



The Importance of Plant-Based Milks in the Food Industry and Ensuring Microbial Safety

Ulaş Baysan^{1,2,a,*}

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü 35100 Bornova İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi 35390 Buca İzmir, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 11.10.2023 Accepted : 26.12.2023</p> <p>Keywords: Plant milk Plant-based milk Microbial safety Heat treatments Non-thermal processes</p>	<p>The increasing awareness of healthy consumption worldwide has led to a growing preference for plant-based milks due to their rich nutritional content. Plant-based milk products are expected to gain popularity among consumers, especially those with lactose intolerance, calorie concerns, and hypercholesterolemia, as they offer a viable option for these individuals. Additionally, plant-based milks have the potential to respond to consumer demands for energy enhancement, anti-aging effects, and fatigue and stress reduction. This review study discusses the production stages of plant-based milks and evaluates the effects of these production steps on the final product. To prevent the growth of spoilage microorganisms, which can be facilitated by the nutrient-rich composition of plant-based milks, thermal processing requirements are examined. Innovative thermal and non-thermal technologies employed to inhibit the growth of spoilage microorganisms in plant-based milks are also discussed. With the advancement of innovative technologies, ensuring the microbial safety of plant-based milks while preserving their quality characteristics has become increasingly important. In conclusion, plant-based milks, which have become popular both globally and in our country, have a high potential for widespread use in the food industry, particularly when coupled with emerging technologies.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(1): 116-124, 2024

Bitkisel Sütlerin Gıda Endüstrisindeki Önemi Ve Mikrobiyal Güvenliğinin Sağlanması

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 11.10.2023 Kabul : 26.12.2023</p> <p>Anahtar Kelimeler: Bitkisel süt Bitki bazlı süt Mikrobiyal güvenlik Isıl işlemler Isıl olmayan işlemler</p>	<p>Dünya genelinde insanlarda sağlıklı tüketim farkındalığının oluşmasıyla zengin besin içeriklerine sahip bitkisel sültere yönelim artmaktadır. Tüketicilerden laktoz intoleransı, kalori endişesi ve hiperkolesterolemi olanlarında rahatça tüketimine imkan sağlaması ile tüketici taleplerinden enerjiyi artırıcı, yaşlanmayla mücadele, yorgunluk ve stres azaltıcı etkilerine yanıt olabileme potansiyelinden dolayı bitkisel süt üretiminin ve tüketiminin artması beklenmektedir. Bu derleme çalışmasında bitkisel sülterin üretim aşamaları ele alınarak, bu üretim basamaklarının son ürün üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Bitkisel sülterde besin içeriklerinin zengin olmasından kaynaklı olarak bozulmayan sebep olan mikroorganizmaların büyümesinin önlenmesi için ısıl işlem gereklilikleri incelenmiştir. Bitkisel sülterde bozulmaya sebep olan mikroorganizmaların inhibisyonu için uygulanan yenilikçi ısıl ve ısıl olmayan teknolojiler ele alınmıştır. Gelişen yenilikçi teknolojiler ile bitkisel sülterin mikrobiyal güvenliğini sağlanmasının yanısıra kalite özelliklerinin de korunması önem kazanmaktadır. Sonuç olarak Dünya’da ve ülkemizde popüler olmaya başlayan bitkisel sülterin; yeni teknolojiler ile birlikte gıda endüstrisinde yaygınlaşma potansiyeli yüksektir.</p>

^a ulasbaysan@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6307-9874>



Giriş

Son yıllarda, gıda ürün geliştirme alanının her bölümünde, tüketicinin değişen ihtiyaçlarını ele almak ve sağlıklı gıda alternatifleri yaratmak amacıyla araştırmalar hız kazanmıştır. Artan kentselleşme bu talepleri hızlandırmış olup; fonksiyonel ve özel içecekler için yeni ürünlerde yoğunlaşan bir araştırma çabası son dönemin gözde konusu haline gelmiştir. Bugünün dünyasında içecekler artık sadece susuzluğu gideren ürünler olarak görülmemek ile birlikte; tüketiciler bu içeceklerde belirli işlevsellik arayışına girmişlerdir. Bu içeceklerdeki işlevsellik farklı ihtiyaçları ve yaşam tarzlarını ele alırken; enerjiyi artırmak, yaşlanmayla mücadele etmek, yorgunluk ve stresle başa çıkmak, belirli hastalıklara yönelik çözümler üretmek gibi amaçlara da hizmet eder hale gelmiştir. Bu tür işlevsel gereksinimlerden biri de inek sütü alerjisi, laktoz intoleransı, kalori endişesi ve hiperkolesterolemi yaygınlığı gibi sorunlara cevap veren bitkisel süt alternatifleridir (Valencia-Flores ve ark., 2013).

Dünya çapında inek sütü yaygın olarak tüketilmektedir (Vanga ve Raghavan, 2018). Sütün yüksek tüketimi, yüksek miktarda protein, mineral, yağ ve şeker içermesi gibi beslenme faydaları ile doğrudan ilişkilidir. Ancak inek sütü herkes tarafından kolayca sindirilen ve emilen bir gıda değildir. Çünkü sütün insan üzerinde laktoz intoleransı ve inek sütü protein alerjisi gibi olumsuz etkileri vardır. Dünya nüfusunun %75'inde laktoz intoleransı bulunmaktadır (Silva ve ark., 2020). Ayrıca, hayvansal bazlı gıdaların aşırı tüketimi kardiyovasküler hastalıklara ve kolesterol artışına neden olurken; bitkisel sütlerin hammaddelerinden olan tahıllar, baklagiller, tohumlar ve kuruyemişlerin içeriğinde diyet lifi, vitaminler, mineraller ve antioksidanların insan vücuduna olumlu etkileri bulunmaktadır (Omoni ve Aluko, 2005). Pistollato ve ark., (2018) soya fasulyesi ve fındık gibi bitki tabanlı gıdaların zengin olduğu bir diyet ile Alzheimer gibi nörodejeneratif bozukluklar riskinin azaltılabileceğini bildirmişlerdir. Bitkisel süt alternatiflerinin sağlık etkileri incelendiğinde; bitkisel süt alternatifleri, zengin antioksidan aktivitesi ve kardiyovasküler hastalık, kanser, ateroskleroz ve diyabet riskini azaltan yağ asitleri nedeniyle olumlu etkilere sahiptir (Zujko ve Witkowska, 2014).

Son zamanlarda, tüketiciler hayvanlara karşı duyarlılık, sağlıklı bir yaşam tarzı isteği ve çevresel farkındalıklardan dolayı insanlarda bitki tabanlı bir diyetle yönelim vardır (Janssen ve ark., 2016; Sebastiani ve ark., 2019). Bu nedenle, günümüzde bitki kaynaklı besin sayısında artış görülmektedir (Gökçen ve ark., 2019). Ayrıca, dünyanın bazı bölgelerinde süte kısıtlı erişim, bazı minerallerin (demir), vitaminlerin (folat) ve diğer biyomoleküllerin (fenolik bileşikler) sütün bileşiminde iz miktarda yer alması da bitkisel süt üretimi ve tüketiminin artmasına neden olmuştur. İlk olarak soya fasulyesi içeceği üretimi ile başlayan bu ürün grubu; yulaf içeceği, badem içeceği, hindistan cevizi içeceği, kenevir tohumu içeceği, kakao içeceği gibi farklı ürünler ile çeşitlendirilerek tüketiciye sunulmaktadır (Pistollato ve ark., 2018). Dünyada, bitkisel bazlı sütlerin direkt olarak tüketiminin yanı sıra bir bileşen olarak da kullanılmaktadır. Bitkisel sütler farmasötik endüstrisinde, besin takviyelerinde, bebek besinlerinde, krema ürünlerinde ve meyveli karışımlarda da katkı maddesi olarak kullanılabilir. Tüketicileri doğru

bilgilendirmek açısından bu sütlerin etiketlenmesi ile ilgili yönetmelikler tam olarak oluşturulamamıştır. Gıda ve İlaç Örgütü (FDA) bitkisel sütleri, lezzet, aroma, yapı, tekstür ve görünüş itibarı ile süte benzer fiziksel özelliklere sahip fakat beslenme açısından yetersiz "imitasyon süt" ya da "imitasyon süt ürünleri" başlığı altında değerlendirmektedir. Bitkisel süt, literatürde "baklagiller, yağlı tohumlar veya tahılların, inek sütünün görünümüne benzeyen su özütleri" olarak tanımlanmaktadır. Bitki bazlı süt alternatifleri, bitki materyalinin (tahıllar, yarı tahıllar, baklagiller, yağlı tohumlar, kuruyemişler) su içinde çözünmesi ve daha sonra böyle sıvıların homojenleştirilmesi yoluyla elde edilen sıvılardır. İşlemler sonucunda 5 ila 20 mikrometre aralığında parçacık boyutu dağılımı elde edilir; bu da görünüm ve kıvam açısından inek sütünü taklit eder (Sethi ve ark., 2016). Avrupa Birliği'nde sadece "Hindistan cevizi sütü" ve "badem sütü" süt olarak etiketlenmesine izin verilmektedir (Jeske ve ark., 2018; Röös ve ark., 2018; Sethi ve ark., 2016). Bu içeceklerin, üretilen ürün birimi başına enerji girdisinin hayvansal süte kıyasla çok daha az olması ve talebe göre bileşimlerinin değiştirilebilmesi üretim ve tüketimlerini avantajlı duruma getirmektedir (Janssen ve ark., 2016; Mäkinen ve ark., 2016; Sethi ve ark., 2016).

Bitkisel sütlerin, işleme aşamaları işlenen hammaddeye göre değişebilir (Silva ve ark., 2020). Bununla birlikte, bitkisel hammaddelerin farklı işlenmesinde gerçekleştirilen temel işlemler benzerdir. Şekil 1'de, bitkisel sütlerin işleme adımlarının temel basamakları yer almaktadır. Genellikle bitkisel sütlerin üretimi kabuk soyma, su ekleme, öğütme, homojenizasyon, besin öğelerinin ilavesi, filtrasyon, ısıtma, aseptik dolum ve depolama aşamalarını kapsamaktadır.



Şekil 1. Bitkisel süt üretim basamakları
Figure 1. Plant based milk production steps

Bitkisel Sütlerde Mikrobiyal Güvenliğin Sağlanması ve Uygulama Yöntemleri

Zengin besin kaynağı olan bitki bazlı sütlerde, mikroorganizmaların büyümesi için ideal ortam oluşmaktadır. Bitkisel bazlı sütlerde mikroorganizmaların hızlı büyümesinin olumsuz etkileri sonucunda ürünlerde fiziksel ve kimyasal kalite kayıpları ile duyuşsal beğenide azalışlar görülmektedir. Bu kalite kayıplarının önlenmesi için ısıtma uygulanması gerekmektedir. Isıtma ile birlikte, bozulmaya sebep olan ve patojen mikroorganizmaları ortadan kaldırması ve/veya azaltılması ile gıda ürünlerinin raf ömrü uzatılması sağlanmaktadır (Vogelsang-O'Dwyer ve ark., 2021).

Tablo 1. Bitkisel sütlerde yenilikçi teknolojiler ile mikrobiyal güvenliğin sağlanması amacıyla yapılan çalışmalar
Table 1. Studies carried out to ensure microbial safety in plant milk with advanced technologies

Ürün	Hedef Mikroorganizma	İnaktivasyon yöntemi ve İşlem Koşulları	Sonuç	Kaynak
Soya sütü	•Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı •Enterobakteri sayısı •Toplam mezofilik aerobik spor sayısı	Yüksek hidrostatik basınç (HPP) (Basınç: 200-300 MPa)	•Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısındaki azalma uygulanan basınç arttıkça artış göstermiştir. •Enterobakteriler her iki uygulamada da tespit limitinin altında kalmıştır.	(Cruz ve ark., 2007)
Soya Sütü	• <i>Bacillus cereus</i> •Toplam mezofilik aerobik bakteriler •Toplam mezofilik aerobik sporlar •Enterobacteria •Küf ve maya • <i>Staphylococcus aureus</i> • <i>Salmonella sp</i> •Koliform	Yüksek hidrostatik basınç (HPP) (Basınç: 200-300 MPa Sıcaklık: 55, 65 ve 75°C) Pastörizasyon (Sıcaklık: 95°C/ Süre: 30 s) Sterilizasyon (Sıcaklık: 142°C/ Süre: 6 s)	•HPP yöntemi ile UHT işleminde elde edilen steriliteye ulaşılmıştır.	(Poliseli-Scopel ve ark., 2012)
Badem sütü	•Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı •Toplam mezofilik aerobik sporlar •Mayalar ve küf sayısı • <i>Enterobacteriaceae</i> • <i>Micrococcaceae</i> • <i>Bacillus cereus</i>	Yüksek hidrostatik basınç (HPP) (Basınç: 200 ve 300 MPa Sıcaklık: 55, 65 ve 75°C) Pastörizasyon (Sıcaklık: 90°C/ Süre: 90 s) Sterilizasyon (Sıcaklık: 142°C/ Süre: 6 s)	•Pastörizasyon, sterilizasyon ve HPP işlemlerinden sonra mikrobiyal sayımlar tespit seviyesinin altında belirlenmiştir.	(Valencia-Flores ve ark., 2013)
Soya ve Badem Sütü	•Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı •Toplam mezofilik aerobik sporlar	Yüksek hidrostatik basınç (HPP) (Basınç: 200-300 MPa Sıcaklık: 55-75°C) Pastörizasyon (Sıcaklık: 95°C/ Süre: 30 s) Sterilizasyon (Sıcaklık: 142°C/ Süre: 6 s)	•HPP işleminde pastörizasyona göre mikroorganizmalarda daha yüksek bir azalma sağlamıştır. •HPP ile işlenmiş badem ve soya içeceklerinde, geleneksel ısı işlemlerle işlenenlere kıyasla çok daha iyi bir koloidal stabilite gözlemlenmiştir.	(Ferragut ve ark., 2015)
Badem sütü Soya sütü Yulaf Sütü	• <i>Salmonella enteritidis</i>	Mikrodalga (Mikrodalga gücü:360 W Süresi: 38 s) Pastörizasyon (Sıcaklık: 70°C/ Süre: 465-480 s)	•Tüm bitkisel süt ürünlerinde termal pastörizasyona alternatif teşkil edebilecek kadar mikrobiyal inaktivasyon sağlanmıştır.	(Erol, 2021)
Yulaf Sütü	• <i>Escherichia coli</i> K-12 (ATCC 25253)	UV-C Reaktörde Pastörizasyonu (2-10 döngü) Pastörizasyon (Sıcaklık: 63°C/ Süre: 30 dak.)	•Yulaf sütünün UV-C reaktörden uygulama sonucunda elde edilen üründe <i>E. coli</i> K-12'deki log 3,22 kob/mL'lik azalma sağlanmıştır.	(Yıldırım, 2021)
Soya Sütü	• <i>Escherichia coli</i> • <i>Bacillus cereus</i>	UV-C Reaktörde Pastörizasyonu (Akış hızı: 25-100 ml/dak Tüp uzunluğu: 240-1376 cm) Pastörizasyon (Sıcaklık: 72°C/ Süre: 32 s)	•UV-C işlemi, soya sütündeki <i>E. coli</i> hücrelerini ve <i>B. cereus</i> sporlarını kalitesinden ödün vermeden azaltmak için etkili bir şekilde kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.	(Bandla ve ark., 2012)
Badem Sütü	• <i>Escherichia coli</i> O157:H7 • <i>Listeria monocytogenes</i>	Ultrasonik Uygulama (Güç: %20-80; Süre: 2-8 dak Pulse: 2-6 s)	•Ultrasonik uygulamanın patojenler üzerinde ölümcül olmayan bir hasara yol açabileceğini bulgulanmıştır.	(Iorio ve ark., 2019)
Badem sütü	Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı Enterobakteri sayısı	Ultrasonik Uygulama (Güç: 300 W; Frekans: 20 kHz Süre: 0, 2,5 ve 5 dak)	•Mikrobiyal analiz sonuçları ultrasonik uygulama sonucunda, badem sütünde depolama süresi boyunca herhangi bir mikroorganizma üremesi olmadığını göstermemiştir.	(Maghsoudlou ve ark., 2016)
Badem Sütü	•Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı •Mayalar ve küf sayısı	Ultrasonik Uygulama (Güç: 600 W; Frekans: 40 kHz; Sıcaklık: 30, 45 ve 60 °C; Süre: 10, 20, 30 ve 40 dak.) Pastörizasyon (Sıcaklık: 90°C/ Süre: 60 s)	•60 °C'de ultrasonik uygulamada ve pastörizasyon işlemi ile mikrobiyal inaktivasyon, toplam plaka sayısında ≥ 5 log azalma ile sonuçlandı ve maya ve küf sayısında ≥ 4 log azalma elde edilmiştir.	(Strieder ve ark., 2022)
Badem Sütü	•Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı • <i>Escherichia coli</i> , •Maya ve küf sayısı	Vurgulu elektrik alan (PEF) (Sıcaklık $\leq 35^\circ\text{C}$; Elektrik alan gücü: 7, 14, 21 ve 28 kV/cm; Vurgu frekansı: 1 kHz; Vurgu genişliği: 40 μs , İşlem süresi: 200 μs) Pastörizasyon (Sıcaklık: 90°C/ Süre: 60 s)	•Termal işlem ve PEF (28 kV/cm) uygulamaları ile badem sütünde mikrobiyal yük etkili bir şekilde azalış göstermiştir. •Çalışmada 28 kV/cm'deki PEF işleminin, 28 günlük depolama süresi boyunca termal işlemle benzer mikrobiyal stabiliteyi sağladığı belirlenmiştir.	(Manzoor ve ark., 2020)
Hindistan cevizi sütü	• <i>Clostridium sporogenes</i> • <i>Clostridium perfringens</i>	Ohmik Isıtma (Basınç: 1.5 bar; Gerilim: 600 V Akım: 80A; Frekans: 50Hz Sodyum sülfat çözeltisi; 121.1 °C/ 2 dak) Sterilizasyon (Sıcaklık: 121.1°C/ Süre: 2 dak.)	•Ohmik destekli sterilizasyonda, 121,1 °C'de 5 dakika boyunca 5 log kob/mL'den fazla <i>C. sporogenes</i> sporlarını tamamen etkisiz hale getirdiği belirlenmiştir.	(Tiravibulsin ve ark., 2021)
Soya Sütü	• <i>E. coli</i> O157:H7, • <i>S. Typhimurium</i> , • <i>L. monocytogenes</i> , • <i>S. aureus</i>	Ohmik Isıtma (Frekans: 10 kHz; Süre: 40, 45, 50, ve 55 s.; Sıcaklık: 50, 55, 60, 65, 70, ve 80°C; Sodyum laktat çözeltisi)	•Sodyum laktatın, ohmik ısıtma yönteminde ısınma hızını artırarak ve elektrik akımını yükselterek bakteriyel membrandaki hasarı yoğunlaştırdığı belirlenmiştir. •Ayrıca <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ve <i>Listeria monocytogenes</i> 'in TEM görüntülerinin analizi, %3 sodyum laktatta ölümcül morfolojik hücre yitilmesi gösterdiği belirlenmiştir.	(Cho & Kang, 2022)

Isıl işlem, bitki bazlı sütün raf ömrünü uzatmak, toplam katı madde miktarını artırmak ve lezzeti iyileştirmek amacıyla kullanılırken, aşırı ısıtmanın besin maddeleri (vitaminler ve amino asitler) üzerinde zararlı etkilere, esmerleşmeye ve istenmeyen tat ve kokunun oluşumuna neden olabilmektedir (Kwok ve Niranjana, 1995). Bu nedenle bitki bazlı sütün üzerindeki olumsuz etkileri ortadan kaldırmak veya azaltmak amacıyla, en kaliteli ürünü elde etmek için çeşitli zaman-sıcaklık kombinasyonlarında ısıl işlemler uygulanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Klasik Isıl İşlemler

Bitkisel bazlı süt üretimlerinde ürünün raf ömrünü artırarak stabilitesini artırmak amacıyla ticari ürünlerde genellikle pastörizasyon veya ultra yüksek sıcaklık (UHT) uygulanmaktadır. Pastörizasyon (patojenik mikroorganizmaları yok etmek için 100°C'nin altında ısıtma), kap içi sterilizasyon (ticari steriliteye ulaşmak için 15–20 dakika boyunca 121°C), ultra yüksek sıcaklıkta işlem (135–150°C yüksek sıcaklıklarda) gibi farklı ısıl işlemler birkaç saniye boyunca olarak uygulanmaktadır (Kwok ve Niranjana, 1995). UHT işleme, buhar enjeksiyonu ve buhar infüzyonunu direkt olarak ürüne uygulanan ısıl işlem iken; plakalı ve borulu ısı eşanjörlerinden dolayı ısıtmayı içeren ısıtma yöntemleri olarak göze çarpmaktadır. Her ısıl işlem sonrasında da ürünlerin sterilliğin korunması için aseptik koşullar altında paketlenmesi gerekir. Ürünün pastörizasyondan sonra soğutma koşulları altında saklanması gerekirken, kap içi sterilizasyon veya UHT işleminin ardından ürün oda sıcaklığında birkaç hafta saklanabilir. Han, (1958), soya sütü üretiminde pastörizasyon ve sterilizasyonun etkisini araştırarak; pastörizasyon işlemi (60°C/30 dak) uygulanmış soya sütünün bozulma olmaksızın 3 gün oda koşullarında saklanabildiğini ve sterilize edilmiş (120°C/5 dak) soya sütünün ise bir yıl oda koşullarında saklanabildiğini bildirmişlerdir. Soya sütü ve yer fıstığı sütü gibi dayanıklı ürünlere ısıl işlemler daha kolay şekilde uygulanırken; yulaf sütü ve pirinç sütü gibi ürünlerde yüksek nişasta varlığından dolayı ısıl işlem uygulamalarında kısıtlanmalar söz konusudur. Bartula ve ark., (2023) gerçekleştirdiği çalışmada ticari olarak temin edilebilen UHT inek sütünde bulunan gıda patojen mikroorganizmaların bitkisel sütlerde 4°C, 8°C ve 20°C depolama koşullarında gelişimi gözlemlemiştir. Çalışmada kullanılan gıda patojenleri *Listeria monocytogenes* ve *Salmonella enterica*, gıda bozulmasına neden olan *Bacillus subtilis* endüstriyel bir süt ürünü izolatu ve spor oluşturan *Paenibacillus* ile çalışmışlardır. Hindistancevizi sütü, badem sütü, kaju sütü ve inek sütü içecek numuneleri sırasıyla bir suş karışımı ve ayrı ayrı *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, *Paenibacillus* ve *Bacillus subtilis* suşlarıyla (yaklaşık 10³ kob/mL) inoküle edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çalışmada kullanılan bakteri suşlarının bitkisel sütlerde, *Listeria monocytogenes* için sırasıyla 8°C ve 20°C'de; *Salmonella* ve *Paenibacillus* için ise 20°C'de inek sütüne göre daha yüksek oranlarda çoğalma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. *Bacillus subtilis*, 20°C'de inek sütünde ve badem sütü ile eşit derecede hızlı gelişim göstermiştir. *Listeria* ve *Salmonella* kokteylleri için sırasıyla 4°C ve 8°C'de test edilen farklı içecek türleri arasında büyüme oranları

açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmemiştir ($p>0,05$). Elde edilen sonuçlara göre bitkisel sütlerin listeriyoz ve salmonelloz açısından önemli bir risk taşıyabileceği ve bitkisel sütleri kapağının açılışı sonrası tavsiye edilen saklama koşulları ve önerilerinin dikkate alınması gerektiğini belirlenmiştir.

Bitki bazlı süt ikamesi endüstrilerinin, ürünlerinin güvenliğini ve kalitesini güvence altına alması gerekmektedir. Pastörizasyon işlemleri, patojenik ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların sayısını azaltarak ve endojen enzimleri etkisiz hale getirerek yiyecek ve içeceklerin raf ömrünü uzatmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylece bitki bazlı içecekler, tüketiciye hoş duyuşsal özellikler sağlamanın yanı sıra mikrobiyolojik stabiliteyi artırmak, bozulabilirliklerini azaltmak için işlenmektedir (McClements ve Grossmann, 2021; Short ve ark., 2021). Isıl işlem olarak pastörizasyon ve sterilizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi ile fiziksel, kimyasal, duyuşsal ve besin öğelerinde istenmeyen durumlarla karşılaşmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilebilmesi amacıyla ısıl olmayan veya yenilikçi ısıl işlemlere olan yönelim artmaktadır (Aydar ve ark., 2020). Bu yenilikçi teknolojiler gıda kalitesi özelliklerinde kayıplara sebebiyet vermeden, mikroorganizmaların ve enzimlerin etkisizleştirilmesini olanak sağlayabilmektedir (Gul ve ark., 2017; Iorio ve ark., 2019; Lu ve ark., 2019). Sonuç olarak ohmik ısıtma, mikrodalga ısıtma, yüksek basınç uygulamaları, ultrasonik uygulamalar, vurgulu elektrik alan uygulamaları ve ultraviyole ışık teknolojileri yenilikçi teknolojiler olarak ele alınmaktadır.

Yenilikçi Isıl İşlemler

Son yıllarda gıdalara minimum işlem uygulamasının ön plana çıkmasıyla farklı teknolojilerin kullanımına yönelme olmuştur. Özellikle elektro-ısı teknolojileri günümüzde gıdalara uygulanan ısıl işlemler arasında önemli yer tutmaya başlamıştır. Bu teknolojiler arasında üzerinde en çok çalışma yapılan ve ticari uygulamalara geçilenler Ohmik ve mikrodalga ısıtmadır.

Ohmik ısıtma literatürde Joule ısıtma, elektriksel direnç ısıtma, direkt direnç ısıtma, elektro-ısıtma, elektro-iletim ısıtma gibi adlarla da anılmaktadır. Ohmik ısıtma adını Ohm Kanunundan almaktadır. Akım, voltaj ve direnç arasındaki ilişki Ohm Kanunu olarak bilinmektedir. Ohmik ısıtma, gıda maddesi ile temas halinde olan elektrotlardan alternatif akım geçirilmesi ve iletkenlik özelliğine sahip olan gıda maddesinin direnç olarak kullanılması prensibine dayanır. Gıda maddesinin elektrik akımına karşı göstermiş olduğu direnç, gıda içerisinde ısı jenerasyonuna yol açarak yani elektriksel enerji ısı enerjisine dönüşür (Sastri, 1989). Oluşan homojen ısı jenerasyonu özellikle sıvı gıdalarda homojen ısı dağılımı ve dolayısıyla homojen sıcaklık dağılımına sebep olur. Gıda maddesinden geçen akıma bağlı olarak oldukça hızlı bir ısıtma gerçekleşir. Ohmik ısıtmanın süt gibi gıda ürünlerinde sterilizasyon ve pastörizasyon amacıyla kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur (de Alwis ve Fryer, 1990). İşlem sırasında üründe mekanik hasara neden olmayan tekdüze ısıtma ortam sıcaklığı artış göstermekte, patojenik ve bozulma etmeni olan mikroorganizmaların hücre zarları hasar görerek yırtılmakta ve mikrobiyal yük azalmaktadır. Ohmik ısıtma yönteminde enzimatik inaktivasyon da sağlanmış olmaktadır. Bitkisel sütlerde de

hem mikrobiyolojik hem de enzimatik inaktivasyon sağlayarak ürünün raf ömrünün arttırılması ve güvenliğinin sağlanması konularında çalışmalar güncelliğini korumaktadır (Cho ve Kang, 2022; Li ve ark., 2015; Tiravibulsin ve ark., 2021). Soya sütünden de üreazın enzimatik inhibisyonu için ohmik ısıtmanın etkinliğinin incelendiği çalışmada geleneksel yöntem ile kıyasla benzer sonuçlar elde edildiği bulgulanmıştır. Ohmik ısıtma frekansının artışı enzimatik inaktivasyonu etkinliğini arttırdığı belirlenmiştir (Li ve ark., 2015). Ayrıca, ohmik ısıtma işleminde üründe aşırı ısınma gerçekleştiği için protein koagülasyonu meydana gelebilmektedir. Soya bazlı bitkisel sütlerde ohmik ısıtmada meydana gelen yüksek sıcaklığın duysal ve besinsel olumsuzluklara neden olabileceği bulgulanmıştır (Lu ve ark., 2015). Hindistan cevizi sütünün ohmik destekli sterilizasyonda, 121,1°C'de 5 dakika boyunca 5 log kob/mL'den fazla *Clostridium sporogenes* sporlarını tamamen etkisiz hale getirdiği belirlenmiştir. Ohmik destekli sterilizasyon yönteminin toplam işlem süresi, klasik sterilizasyona (121,1°C/5 dak) kıyasla daha kısa sürmekte ve işlem verimliliği artmaktadır. Bu yenilikçi yöntem ile ürünlerde istenmeyen koku oluşumu azaltılırken, ürünün görünüşünde minimum değişiklikler ile birlikte hindistan cevizi sütünde sterilizasyonun sağlandığı belirlenmiştir (Tiravibulsin ve ark., 2021).

Geleneksel ısıtmanın alternatifi olarak, sıvı gıdaların termal işlenmesinde en çok tercih edilen ve ön plana çıkan sürekli akışlı *mikrodalga ısıtma* kullanımı yer almaktadır. Gıdaların mikrodalga ısıtılması, dipol dönme ve iyonik iletim nedeniyle gerçekleştirilmektedir. Enerji hacimsel olarak aktarıldığı için sıcaklık daha hızlı yükselmekte, işleme süresini kısaltmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Ahmed ve Ramaswamy, 2007). Ayrıca, mikrodalga teknolojisi doğrudan ısıtma sağlamaktadır, bu da bir ısıtma ortamının (buhar veya sıcak su) gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Mikrodalga ısıtma yöntemi; üretim maliyeti ve çevresel etki açısından enerji ve su tasarrufu sağlayan bir yöntemdir. Mikrodalga pastörizasyon, geleneksel dışarıdan uygulanan ısı kaynaklarına göre gıdaların hızlı bir şekilde ısıtılmasını sağlandığı bir yöntemdir. Mikrodalga ısıtma işlemine tabi tutulan ürünlerin raf ömrünün artırılarak, ürünlerde gıda kalitesine verilen zararı minimize edilmektedir. Gıda bileşenlerinin elektromanyetik enerjiyi emerek doğrudan gıdayı ısıttığı mikrodalga işlemi, gıdanın yüzeyinden termal yayılma işlemine kıyasla ürünlere daha homojen bir şekilde uygulanabilmektedir. Mikrodalga enerjisini gıdaya uygulanması ile birlikte, ürününü tamamen işlemek için gereken toplam süre azaltılabilmektedir (Datta ve Davidson, 2000). Bitkisel sütlerde mikrobiyal gelişim kadar önem taşıyan enzimatik bozulmalar açısından da mikrodalga işlemi olumlu sonuçlar vermektedir. Mikrodalga işleminin tripsin üzerine etkileri ile ilgili soya sütünde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu yöntem ile tripsin inhibisyonu sağlandığı ve protein yapısı üzerinde etkilerinin olduğu belirlenmiştir (Qin ve ark., 2023; Vanga ve ark., 2020; Włodarczyk ve ark., 2023). Badem sütü, soya sütü ve yulaf sütü kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, mikrodalga pastörizasyon (360 W/38 s) ve klasik pastörizasyon (70°C/465-480 s) işlemlerinin *Salmonella enteritidis* inhibisyonuna etkisi incelenmiştir (Erol, 2021). Çalışma

sonunda soya sütü için mikrodalga pastörizasyonunda yaklaşık 5,39 log azalma gözlenirken, badem ve yulaf sütü örneklerinde sırasıyla yaklaşık 5,77 log ve yaklaşık 6,62 log azalma gözlenmiştir. Mikrodalga pastörizasyonunun bu klasik pastörizasyon ile kıyaslanması sonucunda benzer inhibisyonlar belirlenmiş olup, alternatif pastörizasyon yöntemi teşkil ettiği belirlenmiştir.

Yenilikçi Isıl Olmayan İşlemler

Yüksek hidrostatik basınç (High Hydrostatic Pressure-HHP) işlemi olarak da bilinen yüksek basınçlı işleme (HPP), yeni bir termal olmayan gıda işlemidir. HPP, esnek torbalarda bulunan, bir kaba yerleştirilen ve basınç ortamı (normalde su) tarafından iletilen aşırı yüksek basınca maruz bırakılan gıda ürünlerinin basınçlandırılmasıyla elde edilir. HPP, gıda ürünlerinin duysal ve besinsel değerlerinde önemli bir kayıp yaratmadan, gıda kaynaklı bozulmaları ve patojen mikroorganizmaları etkisiz hale getirme yeteneğine sahiptir (Tao ve ark., 2014; Wilson ve ark., 2008). Literatür çalışmalarında, HPP ve termal işlemin birleştirilmesinin gıda kaynaklı bakteriyel sporların etkisiz hale getirilmesine imkan sağladığı görülmüştür (Ananta ve ark., 2001; Margosch ve ark., 2004; Patzca ve ark., 2006; Rajan ve ark., 2006; Van Opstal ve ark., 2004). Bitkisel sütlerin de mikrobiyal güvenliğinin sağlanmasında HPP sıklıkla kullanılan yenilikçi bir teknoloji olmuştur (Cruz ve ark., 2007; Ferragut ve ark., 2015; Poliseli-Scopel ve ark., 2012; Valencia-Flores ve ark., 2013) (Tablo 1). Cruz ve ark., (2007) gerçekleştirdiği çalışmada soya sütünün yüksek hidrostatik basınç uygulaması ile sterilizasyonunda 200 MPa ve 300 MPa basınç değerlerinde işlem gerçekleştirilmiştir. Basınç değerleri 200 MPa ve 300 MPa iken, sırasıyla toplama aerobik mezofilik bakteri sayısını 2.42 ve 4.24 log kob/ml azaltıldığı belirlenmiştir. Toplam spor sayımı sonucunda ise yaklaşık olarak 2 log kob/ml azalma olduğu ve Enterobakteri türünün de her iki uygulamada da tespit limitinin altında kaldığı belirlenmiştir. Soya sütünde gerçekleştirilen bir diğer çalışmada 300 MPa ve 75°C koşulunda UHT işleminde elde edilen steriliteye ulaşıldığı belirlenmiştir. Tüm HHP uygulamalarında elde edilen sonuçlara göre pastörizasyon işleminden daha etkin bir mikrobiyal inaktivasyon sağlanmıştır. HHP, ısıtma işlemlere kıyasla daha düşük oksidasyon elde edilirken tripsin inhibitörlerinde de önemli ölçüde etkisizleştirme sağlandığı belirlenmiştir (Poliseli-Scopel ve ark., 2012). Badem sütünün pastörizasyon, sterilizasyon ve HHP işlemlerinden sonra mikrobiyal sayımlar tespit seviyesinin (-0,5 log kob/mL) altında belirlenmiştir. HHP işlemleri sırasında, homojenizasyon valfinden akışkanın maruz kaldığı yüksek türbülans, kesme ve kaviteasyon kuvvetlerine ek olarak makinede oluşan adyabatik ısınmanın bir sonucu olarak sıcaklıkta bir artış gözlemlenmiştir, artan sıcaklık mikroorganizmaların ölümünde önemli bir faktör olarak belirlenmiştir (Valencia-Flores ve ark., 2013).

Ultrasonik işlem, son yıllarda geliştirilen yeni bir gıda işleme teknolojisidir. Bu teknoloji, ultrasonik tarafından yaratılan kaviteasyon kuvvetine dayalı olarak mikroorganizmaları etkisiz hale gelmesini sağlamaktadır. Ultrasonik dalga, frekansı 20 kHz veya daha fazla olan basınç dalgalarını ifade etmektedir (Butz ve Tauscher, 2002; Chandrapala ve ark., 2012). Ultrasonik, tek başına

kullanıldığında mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi konusunda çok etkili olmadığı belirlenmiştir. Ultrasonik, gıdaların termal sterilizasyon hızını artırma, işlem süresini ve besin kayıplarını azaltma yeteneğine sahip bir yöntemdir. Mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi için kullanılan ultrasonik frekansı genellikle 20 ila 100 kHz arasındadır (Chandrapala ve ark., 2012; Mason ve ark., 2015). Mikrobiyal inaktivasyon mekanizması, genellikle kaviteasyon kuvvetine bağlı olarak gerçekleşmektedir (Delmas ve Barthe, 2015). Mikroorganizmaların inaktivasyon etkinliği; ultrasonik işlemin basınç ve sıcaklık etkisinin bir arada kullanılması ile artış göstermektedir (Pagán, ve ark., 1998; Palop, ve ark., 1998). Ultrasonik işlemin etkinliği hedeflenen mikroorganizmalara bağlıdır. Genel olarak, ultrasonik işlemin ısı, basınç veya her ikisi ile birleştirildiğinde sporların etkisiz hale getirilmesinde büyük potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Bu teknolojilerin kombinasyonlarını kullanarak uygun bir sistem tasarlamak için daha fazla çalışma gerekmektedir. Bitkisel sütte ultrasonik uygulamaları ile ilgili birçok araştırma gerçekleştirilmiştir (Atalar ve ark., 2019; Campaniello ve ark., 2018; Fahmi ve ark., 2014; Herrera-Ponce ve ark., 2022; Iorio ve ark., 2019; Salve ve ark., 2019; Sarangapany ve ark., 2022). Badem sütüne uygulanan ultrasonik işlem sonucunda *Listeria monocytogenes* türünde gecikme fazı meydana gelmiştir. Ayrıca uygulama sonucunda *E. coli* O157:H7'nin büyüme oranındaki azalma belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ultrasonik uygulamanın patojenler üzerinde ölümcül olmayan bir hasara yol açabileceğini görülmüştür (Iorio ve ark., 2019). Ultrasonik uygulama sonrası badem sütünün depolama süresi boyunca gerçekleştirilen analizlerde, mikroorganizma üremesi gözlemlenmemiştir (Maghsoudlou ve ark., 2016). Badem sütünde ısıl işlemler ile ultrasonik uygulamanın kıyaslandığı çalışmada; 60°C'de ultrasonik uygulamada ve pastörizasyon işlemi ile mikrobiyal inaktivasyon, toplam plaka sayısında ≥ 5 log azalma ile sonuçlandığı ve maya ve küf sayısında ≥ 4 log azalma elde edildiği bulgulanmıştır (Strieder ve ark., 2022). Ultrasonik uygulamasında mikroorganizmalara uygulanan işlem, hücre zarlarını delerek hücre içi matrisin dışarı atılmasına ve serbest radikallerin oluşmasına neden olur ve sonunda mikroorganizmaları inhibe etmiş olmaktadır.

Vurgulu elektrik alan (Pulsed electric field-PEF), mikroorganizmanın hücre duvarında elektroporasyonu tetikleyen kısa elektrik darbelerini kullanan, bu sayede mikroorganizmaları etkisiz hale getirilmesini sağlayan bir gıda işleme teknolojisidir. PEF ile işlenen gıdalar, tüketicilerin taze ürün ve kalite kaybının minimum düzeyde olduğu ürün talebini karşılamaktadır (Amiali ve Ngadi, 2012). Vurgulu elektrik alan, çok kısa bir süre (1-100 μ s) boyunca yüksek elektrik alan (20-80 kV/cm) uygulayarak sıvı, yarı sıvı ve hatta katı gıdaları işlenebilmesini sağlamaktadır (Amiali ve Ngadi, 2012; Raso ve ark., 2014). PEF'nin termal pastörizasyon için alternatif bir teknoloji olarak büyük potansiyele sahip olduğu geniş bir şekilde kabul edilmektedir (Jaeger ve ark., 2014). Mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi etkinliği, işlem parametrelerine (elektrik alan yoğunluğu, güç ve işlem süresi gibi), mikroorganizma parametrelerine (türler, büyüme evresi ve mikropların boyutu ve şekli gibi) ve ortam parametrelerine bağlıdır (Alkhafaji ve Farid,

2012; Amiali ve Ngadi, 2012; Raso ve ark., 2014). PEF yalnızca bir sterilizasyon teknolojisi olarak kullanılamasa da, bazı çalışmalar PEF'nin ısı ile birleştirildiğinde potansiyel bir sterilizasyon teknolojisi haline gelebileceğini göstermiştir (S. R. Alkhafaji ve Farid, 2012; Siemer ve ark., 2014). Genel olarak kabul edilen bir görüşe göre, PEF'nin mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkisi, hücre ve organel membranlarının elektroporasyonuna bağlıdır. Zarin üzerindeki elektrik alan yoğunluğu eşik değerini aştığında, mikrobiyal hücrelerin geçirgenliği geri dönüşsüz hale gelir ve bu da hücre içi bileşiklerin sızmasına ve hücre lizisine yol açar (Jaeger ve ark., 2014; Raso ve ark., 2014). Birçok araştırma, vurgulu elektrik işleminin *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Staphylococcus aureus*, *Enterobacteriaceae* ve *Pseudomonas fluorescens* gibi mikroorganizmaları etkisiz hale getirme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir (Alkhafaji ve Farid, 2008; Evrendilek ve Zhang, 2005; Sobrino-López ve ark., 2006). Örneğin, Su ve ark. (1996), *B. subtilis* sporlarının inaktivasyonu için PEF işlemi (30 kV/cm) uygulamış ve sadece 1.3-log azalma göstermiştir. Burada vurgulanmalıdır ki PEF ısı ile birleştirildiğinde daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Badem sütüne uygulanan pastörizasyon işlemi ile PEF (28 kV/cm) uygulamasının kıyaslanmasını içeren çalışmada; PEF uygulamasının badem sütünde mikrobiyal yük etkili bir şekilde azalttığı belirlenmiştir. Çalışmada 28 kV/cm'deki PEF işleminin, 28 günlük depolama süresi boyunca termal işlemle benzer mikrobiyal stabiliteyi sağladığı belirlenmiştir (Manzoor ve ark., 2020).

Ultraviyole (UV) ışık uygulaması, elektromanyetik spektrumun 100 ila 400 nm arasındaki ışığı kullanarak termal olmayan bir gıda işlemidir. UV ışığı, UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm), UV-C (200–280 nm) ve vakum-UV (100–200 nm) olmak üzere dört spektrum bölgesine ayrılabilir. Bu aralarında UV-C ışığı, gıda ürünlerinin mikrobiyal dekontaminasyonu için en etkili olarak kabul edilir. UV ışığı genellikle civa lambalarıyla (sürekli kaynak) üretilmektedir (Gómez-López ve ark., 2012). UV ışığın mikrobiyal inaktivasyon etkisi, mikroorganizmanın DNA'sını zarar vererek elde edilir. Genellikle UV ışığı, hava, su ve malzemelerin yüzeyini dezenfekte etmek için etkili bir yol olarak kabul edilir (Bintsis ve ark., 2000). UV işleminin maliyeti düşüktür ve işlem sırasında kimyasal kalıntı veya önemli miktarda ısı üretmez (Hijnen ve ark., 2006). UV ışık uygulamasında kritik faktör, ürünlerin içinden geçişleridir. UV inaktivasyonunun etkinliği, UV fotonlarının hedef mikroorganizmalara etkili bir şekilde maruz kalmasına bağlıdır. UV uygulama odaları, sıvının inaktive edilmesine izin verecek şekilde yeniden tasarlanması gerekmektedir (Gómez-López ve ark., 2012). UV ışığının küf sporları üzerinde pek etkisi yoktur. Ancak bakteriyel sporları hassaslaştırma ve ardışık ısıl işlemin öldürücü etkisini artırma yeteneğine sahiptir (Gayán ve ark., 2013). UV ışığının mekanizması geniş bir şekilde araştırılmış olup, yaşayan organizmalardaki DNA hasarı, mikroorganizmalar üzerindeki ana öldürücü etki olarak kabul edilmiştir. UV tedavisinin başlıca uygulama alanları, meyve suyu, süt, bal ve sıvı yumurta ürünleri gibi sıvı gıdalarda bulunur (Gómez-López ve ark., 2012; Krishnamurthy ve ark., 2007). Yulaf sütünde termal pastörizasyon uygulaması ve UV-C reaktörde

pastörizasyon işlemleri kıyaslanmıştır (Yıldırım, 2021). UV-C reaktörden 10 kez (kümülatif doz: 72,34 J/mL) geçişi sonrası elde edilen *E. coli* K-12'deki log 3,22 kob/mL'lik azalma, sıvı gıdalarda uygulanan UV ışınlama için FDA'nın mikroorganizmalardaki hedeflediği 5log'luk azalmayı karşılayamamıştır (FDA, 2004). Termal pastörizasyonda ise istenilen limitlere düşüldüğü bulgulanmıştır. Soya sütünde 1.6 mm UV reaktöründe *E. coli*'de 5,6 log kob/ml ve *B. cereus* sporlarında 3,29 log kob/ml'lik maksimum azalma elde edilmiştir. UV-C işlemi, soya sütündeki *E. coli* hücrelerini ve *B. cereus* sporlarını kalitesinden ödün vermeden azaltmak için etkili bir şekilde kullanılabilir olduğu belirlenmiştir (Bandla ve ark., 2012).

Sonuç

İnsanların değişen yaşam tarzı ve gündelik yemek alışkanlıkları sonucunda sağlıklı besinlere ilgi artmaktadır. Özellikle laktoz intoleransı olanların ve vegan beslenme alışkanlıklarını benimseyen insanların artması ile hem besin içeriğince zengin hem de süt alternatifi olarak nitelendirilen bitkisel sütler ön plana çıkmaktadır. Bu artan talep de bitkisel süt araştırmalarının, işlenmesinin ve yeni ürünler geliştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bitkisel sütlerde bozulmaya sebep olan mikroorganizmaların inhibisyonu ile mikrobiyal güvenliğin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bitkisel sütlerde mikrobiyal güvenliğin sağlanması için yenilikçi ısı veya ısı olmayan işlemlerinin etkisi bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu yenilikçi yaklaşımlar ile birlikte ürünlerde mikrobiyal güvenliğin sağlanmasının yanı sıra, kalite ve duyu özelliklerinde pozitif yönde gelişim görülmektedir. Sonuç olarak, bitkisel sütlerin direkt olarak tüketiminin artması ile bitkisel sütler yeni ürün gruplarının hammaddesi ve/veya bileşeni olma potansiyelinin artacağı öngörülmektedir. Bilimsel çalışmaların ve gıda endüstrisinin bu konuya ilgisi giderek artacaktır.

Kaynaklar

Ahmed, J., & Ramaswamy, H. (2007). Microwave Pasteurization and Sterilization of Foods. In *Handbook of Food Preservation* (pp. 691–711). <https://doi.org/10.1201/9781420017373.ch28>

Alkhafaji, S., & Farid, M. (2008). Modelling the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922 using pulsed electric field. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 448–454. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2008.02.003>

Alkhafaji, & Mohammed M. Farid. (2012). PEF Assisted Thermal Sterilization (PEF-ATS) Process-Inactivation of *Geobacillus sterothromophilus* Spores. *Journal of Food Science and Engineering*, 2(7), 403–410. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2012.07.007>

Amiali, M., & Ngadi, M. O. (2012). Microbial decontamination of food by pulsed electric fields (PEFs). *Microbial Decontamination in the Food Industry: Novel Methods and Applications*, 407–449. <https://doi.org/10.1533/9780857095756.2.407>

Ananta, E., Heinz, V., Schlüter, O., & Knorr, D. (2001). Kinetic studies on high-pressure inactivation of *Bacillus sterothromophilus* spores suspended in food matrices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(4), 261–272. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(01\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00046-7)

Atalar, I., Gul, O., Saricaoglu, F. T., Besir, A., Gul, L. B., & Yazici, F. (2019). Influence of thermosonication (TS) process on the quality parameters of high pressure homogenized hazelnut milk from hazelnut oil by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1405–1415. <https://doi.org/10.1007/S13197-019-03619-7/TABLES/5>

Aydar, E. F., Tutuncu, S., & Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70(December 2019), 103975. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975>

Bandla, S., Choudhary, R., Watson, D. G., & Haddock, J. (2012). UV-C treatment of soymilk in coiled tube UV reactors for inactivation of *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 71–76. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2011.10.024>

Bartula, K., Begley, M., Latour, N., & Callanan, M. (2023). Growth of food-borne pathogens *Listeria* and *Salmonella* and spore-forming *Paenibacillus* and *Bacillus* in commercial plant-based milk alternatives. *Food Microbiology*, 109, 104143. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2022.104143>

Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., & Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - A critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637–645. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000501\)80:6<637::AID-JSFA603>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80:6<637::AID-JSFA603>3.0.CO;2-1)

Butz, P., & Tauscher, B. (2002). Emerging technologies: chemical aspects. *Food Research International*, 35(2–3), 279–284. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00197-1)

Campaniello, D., Bevilacqua, A., Speranza, B., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2018). Inactivation of *Salmonella enterica* in a Rice Beverage by Ultrasound: Study of the Parameters Affecting the Antibacterial Effect. *Food and Bioprocess Technology*, 11(6), 1139–1148. <https://doi.org/10.1007/S11947-018-2081-X/FIGURES/7>

Chandrapala, J., Oliver, C., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2012). Ultrasonics in food processing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(5), 975–983. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2012.01.010>

Cho, E. R., & Kang, D. H. (2022). Intensified inactivation efficacy of pulsed ohmic heating for pathogens in soybean milk due to sodium lactate. *Food Control*, 137, 108936. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2022.108936>

Cruz, N., Capellas, M., Hernández, M., Trujillo, A. J., Guamis, B., & Ferragut, V. (2007). Ultra high pressure homogenization of soymilk: Microbiological, physicochemical and microstructural characteristics. *Food Research International*, 40(6), 725–732. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2007.01.003>

Datta, A. K., & Davidson, P. M. (2000). Microwave and radio frequency processing. *Journal of Food Science*, 65(8), 32–41. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2000.TB00616.X>

de Alwis, A. A. P., & Fryer, P. J. (1990). The use of direct resistance heating in the food industry. *Journal of Food Engineering*, 11(1), 3–27. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(90\)90036-8](https://doi.org/10.1016/0260-8774(90)90036-8)

Delmas, H., & Barthe, L. (2015). Ultrasonic mixing, homogenization, and emulsification in food processing and other applications. *Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound*, 757–791. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-028-6.00025-9>

Erol, B. (2021). *Investigation of microwave processing for pasteurization of vegan milk products* [Izmir Institute of Technology]. <https://gcris.iyte.edu.tr/handle/11147/12039>

Evrendilek, G. A., & Zhang, Q. H. (2005). Effects of pulse polarity and pulse delaying time on pulsed electric fields-induced pasteurization of *E. coli* O157:H7. *Journal of Food Engineering*, 68(2), 271–276. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2004.06.001>

- Fahmi, R., Khodaiyan, F., Pourahmad, R., & Emam-Djomeh, Z. (2014). Effect of ultrasound assisted extraction upon the Genistin and Daidzin contents of resultant soymilk. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2857–2861. <https://doi.org/10.1007/S13197-012-0744-6/FIGURES/2>
- Ferragut, V., Hernández-Herrero, M., Veciana-Nogués, M. T., Borrás-Suarez, M., González-Linares, J., Vidal-Carou, M. C., & Guamis, B. (2015). Ultra-high-pressure homogenization (UHPH) system for producing high-quality vegetable-based beverages: physicochemical, microbiological, nutritional and toxicological characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(5), 953–961. <https://doi.org/10.1002/JSFA.6769>
- Gayán, E., Álvarez, I., & Condón, S. (2013). Inactivation of bacterial spores by UV-C light. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 140–145. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2013.04.007>
- Gökçen, M., Aksoy, Y. Ç., & Ateş Özcan, B. (2019). Vegan beslenme tarzına genel bakış. *Sağlık ve Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), 50–54. <https://doi.org/10.33308/2687248x.201912152>
- Gómez-López, V. M., Koutchma, T., & Linden, K. (2012). Ultraviolet and Pulsed Light Processing of Fluid Foods. *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*, 185–223. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00008-6>
- Gul, O., Saricaoglu, F. T., Mortas, M., Atalar, I., & Yazici, F. (2017). Effect of high pressure homogenization (HPH) on microstructure and rheological properties of hazelnut milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 411–420. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2017.05.002>
- Han, T. B. (1958). *Technology of Soymilk and Some Derivatives* [Wageningen University]. <https://edepot.wur.nl/180242>
- Herrera-Ponce, A. L., Salmeron-Ochoa, I., Rodriguez-Figueroa, J. C., Santellano-Estrada, E., Garcia-Galicia, I. A., & Alarcon-Rojo, A. D. (2022). High-intensity ultrasound as pre-treatment in the development of fermented whey and oat beverages: effect on the fermentation, antioxidant activity and consumer acceptance. *Journal of Food Science and Technology*, 59(2), 796–804. <https://doi.org/10.1007/S13197-021-05074-9/FIGURES/2>
- Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F., & Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water Research*, 40(1), 3–22. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2005.10.030>
- Iorio, M. C., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., Campaniello, D., Sinigaglia, M., & Altieri, C. (2019). A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 477–483. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2018.12.026>
- Jaeger, H., Meneses, N., & Knorr, D. (2014). Food Technologies: Pulsed Electric Field Technology. *Encyclopedia of Food Safety*, 3, 239–244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00260-2>
- Janssen, M., Busch, C., Rödiger, M., & Hamm, U. (2016). Motives of consumers following a vegan diet and their attitudes towards animal agriculture. *Appetite*, 105, 643–651. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2016.06.039>
- Jeske, S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2018). Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Research International*, 110, 42–51. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.03.045>
- Krishnamurthy, K., Demirci, A., & Irudayaraj, J. M. (2007). Inactivation of *Staphylococcus aureus* in Milk Using Flow-Through Pulsed UV-Light Treatment System. *Journal of Food Science*, 72(7), 233–239. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2007.00438.X>
- Kwok, K.-C., & Niranjana, K. (1995). Review: Effect of thermal processing on soymilk. *International Journal of Food Science & Technology*, 30(3), 263–295. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb01377.x>
- Li, F. De, Chen, C., Ren, J., Wang, R., & Wu, P. (2015). Effect of Ohmic Heating of Soymilk on Urease Inactivation and Kinetic Analysis in Holding Time. *Journal of Food Science*, 80(2), E307–E315. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12738>
- Lu, L., Zhao, L., Zhang, C., Kong, X., Hua, Y., & Chen, Y. (2015). Comparative Effects of Ohmic, Induction Cooker, and Electric Stove Heating on Soymilk Trypsin Inhibitor Inactivation. *Journal of Food Science*, 80(3), C495–C503. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12773>
- Lu, X., Chen, J., Zheng, M., Guo, J., Qi, J., Chen, Y., Miao, S., & Zheng, B. (2019). Effect of high-intensity ultrasound irradiation on the stability and structural features of coconut-grain milk composite systems utilizing maize kernels and starch with different amylose contents. *Ultrasonics Sonochemistry*, 55, 135–148. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2019.03.003>
- Maghsoodlou, Y., Alami, M., Mashkour, M., & Shahraki, M. H. (2016). Optimization of Ultrasound-Assisted Stabilization and Formulation of Almond Milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), 828–839. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12661>
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>
- Manzoor, M. F., Zeng, X. A., Ahmad, N., Ahmed, Z., Rehman, A., Aadil, R. M., Roobab, U., Siddique, R., & Rahaman, A. (2020). Effect of pulsed electric field and thermal treatments on the bioactive compounds, enzymes, microbial, and physical stability of almond milk during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14541. <https://doi.org/10.1111/JFPP.14541>
- Margosch, D., Ehrmann, M. A., Gänzle, M. G., & Vogel, R. F. (2004). Comparison of pressure and heat resistance of *Clostridium botulinum* and other endospores in mashed carrots. *Journal of Food Protection*, 67(11), 2530–2537. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.11.2530>
- Mason, T. J., Chemat, F., & Ashokkumar, M. (2015). Power ultrasonics for food processing. *Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound*, 815–843. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-028-6.00027-2>
- McClements, D. J., & Grossmann, L. (2021). The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 4049–4100. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12771>
- Omoni, A. O., & Aluko, R. E. (2005). Soybean foods and their benefits: Potential mechanisms of action. *Nutrition Reviews*, 63(8), 272–283. <https://doi.org/10.1301/NR.2005.AUG.272-283>
- Patazca, E., Koutchma, T., & Ramaswamy, H. S. (2006). Inactivation Kinetics of *Geobacillus stearothermophilus* Spores in Water Using High-pressure Processing at Elevated Temperatures. *Journal of Food Science*, 71(3), 110–116. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2006.TB15633.X>
- Pistolato, F., Iglesias, R. C., Ruiz, R., Aparicio, S., Crespo, J., Lopez, L. D., Manna, P. P., Giampieri, F., & Battino, M. (2018). Nutritional patterns associated with the maintenance of neurocognitive functions and the risk of dementia and Alzheimer's disease: A focus on human studies. *Pharmacological Research*, 131, 32–43. <https://doi.org/10.1016/J.PHRS.2018.03.012>
- Poliseli-Scopel, F. H., Hernández-Herrero, M., Guamis, B., & Ferragut, V. (2012). Comparison of ultra high pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical and chemical quality of soymilk. *Lwt*, 46(1), 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.004>

- Qin, X., Yang, F., Sun, H., Yu, X., Deng, Q., Chen, Y., Huang, F., Geng, F., & Tang, X. (2023). The physicochemical stability and in vivo gastrointestinal digestion of flaxseed milk: Implication of microwave on flaxseed. *Food Chemistry*, 424, 136362. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.136362>
- Rajan, S., Pandrangi, S., Balasubramaniam, V. M., & Yousef, A. E. (2006). Inactivation of *Bacillus stearothermophilus* spores in egg patties by pressure-assisted thermal processing. *LWT - Food Science and Technology*, 39(8), 844–851. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2005.06.008>
- Raso, J., Condón, S., & Álvarez, I. (2014). Non-Thermal Processing: Pulsed Electric Field. *Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition*, 966–973. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00397-9>
- Raso, J., Pagán, R., Condón, S., & Sala, F. J. (1998). Influence of temperature and pressure on the lethality of ultrasound. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(2), 465–471. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.2.465-471.1998/ASSET/1C920040-4C02-40B9-B0F2-F8D8F53AE438/ASSETS/GRAPHIC/AM0281538006.JPG>
- Raso, J., Palop, A., Pagán, R., & Condón, S. (1998). Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment. *Journal of Applied Microbiology*, 85(5), 849–854. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2672.1998.00593.X>
- Rööds, E., Garnett, T., Watz, V., & Sjörs, C. (2018). The role of dairy and plant based dairy alternatives in sustainable diets SLU Future Food—a research platform for a sustainable food system. In *SLU Future Food Reports 3*. Swedish University of Agricultural Sciences, the research platform Future Food.
- Salve, A. R., Pegu, K., & Arya, S. S. (2019). Comparative assessment of high-intensity ultrasound and hydrodynamic cavitation processing on physico-chemical properties and microbial inactivation of peanut milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104728>
- Sarangapani, A. K., Murugesan, A., Annamalai, A. S., Balasubramanian, A., & Shanmugam, A. (2022). An overview on ultrasonically treated plant-based milk and its properties – A Review. *Applied Food Research*, 2(2), 100130. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100130>
- Sebastiani, G., Barbero, A. H., Borrás-Novell, C., Casanova, M. A., Aldecoa-Bilbao, V., Andreu-Fernández, V., Tutusaus, M. P., Martínez, S. F., Roig, M. D. G., & García-Algar, O. (2019). The Effects of Vegetarian and Vegan Diet during Pregnancy on the Health of Mothers and Offspring. *Nutrients* 2019, Vol. 11, Page 557, 11(3), 557. <https://doi.org/10.3390/NU11030557>
- Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
- Short, E. C., Kinchla, A. J., & Nolden, A. A. (2021). Plant-Based Cheeses: A Systematic Review of Sensory Evaluation Studies and Strategies to Increase Consumer Acceptance. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 725, 10(4), 725. <https://doi.org/10.3390/FOODS10040725>
- Siemer, C., Toepfl, S., & Heinz, V. (2014). Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by pulsed electric fields (PEF) in combination with thermal energy II. Modeling thermal inactivation of *B. subtilis* spores during PEF processing in combination with thermal energy. *Food Control*, 39(1), 244–250. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2013.09.067>
- Silva, A. R. A., Silva, M. M. N., & Ribeiro, B. D. (2020). Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131, 108972. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2019.108972>
- Sobrinho-López, A., Raybaudi-Massilia, R., & Martín-Belloso, O. (2006). High-Intensity Pulsed Electric Field Variables Affecting *Staphylococcus aureus* Inoculated in Milk. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 3739–3748. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(06\)72415-8](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(06)72415-8)
- Strieder, M. M., Neves, M. I. L., Belinato, J. R., Silva, E. K., & Meireles, M. A. A. (2022). Impact of thermosonication processing on the phytochemicals, fatty acid composition and volatile organic compounds of almond-based beverage. *LWT*, 154, 112579. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112579>
- Tao, Y., Sun, D. W., Hogan, E., & Kelly, A. L. (2014). High-Pressure Processing of Foods: An Overview. *Emerging Technologies for Food Processing*, 3–24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00001-2>
- Tiravibulsin, C., Lorjaroenphon, Y., Udornpijitkul, P., & Kamonpatana, P. (2021). Sterilization of coconut milk in flexible packages via ohmic-assisted thermal sterilizer. *LWT*, 147, 111552. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111552>
- Valencia-Flores, D. C., Hernández-Herrero, M., Guamis, B., & Ferragut, V. (2013). Comparing the Effects of Ultra-High-Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on the Microbiological, Physical, and Chemical Quality of Almond Beverages. *Journal of Food Science*, 78(2), 199–205. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12029>
- Van Opstal, I., Bagamboula, C. F., Vanmuysen, S. C. M., Wuytack, E. Y., & Michiels, C. W. (2004). Inactivation of *Bacillus cereus* spores in milk by mild pressure and heat treatments. *International Journal of Food Microbiology*, 92(2), 227–234. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2003.09.011>
- Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2018). How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 10–20. <https://doi.org/10.1007/S13197-017-2915-Y/TABLES/5>
- Vanga, S. K., Wang, J., & Raghavan, V. (2020). Effect of ultrasound and microwave processing on the structure, in-vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of soymilk proteins. *LWT*, 131, 109708. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109708>
- Vogelsang-O'Dwyer, M., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2021). Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 364–374. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.01.090>
- Wilson, D. R., Dabrowski, L., Stringer, S., Moezelaar, R., & Brocklehurst, T. F. (2008). High pressure in combination with elevated temperature as a method for the sterilisation of food. *Trends in Food Science & Technology*, 19(6), 289–299. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2008.01.005>
- Włodarczyk, K., Czaplicki, S., Tańska, M., & Szydłowska-Czerniak, A. (2023). Microwave pre-treatment as a promising strategy to develop functional milk alternatives obtained from oil industry by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103443. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2023.103443>
- Yıldırım, G. (2021). *Islıl Olan ve Olmayan İşlemler İle Pastörize Edilen Yulaf Sütünden Yoğurt Yapım Olanaklarının Araştırılması*. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi.
- Zujko, M. E., & Witkowska, A. M. (2014). Antioxidant Potential and Polyphenol Content of Beverages, Chocolates, Nuts, and Seeds. *International Journal of Food Properties*, 17(1), 86–92. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.614984>