve 25°C'lerde depolanan UHT içme sülterinde sırasıyla 84. ve 98. günlerde viskozitenin arttığı ve jel oluştuğu gözlemlenmiştir [23].
Plakalı ısı değiştirici	145°C'de 3 s	UHT içme sülterinin viskozite değerlerinde 182 gün sonunda istatistiksel açıdan önemli bir değişikliğin olmadığı belirlenmiştir [23].
Buhar infüzyon Buhar enjeksiyon	140°C'de 4 s	Buhar enjeksiyon yöntemi uygulanan UHT içme sülterindeki çökeltinin, buhar infüzyon yöntemi uygulananlara göre daha fazla ve hızlı oluştuğu tespit edilmiştir [24].
Buhar enjeksiyon	145°C'de 4 s	Düşük ve orta kalitelerdeki sülterde sırasıyla depolamanın 150 ve 180. günlerinde jel oluşumu saptanmıştır [25].
Buhar enjeksiyon	150°C'de 4 s	Orta ve yüksek kaliteli sülterde depolamanın sonunda jel oluşumu belirlenmemiştir [25].

UHT işleminde sıcaklık uygulamasının etkinliği açısından önemli olan diğeri bir basamak da ön ısıtma işlemidir. Gerek direkt ısıtma yöntemlerinde gerekse de endirekt ısıtma yöntemlerinde çiğ sültere ön ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Konu ile ilgili yapılan çalışmada [26], 75°C'de 15 s, 80°C'de 15 s, 80°C'de 30 s, 85°C'de 30 s, 90°C'de 30 s ve 90°C'de 60 s sürelerince ön ısıtmaya tabi tutulan rekonstitüye sültere buhar enjeksiyon yöntemiyle 140°C'de 4 s UHT işlemi uygulanmıştır. Farklı sıcaklıklarda (20 ve 30°C) 12 ay depolanan UHT içme sülterinde proteoliz miktarı, jel ve çökelti oluşumları araştırılmıştır. En yüksek ve en düşük β -kazein hidroliz oranları sırasıyla 80°C'de 30 s ön ısıtma uygulanan ve 30°C'de depolanan UHT içme sülteri ile 90°C'de 30 s ve 60 s ön ısıtma uygulanarak 20°C'de depolanan UHT içme sülterinde belirlenmiştir. β -kazein hidrolizinin plazmin sistemi enzimleriyle yakından ilişkili olduğu bildirilmiştir. Süte düşük sıcaklıkta (75°C) ön ısıtma işlemi uygulanmasıyla plazmin aktivite inhibitörlerinin tamamen inaktif olmadığı ve plazmin aktivitesinin kontrolünün sağlanabildiği; orta sıcaklıkta (80°C) uygulanan ön ısıtma işlemiyle sülteki plazmin aktivite inhibitörlerinin tamamen inaktif hale gelmesi ile plazminin β -kazeini hidrolize edebildiği ve yüksek sıcaklıkta (90°C) uygulanan ön ısıtma işleminde ise sülteki plazminin yüksek oranda aktivitesini kaybettiği değerlendirilmiştir. Çalışmada, şişe içindeki derinliği 70 mm olan sülün tabanındaki çökelti miktarı mm olarak verilmiştir. İlk 4 ay süresince 20 ve 30°C'lerde depolanan farklı ön ısıtma uygulanmış UHT içme sülterinde ortalama çökelti miktarının 0-2 mm arasında değiştiği saptanmıştır. Ön ısıtma olarak 80°C'de 30 s ısıtma işlemi uygulanan UHT içme sülterindeki çökelti miktarları 20 ve 30°C depolama sıcaklıkları için 8. ayda sırasıyla yaklaşık 4 ve 14 mm olarak belirlenmiştir. Depolama sıcaklığı 30°C olan UHT

içme sülterinde jel oluşumunun, 20°C'de depolanan örneklere göre daha hızlı meydana geldiği saptanmıştır. Bununla birlikte 75°C'de 15 s ön ısıtma işlemi uygulanarak üretilen ve 30°C'de depolanan UHT içme sülterinde 7. ayda jel oluşumu belirlenirken, 90°C'de ön ısıtma uygulanarak üretilen UHT içme sülterinde aynı sıcaklıkta 12 ay depolama süresince jel oluşumu gözlemlenmemiştir. Proteoliz miktarına bağlı olarak en hızlı ve fazla jel oluşumu 80°C'de 30 s ısıtma işlemi uygulanarak üretilen ve 30°C'de depolanan UHT içme sülterinde saptanmıştır. UHT sistemlerindeki farklılıkların, UHT işleminin sıcaklık-süre normlarının ve depolama sıcaklıklarının UHT içme sülterindeki enzim sistemlerinin çalışmasını ve fizyokimyasal reaksiyonları etkilediği değerlendirilmiştir.

DİĞER TEKNOLOJİK İŞLEMLERİN UHT İÇME SÜLTERİNDEKİ JEL OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİLERİ

Depolama süresince sülterde jelleşme sorunlarına neden olan enzimleri inaktif hale getirerek, proteolizi en az düzeye indirebilmek için yüksek basınçlı homojenizasyon, mikrofiltrasyon (MF), ultrases, gaz enjeksiyonu gibi yüksek sıcaklıklarda ısıtma işlemi gerektirmeyen uygulamaların da etkinliği araştırılmaktadır. Süt endüstrisinde kullanılan standart homojenizasyon işleminde, süt yaklaşık 20-60 MPa arasındaki değerlerde basınç uygulanarak dar bir kanaldan geçirilmekte ve böylece yağ küreciklerinin küçülmesi sağlanarak krema tabakasının oluşumu engellenmektedir. Standart homojenizasyon işleminden daha yüksek basınç değerlerinde uygulanan yüksek (150-200 MPa) ve ultra yüksek (350-400 MPa) basınçlı homojenizasyon işlemleri ise süt endüstrisinde bakterilerin ve bakteriyofajların inaktivasyonunda, yağ

kürecik boyutlarının azaltılarak homojen emülsiyon yapısının korunmasında, alkali fosfataz, laktoperoksidaz ve plazmin enzimlerinin aktivitelerinin azaltılmasında kullanılabilir [27-29].

Yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin sütteki proteoliz ve plazmin aktivitesi üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada [30], giriş sıcaklıkları 30 ve 40°C olmak üzere 200 ile 300 MPa değerlerinde basınç uygulanan sütler 21 gün süresince 25°C'de depolanmıştır. Çalışmanın kontrol grubunu 20 MPa basınçta klasik homojenizasyon işlemi uygulanarak 90°C'de 15 s ısıtma işlemi tabii tutulan süt örnekleri oluşturmuştur. Çiğ sütte plazmin aktivitesinin ortalama 5.70 U/mL olduğu belirlenmiştir. Giriş sıcaklıkları 30 ve 40°C olan 200 MPa basınçta homojenizasyon uygulanan sütlerdeki plazmin aktivitesi değerlerinin değişmediği ve yaklaşık 3.17 U/mL olduğu belirlenmiştir. Homojenizasyon işleminde 30 ve 40°C'lerde 300 MPa basınç uygulanan sütler ile kontrol grubu sütlerin plazmin aktivitesi değerlerinin arasında istatistiksel olarak fark olmadığı ve yaklaşık %70 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 3). Homojenizasyon işleminde uygulanan basıncın artmasına ve pastörizasyon sıcaklığına bağlı olarak β -laktoglobülin denatürasyonunun arttığı bildirilmiştir. Söz konusu durum ile açığa çıkan fazla miktardaki serbest sülfidril gruplarının geri dönüşsüz olarak plazmin enzimine bağlanarak inaktivasyon oranının artmasına neden olduğu değerlendirilmiştir. Depolama süresince en fazla β -kazein hidrolizi ile hidrofobik peptit oranı 40°C giriş sıcaklığında 200 MPa basınç değerinde homojenizasyon işlemi uygulanan süt örneklerinde saptanırken, en düşük hidrofobik ve hidrofilik peptit oranı 300 MPa basınç değerinde homojenizasyon işlemi uygulanan sütler ile kontrol grubu sütlerde belirlenmiştir. Söz konusu durumun 200 MPa basınç değerinde homojenizasyon işlemi uygulanan sütlerde plazmin miktarının yüksek olması ve 40°C'de bakteri proteazlarının çalışmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada, yüksek basınç değerinde uygulanan homojenizasyon işleminin *Pseudomonas fluorescens* ATCC 3525 bakterisi tarafından üretilen proteaz enziminin sütte neden olduğu proteoliz ve jel oluşumu üzerine etkisi 25°C'de 150 gün süresince incelenmiştir. Yağ oranı %3.0'e standardize edilen sütler 72°C'de 15 s ısıtma işlemi uygulandıktan sonra *P. fluorescens* ATCC 3525 bakterisinden elde edilen enzim ekstraktından %0.1 olacak şekilde eklenip, 45°C giriş sıcaklığında 20 MPa basınçta klasik homojenizasyon işlemi (kontrol grubuna uygulanan) ile 25°C giriş sıcaklığında 100 ve 150 MPa basınç değerlerinde homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Homojenizasyon işleminde 150 MPa basınç uygulanan sütlerdeki proteoliz oranının diğer örneklerle göre daha yavaş geliştiği belirlenmiştir. Yüksek basınç değerlerinde yağ kürecikleri ile kazein ve β -laktoglobülinin daha fazla reaksiyona girmesi sonucu proteinlerde meydana gelen yapısal değişimin proteolitik enzimlerin çalışmasını engellediği değerlendirilmiştir. Kontrol grubu sütler ile 100 ve 150 MPa basınç değerlerinde homojenizasyon işlemi uygulanan sütlerde sırasıyla depolamanın 71., 94. ve 120. günlerinde jel oluşumu tespit edilmiştir. Çalışma ile yüksek basınçta uygulanan homojenizasyon işleminin

sütlerin raf ömrünün uzatılmasına katkı sağlayabileceği bildirilmiştir [31].

D'Incecco ve ark. [32] süttten somatik hücre, mikroorganizma, bakteri sporu, yağ ve kazein gibi büyük bileşiklerin ayrılmasında kullanılan MF yönteminin UHT içme sütlerinin raf ömrü üzerine etkisini 12 ay süresince araştırmışlardır. Çalışmada, yağ oranları %3.5 (tam yağlı), %1.5 (yarım yağlı) ve %0.5 (yağsız) olacak şekilde standardize edilen sütler ön ısıtma ve homojenizasyon işlemlerinden sonra 137°C'de 3 s indirekt UHT işlemi uygulanmıştır. Diğer grup süt ise yağı ayırdıktan sonra 50-55°C'lerde 1.4 μ m gözenek çaplı seramik membranlı MF sisteminden geçirilmiş ve yukarıda bahsi geçen işlemler sırasıyla aynı şekilde uygulanmıştır. Ön işlem olarak MF sisteminden geçirilmiş UHT içme sütlerindeki furosif ve laktuloz miktarlarının, sadece UHT işlemi uygulanan sütlere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Depolama sonunda pH 4.6'da çözünebilen süt fraksiyonunda gerçekleştirilen analizde küçük peptitlerin oluşumunun ön işlem olarak MF sisteminden geçirilmiş tam yağlı, yarım yağlı ve yağsız sütlerde sırasıyla yaklaşık %21, 35 ve 39 oranlarında arttığı saptanırken, sadece UHT işlemi uygulanan tam yağlı, yarım yağlı ve yağsız sütlerde söz konusu küçük peptitlerin oluşumunun sırasıyla yaklaşık %68, 73 ve 95 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. Denatüre olan peyniraltı suyu proteinlerinin kazeinle etkileşime girerek proteolitik enzimlerin etkinliğini kısıtladığı ve proteolizi geciktirdiği değerlendirilmiştir. Sadece UHT işlemi uygulanan tam yağlı, yarım yağlı ve yağsız sütlerde jel oluşumu sırasıyla depolamanın 8., 10. ve 6. aylarında gözlemlenirken, ön işlem olarak MF sisteminden geçirilmiş yağsız UHT içme sütlerinde 11. ayda jel oluşumu belirlenmiştir. Ön işlem olarak MF sisteminden geçirilmiş tam ve yarım yağlı UHT içme sütlerinde 12 ay süresince jel oluşumu gözlemlenmemiştir. Isıl işlem öncesi MF işlemi uygulamasının UHT içme sütlerinin raf ömrünü uzatabileceği değerlendirilmiştir.

Süt endüstrisinde ısıtma işlemi alternatif olarak kullanılabilecek diğer bir teknoloji olan ultrases teknolojisi, insan duyma eşliğinden daha yüksek frekans değerlerindeki (>18-20 kHz) ses titreşimleri uygulaması olarak tanımlanmaktadır. Ultrases titreşimleri akustik kaviteye neden olan şok dalgaları, akustik akış, kayma ve türbülans kuvvetleri gibi fiziksel kuvvetler üretmekte ve sütte fizikokimyasal değişikliklere yol açmaktadır [33]. Annandarajah ve ark. [34] yaptıkları çalışmada süte uygulanan ultrases uygulamasının plazmin enzimi aktivasyonu üzerine etkisini araştırmışlardır. Yağsız süte 72°C'de 15 s ısıtma işlemi uygulandıktan sonra 20 kHz frekans değerinde, 170 μ m genlik ve ortalama 140 W güçte 10, 30 ile 60 s sürelerince ultrases işlemi uygulanmıştır. Ultrases işlemi uygulanan sütlerin plazmin aktivitesi değerleri çiğ süt ve sadece ısıtma işlemi uygulanan süt ile 49 gün süresince karşılaştırılmıştır. Depolama sonunda çiğ süt, ısıtma işlemi uygulanan süt, 10, 30 ve 60 s ultrases uygulanan süt örneklerindeki plazmin aktivitesi değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0.0031, 0.0021, 0.0011, 0.0004 ve 0.0001 mol/dakika/mg olduğu tespit edilmiştir. Konu ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada [35], 72°C'ye ısıtılan yağsız süte 107 μ m genlik ve 77 W güçte, 133 μ m genlik ve

104 W güçte, 152 µm genlik ve 115 W güçte 20 kHz frekans değerinde ultrases işlemi 1 ve 3 dakika sürelerince uygulanmıştır. Çalışmanın kontrol gruplarını 72°C'de 1 ve 3 dakika ısıtma işlemi uygulanan sütler oluşturmuştur. Çiğ sütte plazmin aktivitesi değerinin yaklaşık 17.64 mU/mL olduğu, 1 ve 3 dakika sürelerince sadece ısıtma işlemi uygulanan sütlerde plazmin aktivitesi değerlerinin yaklaşık olarak sırasıyla %24 ve 50 oranlarında azaldığı, ultrases uygulanan sütlerdeki azalma oranlarının ise %73-94 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ultrases işlem süresi artışının plazmin aktivitesinde azalmaya neden olduğu; ancak farklı genliklerde ve güçlerde uygulanan ultrases işleminin plazmin aktivitesi üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olmadığı saptanmıştır. Ultrases dalgalarının sıvı içindeki hareketi sırasında bölgesel basınç değişmekte ve oluşan basınç farkına bağlı olarak sıvı içerisindeki gaz kabarcıkları genişlemektedir. Daha fazla enerji taşıyamayacak hacme ulaşan gaz kabarcıkları patlamakta ve sütte ısıtma işlemindeki yüksek sıcaklıktan ve homojenizasyon işlemindeki basınçtan kaynaklanan etkilere benzer etkilerin oluşumuna neden olan çok dalgalı oluşmaktadır [36].

UHT işlemi öncesinde süütün soğukta saklanması sırasında psikrotrof bakterilerin gelişiminin engellenmesi ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı bakteri proteazlarının UHT içme sütlerinde neden olduğu sorunların azaltılarak UHT içme sütlerinin raf ömrünün uzatılması için sütlere CO₂ gazı enjekte edilmektedir [37]. Yapılan bir çalışmada, toplam psikrotrofik bakteri sayısı 2.72 log kob/mL ve *Pseudomonas* cinsi bakteri sayısı 3.67 log kob/mL olan çiğ süt ikiye ayrıldıktan sonra bir gruba 20 dakika süresince süütün pH değeri 6.2'ye ulaşınca kadar CO₂ gazı enjekte edilmiş, diğer gruba (kontrol grubu) ise gaz enjeksiyonu yapılmamıştır. Her iki grup

süt 4°C'de 6 gün depolandıktan sonra 140°C'de 5 s süresince UHT işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen sütler aseptik ambalajlanarak 25°C'de 120 gün depolanmıştır. UHT işlemi uygulanmadan önce yapılan analizlerde, CO₂ gazı enjekte edilmeyen sütlerde toplam psikrotrofik bakteri ve *Pseudomonas* cinsi bakteri sayılarının sırasıyla 6.97 ve 6.13 log kob/mL; CO₂ gazı enjekte edilen sütlerde ise sırasıyla 3.86 ve 3.71 log kob/mL olduğu belirlenmiştir. UHT içme sütlerinde depolama süresince meydana gelen proteolizin incelenmesi için pH 4.6'da ve TCA'da çözünen azot miktarları tespit edilmiştir. Kontrol grubu UHT içme sütlerindeki pH 4.6'da ve TCA'da çözünen azot miktarlarının, CO₂ gazı enjekte edildikten sonra üretilen UHT içme sütlerine göre yaklaşık 1.5 kat daha hızlı arttığı saptanmıştır. Her iki UHT süt grubunda da proteolizin depolama süresince arttığı, depolamanın sonunda pH 4.6'da çözünen azot miktarının kontrol grubu ve CO₂ gazı enjekte edildikten sonra üretilen UHT içme sütleri için sırasıyla %38.3 ve 25.3 oranlarında arttığı saptanmıştır. HPLC ile pH 4.6'da çözünen süt fraksiyonunda yapılan analizler sonucunda CO₂ gazı enjekte edildikten sonra üretilen UHT içme sütlerindeki hidrofilik ve hidrofobik peptit profillerinin depolamanın başında ve sonunda çok benzer olduğu, kontrol grubu sütlerde ise bakteri proteazlarının aktivitesi sonucunda hidrofobik peptit yoğunluğunun depolama sonunda arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada CO₂ gazı uygulamasının sütlerdeki plazmin aktivitesine etki etmediği; ancak psikrotrof bakterilerin sayısının azalmasına bağlı olarak bakteri proteazlarından kaynaklı proteolizin azaltılabileceği değerlendirilmiştir [38]. Teknolojik işlemlerin UHT sütlerdeki jelleşme ve plazmin enzim sistemleri üzerine etkisi ile ilgili çalışmaların sonuçları Tablo 3'de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 3. Teknolojik işlemlerin UHT sütlerdeki jelleşme ve plazmin enzim sistemleri üzerine etkisi

İşlem	Özellik	Sonuç
Yüksek basınçlı homojenizasyon	200 MPa	Plazmin aktivitesi değerlerinin değişmediği belirlenmiştir [30].
	300 MPa	Plazmin aktivitesi değerlerinin yaklaşık %70 oranında azaldığı tespit edilmiştir [30].
Yüksek basınçlı homojenizasyon	100 MPa	Depolamanın 94. gününde jel oluşumu saptanmıştır [31].
	150 MPa	Depolamanın 120. gününde jel oluşumu tespit edilmiştir [31].
Mikrofiltrasyon	1.4 µm gözenek çaplı seramik membran	Ön işlem olarak MF sisteminden geçirilmiş tam ve yarım yağlı UHT içme sütlerinde 12 ay süresince jel oluşumu gözlemlenmemiştir [32].
Ultrases	107 µm genlik, 77 W güç, 1 ve 3 dak	Ultrases işlem süresi artışının plazmin aktivitesinde azalmaya neden olduğu; ancak farklı genliklerde ve güçlerde uygulanan ultrases işleminin plazmin aktivitesi üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olmadığı saptanmıştır [34].
	133 µm genlik, 104 W güç, 1 ve 3 dak	
	152 µm genlik, 115 W güç, 1 ve 3 dak	
CO ₂ gazı	20 dak, pH 6.2'ye ulaşınca kadar	CO ₂ gazı uygulamasının sütlerdeki plazmin aktivitesine etki etmediği; ancak psikrotrof bakterilerin sayısının azalmasına neden olduğu bildirilmiştir [38].

SONUÇ

Süt endüstrisinde, özellikle UHT içme sütlerinde depolama süresince meydana gelen jelleşme sorunu ekonomik kayıplara neden olmaktadır. UHT işlemiyle sütte doğal olarak bulunan plazmin sistemi enzimleri ile

bakteri proteazları tamamen inaktif hale getirilememekte ve depolama süresince aktivitelerini sürdürmektedir. Söz konusu enzimlerin kazeini hidrolize etmesi ve polimerizasyon gibi fizikokimyasal etkileşimler jel oluşumuna yol açmaktadır. Hayvanı mastitis olarak adlandırılan patojen bakterilerin neden olduğu meme

bezi enfeksiyonlarına karşı korumada görev alan somatik hücrelerin artması, UHT içme sütlerinde jelleşmeyi tetikleyen plazmin sistemi enzimlerinden plazminojenin aktivatörünün aktivitesinin artmasına neden olmaktadır. Çiğ sütün elde edildiği hayvanların sağlık koşulları ile çiğ sütün sağımı, depolanması, toplanması ve taşınması sırasında uyulması gereken hijyen şartlarının sağlanması sağlıklı, kaliteli ve uzun raf ömrüne sahip içme sütü üretmek için birinci derecede önemli koşuldur. Süt üreticisinin kaliteli süt üretimi konusunda eğitilmesi, bilinçlendirilmesi, maddi desteğin artırılması, ekonomik ve rutinde kullanılabilen analiz yöntemlerinin geliştirilmesi ile sütün uygun ürüne işlenmesi, yasalarla hem engelleyici hem de teşvik edici önlemlerin alınması raf ömrü uzun süt üretimi için kaçınılmaz görülmektedir. Sütün raf ömrünü arttırmak, depolama sırasında meydana gelen ve ekonomik kayıplara neden olan kusurları ortadan kaldırmak için UHT işleminde kullanılan sistemler ve uygulanan sıcaklık-süre normları değiştirilebilmektedir. Genel olarak indirekt UHT sistemlerinin direkt sistemlere göre, direkt sistemlerden buhar infüzyon yönteminin de buhar enjeksiyon yöntemine göre UHT içme sütlerindeki jel oluşumunu engelleme hususunda daha üstün olduğu yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur. UHT işlemine ek ve/veya UHT işleminin yerine uygulanabilecek teknolojik işlemlerin plazmin sistemi enzimlerinin çalışmasını etkileyerek jelleşme oluşumunu geciktirdiği bildirilmiştir. Sonuç olarak, ülkemizde UHT içme sütlerinde jelleşmeyi engellemek için proteolitik etkilerin engellenmesi veya kontrol altına alınmasına yönelik yapılacak bilimsel çalışmaların sanayi kuruluşları ile birlikte yürütülmesinin sorunun çözümüne katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Vithanage, N.R., Dissanayake, M., Bolge, G., Palombo, E.A., Yeager, T.R., Datta, N. (2016). Biodiversity of culturable psychrotrophic microbiota in raw milk attributable to refrigeration conditions, seasonality and their spoilage potential. *International Dairy Journal*, 57, 80-90.
- [2] Hodgkinson, A.J., Wallace, O.A.M., Boggs, I., Broadhurst, M., Prosser, C.G. (2018). Gastric digestion of cow and goat milk: Impact of infant and young child *in vitro* digestion conditions. *Food Chemistry*, 245, 275-281.
- [3] Lucey, J.A. (2015). Raw milk consumption: risks and benefits. *Nutrition Today*, 50(4), 189.
- [4] Anonim. (2000). Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği. T.C. Resmi Gazete. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [5] Deeth, H. (2017). High Temperature Processing of Milk and Milk Products. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom.
- [6] Gaur, V., Schalk, J., Anema, S.G. (2018). Sedimentation in UHT milk. *International Dairy Journal*, 78, 92-102.
- [7] Anema, S.G. (2017). Storage stability and age gelation of reconstituted ultra-high temperature skim milk. *International Dairy Journal*, 75, 56-67.
- [8] McMahon, D.J. (1996). Age-gelation of UHT milk: changes that occur during storage, their effect on shelf life and the mechanism by which age-gelation occurs. Heat treatments and alternative methods. IDF Symposium, Vienna, Austria.
- [9] Datta, N., Deeth, H. (2001). Age gelation of UHT milk-a review. *Food and Bioprocess Processing*, 79(4), 197-210.
- [10] Anonim. (2017). Çiğ Sütün Arzına Dair Tebliğ. T.C. Resmi Gazete, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [11] Hattingh, A. (2017). The proteolytic activity in raw milk and the effect of such activity on the stability of milk proteins. Department of microbial, biochemical and food biotechnology, Faculty of natural and agricultural sciences university, Bloemfontein, South Africa.
- [12] Bulca, S., Duran, M., Koç, A. (2016). Çiğ inek sütü somatik hücre sayısının yoğurdun duyuşal özellikleri üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 14(2), 151-157.
- [13] Talukder, M., Ahmed, H.M. (2017). Effect of somatic cell count on dairy products: A review. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 3(1), 1-9.
- [14] Sharif, A., Muhammad, G. (2008). Somatic cell count as an indicator of udder health status under modern dairy production: A review. *Pakistan Veterinary Journal*, 28(4), 194-200.
- [15] Kelly, A.L., Foley, J. (1997). Proteolysis and storage stability of UHT milk as influenced by milk plasmin activity, plasmin/ β -lactoglobulin complexation, plasminogen activation and somatic cell count. *International Dairy Journal*, 7(6-7), 411-420.
- [16] Zachos, T., Politis, I., Gorewit, R.C., Barbano, D.M. (1992). Effect of mastitis on plasminogen activator activity of milk somatic cells. *Journal of Dairy Research*, 59(4), 461-467.
- [17] Verdi, R.J., Barbano, D.M. (1991). Effect of coagulants, somatic cell enzymes, and extracellular bacterial enzymes on plasminogen activation. *Journal of Dairy Science*, 74(3), 772-782.
- [18] López-Fandiño, R., Olano, A., Corzo, N., Ramos, M. (1993). Proteolysis during storage of UHT milk: Differences between whole and skim milk. *Journal of Dairy Research*, 60(3), 339-347.
- [19] Grewal, M.K., Chandrapala, J., Donkor, O., Apostolopoulos, V., Vasiljevic, T. (2017). Electrophoretic characterization of protein interactions suggesting limited feasibility of accelerated shelf-life testing of ultra-high temperature milk. *Journal of Dairy Science*, 100(1), 76-88.
- [20] Siddique, F. (2010). Studies on age gelation and sedimentation of UHT processed milk during storage. University of agriculture, Faisalabad, Pakistan.
- [21] Chen, B., Grandison, A.S., Lewis, M.J. (2015). Effect of seasonal variation on some physical properties and heat stability of milk subjected to ultra-high temperature and in-container sterilisation. *Food Chemistry*, 181, 227-234.
- [22] Üçüncü, M. (2018). Süt ve Mamülleri Teknolojisi. Sıdaş, İzmir, Türkiye.

- [23] Manji, B., Kakuda, Y., Arnott, D. (1986). Effect of storage temperature on age gelation of ultra-high temperature milk processed by direct and indirect heating systems. *Journal of Dairy Science*, 69(12), 2994-3001.
- [24] Malmgren, B., Ardö, Y., Langton, M., Altskär, A., Bremer, M.G., Dejmek, P., Paulsson, M. (2017). Changes in proteins, physical stability and structure in directly heated UHT milk during storage at different temperatures. *International Dairy Journal*, 71, 60-75.
- [25] Topçu, A., Numanoğlu, E., Saldamlı, İ. (2006). Proteolysis and storage stability of UHT milk produced in Turkey. *International Dairy Journal*, 16(6), 633-638.
- [26] Newstead, D., Paterson, G., Anema, S., Coker, C., Wewala, A. (2006). Plasmin activity in direct-steam-injection UHT-processed reconstituted milk: Effects of preheat treatment. *International Dairy Journal*, 16(6), 573-579.
- [27] Dumay, E., Chevalier-Lucia, D., Picart-Palmade, L., Benzaria, A., Gràcia-Julà, A., Blayo, C. (2013). Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenisation. *Trends in Food Science & Technology*, 31(1), 13-26.
- [28] Mercan, E., Sert, D., Akin, N. (2018). Effect of high-pressure homogenisation on viscosity, particle size and microbiological characteristics of skim and whole milk concentrates. *International Dairy Journal*, 87, 93-99.
- [29] Srichantra, A., Newstead, D., Paterson, A., McCarthy, O. (2018). Effect of homogenisation and preheat treatment of fresh, recombined and reconstituted whole milk on subsequent fouling of UHT sterilisation plant. *International Dairy Journal*, 87, 16-25.
- [30] Pereda, J., Ferragut, V., Buffa, M., Guamis, B., Trujillo, A. (2008). Proteolysis of ultra-high pressure homogenised treated milk during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 111(3), 696-702.
- [31] de Oliveira, M.M., Júnior, B.R.D.C.L., Tribst, A.A.L., Cristianini, M. (2018). Use of high pressure homogenization to reduce milk proteolysis caused by *Pseudomonas fluorescens* protease. *LWT-Food Science and Technology*, 92, 272-275.
- [32] D'Incecco, P., Rosi, V., Cabassi, G., Hogenboom, J.A., Pellegrino, L. (2018). Microfiltration and ultra-high-pressure homogenization for extending the shelf-storage stability of UHT milk. *Food Research International*, 107, 477-485.
- [33] Akdeniz, V., Akalın, A.S. (2017). Ultrason uygulamasının süt ürünlerinde homojenizasyon, jel yapısı, viskozite ve su tutma kapasitesi üzerine etkisi. *Gıda*, 42(6), 743-753.
- [34] Annandarajah, C., Grewell, D., Talbert, J.N., Raman, D.R., Clark, S. (2018). Batch thermosonication for the reduction of plasmin activity in skim milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(5), 1-5.
- [35] Vijayakumar, S., Grewell, D., Annandarajah, C., Benner, L., Clark, S. (2015). Quality characteristics and plasmin activity of thermosonicated skim milk and cream. *Journal of Dairy Science*, 98(10), 6678-6691.
- [36] Nguyen, N.H., Anema, S.G. (2010). Effect of ultrasonication on the properties of skim milk used in the formation of acid gels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4), 616-622.
- [37] Hotchkiss, J.H., Werner, B.G., Lee, E.Y.C. (2006). Addition of carbon dioxide to dairy products to improve quality: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 158-168.
- [38] Vianna, P., Walter, E., Dias, M., Faria, J., Netto, F., Gigante, M. (2012). Effect of addition of CO₂ to raw milk on quality of UHT-treated milk. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4256-4262.