



SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR IV

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÇAKIR

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR IV

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÇAKIR

YAZARLAR

Doç. Dr. Mubin KOYUNCU

Dr. Öğr. Üyesi Elif YILDIRIM

Dr. Öğr. Üyesi Fadime SEYREKOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Davut KARAHAN

Dr. Öğr. Üyesi Murat KAYA

Dr. Öğr. Üyesi Nazife YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Sıraç YAVUZ

Dr. Öğr. Üyesi Şehriban OĞUZ

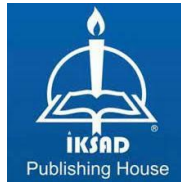
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÇAKIR

Öğr. Gör. Dr. Nursel SÖYLEMEZ MİLLİ

Emrah ÇETİN

Merve Nur EKTİREN

Nurgül YILMAZ



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-566-6

Cover Image: İbrahim KAYA

November / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

PEYNİRLERDEN İZOLE EDİLEN LAKTİK ASİT

BAKTERİLERİNİN TANIMLANMASINDA MALDI-TOF MS

UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Şehriban OĞUZ,,,,,.....3

BÖLÜM 2

PROBİYOTİKLERİN SÜT ÜRÜNLERİNDE KULLANIMI

Doç. Dr. Mubin KOYUNCU

Nurgül YILMAZ.....25

BÖLÜM 3

IN VITRO SİNDİRİM İLE SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE

BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Davut KARAHAN.....45

BÖLÜM 4

PENN STATE PARÇACIK AYIRICISI KULLANILARAK SÜT

ÇİFTLİKLERİNDE TMR DEĞERLENDİRME

Dr. Öğr. Üyesi Sıraç YAVUZ.....59

BÖLÜM 5

KETEN TOHUMU VE SÜTÜNÜN FİZİKOKİMYASAL VE

BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

Dr. Öğr. Üyesi Murat KAYA.....75

BÖLÜM 6

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE MİKROBİYAL BOZULMALAR

Dr. Öğr. Üyesi Nazife YILMAZ.....93

BÖLÜM 7

SICAKLIK-NEM İNDEKSİ VE ISI STRESİNİN SÜT SIĞIRCILIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Merve Nur EKTİREN

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÇAKIR.....121

BÖLÜM 8

SÜT YAN ÜRÜNLERİNİN GIDA ENDÜSTRİSİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE FONKSİYONELLİK PERSPEKTİFİ

Dr. Öğr. Üyesi Fadime SEYREKOĞLU

Emrah ÇETİN.....135

BÖLÜM 9

SÜT ÜRÜNLERİ MİKROBİYOTASININ TANIMLANMASINDA KLASİK VE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Dr. Öğr. Üyesi Şehriban OĞUZ

Öğr. Gör. Dr. Nursel SÖYLEMEZ MİLLİ.....155

BÖLÜM 10

LAKTOZ İNTOLERANSI-SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNİN TÜKETİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Elif YILDIRIM.....183

BÖLÜM 11

SÜT MATRİSİNİN BESLENME VE SAĞLIK AÇISINDAN ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Davut KARAHAN.....203

ÖNSÖZ

Süt, insan beslenmesinde doğumdan başlayarak ölüme kadar uzanan, hayatın her döneminde gerekli olan mikro ve makro besin öğelerini yeterli miktarda içeren en temel gıdadır. Süt ve süt ürünleri, A ve/veya β karoten, riboflavin (B_2), B_{12} gibi vitaminler, kalsiyum ve fosfor başta olmak üzere bazı önemli mineraller, süt yağı, biyolojik değeri yüksek proteinler ve probiyotiklerin çok önemli bir kaynağıdır. Özetle; süt ve süt ürünleri insanların beslenmesi, büyümesi, gelişmesi ve sağlıklı bir şekilde hayatlarını sürdürebilmeleri için gerekli C vitamini ve demir minerali dışında hemen hemen bütün besin öğelerini içermekte olan gıda grubudur. Bu nedenle hayatımızdaki en önemli besin kaynakları arasında süt ve süt ürünleri gelmektedir. Süt ve süt ürünlerin her yaş aralığında düzenli olarak tüketilmesi gerekmektedir. Özellikle bebeklik ve çocukluk döneminde olmak üzere emzicilik-gebelik, yaşlılık ve yetişkinlik dönemlerinde de diş-kemik sağlığı ve kas gelişimi bakımından tüketilmesi gereklidir. Ayrıca, süt ve süt ürünleri mide ve bağırsak hastalıkları, hipertansiyon, diyabet, kalp-damar, obezite, kolesterol, osteoporoz, eklem hastalıkları, diş çürümeleri ve çeşitli enfeksiyonlara karşı önleyici olarak görev yapmakta ve bağışıklık sistemini güçlendirerek birçok hastalığın önüne geçilmesinde fayda sağlamaktadır. Son yıllarda insan sağlığı üzerine yapılan çalışmalarda süt ve süt ürünlerinin yapısında bulundurdıkları bazı bileşenlerin çeşitli nörodejeneratif (nörolojik) hastalıklar ve çok çeşitli kanser türleri üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. İnsanların beslenmesi ve sağlıklı bir şekilde hayatlarını sürdürebilmeleri için son derece önemli bir gıda grubu olan süt ve süt ürünleri sektörü günümüzde Dünya’da ve Türkiye’de gerçekleşen çok hızlı nüfus artışı, küresel ısınmaya bağlı olarak kuraklık ve iklim değişiklikleri, Covid-19 salgınları gibi sebeplerden aşırı etkilenmektedir. Bu nedenle süt ve süt ürünleri sektörünün üretim ihtiyaçlarını karşılayabilmek için süt ve süt ürünleri sektöründe yenilikçi yaklaşımlı ve sürdürülebilir yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesi zorunlu bir duruma dönüşmüştür. Bu bağlamda süt ve süt ürünleri sektöründe sınırlı kaynaklardan süt ve süt ürünlerinin üretimi daha verimli, sağlıklı, güvenli, raf ömrü uzun, fonksiyonel, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olarak yapılmalıdır. Bu nedenle de süt ve süt ürünlerinin geleneksel olarak üretilmelerinin yanı sıra süt ve süt ürünlerinin üretim, ambalajlama, muhafaza, depolama ve taşıma gibi teknolojilerinin yeniden düzenlenerek uygulamaya geçilmesi çok önemlidir.

Bu kitapta, süt ve süt ürünleri sektöründeki yenilikçi yaklaşımları ve güncel teknolojileri ele alan bölümler bulunmaktadır. Bu kitabın süt ve süt ürünleri sektörüyle ilgisi olan ya da olmayan herkese faydalı olmasını temenni ederim. Son olarak, bu kitaba katkı sağlayan değerli akademisyenlere ve kitabın basımını gerçekleştiren İksad Yayınevine teşekkür ederim.

Editör
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÇAKIR¹

¹ Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Bingöl, Türkiye. yusufcakir@bingol.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-3789-3039>

BÖLÜM 1

PEYNİRLERDEN İZOLE EDİLEN LAKTİK ASİT BAKTERİLERİNİN TANIMLANMASINDA MALDI-TOF MS UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Şehriban OĞUZ¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156226>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye. sehribanoguz@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6889-9487

1. GİRİŞ

Peynir, insanlık tarihinin en eski fermente süt ürünlerinden biri olup, üretim ve olgunlaşma süreçlerinde gerçekleşen biyokimyasal ve mikrobiyolojik dönüşümler sayesinde kendine özgü yapı, aroma ve besin değerine sahip kompleks bir gıda matrisi oluşturmaktadır. Günümüzde peynir üretimi, yalnızca sütün korunması amacını aşarak; ürün çeşitliliği, duyu kalite ve fonksiyonel özelliklerin ön plana çıktığı ileri bir gıda teknolojisi alanına dönüşmüştür (Walstra ve ark., 2006; Fox ve ark., 2017a).

Peynirin karakteristik özelliklerinin oluşumunda temel belirleyici unsur, üretim ve olgunlaşma süreci boyunca etkin olan mikrobiyel topluluklardır. Bu toplulukların merkezinde yer alan laktik asit bakterileri (LAB), asidifikasyon, proteoliz, lipoliz ve aroma bileşiklerinin oluşumu gibi süreçleri yönlendirerek ürünün mikrobiyel güvenliği ve duyu profilini şekillendirmektedir (Gobbetti ve ark., 2015; Fox ve ark., 2017a). Özellikle geleneksel ve coğrafi işaretli peynirlerde, doğal mikroflorayı oluşturan LAB topluluklarının doğru şekilde tanımlanması, ürün özgünlüğünün korunması açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bölümde, peynirlerden izole edilen LAB'ın MALDI-TOF MS ile tanımlanmasına ilişkin temel prensipler, avantajlar, sınırlılıklar ve literatürdeki uygulamalar bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaktadır.

2. PEYNİR MİKROBİYOTASI ve LAKTİK ASİT BAKTERİLERİ

Peynir mikrobiyotası, sütün bileşimi, üretim teknolojisi, çevresel koşullar ve olgunlaşma süresi gibi çok sayıda değişkenin etkileşimi sonucunda şekillenen, üretim ve olgunlaşma boyunca sürekli değişim gösteren dinamik bir mikrobiyal ekosistemdir (Afshari ve ark., 2020).

Çevresel faktörler, süt mikrobiyotasının bileşiminin şekillenmesinde belirleyici bir rol oynamakta olup, bu durum farklı çalışmalarla ortaya konmuştur (Fox ve ark., 2017b; Hendy ve ark., 2021; Bettera ve ark., 2023). Peynir mikrobiyomu araştırmalarında son yıllarda kaydedilen ilerlemeler, peynir üretimi ve olgunlaşma sürecinde rol alan bakteriyel toplulukların yapısı ve işlevi hakkında daha derinlemesine bir anlayış sağlamıştır (Fox ve ark., 2017a; Yeluri Jonnal ve ark., 2018; Levante ve ark., 2021).

Peynir mikrobiyomu, büyük ölçüde karbonhidrat fermentasyonunun temel ürünü olarak laktik asit üreten ve çoğunlukla *Lactobacillales* takımına ait

olan LAB baskınlığı ile karakterizedir. LAB, peynir üretiminde pıhtı oluşumu, fermentasyon süreçleri ve olgunlaşma sırasında meydana gelen biyokimyasal değişikliklerden başlıca sorumlu mikroorganizma grubudur (Oğuz ve Andiç, 2019; Hayaloğlu ve Özer, 2021). Her peynir çeşidi, üretim koşulları ve hammaddeye bağlı olarak farklı sayılarda, cinslerde, türlerde ve biyotiplerde LAB içermektedir. Üretim sürecinde ilave edilen başlangıç kültürlerinden (starter LAB; SLAB) kaynaklanan bakteriler, peynir yapımının erken evrelerinde yüksek sayılarda bulunur ve kolaylıkla kültüre edilebilir. Buna karşılık, ikincil kültür olarak eklenen veya çiğ süttten doğal olarak gelen starter olmayan LAB (non-starter LAB; NSLAB), olgunlaşmanın ilerleyen aşamalarında baskın hale gelmekte, ancak kültüre edilebilmeleri görece daha zor olmaktadır (Nugroho ve ark., 2021; Nam ve ark., 2021; Neviani ve ark., 2025).

Peynirde yer alan LAB, çiğ süt, starter ve yardımcı kültürlerin yanı sıra üretim ekipmanları, yem ve üretim ortamı gibi çevresel kaynaklardan da gelebilmektedir. Bu mikrobiyel çeşitlilik maya, küf ve LAB dışındaki mikroorganizmalarla birlikte etkileşerek peynir matriksi içerisinde karmaşık bir ekosistem oluşturmaktadır. Söz konusu mikroorganizmalar, LAB ile olan metabolik etkileşimleri aracılığıyla özellikle proteoliz ve bazı durumlarda lipoliz süreçlerine katkı sağlayarak peynirin tekstürel ve duyuşal özelliklerinin gelişiminde belirleyici rol oynamaktadır. Pastörize süt ve belirlenmiş starter kültürler kullanılarak üretilen peynirlerde mikrobiyel ekosistem daha basit bir yapı gösterse de temel biyokimyasal mekanizmalar korunmakta ve bu süreçlerin yoğunluğu esas olarak olgunlaşma süresi ve koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Neviani ve ark., 2025).

Peynirde SLAB ve NSLAB'ı içeren LAB topluluğunun oluşumu ve zamansal dinamikleri, çok sayıda çevresel ve teknolojik faktörün etkileşimi sonucunda şekillenmektedir (Blaya ve ark., 2018). Özellikle telemenin fermentasyon süreci, fermentatif mikroorganizmalar açısından sürekli değişen ve çoğu zaman stres koşullarını içeren dinamik bir ortam oluşturmaktadır. Peynir üretimi boyunca sıcaklık, pH, ozmolarite ve laktoz konsantrasyonu gibi temel çevresel parametrelerde önemli dalgalanmalar meydana gelir. Belirli peynir mikroorganizmaları veya mikrobiyel topluluklar, bu değişken koşullara; pH, tuzluluk, sıcaklık ve nem gibi abiyotik stresler ile rekabet ve istilaya karşı direnç gibi biyotik streslere hem bireysel hem de topluluk düzeyinde uyum

sağlamıştır (Gatti ve ark., 2014; Cocolin ve ark., 2016; Gobbetti ve ark., 2018; Dreier ve ark., 2025).

3. MALDI-TOF MS TEKNİĞİNİN TEMEL PRENSİBİ

Matris Destekli Lazer Desorpsiyon İyonizasyonu-Uçuş Süresi Kütle Spektrometrisi (MALDI-TOF MS), son yıllarda bakteri ve mayaların rutin tanımlanmasında yaygın biçimde kullanılan, kemotaksonomik temelli ve proteomik yaklaşıma dayalı güçlü bir analitik yöntem olarak öne çıkmaktadır. Mikroorganizmaların kütle spektrometrisi aracılığıyla tanımlanmasına yönelik ilk çalışmalar 1970’li yıllara kadar uzanmakla birlikte, büyük biyomoleküllerin güvenilir ve tekrarlanabilir şekilde analiz edilmesi ancak 1980’li yıllarda MALDI teknolojisinin geliştirilmesiyle mümkün olmuştur. Bu teknolojik ilerleme, yöntemin mikrobiyel tanımlamada yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik sunmasını sağlayarak önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur (Wieser ve ark., 2012; Raptakis ve ark., 2023).

Günümüzde MALDI-TOF MS; basit örnek hazırlama süreci, yüksek analiz hızı, hassasiyet ve maliyet etkinliği gibi avantajları sayesinde proteomik tabanlı tanımlama yöntemleri arasında geniş kabul görmektedir (Sogawa ve ark., 2011; Dobranić ve ark., 2016). Yöntemin temel prensibi, mikroorganizmalara ait başta ribozomal proteinler olmak üzere düşük molekül ağırlıklı protein ve peptitlerden oluşan karakteristik kütle parmak izlerinin (peptide mass fingerprint, PMF) elde edilmesine dayanmaktadır. Bu protein profilleri, tür ve cins düzeyinde ayırt edici biyokimyasal imzalar oluşturarak mikroorganizmaların hızlı şekilde sınıflandırılmasına olanak tanır (Shah ve ark., 2021).

Analiz sürecinde, mikroorganizma hücrelerinden elde edilen proteinler lazer enerjisini absorbe edebilen uygun bir matris ile birlikte hedef plak üzerine uygulanır. En yaygın kullanılan matrislerden biri olan α -siyano-4-hidroksisinnamik asit (α -CHCA), özellikle 2–20 kDa aralığındaki ribozomal proteinlerin iyonizasyonunda yüksek etkinlik göstermektedir. Matris, lazer enerjisini absorbe ederek analitin nazik bir şekilde desorbe ve iyonize edilmesini sağlamakta; bu sayede proteinlerin termal bozunmaya uğraması engellenmektedir. Ayrıca homojen kristal yapı oluşturması, spektral sinyal kalitesini ve pik çözünürlüğünü önemli ölçüde artırmaktadır. Bu özellikler,

LAB gibi gıda kaynaklı mikroorganizmaların tanımlanmasında yöntemin etkinliğini artırmaktadır (Li ve ark., 2022; Topić ve ark., 2023).

İyonize edilen proteinler, uçuş süresi (time-of-flight, TOF) analizörü içerisinde kütle/yük (m/z) oranlarına bağlı olarak ayrılmakta ve dedektör tarafından kaydedilmektedir. Elde edilen spektral veriler, analiz edilen mikroorganizmaya özgü bir protein profili oluşturarak referans veri tabanlarıyla otomatik olarak karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda, bakteri ve mayaların cins ve tür düzeyinde, bazı durumlarda ise alt tür düzeyinde hızlı ve güvenilir şekilde tanımlanması mümkün olmaktadır. MALDI-TOF MS spektrumları, genellikle ribozomal proteinlere ait yoğun ve tekrarlanabilir piklerden oluşmakta olup, bu pikler mikroorganizmaya özgü biyokimyasal bir imza niteliği taşımaktadır (Carbonnelle ve ark., 2011; Dušková ve ark., 2012; Murray, 2012; Gantzias ve ark., 2020).

Spektral verilerin değerlendirilmesinde, ticari yazılımlar ve kapsamlı referans kütüphaneleri (Bruker Biotyper, VITEK MS) kullanılmaktadır (Lévesque ve ark., 2015). Bu amaçla en yaygın sistemlerden biri olan Bruker Biotyper, analiz edilen spektrumu referans spektrumlarla karşılaştırarak istatistiksel bir benzerlik skoru ($\log(\text{score})$) üretmektedir. Bu skor, tanımlamanın güvenilirliğini nicel olarak ifade etmekte ve sonuçların yorumlanmasında temel bir kriter olarak kullanılmaktadır. Genel olarak $\log(\text{score}) \geq 2.3$ değerleri tür düzeyinde yüksek derecede güvenilir tanımlamayı, 2.0–2.29 aralığındaki değerler güvenilir cins düzeyi veya olası tür tanımlamasını, 1.7–1.99 aralığındaki skorlar yalnızca cins düzeyinde tanımlamayı; 1.7'nin altındaki skorlar ise güvenilir olmayan sonuçları işaret etmektedir (Cassagne ve ark., 2016).

Bu skollama sistemi sayesinde MALDI-TOF MS, peynir ve diğer fermente gıdalardan izole edilen LAB'ın hızlı taranması, dominant mikrofloranın belirlenmesi ve ileri düzey teknolojik veya fonksiyonel analizler için uygun suşların seçilmesinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Yöntemin kısa sürede çok sayıda numuneyi arka arkaya, hızlı ve verimli biçimde analiz edebilme yeteneğini (yüksek throughput kapasitesi), gıda mikrobiyolojisi ve süt ürünleri araştırmalarında rutin laboratuvar uygulamalarına başarıyla entegre edilmesine olanak tanımaktadır (Gallardo ve ark., 2013; Costa ve ark., 2024).

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, MALDI-TOF MS analizlerinde kullanılan örnek hazırlama protokolleri (doğrudan smear yöntemi veya protein ekstraksiyonuna dayalı yaklaşımlar), skor eşik değerleri ve veri değerlendirme kriterleri arasında belirgin farklılıklar bulunduğu görülmektedir (Sogawa ve ark., 2011; Doan ve ark., 2012; Pavlovic ve ark., 2013). Özellikle peynir kaynaklı LAB'ın tanımlanmasında, doğrudan smear ve protein ekstraksiyonuna dayalı yaklaşımlar arasında spektral kalite ve tür düzeyindeki tanımlama doğruluğu açısından anlamlı farklılıklar ortaya çıkabilmektedir (Dušková ve ark., 2012; Topić ve ark., 2023). Bunun yanı sıra kültür yaşı, inkübasyon süresi ve kullanılan besiyeri gibi faktörler de elde edilen kütle spektrumlarının tekrarlanabilirliğini doğrudan etkilemektedir (Wieser ve ark., 2012; Topić ve ark., 2023). Bu metodolojik değişkenlerin standardize edilmemesi, farklı çalışmalar arasında log(score) dağılımlarının ve tanımlama başarılarının doğrudan karşılaştırılabilirliğini sınırlandırmaktadır (Lévesque ve ark., 2015; Cassagne ve ark., 2016). Bu sebeple, peynir kaynaklı LAB tanımlamalarında örnek hazırlama, spektrum elde etme ve skor yorumlama süreçlerinin standardize edilmesi, MALDI-TOF MS'in bilimsel güvenilirliğini ve karşılaştırılabilirliğini önemli ölçüde artıracaktır.

Genotipik yöntemlerle karşılaştırıldığında MALDI-TOF MS; kullanıcı dostu yapısı, düşük numune gereksinimi, reaktif maliyetlerinin görece düşük olması ve analiz süresinin kısalığı gibi önemli avantajlara sahiptir (Doan ve ark., 2012; Pavlovic ve ark., 2013). Bu üstünlükler, yöntemin yalnızca klinik mikrobiyoloji alanında değil, aynı zamanda gıda mikrobiyotası ve fermente ürün araştırmalarında da yaygın biçimde kullanılmasını sağlamıştır. Özellikle peynir gibi kompleks mikrobiyel ekosistemlere sahip fermente gıdalarda, MALDI-TOF MS hızlı ve güvenilir tanımlama kapasitesiyle gıda güvenliği ve kalite değerlendirmelerinde temel analitik araçlardan biri hâline gelmiştir (Sivri ve Öksüz, 2019; Ashfaq ve ark., 2022).

4. PEYNİRLERDEN İZOLE EDİLEN LAB'LARIN MALDI-TOF MS İLE TANIMLANMASI

Laktik asit bakterilerinin doğru, hızlı ve güvenilir biçimde tanımlanması; özellikle geleneksel ve coğrafi işaretli peynirlerde ürün kimliğinin korunması, kalite standardizasyonunun sağlanması ve mikrobiyel izlenebilirliğin temin edilmesi açısından kritik bir gerekliliktir. Spontan fermentasyonun baskın

olduğu bu ürünlerde, doğal mikroflorayı oluşturan LAB topluluklarının tür düzeyinde doğru şekilde ortaya konulması hem ürünün otantik karakterinin korunması hem de coğrafi işaret kapsamındaki özgünlüğünün bilimsel olarak desteklenmesi bakımından büyük önem taşımaktadır (Gobbetti ve ark., 2015; Fox ve ark., 2017a; Neviani ve ark., 2025). Bu bağlamda MALDI-TOF MS, LAB tanımlanmasında öne çıkan modern ve etkili analitik yaklaşımlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Wieser ve ark., 2012; Pavlovic ve ark., 2013).

MALDI-TOF MS, genetik hedeflere dayalı moleküler yöntemlerden farklı olarak, mikroorganizmaların ribozomal protein ağırlıklı protein profillerini esas alan proteomik temelli ve bütüncül bir tanımlama yaklaşımı sunmaktadır. Peynirlerden izole edilen LAB suşlarında bu yöntem, izolatların uygun selektif besiyerlerinde saf kültür hâline getirilmesini takiben gerçekleştirilen basit ve hızlı bir örnek hazırlama süreci ile uygulanmaktadır. Hücrelerden elde edilen protein ekstraktları uygun bir matriks ile birlikte hedef plakaya aktarılmakta; lazer enerjisiyle iyonlaştırılan moleküllerin uçuş süreleri ölçülerek her mikroorganizmaya özgü karakteristik kütle spektrumları elde edilmektedir. Bu spektrumların referans veri tabanlarıyla karşılaştırılması sonucunda tanımlama işlemi dakikalar içinde tamamlanabilmektedir (Carbonnelle ve ark., 2011; Murray, 2012; Dušková ve ark., 2012; Akimowicz ve Bucka-Kolendo, 2020). Peynirlerden izole edilen LAB'ların MALDI-TOF MS ile tanımlanmasına yönelik temel iş akışı, örnek hazırlamadan veri tabanı karşılaştırmasına kadar olan aşamaları kapsayacak şekilde Tablo 1'de özetlenmiştir.

MALDI-TOF MS'in peynirlerden izole edilen LAB tanımlanmasındaki başlıca avantajları arasında analiz süresinin son derece kısa olması, yüksek tekrarlanabilirlik sunması ve çok sayıda izolatin eş zamanlı olarak analiz edilebilmesi yer almaktadır. Bu özellikler, özellikle peynir gibi kompleks mikrobiyel ekosistemlerde baskın LAB türlerinin hızlı şekilde taranmasına ve rutin laboratuvar uygulamalarına entegrasyonuna olanak tanımaktadır (Sogawa ve ark., 2011; Pavlovic ve ark., 2013; Lévesque ve ark., 2015). Bununla birlikte, MALDI-TOF MS tür düzeyinde hızlı ve güvenilir tanımlama sunmasına karşın, genetik varyasyonun yüksek olduğu LAB gruplarında suş düzeyinde ayırt edicilik açısından sınırlı kalabilmektedir (Doan ve ark., 2012; Dušková ve ark., 2012).

Tablo1. Peynirlerden İzole Edilen LAB’ların MALDI-TOF MS ile Tanımlanmasına Ait İş Akışı

Aşama	İşlem	Açıklama
1	Örnek hazırlama	Peynir örneklerinden uygun selektif besiyerleri kullanılarak LAB izolasyonu
2	Saf kültür elde edilmesi	İzolatların ardışık pasajlarla saflaştırılması
3	Protein ekstraksiyonu*	Etanol–formik asit–asetonitril yöntemiyle ribozomal proteinlerin ekstraksiyonu
4	Matris eklenmesi	α -Cyano-4-hydroxycinnamic acid (α -CHCA) matrisi ile karıştırma
5	Lazer iyonizasyonu	Lazer enerjisi ile proteinlerin iyonlaştırılması
6	TOF analizi	İyonların uçuş sürelerine göre m/z değerlerinin ölçülmesi
7	Spektrum elde edilmesi	Mikroorganizmaya özgü protein parmak izi (PMF) oluşturulması
8	Veri tabanı karşılaştırması	Referans veri tabanı ile otomatik eşleştirme
9	Skor değerlendirmesi	Log(score) değerlerine göre tanımlama düzeyinin belirlenmesi

*Protein ekstraksiyonu adımı, *Enterococcus* ve bazı NSLAB türlerinde tür-düzeyi doğruluğu anlamlı ölçüde artırmaktadır.

Bu nedenle, özellikle izlenebilirlik, coğrafi köken doğrulaması ve özgün starter kültür geliştirme çalışmalarında MALDI-TOF MS sonuçlarının 16S rRNA gen dizileme, çok lokuslu dizi tiplemesi (multilocus sequence typing - MLST) veya tüm genom dizileme (whole genome sequencing - WGS) gibi moleküler yaklaşımlarla desteklenmesi önerilmektedir (Pavlovic ve ark., 2013; Levante ve ark., 2021). Bu bütüncül yaklaşım hem fenotipik hem de genotipik verilerin birlikte değerlendirilmesine olanak tanıyarak daha yüksek tanımlama doğruluğu sağlamaktadır (Wieser ve ark., 2012; Neviani ve ark., 2025).

Fenotipik özellikleri bakımından birbirine oldukça benzeyen LAB türlerinin ayırımında MALDI-TOF MS’in sağladığı yüksek ayırt edicilik, özellikle *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* ve *Leuconostoc* cinslerine

ait türlerin güvenilir şekilde tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Peynirlerden izole edilen LAB suşları üzerinde yürütülen çok sayıda çalışmada, bu yöntemin söz konusu cinsler için tür düzeyinde yüksek doğruluk sağladığı rapor edilmiştir (Nacef ve ark., 2017; Kačániová ve ark., 2019; Gantzias ve ark., 2020). Ayrıca düşük işletme maliyeti, sınırlı reaktif ihtiyacı ve rutin laboratuvar uygulamalarına uygunluğu, MALDI-TOF MS'in gıda mikrobiyolojisi alanında yaygınlaşmasını destekleyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Gallardo ve ark., 2013; Pavlovic ve ark., 2013).

Bununla birlikte, MALDI-TOF MS'in bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Yöntemin tanımlama doğruluğu büyük ölçüde kullanılan referans veri tabanlarının kapsamı ve güncelliğine bağlıdır. Ticari veri tabanlarında geleneksel ve yöresel peynirlerden izole edilen bazı LAB tür ve suşlarının yeterince temsil edilmemesi, özellikle atipik izolatlarda düşük log(score) değerleriyle sonuçlanabilmektedir (Cassagne ve ark., 2016; Gantzias ve ark., 2020). Bu gereklilik, bölgesel peynir mikrobiyotasını yansıtan yerel referans spektrum kütüphanelerinin oluşturulmasının önemini ortaya koymaktadır. Yerel veri tabanlarının geliştirilmesi, MALDI-TOF MS'in geleneksel peynir araştırmalarındaki tanımlama doğruluğunu önemli ölçüde artıracaktır (Kačániová ve ark., 2019; Neviani ve ark., 2025). Ayrıca MALDI-TOF MS'in tür düzeyinde güçlü bir ayırt edicilik sunmasına karşın, suş düzeyinde ayırım gücünün sınırlı olması; izlenebilirlik çalışmaları, coğrafi köken doğrulaması ve özgün starter kültür geliştirme gibi uygulamalarda yöntemin moleküler tekniklerle desteklenmesini gerekli kılabilmektedir (Doan ve ark., 2012; Pavlovic ve ark., 2013).

5. PEYNİRLERDEN İZOLE EDİLEN LAB'LARIN TANIMLANMASINA YÖNELİK YAPILAN ÇALIŞMALAR

Nacef ve ark. (2017) tarafından yürütülen çalışmada, çiğ ve pastörize süt kullanılarak üretilen Fransız Maroilles peynirinin kabuk ve iç kısımlarından izole edilen mezofilik LAB'ın tanımlanması amacıyla MALDI-TOF MS yöntemi uygulanmıştır. Fenotipik özellikleri dikkate alınarak Gram-pozitif ve katalaz-negatif olarak belirlenen toplam 197 LAB izolatu MALDI-TOF MS profillemesi ile karakterize edilmiştir. Tanımlama sonuçlarına göre, çiğ sütle üretilen Maroilles peynirinden 105 suş (38'i kabuk, 67'si iç kısımdan), pastörize sütle üretilen Maroilles peynirinden ise 92 suş (39'u kabuk, 53'ü iç

kısımdan) kesin olarak identifiye edilmiştir. MALDI-TOF MS analizleri, LAB'a ait üç farklı cinsin (*Lactobacillus*, *Enterococcus* ve *Leuconostoc*) tanımlanmasına olanak sağlamıştır. İzolatlar arasında *Lactobacillus* cinsinin yedi farklı tür ile en baskın grup olduğu belirlenmiştir. Bu cins içerisinde *Lb. plantarum*, *Lb. paracasei*, *Lb. curvatus*, *Lb. rhamnosus*, *Lb. fructivorans*, *Lb. parabuchneri* ve *Lb. brevis* türlerinin her iki süt tipi kullanılarak üretilen Maroilles peynirlerinde de bulunduğu tespit edilmiştir.

Sakarya ilinde geleneksel üretim teknikleriyle elde edilen peynir örnekleri (Çerkez peyniri, Tulum peyniri ve Lavaş peyniri) çalışma materyali olarak kullanılmış; bu örneklerden LAB izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen izolatların tür düzeyinde tanımlanması amacıyla MALDI-TOF MS yöntemi uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda toplam 15 LAB suşu tanımlanmış olup, bunların beşinin *E. faecalis*, dördünün *E. faecium*, birinin *Lb. paracasei* ve altısının *Leu. mesenteroides* olduğu belirlenmiştir (Kanak ve ark., 2018).

Farklı illerden temin edilen 20 adet sıkma peyniri örneğinden toplam 84 adet *Enterococcus* spp. izolatu elde edilmiş ve bu izolatların tanımlanmasında MALDI-TOF MS yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda izolatların 32'sinin *E. faecalis*, 31'inin *E. faecium*, 13'ünün *E. durans*, 4'ünün *E. gallinarum*, 3'ünün *E. casseliflavus* ve birinin *E. thailandicus* olduğu belirlenmiştir (Aydın ve Ardic, 2019).

Sivri ve Öksüz (2019) tarafından yürütülen çalışmada, 10 farklı yerel üreticiden temin edilen toplam 25 adet Mihaliç peyniri örneği incelenmiştir. Gram-pozitif, hareketsiz, spor oluşturmayan, anaerobik veya aerotolerant özellik gösteren, koklardan kısa çubuklara kadar değişen morfolojiye sahip ve katalaz pozitif olarak belirlenen toplam 95 izolat, MALDI-TOF MS yöntemi kullanılarak tanımlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda izolatların 22'sinin *Lb. paracasei*, 13'ünün *Lb. plantarum*, 13'ünün *Lb. fermentum*, 4'ünün *E. faecalis*, 4'ünün *E. faecium* ve 3'ünün *E. durans* olduğu tespit edilmiştir.

Slovakya'da geleneksel yöntemlerle üretilen inek sütü peynirlerinde laktik asit bakterisi (LAB) çeşitliliğinin belirlenmesini amaçlayan çalışmada, ülkenin dört farklı bölgesinden temin edilen toplam 40 peynir örneği incelenmiştir. İzole edilen mikroorganizmaların tanımlanmasında MALDI-TOF MS yöntemi kullanılmış ve bu yöntemle doğrulanmış toplam 166 LAB izolatu tür düzeyinde karakterize edilmiştir. Tanımlama sonuçlarına göre

izolatlar; *Lactococcus* spp. grubunda yer alan *Lac. lactis* (14 izolat) ve *Lac. garvieae* (7 izolat), *Lactobacillus* cinsi içerisinde *Lb. curvatus* (14), *Lb. delbrueckii* (11), *Lb. fermentum* (13), *Lb. paracasei* (16), *Lb. paraplantarum* (11), *Lb. plantarum* (9) ve *Lb. sakei* (8) türleri, *Enterococcus* spp. kapsamında *E. durans* (10), *E. faecalis* (4), *E. faecium* (9) ve *E. italicus* (5), *Leuconostoc* spp. grubunda *Leu. mesenteroides* (14), ayrıca *Pediococcus* spp. içerisinde *P. pentosaceus* (6) ve *Streptococcus* spp. kapsamında *Str. salivarius* subsp. *thermophilus* (15) olarak belirlenmiştir (Kačaniová ve ark., 2019).

Sekiz farklı ilden toplanan 21 geleneksel peynirin LAB izolasyonu için kullanıldığı çalışmada, 150 adet LAB kolonisi izole edilmiştir. İzolatların tür tayinini belirlemek için MALDI-TOF MS yönteminden faydalanılmış ve 71 adeti tür düzeyinde tanımlanmıştır. Tür içeriği *E. faecium* (24), *E. faecalis* (18), *E. durans* (6), *E. italicus* (2), *Leu. mesenteroides* (11), *Leu. lactis* (1), *Lac. lactis* (3), *Str. parauberis* (2), *Lb. paracasei* (2), *Lb. brevis* (1) ve *Lb. plantarum* (1) olarak belirlenmiştir (Kanak ve Yılmaz, 2019).

Gantzias ve ark. (2020), Yunanistan'ın Nakşa (Naxos) adasında çiğ koyun-keçi sütü karışımından üretilen 4 çeşit artisanal peynirine (Anthotyro, Kefalotyri, Touloumotyri, Xynotyri) ait 18 örnek toplanmış ve peynirlerde bulunan NSLAB'ın tespiti hedeflenmişlerdir. Örneklerden izole edilen 88 adet NSLAB'dan 84'ü (%95.5'i) MALDI-TOF MS ile tanımlanmıştır. *Lb. plantarum* ve *Lb. brevis*'in baskın tür olduğu, diğer türlerin ise *Lb. rhamnosus*, *Lb. paracasei*, *Leu. mesenteroides*, *Lac. lactis*, *P. pentosaceus* ve *E. faecium*'dan oluştuğu belirlenmiştir.

Marmara Bölgesi'nden temin edilen 53 adet Mihaliç peyniri örneğinin incelendiği çalışmada, bu peynirlerin LAB florası MALDI-TOF MS yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Toplam 467 izolat MALDI-TOF MS analizine tabi tutulmuş; izolatların 232'sinin (%49.67) *Lactobacillus*, 152'sinin (%32.54) *Enterococcus*, 71'inin (%15.20) *Streptococcus*, 7'sinin (%1.49) *Lactococcus* ve 5'inin (%1.07) *Pediococcus* cinsine ait olduğu belirlenmiştir (Ayanoglu, 2021).

Balıkesir ilinde geleneksel yöntemlerle üretilen klasik beyaz peynirin doğal mikroflorasında yer alan LAB'ın belirlenmesini amaçlayan çalışmada, ön tanımlama testleri sonucunda fenotipik olarak LAB özellikleri gösterdiği saptanan toplam 319 izolat MALDI-TOF MS tekniği kullanılarak tür ve cins düzeyinde tanımlanmıştır. Analiz sonuçları, baskın mikrofloranın sırasıyla

Streptococcus spp. (%33.54), *Enterococcus* spp. (%22.88) ve *Lactobacillus* spp. (%17.55) cinslerine ait LAB'dan oluştuğunu ortaya koymuştur. Tür düzeyinde yapılan değerlendirmede ise en baskın türlerin *Str. gallolyticus* (%12.85), *Lac. lactis* (%11.91), *E. faecalis* (%11.60) ve *P. acidilactici* (%11.29) olduğu belirlenmiştir (Ektik, 2022).

Kars Kaşar peynirinde yer alan termofilik LAB belirlenmesine yönelik olarak yürütülen çalışmada, Kars iline bağlı farklı köylerden temin edilen 15 adet peynir altı suyu örneği incelenmiştir. Elde edilen örneklerden izole edilen toplam 217 izolatin, Gram boyama ve katalaz testleri sonuçlarına göre LAB özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Bu izolatlar arasından seçilen 170 suşun tanımlanması amacıyla MALDI-TOF MS yöntemi kullanılmış ve izolatların 89'unun *Enterococcus* (%52.35), 57'sinin *Lactobacillus* (%33.53), 23'ünün *Streptococcus* (%13.53) ve birinin *Lactococcus* (%0.59) cinsine ait olduğunu ortaya konulmuştur (Oğuz ve Andiç, 2024).

Söylemez Milli ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geleneksel yöntemlerle basma ve salamura şeklinde üretilen Van Otlı peynirlerinin mikrobiyel kompozisyonunun belirlenmesinde MALDI-TOF MS tekniğinden yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, izole edilen suşların 25'inin *E. faecium*, 20'sinin *E. durans*, 25'inin *Lb. brevis* ve 15'inin *Lb. paracasei* olduğu tespit edilmiştir.

Demir ve Kaplan (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, koyun, inek ve keçi sütü kullanılarak üretilen üç farklı Edirne beyaz peynirinin 180 günlük olgunlaşma süreci boyunca laktik asit bakterisi (LAB) popülasyonundaki değişim ve çeşitlilik MALDI-TOF MS tekniği ile incelenmiştir. Araştırma kapsamında toplam 15 farklı LAB türüne ait 201 izolat tanımlanmıştır. Tanımlanan izolatlar arasında *E. faecium*'un %43.28'lik oranla tüm peynir örneklerinde baskın tür olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, olgunlaşma süresince *E. faecium*'un nispi bolluğunun keçi ve inek sütünden üretilen peynirlerde azaldığı; bu azalmanın ardından koyun sütü peynirinde *Lac. lactis*, inek sütü peynirinde *Str. macedonicus*, *Lb. plantarum* ve *Leu. mesenteroides*, keçi sütü peynirinde ise *Lb. plantarum* ve *Lb. curvatus* türlerinin öne çıktığı rapor edilmiştir.

İncelenen çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, peynirlerden izole edilen LAB topluluklarının kompozisyonunun yalnızca coğrafi bölgeye değil; kullanılan süt türüne, üretimde çiğ veya pastörize süt tercihinin, olgunlaşma

süresine ve üretim ölçeğine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Özellikle çiğ süttten üretilen geleneksel peynirlerde *Lactobacillus* ve *Enterococcus* tür çeşitliliğinin daha yüksek olduğu; pastörize süt kullanılan örneklerde ise starter kültürlerin etkisiyle *Lactococcus* ve *Streptococcus* türlerinin baskın hâle geldiği rapor edilmiştir. Bu bulgular, MALDI-TOF MS ile elde edilen tanımlama sonuçlarının yalnızca tür listeleri şeklinde değil, üretim teknolojisi ve ekolojik koşullar bağlamında bütüncül olarak yorumlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca yöntemin, geleneksel ve yöresel peynirlerdeki özgün mikrobiyel imzaların ortaya çıkarılmasında yüksek bir potansiyele sahip olduğu; ancak bu potansiyelin, yerel izolatları kapsayan referans spektrum kütüphaneleriyle desteklendiğinde daha güvenilir ve karşılaştırılabilir sonuçlar sağlayacağı anlaşılmaktadır.

6. GELECEK PERSPEKTİFİ

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, MALDI-TOF MS'in yalnızca tanımlama aracı olarak değil; aynı zamanda peynir mikrobiyotasının zamansal değişiminin izlenmesi, olgunlaşma sürecinin mikrobiyel dinamiklerle ilişkilendirilmesi ve fonksiyonel özelliklere sahip LAB suşlarının ön taranması amacıyla kullanılması beklenmektedir. Bu yaklaşım, geleneksel peynirlerin bilimsel temelli korunması ve sürdürülebilir üretim stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

7. SONUÇ

Bu bölümde ele alınan çalışmalarda, MALDI-TOF MS tekniğinin, peynirlerden izole edilen LAB hızlı, güvenilir ve yüksek doğrulukla tanımlanmasında güçlü bir analitik araç olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle geleneksel ve coğrafi işaretli peynirlerde baskın olan LAB topluluklarının cins ve tür düzeyinde karakterizasyonunda MALDI-TOF MS, klasik fenotipik yöntemlere kıyasla önemli üstünlükler sunmaktadır.

İncelenen literatür, yöntemin *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* ve *Streptococcus* cinslerine ait türlerin tanımlanmasında yüksek başarı sağladığını; farklı süt türleri, üretim teknikleri ve olgunlaşma koşullarının LAB çeşitliliği üzerinde belirleyici etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca MALDI-TOF MS'in kısa sürede çok sayıda numuneyi arka arkaya, hızlı ve verimli biçimde analiz edebilme

yeteneğini, çok sayıda izolatin kısa sürede analiz edilmesine olanak tanıyarak peynir mikrobiyotasının dinamik yapısının daha kapsamlı şekilde ortaya konmasını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, yöntemin tanımlama başarısının büyük ölçüde referans veri tabanlarının kapsamı ve güncelliğine bağlı olması, özellikle geleneksel ve yöresel peynirlerden izole edilen atipik veya nadir LAB suşlarının analizinde önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Bu durum, MALDI-TOF MS'in suş düzeyinde ayırım gücünün sınırlı olmasıyla birleştiğinde, coğrafi köken doğrulaması, izlenebilirlik ve özgün starter kültür geliştirme çalışmalarında moleküler tekniklerle desteklenmesini gerekli kılmaktadır.

Sonuç olarak, MALDI-TOF MS; peynir mikrobiyotası araştırmalarında hızlı tarama, dominant LAB türlerinin belirlenmesi ve potansiyel teknolojik veya fonksiyonel özelliklere sahip suşların seçilmesi açısından vazgeçilmez bir yöntemdir. Ancak yöntemin etkinliğinin artırılması için yerel ve ürün-spesifik referans spektrum kütüphanelerinin oluşturulması, örnek hazırlama ve veri değerlendirme protokollerinin standardize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşımlar, MALDI-TOF MS'in gıda mikrobiyolojisi ve süt ürünleri alanındaki uygulamalarını daha güvenilir, karşılaştırılabilir ve sürdürülebilir hâle getirecektir.

KAYNAKLAR

- Afshari, R., Pillidge, C.J., Dias, D.A., Osborn, A.M., Gill, H. (2020). Cheesomics: the future pathway to understanding cheese flavour and quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60 (1): 33-47. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1512471>
- Akimowicz, M., Bucka-Kolendo, J. (2020). MALDI-TOF MS–application in food microbiology. *Acta Biochimica Polonica* 67 (3): 327-332. https://doi.org/10.18388/abp.2020_5380
- Ashfaq, M.Y., Da'na, D.A., Al-Ghouti, M.A. (2022). Application of MALDI-TOF MS for identification of environmental bacteria: A review. *Journal of Environmental Management* 305: 114359. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114359>
- Ayanoğlu, E. (2021). *MALDI-TOF MS ve 16S rDNA dizi analizi ile geleneksel olarak üretilen mihaliç peynirinin mikrobiyotasının araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bursa
- Aydın, F., Ardiç, M. (2019). Farklı illerden toplanan sıkma peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal özellikleri. *Gıda* 44 (5): 826-836. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19088>
- Bettera, L., Levante, A., Bancalari, E., Bottari, B., Gatti, M. (2023). Lactic acid bacteria in cow raw milk for cheese production: Which and how many?. *Frontiers in Microbiology* 13: 1092224. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1092224>
- Blaya, J., Barzideh, Z., LaPointe, G. (2018). Symposium review: Interaction of starter cultures and nonstarter lactic acid bacteria in the cheese environment. *Journal of Dairy Science* 101 (4): 3611-3629. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13345>
- Carbonnelle, E., Mesquit, C., Bille, E., Day, N., Dauphin, B., Beretti, J.L., Fernoni, A., Gutmann, L., Nassif, X. (2011). MALDI-TOF mass spectrometry tools for bacterial identification in clinical microbiology laboratory. *Clinical Biochemistry* 44 (1): 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2010.06.017>
- Cassagne, C., Normand, A.C., L'Ollivier, C., Ranque, S., Piarroux, R. (2016). Performance of MALDI-TOF MS platforms for fungal

- identification. *Mycoses* 59 (11): 678-690.
<https://doi.org/10.1111/myc.12506>
- Cocolin, L., Gobbetti, M., Neviani, E., Daffonchio, D. (2016). Ensuring safety in artisanal food microbiology. *Nature Microbiology* 1 (10): 1-1.
<https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.171>
- Costa, M.M., Corbel, V., Ben Hamouda, R., Almeras, L. (2024). MALDI-TOF MS profiling and its contribution to mosquito-borne diseases: a systematic review. *Insects* 15 (9): 651.
<https://doi.org/10.3390/insects15090651>
- Demir, F.H., Kaptan, B. (2025). Identification of lactic acid bacteria isolated from the protected geographical indication Edirne white cheese using MALDI-TOF MS: Impact of ripening time and type of milk on microbial diversity. *International Dairy Journal* 162: 106156.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106156>
- Doan, N.T.L., Van Hoorde, K., Cnockaert, M., De Brandt, E., Aerts, M., Le Thanh, B., Vandamme, P. (2012). Validation of MALDI-TOF MS for rapid classification and identification of lactic acid bacteria, with a focus on isolates from traditional fermented foods in Northern Vietnam. *Letters in Applied Microbiology* 55 (4): 265-273.
<https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2012.03287.x>
- Dobranić, V., Kazazić, S., Filipović, I., Mikulec, N., Zdolec, N. (2016). Composition of raw cow's milk microbiota and identification of enterococci by MALDI-TOF MS-short communication. *Veterinarski Arhiv* 86 (4): 581-590.
- Dreier, M., Bettera, L., Berthoud, H., Fuchsmann, P., Tintrop, L.K., Bachmann, H.P., Guggisberg, D., Schmidt, R.S. (2025). How raw milk-based adjunct cultures influence microbial diversity in cheese. *International Dairy Journal* 166: 106249.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2025.106249>
- Dušková, M., Šedo, O., Kšicová, K., Zdráhal, Z., Karpíšková, R. (2012). Identification of lactobacilli isolated from food by genotypic methods and MALDI-TOF MS. *International Journal of Food Microbiology* 159 (2):107-114. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.07.029>
- Ektik, N. T. (2022). *Klasik (olgunlaştırılmış) beyaz peynir üretiminin farklı aşamalarından laktik asit bakterilerinin izolasyonu, identifikasyonu ve*

- teknolojik özelliklerinin belirlenmesi* (Doktora tezi) Balıkesir Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir
- Fox, P.F., Cogan, T.M., Guinee, T.P. (2017b). Factors That Affect the Quality of Cheese, Chap. 25. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology-Volume 2 (4th Edition) (Editors: McSweeney, P., Fox, P., Cotter, P. Everett, D.). Academic Press, the UK, 1302.
- Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017a). *Fundamentals of Cheese Science (2nd Edition)*. Springer, New York, USA, 799.
- Gallardo, J.M., Ortea, I., Carrera, M. (2013). Proteomics and its applications for food authentication and food-technology research. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 52: 135-141.
- Gantzias, C., Lappa, I.K., Aerts, M., Georgalaki, M., Manolopoulou, E., Papadimitriou, K., De Brandt, E., Tsakalidou, E., Vandamme, P. (2020). MALDI-TOF MS Profiling of Non-starter Lactic Acid Bacteria from Artisanal Cheeses of the Greek Island of Naxos. *International Journal of Food Microbiology* 323: 108586. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108586>
- Gatti, M., Bottari, B., Lazzi, C., Neviani, E., Mucchetti, G. (2014). Invited review: Microbial evolution in raw-milk, long-ripened cheeses produced using undefined natural whey starters. *Journal of Dairy Science* 97 (2): 573-591. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7187>
- Gobbetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R., Mancini, L., Fox, P.F. (2015). Pros and cons for using non-starter lactic acid bacteria (NSLAB) as secondary/adjunct starters for cheese ripening. *Trends in Food Science & Technology* 45 (2): 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.016>
- Gobbetti, M., Di Cagno, R., Calasso, M., Neviani, E., Fox, P.F., De Angelis, M. (2018). Drivers that establish and assembly the lactic acid bacteria biota in cheeses. *Trends in Food Science & Technology* 78: 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.010>
- Hayaloğlu, A.A., Özer, B. (2021). *Peynir Biliminin Temelleri*. Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Hendy, J., Rest, M., Aldenderfer, M., Warinner, C. (2021). Cultures of fermentation: Living with microbes: An introduction to supplement

24. *Current Anthropology* 62 (S24): S197-S206.
<https://doi.org/10.1086/715476>
- Kačániová, M., Felsöciová, S., Haščík, P., Nagyová, Ľ., Horská, E., Godočíková, L., Lopašovský, L., Terentjeva, M., Kunová, S. (2019). Lactic acid bacteria isolated from traditional cheese. *Scientific Papers Animal Science And Biotechnologies* 52 (2): 83-83.
- Kanak, E.K., Yılmaz, S.Ö., Mumcuoğlu, İ. (2018). Sakarya’da geleneksel olarak üretilen bazı yöresel peynirlerinden izole edilen laktik asit bakterilerinin MALDI-TOF MS Yöntemi ile tanımlanması ve antibiyotik dirençlerinin belirlenmesi. *Sakarya University Journal of Science* 22 (3) 1055-1062. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.346212>
- Kanak, E.K., Yılmaz, S.Ö. (2019). Maldi-tof mass spectrometry for the identification and detection of antimicrobial activity of lactic acid bacteria isolated from local cheeses. *Food Science and Technology* 39: 462-469. <https://doi.org/10.1590/fst.19418>
- Levante, A., Bertani, G., Bottari, B., Bernini, V., Lazzi, C., Gatti, M., Neviani, E. (2021). How new molecular approaches have contributed to shedding light on microbial dynamics in Parmigiano Reggiano cheese. *Current Opinion in Food Science* 38: 131-140.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.005>
- Lévesque, S., Dufresne, P.J., Soualhin, H., Domingo, M.C., Bekal, S., Lefebvre, B., Tremblay, C. (2015). A side by side comparison of Bruker Biotyper and VITEK MS: utility of MALDI-TOF MS technology for microorganism identification in a public health reference laboratory. *PloS one* 10 (12): e0144878.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144878>
- Li, D., Yi, J., Han, G., Qiao, L. (2022). MALDI-TOF mass spectrometry in clinical analysis and research. *ACS Measurement Science Au* 2 (5): 385-404. <https://doi.org/10.1021/acsmeasuresciau.2c00019>
- Murray, P.R. (2012). What is new in clinical microbiology—microbial identification by MALDI-TOF mass spectrometry: a paper from the 2011 William Beaumont Hospital Symposium on molecular pathology. *The Journal of Molecular Diagnostics* 14 (5): 419-423.
<https://doi.org/10.1016/j.jmoldx.2012.03.007>

- Nacef, M., Chevalier, M., Chollet, S., Drider, D., Flahaut, C. (2017). MALDI-TOF mass spectrometry for the identification of lactic acid bacteria isolated from a French cheese: The Maroilles. *International Journal of Food Microbiology* 247: 2-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.005>
- Nam, J.H., Cho, Y.S., Rackerby, B., Goddik, L., Park, S.H. (2021). Shifts of microbiota during cheese production: Impact on production and quality. *Applied Microbiology and Biotechnology* 105 (6): 2307-2318. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11201-5>
- Neviani, E., Gatti, M., Gardini, F., Levante, A. (2025). Microbiota of Cheese Ecosystems: A Perspective on Cheesemaking. *Foods* 14 (5): 830. <https://doi.org/10.3390/foods14050830>
- Nugroho, A.D.W., Kleerebezem, M., Bachmann, H. (2021). Growth, dormancy and lysis: the complex relation of starter culture physiology and cheese flavour formation. *Current Opinion in Food Science* 39: 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.005>
- Oğuz, Ş., Andiç, S. (2019). Peynir Üretiminde Kullanılan Starter Kültürler. *Gıda* 44 (6): 1174-1196. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19121>
- Oğuz, Ş., Andiç, S. (2024). Isolation, identification, and characterization of thermophilic lactic acid bacteria isolated from whey of Kars Kashar cheeses. *Antonie van Leeuwenhoek* 117 (1): 85. <https://doi.org/10.1007/s10482-024-01982-w>
- Pavlovic, M., Huber, I., Konrad, R., Busch, U. (2013). Application of MALDI-TOF MS for the identification of food borne bacteria. *The Open Microbiology Journal* 7: 135. <https://doi.org/10.2174/1874285801307010135>
- Raptakis, E., Shah, A.J., Gharbia, S.E., Shah, L.M., Francese, S., Tranfield, E. Y., Duncan, L., Shah, H.N. (2023). Progress in the Microbiological Applications of Mass Spectrometry: from Electron Impact to Soft Ionization Techniques, MALDI-TOF MS and Beyond. *Microbiological Identification using MALDI-TOF and Tandem Mass Spectrometry: Industrial and Environmental Applications*, 1-44. <https://doi.org/10.1002/9781119814085.ch1>
- Shah, H.N., Shah, A.J., Belgacem, O., Ward, M., Dekio, I., Selami, L., Duncan, L., Bruce, K., Xu, Z., Mkrchyan, H.V., Cave, R., Shah, L.M.N., Gharbia,

- S. E. (2021). MALDI-TOF MS and currently related proteomic technologies in reconciling bacterial systematics. *Trends in the Systematics of Bacteria and Fungi* 93-118. <https://doi.org/10.1079/9781789244984.0093>
- Sivri, G.T., Öksüz, Ö. (2019). Identification of *Propionibacterium* spp. isolated from mihaliç cheeses by MALDI-TOF MS. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 16 (2): 244-250. <https://doi.org/10.33462/jotaf.526431>
- Sogawa, K., Watanabe, M., Sato, K., Segawa, S., Ishii, C., Miyabe, A., Murata, S., Saito, T., Nomura, F. (2011). Use of the MALDI BioTyper system with MALDI-TOF mass spectrometry for rapid identification of microorganisms. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 400 (7): 1905-1911. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-4877-7>
- Söylemez Milli, N., Öndül Koç, E., Encu, Ş.B., Çakır, İ. (2025). Van Otlı Peynirinin MALDI-TOF MS yöntemi ile mikrobiyel karakterizasyonu ve seçili laktik asit bakterilerinin starter kültür potansiyelinin değerlendirilmesi. *Gıda* 50 (5): 780-797. <https://doi.org/10.15237/gida.GD25067>
- Topić Popović, N., Kazazić, S. P., Bojanić, K., Strunjak-Perović, I., Čož-Rakovac, R. (2023). Sample preparation and culture condition effects on MALDI-TOF MS identification of bacteria: A review. *Mass Spectrometry Reviews* 42 (5): 1589-1603. <https://doi.org/10.1002/mas.21739>
- Walstra, P., Wouters, J.T.M., Geurts, T.J. (2006). *Dairy science and technology* (2nd ed.). CRC Press.
- Wieser, A., Schneider, L., Jung, J., Schubert, S. (2012). MALDI-TOF MS in microbiological diagnostics-identification of microorganisms and beyond (mini review). *Applied Microbiology and Biotechnology* 93 (3): 965-974. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3783-4>
- Yeluri Jonnala, B.R., McSweeney, P.L., Sheehan, J.J., Cotter, P.D. (2018). Sequencing of the cheese microbiome and its relevance to industry. *Frontiers in Microbiology* 9: 1020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01020>

BÖLÜM 2

PROBİYOTİKLERİN SÜT ÜRÜNLERİNDE KULLANIMI

Doç. Dr. Mubin KOYUNCU¹

Nurgül YILMAZ²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156299>

¹ Iğdır Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Iğdır, Türkiye. mubin.koyuncu@igdir.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1798-8943

² Iğdır Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Mühendisliği A.B.D., Iğdır, Türkiye. ny1460569@gmail.com, Orcid ID: 0009-0007-0029-0094

1. GİRİŞ

Probiyotikler, son yıllarda gıda bilimleri ve beslenme alanında giderek artan bir ilgi odağı haline gelmiştir. Genel kabul gören tanıma göre probiyotikler, yeterli miktarda alındıklarında konakçı sağlığı üzerinde faydalı etki gösteren canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır (Zendebodi, 2020). Bu mikroorganizmaların özellikle gastrointestinal sistem sağlığının korunması, bağışıklık sisteminin desteklenmesi ve bağırsak mikrobiyotası dengesinin düzenlenmesi üzerindeki rolleri, fonksiyonel gıdalar kapsamında değerlendirilmesini sağlamıştır. Günümüzde probiyotikler yalnızca diyet destekleri şeklinde değil, aynı zamanda çeşitli gıda ürünleri aracılığıyla da tüketiciye sunulmaktadır.

Süt ve süt ürünleri, probiyotik mikroorganizmaların taşınması ve tüketiciye ulaştırılması açısından en uygun gıda matrislerinden biri olarak kabul edilmektedir. Sütün doğal bileşimi; proteinler, yağ globülleri, laktoz ve mineral maddeler gibi bileşenler sayesinde probiyotik bakteriler için koruyucu bir ortam oluşturmakta ve bu mikroorganizmaların üretim, depolama ve gastrointestinal sistemden geçiş sırasında canlılıklarını sürdürmelerine katkı sağlamaktadır (Koyuncu, 2025). Bu özellikleri nedeniyle yoğurt, peynir, kefir ve fermente süt içecekleri gibi ürünler, probiyotik uygulamaların en yaygın olarak gerçekleştirildiği süt ürünleri arasında yer almaktadır.

Fermente süt ürünleri, probiyotiklerin fonksiyonel etkilerinin ortaya konulmasında özel bir öneme sahiptir. Fermantasyon süreci sırasında probiyotik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen metabolik faaliyetler, ürünün duyuşal özelliklerini geliştirmenin yanı sıra çeşitli biyoaktif bileşiklerin oluşumuna da katkı sağlamaktadır. Bu biyoaktif bileşikler arasında kısa zincirli yağ asitleri, biyolojik olarak aktif peptitler ve organik asitler yer almakta; bu durum probiyotikli süt ürünlerinin antioksidan, antihipertansif ve antimikrobiyal özellikler kazanmasına olanak tanımaktadır (Hammam ve Ahmed, 2019).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, probiyotiklerin farklı süt türleri kullanılarak üretilen ürünlerdeki davranışlarının değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymuştur. İnek sütüne ek olarak keçi, koyun ve manda sütü gibi alternatif süt kaynakları, farklı yağ ve protein kompozisyonları nedeniyle probiyotik canlılığı ve fonksiyonelliği üzerinde belirleyici etkiler oluşturabilmektedir (da Silva ve ark., 2020; Sameer ve ark., 2020). Ayrıca

prebiyotik ve sinbiyotik yaklaşımlar ile mikroenkapsülasyon gibi teknolojik uygulamalar, probiyotiklerin süt ürünlerinde stabilitesini ve raf ömrü boyunca canlılığını artırmaya yönelik etkili stratejiler olarak öne çıkmaktadır (Frakolaki ve ark., 2021).

Bu kitap bölümünde, probiyotiklerin süt ürünlerinde kullanımına ilişkin güncel bilimsel çalışmalar derlenerek ele alınmıştır. Yoğurt, peynir, kefir ve fermente süt içecekleri başta olmak üzere farklı süt ürünlerinde probiyotik uygulamaları, teknolojik yaklaşımlar ve fonksiyonel etkiler gıda bilimi perspektifinden değerlendirilmektedir. Bölümün amacı, probiyotikli süt ürünlerinin geliştirilmesi ve değerlendirilmesine yönelik bilimsel bir çerçeve sunmak ve bu alandaki mevcut bilgi birikimini bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymaktır.

2. PROBİYOTİKLER VE SÜT MATRİKSİ

Süt ve süt ürünleri, probiyotik mikroorganizmaların gıda yoluyla tüketiciye ulaştırılmasında en yaygın kullanılan ve en uygun matrisler arasında yer almaktadır. Probiyotiklerin fonksiyonel etkilerini gösterebilmeleri, yalnızca mikroorganizmanın türüne değil, aynı zamanda içerisinde bulunduğu gıda matrisinin fizikokimyasal özelliklerine de bağlıdır. Bu bağlamda süt matrisi; bileşimi, tamponlama kapasitesi ve besleyici içeriği sayesinde probiyotik bakterilerin canlılığını korumasına ve fonksiyonel etkinliğinin sürdürülmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

2.1. Probiyotik mikroorganizmaların genel özellikleri

Gıdalarda kullanılan probiyotik mikroorganizmalar çoğunlukla laktik asit bakterileri ve bazı maya türlerinden oluşmaktadır. Özellikle *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* ve *Streptococcus* cinslerine ait türler, süt ve süt ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu mikroorganizmaların probiyotik olarak kabul edilebilmesi için asidik mide ortamına ve safra tuzlarına karşı direnç gösterebilmesi, gastrointestinal sistemden geçiş sırasında canlılığını koruyabilmesi ve konakçı üzerinde olumlu etki oluşturabilmesi gerekmektedir (Guo ve ark., 2023; Li ve ark., 2025).

Süt ürünlerinden izole edilen probiyotik bakterilerin, aynı matriste yeniden kullanıldıklarında daha yüksek adaptasyon yeteneği gösterdiği bildirilmektedir. Bu durum, süt kaynaklı probiyotiklerin süt ürünlerinde daha

stabil bir davranış sergilemesine ve ürün raf ömrü boyunca canlı hücre sayısının korunmasına katkı sağlamaktadır (Sellam ve ark., 2025).

2.2. Süt ve süt ürünlerinin probiyotik taşıyıcı olarak avantajları

Süt matriksi, probiyotik mikroorganizmalar için doğal ve besleyici bir ortam sunmaktadır. Süt proteinleri, özellikle kazein miselleri, probiyotik hücreler için fiziksel bir koruma sağlarken; süt yağı, mikroorganizmaların asidik koşullara karşı direncini artırabilmektedir. Ayrıca laktoz, probiyotik bakteriler için fermente edilebilir bir karbonhidrat kaynağı olarak görev yapmaktadır. Bu bileşenlerin birlikte bulunması, süt ürünlerini probiyotik taşıyıcı olarak üstün kılmaktadır (Ali ve ark., 2022).

Süt ürünlerinin yüksek tamponlama kapasitesi, probiyotiklerin mide asidine karşı korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar, süt bazlı ürünlerde bulunan probiyotiklerin, gastrointestinal sistemden geçiş sırasında daha yüksek oranda canlı kaldığını ortaya koymuştur. Bu durum özellikle yoğurt, peynir ve kefir gibi fermente ürünlerde daha belirgin olarak gözlenmektedir (da Silva ve ark., 2020).

2.3. Süt ürünlerinde probiyotik canlılığını etkileyen faktörler

Süt ürünlerinde probiyotik canlılığı; üretim koşulları, fermentasyon süreci, depolama sıcaklığı ve raf ömrü boyunca meydana gelen fizikokimyasal değişimler gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Düşük pH değerleri, oksijen varlığı ve uzun süreli depolama, probiyotik hücre sayısında azalmaya neden olabilmektedir. Bununla birlikte, ürün formülasyonunda yapılan değişiklikler ve uygun teknolojik yaklaşımlar sayesinde bu olumsuz etkiler azaltılabilmektedir (Çevik ve ark., 2024).

Farklı süt türlerinin kullanılması da probiyotik canlılığı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Keçi, koyun ve manda sütü gibi alternatif sütlerin, farklı yağ asidi profilleri ve protein yapıları nedeniyle probiyotik bakterilerin canlılık ve dayanıklılığını artırabildiği bildirilmektedir (Sameer ve ark., 2020). Ayrıca mikroenkapsülasyon ve dondurarak kurutma gibi teknolojik uygulamalar, probiyotiklerin depolama süresince stabilitesini artırmaya yönelik etkili yöntemler arasında yer almaktadır (Frakolaki ve ark., 2021).

3. YOĞURTTA PROBİYOTİK KULLANIMI

Yoğurt, dünya genelinde en yaygın tüketilen fermente süt ürünlerinden biri olması nedeniyle probiyotik uygulamaların en yoğun şekilde gerçekleştirildiği ürünlerin başında gelmektedir. Yoğurdun geleneksel starter kültürler (*Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) ile birlikte probiyotik mikroorganizmaların gelişimine uygun bir ortam sunması, bu ürünü fonksiyonel gıda geliştirme açısından stratejik bir konuma taşımaktadır. Yoğurt matriksi, yüksek besin değeri ve tamponlama kapasitesi sayesinde probiyotiklerin üretim ve depolama sürecinde canlılığını korumasına katkı sağlamaktadır.

3.1. Probiyotikli yoğurt üretim yaklaşımları

Probiyotikli yoğurt üretiminde temel yaklaşım, geleneksel starter kültürlerin yanı sıra uygun probiyotik suşların ürüne dahil edilmesine dayanmaktadır. Ancak starter kültürler ile probiyotik bakteriler arasındaki etkileşimler, probiyotik canlılığı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bazı probiyotik suşların starter kültürlerle birlikte kullanıldığında daha hızlı asidifikasyona neden olduğu, bazılarının ise fermentasyon sürecini yavaşlattığı bildirilmektedir (Sun ve ark., 2024).

Fermentasyon sıcaklığı, inkübasyon süresi ve başlangıç kültür yoğunluğu gibi üretim parametreleri, probiyotikli yoğurtların kalite özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Uygun koşullarda gerçekleştirilen fermentasyon, probiyotik hücre sayısının yeterli düzeyde olmasını sağlarken; aşırı asitlik gelişimi, probiyotiklerin canlılığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Yüksel ve Bakırcı, 2014).

3.2. Farklı süt türleriyle üretilen probiyotikli yoğurtlar

Probiyotikli yoğurt üretiminde yaygın olarak inek sütü kullanılmakla birlikte, son yıllarda keçi, koyun ve manda sütü gibi alternatif süt türlerine olan ilgi artmıştır. Bu sütlerin farklı yağ ve protein kompozisyonları, probiyotik bakterilerin gelişimi ve dayanıklılığı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Özellikle manda sütüyle üretilen yoğurtlarda, yüksek toplam kuru madde ve yağ içeriğinin probiyotik canlılığını artırdığı bildirilmektedir (Salman ve ark., 2024).

Keçi ve koyun sütüyle üretilen probiyotikli yoğurtlar ise daha düşük α 1-kazein içeriği ve farklı yağ asidi profilleri nedeniyle sindirilebilirlik açısından

avantaj sunmakta ve probiyotik bakterilerin canlılığını destekleyebilmektedir (Terzioğlu ve Bakırcı, 2024). Bu özellikler, farklı süt türlerinin probiyotikli yoğurt üretiminde fonksiyonel bir alternatif olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

3.3. Yoğurtta probiyotik canlılığı ve depolama süreci

Probiyotikli yoğurtlarda hedeflenen temel kriterlerden biri, raf ömrü boyunca yeterli düzeyde canlı probiyotik hücre sayısının korunmasıdır. Depolama sürecinde pH düşüşü, oksijen varlığı ve soğuk depolama koşulları, probiyotik canlılığını etkileyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalar, depolama süresinin uzamasıyla birlikte bazı probiyotik suşlarda hücre sayısında azalma görülebildiğini ortaya koymuştur (Çevik ve ark., 2024).

Bununla birlikte, uygun formülasyon stratejileri ve teknolojik yaklaşımlar sayesinde probiyotik canlılığı korunabilmektedir. Prebiyotik ilavesi, mikroenkapsülasyon uygulamaları ve süt bileşiminin optimize edilmesi, depolama sürecinde probiyotik stabilitesini artıran yöntemler arasında yer almaktadır (Sayed ve Mabrouk, 2023).

3.4. Yoğurtlarda fonksiyonel ve biyoaktif özellikler

Probiyotikli yoğurtlar, yalnızca canlı mikroorganizma içermeleriyle değil, aynı zamanda çeşitli fonksiyonel ve biyoaktif özellikler kazanmalarıyla da ön plana çıkmaktadır. Fermantasyon sürecinde probiyotik mikroorganizmalar tarafından üretilen biyolojik olarak aktif peptitler, yoğurtların antihipertansif ve antioksidan potansiyelini artırabilmektedir (Erkaya Kotan, 2020).

Ayrıca bitkisel katkılar ve yan ürünlerin kullanımıyla geliştirilen probiyotikli yoğurtlarda, antioksidan kapasite ve duyuşal özelliklerin iyileştirildiği bildirilmektedir. Meyve posaları, lif kaynakları ve doğal pigmentler içeren probiyotikli yoğurtlar, sinbiyotik bir yapı kazanarak hem probiyotik canlılığını desteklemekte hem de ürünün fonksiyonel değerini artırmaktadır (Sah ve ark., 2016; Zahid ve ark., 2022).

4. PEYNİRDE PROBİYOTİK KULLANIMI

Peynir, yapısal özellikleri ve üretim teknolojisi nedeniyle probiyotik mikroorganizmalar için oldukça uygun bir taşıyıcı matriks olarak

değerlendirilmektedir. Yoğurda kıyasla daha yüksek kuru madde içeriği, nispeten daha stabil pH profili ve yüksek tamponlama kapasitesi, peynirleri probiyotik canlılığının korunması açısından avantajlı hale getirmektedir. Ayrıca peynirlerin olgunlaşma süreci, probiyotik mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini sürdürmelerine ve ürünün fonksiyonel özelliklerinin gelişmesine olanak tanımaktadır.

4.1. Peynirin probiyotik taşıyıcı olarak önemi

Peynir matriksinin yoğun protein ve yağ yapısı, probiyotik mikroorganizmalar için fiziksel ve kimyasal bir koruma sağlamaktadır. Kazein ağı ve yağ globülleri, probiyotik hücrelerin asidik koşullara ve çevresel stres faktörlerine karşı daha dirençli olmasına katkı sunmaktadır. Bu özellikler, peynirlerin gastrointestinal sistemden geçiş sırasında probiyotik canlılığını koruma potansiyelini artırmaktadır (Hammam ve ark., 2019).

Ayrıca peynirlerdeki nispeten düşük oksijen geçirgenliği, oksijene duyarlı probiyotik bakteriler için uygun bir mikro ortam oluşturmaktadır. Bu durum, peynirlerin probiyotik taşıyıcı olarak yoğurt ve fermente süt içeceklerine kıyasla bazı durumlarda daha üstün performans göstermesine neden olabilmektedir (Araujo ve ark., 2023).

4.2. Farklı peynir çeşitlerinde probiyotik uygulamalar

Probiyotik uygulamalar, peynirin türüne bağlı olarak farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Taze ve yumuşak peynirler, kısa üretim ve depolama süreleri nedeniyle probiyotiklerin canlılığını yüksek düzeyde koruyabilmektedir. Ricotta ve yumuşak peynirlerde gerçekleştirilen çalışmalar, probiyotik hücre sayısının raf ömrü boyunca istenen düzeylerde tutulabildiğini göstermektedir (Sameer ve ark., 2020).

Yarı sert ve sert peynirlerde ise olgunlaşma süresi, probiyotik mikroorganizmaların davranışı üzerinde belirleyici bir faktördür. Olgunlaşma sürecinde su aktivitesinin azalması ve tuz içeriğinin artması, bazı probiyotik suşlar için stres oluşturabilmektedir. Bununla birlikte uygun suş seçimi ve üretim koşullarının optimize edilmesiyle probiyotiklerin bu tür peynirlerde de canlılığını koruyabildiği bildirilmektedir (Mukhtar ve ark., 2020).

4.3. Olgunlaşma sürecinde probiyotik davranışı

Peynirlerin olgunlaşma süreci, probiyotik mikroorganizmaların metabolik aktivitesi açısından kritik bir dönemdir. Bu süreçte probiyotikler, proteinlerin parçalanması sonucu oluşan peptit ve amino asitlerin üretimine katkıda bulunabilmekte ve böylece peynirin biyokimyasal ve duyuşsal özelliklerini etkilemektedir. Bazı çalışmalarda, probiyotik suşların olgunlaşma sırasında canlılığını koruduğu ve ürünün tat ve aroma profilini olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir (Hammam ve ark., 2019).

Bununla birlikte, uzun olgunlaşma süreleri boyunca tuz konsantrasyonu ve düşük su aktivitesi, probiyotik canlılığında azalmaya neden olabilmektedir. Bu olumsuz etkiyi azaltmak amacıyla mikroenkapsülasyon ve yüzey kaplama gibi teknolojik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Özellikle probiyotik kaplama sistemleri, olgun peynirlerde probiyotik canlılığının korunmasına yönelik umut verici sonuçlar sunmaktadır (Olivo ve ark., 2020).

4.4. Peynirlerde biyokontrol ve gıda güvenliği

Probiyotikli peynirlerin önemli avantajlarından biri, biyokontrol potansiyelleridir. Probiyotik mikroorganizmalar, patojen bakterilerin gelişimini baskılayarak peynirlerin mikrobiyal güvenliğine katkı sağlamaktadır. Laktik asit, bakteriyosinler ve diğer antimikrobiyal bileşiklerin üretimi sayesinde *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* gibi patojenlerin gelişimi sınırlandırılabilir (Kamal, 2018).

Bunun yanı sıra, probiyotiklerin aflatoksin M1 ve ağır metal kalıntılarının bağlanması ve biyoyararlanımının azaltılması üzerindeki potansiyelleri, peynirlerin gıda güvenliği açısından değerini artırmaktadır. Yumuşak peynirlerde probiyotik kokteyllerin kullanımıyla ağır metal toksisitesinin azaltılabildiği ve ürün güvenliğinin artırıldığı bildirilmektedir (Hamad ve ark., 2025).

5. KEFİR VE FERMENTE SÜT İÇECEKLERİNDE PROBİYOTİKLER

Kefir ve fermente süt içecekleri, sahip oldukları zengin ve karmaşık mikrobiyal yapıları nedeniyle probiyotik uygulamalar açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu ürünler, laktik asit bakterileri ile birlikte maya türlerini de içeren doğal bir mikrobiyal ekosisteme sahip olmaları sayesinde, yalnızca probiyotik canlılığı değil aynı zamanda fonksiyonel çeşitlilik açısından da

dikkat çekmektedir. Özellikle kefir, geleneksel üretim sürecinde oluşan simbiyotik mikroflora yapısı ile fonksiyonel süt ürünleri arasında ayrıcalıklı bir konuma sahiptir.

5.1. Kefirin mikrobiyal yapısı ve probiyotik potansiyeli

Kefir, laktik asit bakterileri, asetik asit bakterileri ve maya türlerinden oluşan kompleks bir mikrobiyal konsorsiyum içermektedir. Bu yapı, kefirin probiyotik potansiyelini artırmakta ve gastrointestinal sistem üzerinde çok yönlü etkiler oluşturabilmektedir. Kefir mikroflorasında yer alan *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* ve *Saccharomyces* türleri, probiyotik özellikler sergileyerek bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesine katkı sağlamaktadır (de Souza ve ark., 2024).

Kefirin doğal fermentasyon süreci sırasında oluşan organik asitler, biyoaktif peptitler ve polisakkaritler, ürünün fonksiyonel değerini artırmaktadır. Bu bileşikler, kefirin antimikrobiyal ve antioksidan özellikler kazanmasına katkıda bulunmakta ve kefir fonksiyonel bir probiyotik içecek haline getirmektedir (Taheur ve ark., 2023).

5.2. Fermente süt içeceklerinde probiyotik canlılığı

Fermente süt içecekleri, yoğurt ve kefire kıyasla daha düşük viskoziteye sahip olmaları nedeniyle probiyotik hücrelerin dağılımı açısından avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, sıvı matris yapısı ve nispeten düşük tamponlama kapasitesi, probiyotik canlılığı üzerinde sınırlayıcı bir etki oluşturabilmektedir. Bu nedenle fermente süt içeceklerinde probiyotik canlılığının korunması, ürün formülasyonu ve üretim koşullarının dikkatli bir şekilde optimize edilmesini gerektirmektedir (Saedi ve ark., 2024).

Depolama süresince pH değişimleri, oksijen teması ve sıcaklık dalgalanmaları, probiyotik hücre sayısında azalmaya neden olabilmektedir. Yapılan çalışmalar, uygun probiyotik suş seçimi ve üretim parametrelerinin düzenlenmesiyle fermente süt içeceklerinde yeterli düzeyde probiyotik canlılığının sağlanabileceğini göstermektedir (Yuan ve ark., 2025).

5.3. Sinbiyotik kefir ve fermente süt içecekleri

Son yıllarda kefir ve fermente süt içeceklerinde sinbiyotik yaklaşımların kullanımı artış göstermiştir. Prebiyotik bileşenlerin probiyotiklerle birlikte kullanılması, probiyotik hücrelerin gelişimini ve canlılığını desteklemekte ve

ürünün fonksiyonel etkilerini güçlendirmektedir. Bitkisel kaynaklı lifler, meyve posaları ve doğal antioksidanlar içeren sinbiyotik kefir ve içeceklerin, bağırsak mikrobiyotası üzerine olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Graça ve ark., 2025).

Ayrıca farklı süt türleri kullanılarak üretilen sinbiyotik kefirlerde, duysal özelliklerin ve probiyotik canlılığının iyileştirilebildiği gösterilmiştir. İnek ve keçi sütü bazlı kefirlerin karşılaştırıldığı çalışmalarda, süt türünün probiyotik davranışı ve ürün kalitesi üzerinde belirleyici bir faktör olduğu ortaya konulmuştur (Buran ve ark., 2025).

6. TEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR VE YENİ STRATEJİLER

Probiyotiklerin süt ve süt ürünlerinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi, üretimden tüketime kadar geçen süreçte canlılıklarının korunmasına bağlıdır. Bu nedenle son yıllarda probiyotik stabilitesini artırmaya yönelik çeşitli teknolojik yaklaşımlar geliştirilmiş ve süt ürünleri formülasyonlarına entegre edilmiştir. Bu yaklaşımlar hem ürün kalitesinin korunmasını hem de probiyotiklerin fonksiyonel etkilerinin sürdürülebilirliğini hedeflemektedir.

6.1. Mikroenkapsülasyon teknikleri

Mikroenkapsülasyon, probiyotik mikroorganizmaların çevresel stres faktörlerine karşı korunmasını sağlayan en etkili teknolojik yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemde probiyotik hücreler, biyopolimer bazlı kapsül materyalleri içerisinde hapsedilerek asidik ortam, oksijen ve depolama koşullarına karşı daha dirençli hale getirilmektedir. Alginat, nişasta ve protein bazlı sistemler, süt ürünlerinde probiyotik mikroenkapsülasyonu için yaygın olarak kullanılan materyaller arasında yer almaktadır (Frakolaki ve ark., 2021).

Yapılan çalışmalar, mikroenkapsüle edilmiş probiyotiklerin yoğurt, peynir ve fermente süt ürünlerinde raf ömrü boyunca daha yüksek canlılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle alginat ve nişasta kombinasyonlarıyla hazırlanan kapsüllerin, probiyotiklerin simüle edilmiş mide koşullarına karşı direncini artırdığı bildirilmektedir (El Sayed ve ark., 2023). Ayrıca spray-chilling ve dondurarak kurutma gibi ileri tekniklerin, işlenmiş peynir ve fermente süt ürünlerinde probiyotik stabilitesini iyileştirdiği gösterilmiştir (Silva ve ark., 2022).

6.2. Prebiyotik ve sinbiyotik yaklaşımlar

Prebiyotiklerin probiyotiklerle birlikte kullanıldığı sinbiyotik ürünler, probiyotik canlılığının artırılması ve fonksiyonel etkinin güçlendirilmesi açısından önemli bir strateji sunmaktadır. Prebiyotik lifler, probiyotik bakteriler için fermente edilebilir substrat görevi görerek hücrelerin gelişimini ve metabolik aktivitesini desteklemektedir. Süt ürünlerine eklenen meyve posaları, bitkisel lifler ve yan ürünlerin, probiyotik canlılığı ve ürün fonksiyonelliği üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Delgado-Fernandez ve ark., 2019).

Sinbiyotik yaklaşımların özellikle yoğurt ve kefir gibi fermente ürünlerde probiyotik stabilitesini artırdığı ve ürünlerin antioksidan kapasitesini güçlendirdiği rapor edilmiştir. Meyve kabukları, bitkisel tozlar ve doğal pigmentler içeren sinbiyotik süt ürünlerinin hem duyuşsal hem de fonksiyonel özellikler açısından avantaj sağladığı görülmektedir (Zahid ve ark., 2022).

6.3. Endüstriyel üretim ve raf ömrü optimizasyonu

Probiyotik içeren süt ürünlerinin endüstriyel ölçekte üretimi, probiyotik canlılığını etkileyen birçok parametrenin eş zamanlı olarak kontrol edilmesini gerektirmektedir. Isıl işlem uygulamaları, fermantasyon süresi, dolum koşulları ve depolama sıcaklığı, probiyotik stabilitesini belirleyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Uygun proses optimizasyonu sağlanmadığında, üretim sonrası probiyotik hücre sayısında önemli kayıplar meydana gelebilmektedir (Brito ve ark., 2024).

Son yıllarda ultrason uygulamaları, kontrollü fermantasyon teknikleri ve oksijen geçirgenliği düşük ambalaj materyalleri, probiyotiklerin raf ömrü boyunca canlılığını korumaya yönelik yenilikçi yaklaşımlar arasında değerlendirilmektedir. Bu teknolojilerin uygun şekilde uygulanması, probiyotikli süt ürünlerinin ticari başarısını ve tüketiciye sunulan fonksiyonel değeri artırmaktadır (Araujo ve ark., 2023).

7. PROBİYOTİKLİ SÜT ÜRÜNLERİNİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Probiyotikli süt ürünleri, düzenli tüketimle birlikte insan sağlığı üzerinde çok yönlü olumlu etkiler gösterebilmektedir. Bu etkiler, probiyotik mikroorganizmaların gastrointestinal sistemdeki davranışları, metabolik faaliyetleri ve konakçı ile olan etkileşimleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Süt

matriksi içerisinde taşınan probiyotiklerin canlılığını daha yüksek oranda koruması, bu ürünlerin sağlık etkilerinin daha belirgin şekilde gözlenmesine olanak tanımaktadır.

7.1. Sindirim sistemi ve bağırsak mikrobiyotası üzerine etkiler

Probiyotikli süt ürünlerinin en iyi bilinen etkileri, sindirim sistemi ve bağırsak mikrobiyotası üzerindedir. Probiyotik mikroorganizmalar, bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesine katkı sağlayarak patojen mikroorganizmaların kolonizasyonunu baskılayabilmektedir. Yoğurt, kefir ve fermente süt ürünleri aracılığıyla alınan probiyotiklerin, bağırsak epitel bütünlüğünü desteklediği ve sindirim fonksiyonlarını iyileştirdiği bildirilmektedir (Aljutaily ve ark., 2020).

Ayrıca probiyotikli süt ürünlerinin düzenli tüketiminin, kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini artırarak bağırsak sağlığını desteklediği ve bağırsak ortamının pH dengesinin korunmasına katkı sağladığı rapor edilmiştir. Bu durum, özellikle fermente süt ürünlerinin prebiyotik ve sinbiyotik uygulamalarla zenginleştirilmesi halinde daha belirgin hale gelmektedir (Wang ve ark., 2023).

7.2. Metabolik ve fonksiyonel etkiler

Probiyotikli süt ürünleri, metabolik sağlık üzerinde de önemli etkilere sahiptir. Fermantasyon sürecinde probiyotik mikroorganizmalar tarafından üretilen biyoaktif peptitlerin, antihipertansif etki göstererek anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) aktivitesini inhibe edebildiği bildirilmektedir. Bu etki, özellikle probiyotikli yoğurt ve kefir ürünlerinde yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur (Erkaya Kotan, 2020).

Bunun yanı sıra probiyotikli süt ürünlerinin antioksidan kapasiteyi artırdığı, oksidatif stresin azaltılmasına katkı sağladığı ve metabolik dengeyi desteklediği rapor edilmiştir. Bitkisel katkılarla zenginleştirilen probiyotikli süt ürünlerinde bu etkilerin daha belirgin olduğu ve sinbiyotik yaklaşımların fonksiyonel etkiyi güçlendirdiği belirtilmektedir (Graça ve ark., 2025).

7.3. Bağışıklık sistemi ile ilişkili etkiler

Probiyotikli süt ürünlerinin bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri, probiyotik mikroorganizmaların immün hücrelerle olan etkileşimleri aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. Probiyotiklerin, bağırsak mukozasında lokal

bağışıklık yanıtını modüle ederek immün sistem fonksiyonlarını desteklediği bildirilmektedir. Düzenli probiyotikli süt ürünü tüketiminin, enfeksiyonlara karşı direncin artmasına ve inflamatuvar yanıtların dengelenmesine katkı sağladığı rapor edilmiştir (Tesfaye ve Hailu, 2019).

Ayrıca bazı probiyotik suşların antimikrobiyal bileşikler üreterek patojen mikroorganizmaların gelişimini baskıladığı ve bu durumun bağışıklık sistemi üzerindeki dolaylı etkileri güçlendirdiği ifade edilmektedir. Bu özellikler, probiyotikli süt ürünlerinin koruyucu ve destekleyici gıda bileşenleri olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır (Kamal ve ark., 2018).

8. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Probiyotiklerin süt ürünlerinde kullanımı, gıda bilimleri alanında hem teknolojik hem de fonksiyonel açıdan önemli bir araştırma ve uygulama alanı olarak öne çıkmaktadır. Bu bölümde ele alınan çalışmalar, süt ve süt ürünlerinin probiyotik mikroorganizmalar için uygun bir taşıyıcı matriks sunduğunu ve probiyotik canlılığının korunması açısından önemli avantajlar sağladığını ortaya koymaktadır. Yoğurt, peynir, kefir ve fermente süt içecekleri gibi ürünler, probiyotiklerin düzenli ve güvenli bir şekilde tüketiciye ulaştırılmasında etkili gıda sistemleri olarak değerlendirilmektedir.

Yoğurt ve peynir başta olmak üzere farklı süt ürünlerinde gerçekleştirilen probiyotik uygulamalar, ürünün fizikokimyasal yapısına ve üretim teknolojisine bağlı olarak değişken sonuçlar ortaya koymaktadır. Peynirlerin yüksek tamponlama kapasitesi ve yoğun matriks yapısı, probiyotik canlılığının korunması açısından önemli avantajlar sunarken; yoğurt ve fermente süt içeceklerinde uygun formülasyon ve üretim koşullarının sağlanması, probiyotik stabilitesi açısından belirleyici olmaktadır. Bu durum, probiyotikli süt ürünlerinin geliştirilmesinde ürün bazlı yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Teknolojik açıdan değerlendirildiğinde, mikroenkapsülasyon, sinbiyotik formülasyonlar ve yenilikçi proses uygulamaları, probiyotik canlılığını artırmaya yönelik etkili stratejiler olarak dikkat çekmektedir. Alginat, nişasta ve protein bazlı kapsülleme sistemleri ile dondurarak kurutma ve spray-chilling gibi tekniklerin, probiyotiklerin depolama süresince ve gastrointestinal sistemden geçiş sırasında canlılığını korumada önemli katkılar sağladığı görülmektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin endüstriyel ölçekte

uygulanabilirliği ve maliyet-etkinliği, gelecekteki çalışmaların odak noktalarından biri olmaya devam edecektir.

Probiyotikli süt ürünlerinin sağlık üzerine etkileri değerlendirildiğinde, sindirim sistemi sağlığının desteklenmesi, bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi, metabolik fonksiyonların iyileştirilmesi ve bağışıklık sistemi yanıtlarının modülasyonu gibi çok yönlü faydalar ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu etkilerin probiyotik suşa, tüketim miktarına ve ürün matriksine bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda ürün-suş-matriks etkileşimlerinin daha ayrıntılı şekilde ele alınması gerekmektedir.

Gelecek perspektifleri açısından bakıldığında, probiyotikli süt ürünlerinin geliştirilmesinde kişiselleştirilmiş beslenme yaklaşımları, alternatif süt kaynaklarının kullanımı ve bitkisel bileşenlerle zenginleştirilmiş sinbiyotik ürünler ön plana çıkmaktadır. Ayrıca probiyotikli süt ürünlerinin yalnızca fonksiyonel gıdalar olarak değil, aynı zamanda gıda güvenliği ve biyokontrol açısından da değerlendirilebileceği görülmektedir. Bu kapsamda, probiyotiklerin patojen baskılama, toksin bağlama ve ürün güvenliğini artırma potansiyelleri, gelecekte daha geniş ölçekli çalışmalarla desteklenmelidir.

Sonuç olarak, probiyotiklerin süt ürünlerinde kullanımı, gıda bilimi ve teknolojisi açısından yüksek katma değer sunan bir uygulama alanıdır. Bilimsel veriler ışığında geliştirilecek yenilikçi ürünler ve teknolojik yaklaşımlar hem tüketici sağlığının desteklenmesine hem de fonksiyonel süt ürünleri pazarının sürdürülebilir şekilde büyümesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ali, M. A., Kamal, M. M., Rahman, M. H., Siddiqui, M. N., Haque, M. A., Saha, K. K., & Rahman, M. A. (2022). Functional dairy products as a source of bioactive peptides and probiotics: current trends and future prospectives. *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1263-1279.
- Aljutaily, T., Huarte, E., Martinez-Monteagudo, S., Gonzalez-Hernandez, J. L., Rovai, M., & Sergeev, I. N. (2020). Probiotic-enriched milk and dairy products increase gut microbiota diversity: a comparative study. *Nutrition research*, 82, 25-33.
- Araujo, H. C. S., de Jesus, M. S., Sandes, R. D. D., Leite Neta, M. T. S., & Narain, N. (2023). Functional cheeses: updates on probiotic preservation methods. *Fermentation*, 10(1), 8.
- Brito, L. M., Costa, G. A., Reis, P. C., Guimaraes, J. T., Ramos, G. L., Cruz, A. G., ... & Alvarenga, V. O. (2024). Impact of high-intensity ultrasound on fermentation, viability and predictive growth of lactic acid cultures: A study with conventional and probiotic fermented milks. *Journal of Food Engineering*, 371, 111990.
- Buran, İ., Akal, C., Ozturkoglu-Budak, S., & Yetisemiyen, A. (2021). Rheological, sensorial and volatile profiles of synbiotic kefir produced from cow and goat milk containing varied probiotics in combination with fructooligosaccharide. *Lwt*, 148, 111591.
- Çevik, İ., Biyikli, E. T., Biyikli, A. E., Soylu, M., & Çelik, F. (2024). Fermente ve Probiyotik Eklenen Süt Ürünlerinin Diş Sağlığı Parametreleri ve Sağlık Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi. *Turkish Journal Of Health And Sport (TJHS)*, 4(TJHS Vol 4 Issue 2), 81-85.
- da Silva, T. M. S., Piazzentin, A. C. M., Mendonça, C. M. N., Converti, A., Bogdan, C. S. B., Mora, D., & de Souza Oliveira, R. P. (2020). Buffalo milk increases viability and resistance of probiotic bacteria in dairy beverages under in vitro simulated gastrointestinal conditions. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 7890-7897.
- de Souza, H. F., Monteiro, G. F., Bogáz, L. T., Freire, E. N. S., Pereira, K. N., de Carvalho, M. V., ... & Kamimura, E. S. (2024). Bibliometric analysis of water kefir and milk kefir in probiotic foods from 2013 to 2022: A critical review of recent applications and prospects. *Food Research International*, 175, 113716.
- Delgado-Fernández, P., Corzo, N., Olano, A., Hernández-Hernández, O., & Moreno, F. J. (2019). Effect of selected prebiotics on the growth of lactic acid bacteria and physicochemical properties of yoghurts. *International Dairy Journal*, 89, 77-85.
- El Sayed, H. S., & Mabrouk, A. M. (2023). Encapsulation of probiotics using mixed sodium alginate and rice flour to enhance their survivability in simulated gastric

- conditions and in UF-Kariesh cheese. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 50, 102738.
- Erkaya-Kotan, T. (2020). In vitro angiotensin converting enzyme (ACE)-inhibitory and antioxidant activity of probiotic yogurt incorporated with orange fibre during storage. *Journal of food science and technology*, 57(6), 2343-2353.
- Frakolaki, G., Giannou, V., Kekos, D., & Tzia, C. (2021). A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 61(9), 1515-1536.
- Graça, J. S., Sachinelli, L. D., Tobar, N., Guadagnini, D., Cabral, L., Noronha, M. F., ... & Sant'Ana, A. S. (2025). Fermented probiotic dairy products with buriti and orange byproducts enhance gut and bone health. *Food Research International*, 117364.
- Guo, Z. H., Wang, Q., Zhao, J. H., Xu, Y. P., Mu, G. Q., & Zhu, X. M. (2023). Lactic acid bacteria with probiotic characteristics in fermented dairy products reduce cow milk allergy. *Food Bioscience*, 55, 103055.
- Hamad, G. M., Abushaala, M. M., Rawy, D. K., Elshamandy, N. K., Abd-Elmonem, M. A., Ahmed, M. A. E., ... & Moawad, R. M. (2025). Biocontrol of toxicity heavy metal residues in milk and dairy products via a probiotic cocktail in soft cheese. *Journal of Food Composition and Analysis*, 145, 107783.
- Hammam, A. R., & Ahmed, M. S. (2019). Technological aspects, health benefits, and sensory properties of probiotic cheese. *SN Applied Sciences*, 1(9), 1113.
- Kamal, R. M., Alnaki, M. E., Abd El Aal, S. F., & Bayoumi, M. A. (2018). Biocontrolling capability of probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* against some common foodborne pathogens in yoghurt. *International Dairy Journal*, 85, 1-7.
- Koyuncu, M. (2025). Probiyotikler, parabiyotikler ve postbiyotikler. Andiç, S. (Ed.), *Fonksiyonel Gıda Bileşenleri*, (281 sayfa, 139-160), Ankara Nobel Tıp Kitapevleri.
- Li, Y., Fan, Q., Dong, H., Chang, S., & Liu, W. (2025). Screening of potential probiotic *Bifidobacteria* from intestinal tract and its application in fermented milk. *Journal of Dairy Science*.
- Mukhtar, H., Yaqub, S., & Haq, I. U. (2020). Production of probiotic Mozzarella cheese by incorporating locally isolated *Lactobacillus acidophilus*. *Annals of microbiology*, 70(1), 56.
- Olivo, P. M., Scapim, M. R. D. S., Maia, L. F., Miazaki, J., Rodrigues, B. M., Madrona, G. S., ... & Pozza, M. S. D. S. (2020). Probiotic coating for ripened cheeses with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus Helveticus* inclusion. *J. Agric. Stud*, 8, 152.

- Saedi, S., Jafarian, S., Ghaboos, S. H. H., & Nasiraei, L. R. (2024). Formulation optimization of a probiotic low-calorie chocolate milk and investigating its qualitative properties during storage. *Heliyon*, 10(16).
- Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016). Effect of pineapple waste powder on probiotic growth, antioxidant and antimutagenic activities of yogurt. *Journal of food science and technology*, 53(3), 1698-1708.
- Salman, K. H., Mehany, T., Zaki, K. G., & Al-Doury, M. K. (2024). Development of functional probiotic yogurt from buffalo milk supplemented with red beetroot (*Beta vulgaris* L.) as an antioxidant, natural colorant, and starter growth stimulant. *Food Chemistry Advances*, 5, 100776.
- Sameer, B., Ganguly, S., Khetra, Y., & Sabikhi, L. (2020). Development and characterization of probiotic buffalo milk ricotta cheese. *LWT*, 121, 108944.
- Sellam, A., Zerrouki, Y., Khalid, I., Maleb, A., & Meziane, M. (2025). Antibacterial activity and molecular characterization of probiotic lactic acid bacteria isolated from traditional Moroccan fermented milk. *Scientific African*, e02887.
- Silva, R., Pimentel, T. C., de Matos Junior, F. E., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Fávoro-Trindade, C. S., ... & Cruz, A. G. (2022). Microencapsulation with spray-chilling as an innovative strategy for probiotic low sodium requeijão cremoso processed cheese processing. *Food Bioscience*, 46, 101517.
- Sun, Y., Guo, S., Kwok, L. Y., Sun, Z., Wang, J., & Zhang, H. (2024). Probiotic *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* Probio-M8 improves the fermentation and probiotic properties of fermented milk. *Journal of Dairy Science*, 107(9), 6643-6657.
- Taheur, F. B., Chahbani, A., Mansour, C., Mokni, A., Amira, A. B., Jridi, M., ... & Zouari, N. (2023). Functional properties of a kefir-based probiotic dairy product enriched with red prickly pear (*Opuntia dillenii*) powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(6), 6522-6535.
- Terzioğlu, M. E., & Bakirci, İ. (2024). Comparison of Amino Acid Profile, ACE Inhibitory Activity, and Organic Acid Profile of Cow and Goat Yogurts Produced with *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12, and Classical Yogurt Culture. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 16(5), 1566-1582.
- Tesfaye, A., & Hailu, Y. (2019). The effects of probiotics supplementation on milk yield and composition of lactating dairy cows. *The journal of Phytopharmacology*, 8(1), 12-17.
- Wang, Y., Qu, S., Chen, M., Cui, Y., Shi, C., Pu, X., ... & Zhang, A. (2023). Effects of buckwheat milk co-fermented with two probiotics and two commercial yoghurt

- strains on gut microbiota and production of short-chain fatty acids. *Food Bioscience*, 53, 102537.
- Yuan, B., Liu, X., Li, J., Gao, R., Zhao, X., Kwok, L. Y., & Bao, Q. (2025). Evaluation of *Lentilactobacillus kefir* NM119-2 as a novel probiotic in fermented milk: functional properties and metabolic impact. *Food Research International*, 117314.
- Yüksel, A. K., & Bakırcı, İ. (2014). Determination of certain quality characteristics of probiotic yoghurts produced with different prebiotic combinations during storage. *Akademik Gıda*, 12(2), 26-33.
- Zahid, H. F., Ranadheera, C. S., Fang, Z., & Ajlouni, S. (2022). Functional and healthy yogurts fortified with probiotics and fruit peel powders. *Fermentation*, 8(9), 469.
- Zendeboodi, F., Khorshidian, N., Mortazavian, A. M., & da Cruz, A. G. (2020). Probiotic: conceptualization from a new approach. *Current Opinion in Food Science*, 32, 103-123.

BÖLÜM 3

***IN VITRO* SİNDİRİM İLE SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Davut KARAHAN¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156358>

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Arı ve Arı Ürünleri Anabilim Dalı, Bingöl, Türkiye. dkarahan@bingol.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-4571-1095

GİRİŞ

Bu çalışmaya sözlerin en güzeli olan Kur'an-ı Kerim'in süt ile ilgili olan Nahl Suresinin 66. Ayeti;

“وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً نُّسْقِيكُم مِّمَّا فِي بُطُونِهِ مِنْ بَيْنِ فَرْثٍ وَدَمٍ لَبَنًا خَالِصًا سَائِغًا لِلشَّارِبِينَ”
ayetinin meali ile başlamak istiyorum. Bu ayetin meali “Şüphesiz (sağmal) hayvanlarda da sizin için bir ibret vardır. Onların karınlarındaki fişkı ile kan arasından (süzülen) içenlere halis ve içimi kolay süt içiriyoruz.” Şeklinde (Anonim, 2025). Ayetten de anlaşılacağı üzere sütün yapısı çok kompleks olmakla birlikte oldukça değerli bir gıdadır.

Beslenme, etkileşim ve üreme, dünyada yer alan tüm canlı organizmaların ortak üç temel işlevi olarak görülmektedir. Bu işlevler arasında önem sırasını belirlemek zor olsa da, beslenme eylemi herhangi bir organizmanın yaşamının ilk aşamalarında en dikkat çekici ve zorunlu eylemlerden sayılmaktadır (Martínez-Sánchez ve ark., 2024).

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ

Diğer türlerdeki annenin yavrulara avlanma veya doğrudan beslenme yoluyla besin sağlama şeklinden farklı olarak memeliler, yavrularının büyümesi ve gelişimi için üretip salgıladığı, gerekli besinlere sahip kompleks bu biyolojik sıvı süt olarak bilinmektedir. Süt, organizmaların meme bezleri tarafından salgılanır ve esas olarak su, proteinler, lipidler, karbonhidratlar, vitaminler ve mineraller içermektedir (Martínez-Sánchez ve ark., 2024).

Süt bileşimi farklı türler arasında değişiklik göstermekle birlikte bu değişkenlik minerallerin (tuzlar ve iyonlar) içeriğinde de gözlemlenir. Örneğin; keçi sütü inek sütüne kıyasla daha yüksek kalsiyum, fosfor, potasyum, magnezyum ve klor içermekle birlikte daha düşük sodyum içerir. Ancak, içeriklerindeki farklılıklara rağmen, sütte çözünebilen (sulu olarak) ve kolloidal fazlar (kazein miseliyle ilişkili) arasında kalsiyum, fosfor ve magnezyum dağılımı her iki türün sütünde de neredeyse aynıdır (Amigo ve Fontecha, 2011; da Paixão Teixeira ve ark., 2022).

Yukarıda da belirtildiği gibi süt, meme epitel hücrelerinde (MEC) üretilen veya taşınan birkaç maddeden oluşan kompleks biyolojik bir sıvıdır. Bu bileşenler ortalama;

- Laktoz (sütün toplam bileşeninin yaklaşık %4'ü),

- Proteinler (süt bileşeninin yaklaşık %3'ü)
- Lipidler (sütün toplam bileşeninin yaklaşık %3–5'i) gibi bazı bileşenler, organizmanın diyet, karaciğer veya yağ dokusu gibi diğer vücut kaynaklarıyla elde edilen besinlere dayanarak MEC'de sentezlenir (da Paixão Teixeira ve ark., 2022).

Aşağıda yer alan Tablo 1'de ise inek sütünün ortalama kompozisyon örneği verilmiştir.

Tablo 1. İnek sütünün ortalama bileşimi (Yadav ve ark., 2015)

Bileşen	Miktar (%)
Su	87
Yağ	4
Protein	3,5
Laktoz	4,8
Kül	0,7

Sütteki karbonhidratların yaklaşık %99'unu laktoz oluşturmaktadır (Tunick ve Van Hekken, 2015). Diyet yoluyla sağlanan glikozla sentezlenen laktoz, alveollerde bulunması halinde, alveoller ile kan arasında osmotik bir basınç oluşturur. Bu basınç salgılayıcı hücrelere su alımıyla dengelendiği için taşıyıcı proteinlerin artan aktivitesine ve dolayısıyla lümendeki mineral ve vitamin konsantrasyonunun artmasına yol açmaktadır (Martínez-Sánchez ve ark., 2024).

Laktoz, bağırsakta Kalsiyum'un (Ca) Emilimini uyarır ve bağırsakta enzimatik olarak hidrolize edilerek galaktio-oligosakkaridler oluşturabilmektedir. Bu maddeler bifidobakteriler tarafından kolayca kullanılır ve sindirim fonksiyonunun iyileşmesine katkıda bulunmaktadır (Kwak ve ark., 2012; Tunick ve Van Hekken, 2015).

Dünyada laktoz intoleransı yani bu karbonhidratı sindiremeyen insan sayısı fazla olmasına rağmen peynir, yoğurt ve diğer fermente süt ürünlerinde, laktik asit bakterileri laktozu sindirilebilir glukoz ve galaktoma parçaladığı için bu ürünleri tüketmek işlenmemiş süte kıyasla daha güvenilirdir. 1 litre sığır sütü

yaklaşık 1 g oligosakkarit içerirken, insan sütündeki bu oran konsantrasyon 7 ila 12 g/L olarak tahmin edilmektedir (Tunick ve Van Hekken, 2015).

Sütteki oligosakkaritler gastrointestinal sistemden geçerken kolondaki faydalı bakteriler tarafından biyolojik olarak kullanılabilir durumdadır. Bu da faydalı bakterilerin büyümesini teşvik eder. Probiyotikler olarak da adlandırılan bu faydalı bakteriler konak kişinin bağlanma bölgeleriyle rekabet ederek patojenlerin ve toksinlerin bağlanmasını engellediği kabul edilmektedir. Ayrıca glikoproteinlere oligosakkarit zincirleri bağlı olduğundan dolayı yenidoğanlarda mikroplara, toksinlere ve virüslere karşı koruma sağladığı bilinmektedir. (Casado ve ark., 2009; Newburg, 2009).

Süt proteinleri MEC'de üretilen diğer maddelerden biridir. Genel olarak sütteki proteinin yaklaşık %80'i β - ve κ -kazeinler; yaklaşık %20'si ise çoğunlukla α -laktalbumin, β -laktoglobulin ve serum albümini içeren whey proteini (anne sütü ve inek sütünde en bol bulunan) olarak sınıflandırılır (Farrell ve ark., 2004; Ballard ve Morrow, 2013).

Memelilerde süt lipidleri, yavrular tarafından sindirim ve emilimi optimize etmek için çoğunlukla triasilgliserollerden oluşan damlacıklar şeklindedir ve etrafında %60 protein ve %40 lipid içeren bir süt yağ globülü membranı (MFGM) bulunur. Bunların arasında polar lipidler (fosfolipidler ve sfingolipidler), kolesterol ve bazı küçük bileşenler bulunur (Moreno-Villares ve Germán-Díaz, 2019).

IN VITRO SİNDİRİM VE BİYOERİŞİLEBİLİRLİK

Gıdanın tüketildikten sonra ilgili bileşenlerin sindirilmesi, emilimi, transferi, biyoyararlanımı ve biyoaktivitesi son yıllarda ilgi gören araştırma konularından biri haline gelmiştir. Sindirim, yutulan yiyeceklerin emilebilir besinlere dönüştürülmesini ve insan vücudunda fizyolojik etkiler göstermesine kadar olan karmaşık bir süreç olarak tanımlanmıştır (Dima ve ark., 2020; Aylanc ve ark., 2021).

Biyoyararlılık kavramı üç ana basamaktan oluşmaktadır. Bunlar;

- Taşıyıcı matristen salınma
- Bağırsak emilimi
- Dokuya alım basamaklarıdır (Porrini ve Riso, 2008).

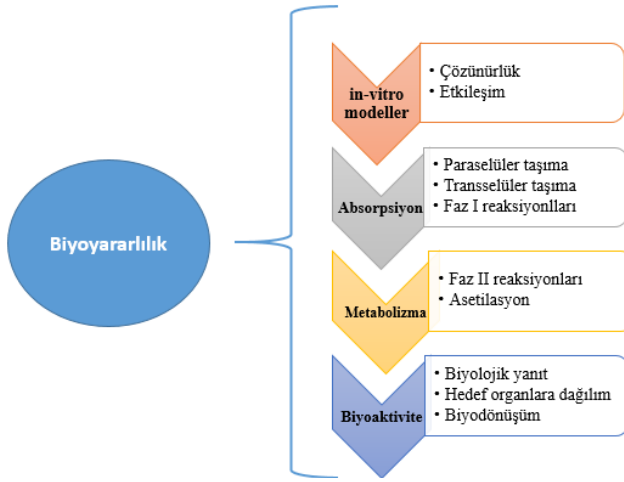
Biyoaktif bileşenlerin biyoyararlanımı ile alakalı daha net veriler elde edebilmek için insanlar ve hayvanlar üzerinde klinik deney uygulamalarını gerektirmektedir.

Ancak yapılan bu klinik çalışma metodolojileri karmaşık, pahalı ve bazı etik kısıtlamalar ortaya çıkardıklarından dolayı araştırmacıları zaman zaman zorlamaktadır. Bunun yerine araştırmacılar insan sindirim sürecinin kontrollü ve tekrarlanabilir bir ortamda yeniden üretilmesinde doğruluğu nedeniyle geliştirilen *in vitro* sindirim teknikleri beslenme tıp biliminde kullanım alanı giderek artmakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Toydemir ve ark., 2013).

In vitro sindirim modelleri statik veya dinamik modeller olmak üzere iki alt kategoriye ayrılır sınıflandırılabilir. Statik modeller; insan sindirimini laboratuvar araçları kullanarak pH, enzimatik aktivite, mide ve bağırsak gibi ilk koşulların değişmediği ancak kesme, karıştırma, hidrasyon vb. gibi fiziksel süreçlerin taklit edilmediği modelleri ifade eder (Gregory ve ark., 2005; Parada ve Aguilera, 2007).

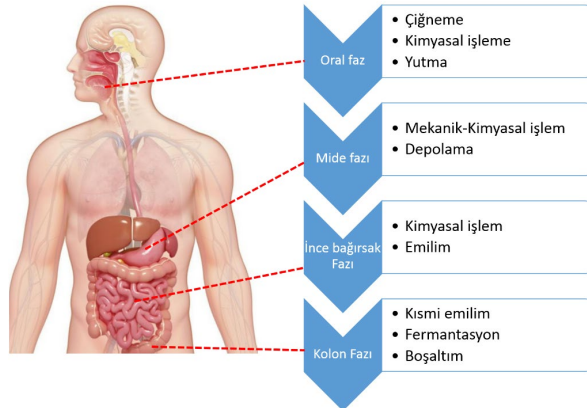
Birçok çalışma, çok sayıda örnek analiz edebilme yeteneği, çalışmanın ihtiyaçlarına göre değişkenlerin değiştirilmesi ve düşük maliyet ile pratiklik gibi çeşitli avantajlar sunan statik modeller kullanmıştır. Ancak, dinamik *in vitro* sindirim modelleri özellikle sindirimin peristaltik kuvvetleri gibi fiziksel durumunun, pH'daki değişiklikleri, enzim salgılanması, parçacık boyutu, viskozite, mikrobiyal fermentasyonu gibi sürekli ve farklı bölmelerde simüle edebilir. Bu çok bölmeli sistemler genellikle mide ve ince bağırsak fazlarından oluşmaktadır. Buna rağmen, bu modellerin bazı sınırlamaları arasında kolon bölmesinin sadece bazı modellerde bulunması, deney başına yüksek maliyet, karmaşık araç-gereç ve aynı sistemde tamamen simüle edilemeyen mekanik, kinetik ve kimyasal koşullar yer alır (Gregory ve ark., 2005; Parada ve Aguilera, 2007).

In vitro yöntemler kullanılarak biyoyararlılık konseptinin deneysel olarak belirlenmesi (Şekil 1) gastrointestinal sistemin simülasyonudur (Alminger ve ark., 2014).



Şekil 1. Biyoyararlılık Konsepti (Fernández-García ve ark., 2009)

Araştırmacılar tarafından en çok bilinen ve kullanılan *in vitro* sindirim modellerinden biri olan, insan gastrointestinal sisteminin fizyolojisini temel alan, besinler üzerine uygulanacak ortak araştırmalara uyumlu statik model Minekus ve ark. (2014) tarafından önerilmişti. Önerilen bu statik modelde gastrointestinal sistemin; ağız, mide, ince bağırsak ve kolon olmak üzere dört fazı bulunmaktadır. Bu fazlara ait örnek diyagram Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Simüle Edilmiş bir statik *in vitro* Sindirim diyagramı (Aylanc ve ark., 2021)

da Paixão Teixeira ve ark. (2022), keçi ve inek sütü işlemenin süt ürünlerindeki temel minerallerin biyoerişilebilirliği üzerindeki etkisini statik *in vitro* sindirim modelleri tarafından değerlendirmişlerdir. Çalışmada sütün bileşimi ve mineral dengesinin *in vitro* sindirim ve biyoerişilebilirlik tahmininde önemli olduğunu, keçi sütü ve süt ürünlerinin hem çözünürlüğü hem de diyaliz modelleri tarafından inek sütü ve süt ürünleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek biyoerişilebilirliği gösterdiğini bu farklılıkların, keçi ve inek sütü ile süt ürünlerinin bileşimi ve yapısındaki farklılıklarla ilişkili olabildiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmada; Ca ve Zn'nin potansiyel emilimleri, kullanılan yöntemden bağımsız olarak, peynirlerde süt ve yoğurtlara kıyasla daha yüksek olduğunu bulmuşlardır (da Paixão Teixeira ve ark. 2022).

Yapılan başka bir çalışmada farklı süt yağı fraksiyonlarıyla hazırlanan Cheddar tipi peynirlerin biyolojik erişilebilirliğini karşılaştırmıştır. çalışmada kalsiyum ile zenginleştirilmiş peynirlerin, standart kalsiyum içeriğine sahip peynirlerle karşılaştırıldığında daha yüksek lipoliz hızları sergilediği bildirilmektedir. Artan kalsiyum düzeyleri, kalsiyum sabunları gibi bazı reaksiyon ürünlerinin miktarında azalma ile birlikte lipoliz hızının artmasına yol açabilmekte; ancak bu çözünmeyen bileşiklerin, yağ asitlerinin intestinal emilimini sınırlayarak biyoerişilebilirliği potansiyel olarak düşürebileceği ifade dılmıştır. Lipid sindirimi ve emilimi üzerindeki bu etkiler, özellikle yağda çözünmeyen besin öğeleri veya biyoaktif bileşenlerin kontrollü salınımını hedefleyen gıda matrisi tasarımlarında dikkate alınması gereken önemli bir husus olarak değerlendirilmiştir (Ayala-Bribiesca ve ark., 2017).

Cilla ve ark, (2011), süt bazlı meyve içeceklerinde kalsiyum ve fosforun biyoerişilebilirliği üzerinde işlemenin etkisini incelemişlerdir. Çalışmada çözünürlük yöntemiyle elde edilen değerlerin, diyaliz testleriyle raporlanan sonuçlardan tutarlı biçimde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. İlgili çalışmalarda da vurgulandığı üzere, *in vitro* sindirim simülasyonlarında çözünürlük ve diyaliz yaklaşımlarının uygulanması sırasında farklı metodolojik koşullar söz konusu olabilmektedir. Özellikle kullanılan enzim miktarı, sindirim süresinin ayarlanması ve diyaliz membranının gözenek boyutu gibi parametreler, elde edilen sonuçlar üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu farklılıkların, temel minerallerin örnek matrisi içerisindeki diğer bileşenlerle

etkileşime girerek bağlanması ve buna bağlı olarak diyaliz zarının zamanla doygunluğa ulaşmasıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bu durum, çözünürlük yönteminin diyaliz yöntemine kıyasla daha yüksek biyoerişilebilirlik yüzdeleri vermesinin başlıca nedenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Cilla ve ark, 2011; da Paixão Teixeira ve ark. 2022).

Gastrointestinal koşulları taklit eden ortamda gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı peynir türlerinde matrisin bozunma davranışı ile yağ asitlerinin salınımına ilişkin kinetik süreçler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, peynirlerin reolojik özellikleri ve mikroyapısal karakteristikleri gibi fiziksel nitelikleri ile sindirim süreci sırasında gözlenen parçalanma düzeni arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Peynir örnekleri simüle edilmiş sindirim protokollerine tabi tutulmuş; sindirim sonrasında matris bozunma indeksi, serbest yağ miktarı, serbest yağ asidi profili ve yağ damlacıklarının dağılımı gibi parametreler analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, incelenen peynirlerin sindirim süreci boyunca belirgin biçimde farklı bozunma paternleri ve biyoerişilebilirlik düzeyleri sergilediğini ortaya koymuştur. Bu farklılıkların, peynirlerin bileşimsel özellikleri, mikroyapısal organizasyonları ve reolojik davranışları ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonuçları, peynir matrisinin parçalanma hızının ve yağ asitlerinin salınım kinetiğinin büyük ölçüde ürünün fiziksel özellikleri tarafından belirlendiğini düşündürmektedir (Lamothe ve ark. 2012).

Vaghini ve ark. (2016), dört ticari bitki sterolleri ile zenginleştirilmiş fermente süt içeceğinin toplam ve bireysel bitki sterolleri değeri *in vitro* gastrointestinal sindirim kullanılarak değerlendirmişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar *in vitro* gastrointestinal sindirimin biyoerişilebilirlik düzeylerini farklı şekilde etkilediği sonucuna varılmıştır (Vaghini ve ark., 2016).

Farklı peynir altı bazlı süt matrislerinde dört kalsiyum (kalsiyum karbonat, kalsiyum sitrat malat, kalsiyum fosfat ve kalsiyum bisglisinat) kaynağının biyoerişilebilirliği *in vitro* sindirimle değerlendirildiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. *In vitro* sindirim süreci boyunca, kalsiyumun çözünürlüğü ile iyonik kalsiyum konsantrasyonundaki değişimlerin kinetiği, gastrointestinal ortamı temsil eden pH koşullarına bağlı olarak izlenmiştir. Bulgular, tüm kalsiyum kaynaklarının mide fazında büyük ölçüde çözündüğünü, ancak

sindirim bağırsak evresine geçişle birlikte çözünmez formlara dönüştüğünü göstermiştir. Bağırsak fazında gözlenen kalsiyumun çözünmezlik düzeyinin, süt matrisinin fiziksel yapısından ziyade kullanılan kalsiyum kaynağına bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu farklılıkların, kalsiyumun biyoerişilebilirliğinde yaklaşık %20 ile %36 arasında değişen oranlarda farklı sonuçlara yol açtığı rapor edilmiştir (Lorieau ve ark. 2018).

Mevcut çalışmalar, süt yağı globül membranının (MFGM) yapısal bileşenlerinin sindirim süreci boyunca görece dirençli olduğunu ve hem bebeklerde hem de yetişkinlerde gözlenen çeşitli yararlı biyolojik etkilerle ilişkili olabileceğini ortaya koymaktadır. In vitro sindirim modelleri, MFGM'nin bağırsak bariyer bütünlüğünün korunması, inflamatuvar yanıtların modülasyonu, antikanserojen potansiyel ve bağışıklık savunma mekanizmalarındaki rolüne ilişkin bilimsel kanıtların elde edilmesine önemli katkılar sağladığı vurgulanmıştır. Bununla birlikte, insan sindirim sürecinin MFGM bileşenleri üzerindeki etkilerinin, bu bileşenlerin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlanım düzeyleriyle birlikte daha ayrıntılı biçimde anlaşılması, söz konusu bulguların beslenme alanında uygulanabilir stratejilere dönüştürülebilmesi açısından kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Martínez-Sánchez ve ark., 2024).

Barbé ve ark. (2014) yaptıkları bir çalışmada, süt pıhtılaşmasında yaygın olarak kullanılan iki temel yaklaşımın (asit kaynaklı ve rennet (enzimatik) pıhtılaşma süreçlerinin) kazeinler ile β -laktoglobulinin sindirim davranışları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Her iki jel tipi; benzer bileşim özelliklerine sahip olmaları, viskoelastik davranış ve sertlik parametrelerinin karşılaştırılabilir aralıklarda yer alması ve mikroyapısal açıdan büyük ölçüde benzerlik göstermelerine rağmen, sindirim süreci boyunca özellikle mide fazında protein hidrolizinin kinetiği ve amino asitlerin biyoerişilebilirliği düzeyleri açısından belirgin farklılıklar sergilediğini raporlamışlardır. Bu bulguları pıhtılaşma yönteminin, jel yapısal özellikleri benzer olsa dahi, protein sindiriminin hızını ve kapsamını anlamlı biçimde etkileyebileceğine yorumlamışlardır (Barbé ve ark. 2014).

SONUÇ

Sonuç olarak diğer gıda matrislerinde olduğu gibi besin değeri açısından zengin olan sütün de *in vitro* ve *in vivo* sindirim modellerinden etkilendiği, dolayısıyla biyoerişilebilirliği ve biyoyararlanım düzeyleri değişmektedir. Bu değişimlerin ve farklılıkların iyi anlaşılabilmesi için daha ileri düzey insan ve hayvan klinik deneyleri yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca farklı süt ve süt ürünlerinin Caco-2 gibi hücresel modellerle birleştirilmiş ileri çalışmalarının yapılması tüketicilere daha yüksek sağlık etkileri sağlayan fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- Alminger, M., Aura, A. M., Bohn, T., Dufour, C., El, S. N., Gomes, A., Santos, C. N. (2014). In vitro models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 413–436. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12081>
- Amigo, L., & Fotencha, J. (2011). Goat Milk. Di dalam: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH (eds). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd.
- Anonim (2025). T.C. Diyanet İşleri Başkanlığı. <https://kuran.diyanet.gov.tr/mushaf/kuran-meal-2/nahl-suresi-16/ayet-66/diyanet-isleri-baskanligi-meali-1>. (Erişim Tarihi: 25.12.2025)
- Ayala-Bribiesca, E., Turgeon, S. L., & Britten, M. (2017). Effect of calcium on fatty acid bioaccessibility during in vitro digestion of Cheddar-type cheeses prepared with different milk fat fractions. *Journal of dairy science*, 100(4), 2454-2470.
- Aylanc, V., Tomás, A., Russo-Almeida, P., Falcão, S.I., Vilas-Boas, M. (2021). Assessment of bioactive compounds under simulated gastrointestinal digestion of bee pollen and bee bread: bioaccessibility and antioxidant activity. *Antioxidants* 2021, 10, 651. <https://doi.org/10.3390/antiox10050651>
- Ballard, O., & Morrow, A. L. (2013). Human milk composition: nutrients and bioactive factors. *Pediatric Clinics*, 60(1), 49-74.
- Barbé, F., Ménard, O., Le Gouar, Y., Buffière, C., Famelart, M. H., Laroche, B., ... & Dupont, D. (2014). Acid and rennet gels exhibit strong differences in the kinetics of milk protein digestion and amino acid bioavailability. *Food chemistry*, 143, 1-8.
- Casado, B., Affolter, M., & Kussmann, M. (2009). OMICS-rooted studies of milk proteins, oligosaccharides and lipids. *Journal of proteomics*, 73(2), 196-208.
- Cilla, A., Lagarda, M. J., Alegría, A., de Ancos, B., Cano, M. P., Sánchez-Moreno, C., ... & Barberá, R. (2011). Effect of processing and food matrix on calcium and phosphorous bioavailability from milk-based fruit beverages in Caco-2 cells. *Food Research International*, 44(9), 3030-3038.

- da Paixão Teixeira, J. L., Baptista, D. P., Orlando, E. A., Gigante, M. L., & Pallone, J. A. L. (2022). Effect of processing on the bioaccessibility of essential minerals in goat and cow milk and dairy products assessed by different static in vitro digestion models. *Food chemistry*, 374, 131739.
- Dima, C., Assadpour, E., Dima, S., Jafari, S. M. (2020). Bioavailability and bioaccessibility of food bioactive compounds; overview and assessment by in vitro methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2862-2884.
- Farrell Jr, H. M., Jimenez-Flores, R., Bleck, G. T., Brown, E. M., Butler, J. E., Creamer, L. K., ... & Swaisgood, H. E. (2004). Nomenclature of the proteins of cows' milk—Sixth revision. *Journal of dairy science*, 87(6), 1641-1674.
- Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I., & Pérez-Gálvez, A. (2009). In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition research*, 29(11), 751-760.
- Gregory, JF., Quinlivan, EP., Davis, SR. (2005). Integrated the issues of folate bioavailability, intake and metabolism in the era of fortification. *Trends Food Sci Tech* 16:229–40
- Kwak, H. S., Lee, W. J., & Lee, M. R. (2012). Revisiting lactose as an enhancer of calcium absorption. *International Dairy Journal*, 22(2), 147-151.
- Lamothe, S., Corbeil, M. M., Turgeon, S. L., & Britten, M. (2012). Influence of cheese matrix on lipid digestion in a simulated gastro-intestinal environment. *Food & function*, 3(7), 724-731.
- Lorieau, L., Le Roux, L., Gaucheron, F., Ligneul, A., Hazart, E., Dupont, D., & Floury, J. (2018). Bioaccessibility of four calcium sources in different whey-based dairy matrices assessed by in vitro digestion. *Food chemistry*, 245, 454-462.
- Martínez-Sánchez, V., Fontecha, J., & Pérez-Gálvez, A. (2024). Milk fat globule membrane: Production, digestion, and health benefits evaluated through in vitro models. *PharmaNutrition*, 30, 100418.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T. O. R. S. T. E. N., Bourlieu, C., Brodtkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food—an international consensus. *Food & function*, 5(6), 1113-1124.

- Moreno-Villares, J. M., & Germán-Díaz, M. (2019). Human milk as a bioactive food. In *Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes* (pp. 425-445). Academic Press.
- Newburg, D. S. (2009). Neonatal protection by an innate immune system of human milk consisting of oligosaccharides and glycans. *Journal of animal science*, 87(suppl_13), 26-34.
- Parada, J., Aguilera, J.M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), 21–32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>
- Porrini, M., Riso, P. (2008). Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: A critical appraisal. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.*, c. 18, sayı 10, ss. 647–650, 2008, doi:10.1016/j.numecd.2008.08.004.
- Toydemir, G., Capanoglu, E., Kamiloglu, S., Boyacioglu, D., De Vos, R. C., Hall, R. D., Beekwilder, J. (2013). Changes in sour cherry (*Prunus cerasus* L.) antioxidants during nectar processing and in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Functional Foods*, 5(3), 1402-1413
- Tunick, M. H., & Van Hekken, D. L. (2015). Dairy products and health: recent insights. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(43), 9381-9388.
- Vaghini, S., Cilla, A., Garcia-Llatas, G., & Lagarda, M. J. (2016). Bioaccessibility study of plant sterol-enriched fermented milks. *Food & Function*, 7(1), 110-117.
- Yadav, J.S.S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*

BÖLÜM 4

PENN STATE PARÇACIK AYIRICISI KULLANILARAK SÜT ÇİFTLİKLERİNDE TMR DEĞERLENDİRME

Dr. Öğr. Üyesi Sıraç YAVUZ¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156432>

¹ Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Bingöl, Türkiye.
siracyavuz@outlook.com, Orcid ID: [0000-0001-5878-8994](https://orcid.org/0000-0001-5878-8994)

1. GİRİŞ

Hayvan beslemede rasyonun ihtiyaçlar doğrultusunda belirlenmesinin yanı sıra kullanılan kaba yem in oranı ve boyutu oldukça önemlidir. Süt sığırları yem tercihlerinde seçici davranırlar. Tarımsal teknolojik gelişmeler ziraatın her alanına olduğu gibi modern süt sığırcılığına da yansımıştır. İşletmeler verimli ineklerin besin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yüksek enerjili konsantre yemlerin rasyonlarda kullanımı bazen olması gereken seviyelerin üzerine çıkabilmektedir. Böyle bir uygulama rumen sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmekte ve subakut ruminal asidoz (SARA) gibi önemli metabolik bozukluklara neden olabilmektedir. Rumen sağlığını ve fonksiyonunu sürdürmek için, rasyonun sadece kimyasal kompozisyonu değil, aynı zamanda fiziksel yapısı, özellikle de parçacık boyutu dağılımı dikkate alınmalıdır (Mertens, 1997).

Rumen, ruminantların yem materyalini fermentasyona uğrattığı, proteinleri ve karbonhidratları etkili bir şekilde parçalayabildiği birçok mikroorganizmaya ortam hazırladığı önemli bir sindirim organıdır. Sindiriminin verimliliği, fiziksel etkili liften (peNDF)'den etkilenebilen mikroorganizmalara bağlı olarak, rasyonda peNDF içeriğinin artırılmasının geniş getirme ve çiğneme süresinin uzamasına neden olduğu önceki çalışmalarda bildirilmiştir. Fiziksel olarak etkili lif (peNDF), yem in çiğneme aktivitesini, tükürük salgısını ve dolayısıyla rumen tamponlamasını uyaran fiziksel özelliklerini ifade eder (Yang ve Beauchemin, 2007; Li ve ark., 2014). Rasyon parçacık boyutunun uygun olmaması, sığırların yem seçme (sorting) davranışını tetikleyerek, hayvanların konsantre yemleri tercih edip daha uzun olan kaba yem parçacıklarını reddetmesine neden olur. Bu durum, dengelenmemiş bir rasyonda, rumen pH'ında düşüşe ve SARA riskinde artışa neden olur (DeVries ve ark., 2008; Miller-Cushon ve DeVries, 2017).

Penn State Parçacık Seperatörü (PSPS), hem araştırma hem de saha koşullarında, toplam karışık rasyonların (TMR) ve kaba yemlerin parçacık boyutu dağılımını değerlendirmek için geliştirilmiş basit, güvenilir ve sıkça kullanılan standart bir araçtır (Lammers ve ark., 1996). PSPS ile yapılan yem analizleri, rasyonun fiziksel yeterliliği hakkında bilgi verir ve yem karıştırmanın homojenliği, kesim uzunluğunun uygunluğu gibi yönetilebilir faktörlerin değerlendirilmesine ve yerinde müdahalesine olanak tanır.

Bu bölümün amacı, Bingöl ilinde faaliyet gösteren dört farklı süt sığırcılığı işletmesinden alınan TMR örneklerinin parçacık boyutu dağılımlarını, PSPS standartları çerçevesinde analiz etmek ve bu sonuçları ilgili literatür bulguları doğrultusunda yorumlayarak işletmelere yönelik bilimsel ve pratik öneriler sunmaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Parçacık Boyutu, Rumen Sağlığı ve Yem Seçimi

Yüksek kesim uzunluğuna sahip kaba yemler, fiziksel olarak daha etkili lif sağlayarak rumen pH'ını yükseltmeye yardımcı olur. Kmicikewycz ve Heinrichs (2015), yüksek nişastalı rasyonlarla beslenen ineklerde uzun kesilmiş mısır silajının, kısa silaja kıyasla daha yüksek ortalama rumen pH'ı sağladığını bildirmiştir. Ancak, aynı çalışmada ineklerin SARA indüklendiği dönemde dahi sunulan ilave kaba otu tercih etmediği ve yüksek nişasta içeren bir rasyonla sürekli düşük rumen pH'ına adapte olabildikleri gözlemlenmiştir. Bu durum, sadece parçacık boyutunu artırmanın, yüksek fermentabiliteye sahip bir rasyonda SARA'yı tamamen önlemek için yeterli olmayabileceğini göstermektedir.

Schadt ve ark., (2012), hayvanın ağızındaki yem ile midesine giden yem arasındaki farkı incelemiştir. Bolus parçacık boyutu, büyük yem parçacıklarının boyutu ile doğrudan ilişkili değildir; inekler yemi yutmaya uygun sabit bir boyuta (yaklaşık 10-11 mm) gelene kadar çiğnerler. Bu uzunluk parçacık boyutunun çiğneme süresini belirleyen ana faktör olduğunu gösterir. Kmicikewycz ve Heinrichs (2015), asidoz durumunda hayvanların içgüdüsel olarak parçacık boyutuna göre seçim yaptığını belirtir. SARA ile karşı karşıya kalan inekler, rasyondaki daha uzun parçacıkları tercih etmeye başlamıştır. Ayrıca, peNDF ölçümünde 4.0 mm eleğinin, 1.18 mm eleğine göre daha iyi bir gösterge olabileceği önerilmiştir. Coon ve ark., (2018), erken laktasyon dönemindeki ineklerde buğday samanının parçacık boyutunun düşürülmesinin faydalarını göstermiştir. Kısa parçacıklı saman içeren rasyonlarla beslenen inekler, laktasyonun ilk 28 gününde uzun saman tüketenlere göre 75 kg daha fazla süt üretme eğilimi göstermiştir. Böylece parçacık boyutu küçüldükçe laktasyon başlangıcındaki enerji dengesinin daha iyi korunduğuna işaret eder. Grant ve Colenbrander (1990), parçacık

boyutunun süt yağı üzerindeki etkisini metabolik verilerle açıklar. İnce kıyılmış rasyonlar tüketen ineklerde daha az çiğneme aktivitesi, düşük rumen pH'sı ve artan rumen propiyonat konsantrasyonu görülmüştür; bu da süt yağı sentezinde azalmaya neden olmaktadır. Castillo-Lopez ve ark., (2020) ve Khorrami ve ark., (2022), dışkı parçacık boyutunun ve pH'nın bir tanı aracı olarak kullanılabileceğini belirtir. Diyetteki nişasta miktarının artması ve parçacık boyutunun değişimi, dışkı pH'ını düşürerek arka bağırsak fermantasyonunu etkilemektedir.

Yem seçme davranışı, parçacık boyutundan doğrudan etkilenir. İnekler, genellikle daha lezzetli ve kolay fermente olabilen ince parçacıkları seçme, uzun ve daha az lezzetli kaba yem parçacıklarını reddetme eğilimindedir (Leonardi ve Armentano, 2003). Coon ve ark. (2018), erken laktasyondaki ineklere farklı boyutlarda (2.54 cm vs 5.08 cm kesim) buğday samanı içeren rasyonlar verdiklerinde, uzun saman içeren rasyonu alan ineklerin en uzun (>19 mm) parçacıklara karşı aktif olarak seçim yaptığını, kısa saman içeren rasyonu alanların ise seçim yapmadığını bildirmiştir. Bu durum, daha kısa parçacık boyutunun, yem seçimini azaltarak hayvanların formüle edildiği şekilde rasyonu tüketmesini teşvik edebileceğini düşündürmektedir.

Maulfair ve Heinrichs (2010), rasyonun gün içindeki fiziksel değişiminin ölçülmesinde örnekleme metodunun önemini vurgular. TMR örneklerinin gün boyunca toplanması ve karıştırılması, ineklerin ayırma davranışını etkilemiş ve günün ilerleyen saatlerinde parçacık boyutu dağılımında küçük ama önemli farklılıklara yol açmıştır. Bu durum, hayvanın önüne konulan rasyon ile gerçekte tükettiği rasyon arasındaki farkı anlamamız açısından kritiktir. Maulfair ve ark., (2011) tarafından diğer bir çalışmada ise, geleneksel 1.18 mm elek boyutunun ötesine geçer. Bu sonuçlar, rumenden kaçışa karşı direnç gösteren kritik parçacık boyutunun 1.18 mm'den daha büyük olduğunu ve bu boyutun gün boyunca sabit kaldığını göstermektedir. Ayrıca, kaba yem parçacık boyutu arttıkça kuru madde sindirilebilirlik oranının azalma eğiliminde olduğu saptanmıştır.

Arzola-Álvarez ve ark., (2010), rasyona su ilavesinin ince parçacıkların (>1.18 mm) büyük parçacıklara yapışmasını sağlayarak ayırma davranışını azalttığını ve tozlanmayı önlediğini vurgular. Bu durum, TMR'nin homojenliğini korumak için elzemdir. Kronqvist ve ark., (2021), parçacık

boyutu küçültülmüş ve su ile ıslatılmış. TMR ile beslenen ineklerde yem ayırma davranışı azalmış, yemlikteki saldırgan davranışlar düşmüş ve dinlenme süreleri artmıştır. Martz ve Belyea (1986) parçacık boyutunun rumendeki geçiş hızıyla ilgili, parçacıkların rumenden çıkabilmesi için yaklaşık $<1200 \mu\text{m}$ (1.2 mm) boyutuna inmesi gerektiğini, yoğunluk ve parçacık büyüklüğü geçiş hızını belirleyen temel faktörler olduğunu bildirmiştir.

2.2. Örneklem ve Analiz Tekniklerinin Önemi

Parçacık analizinin güvenilirliği, örneklem ve analiz prosedürlerine bağlıdır. Maulfair ve Heinrichs (2010), TMR'ın gün içinde sık sık karıştırılarak örneklenmesinin, kalan yemin parçacık boyutunu küçülterek, hayvanların gerçekte yaptığı seçim davranışının hafife alınmasına neden olabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, seçim davranışını doğru ölçmek için örneklemenin, yemleme sonrası belirli aralıklarla ve yemi karıştırmadan yapılması önerilmektedir.

Ayrıca, rumen içeriğinin parçacık analizi sırasında sıklıkla uygulanan süzme işleminin, 0.15 mm'den büyük parçacıkların dağılımını değiştirmede, ancak sıvı fazdaki kuru madde miktarını azalttığı belirlenmiştir (Maulfair ve Heinrichs, 2010). Bu, analizin amacına göre numune hazırlama protokolünün dikkatle seçilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

2.3. Saha Koşullarında Parçacık Dağılımını Etkileyen Faktörler

Arzola-Alvarez ve ark. (2010), dört ticari süt çiftliğinde TMR parçacık dağılımını mevsimsel olarak izlemiş ve parçacık dağılımının, rasyon bileşimindeki değişikliklere bağlı olarak aylar arasında farklılık gösterdiğini bulmuştur. Ayrıca, yemlikteki farklı yerlerden (üst, orta, alt) alınan örnekler arasında da farklılıklar olduğu, en uzun parçacıkların yemliğin dibinde toplanma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Bu, karışım homojenliğinin ve yemleme sonrası parçacıkların ayrışmasının kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir. Çalışmada, su ilavesinin de parçacık analiz sonuçlarını etkilediği bulunmuştur. Yaş numunelerde, küçük parçacıkların daha büyük parçacıklara yapışması nedeniyle, kuru numunelere kıyasla $>19 \text{ mm}$ ve $19\text{-}8 \text{ mm}$ eleklerinde daha fazla, $<1.18 \text{ mm}$ eleğinde ise daha az materyal tutulmuştur.

3. PENN STATE PARÇACIK AYIRICI (PSPS)

PSPS seri halinde dizilmiş, belirli gözenek açıklıklarına sahip eleklerden oluşan portatif bir malzemedir. İlk orijinal tasarımı 19 mm (üst), 8 mm (orta) ve 1.18 mm (alt) olmak üzere üç elek ve bir toplama tabanından (tabla) oluşur (Lammers ve ark., 1996). Daha sonraki modifikasyonlarla 4 mm'lik bir elek daha eklenmiş ve dört fraksiyonlu sistem yaygınlaşmıştır (Jones ve Heinrichs, 2013).

PSPS, TMR'ların fiziksel yapısını değerlendirmek için pratik standartlar geliştirmiştir. Heinrichs (2013) tarafından önerilen optimal parçacık dağılımı genel olarak aşağıdaki Tablo 1'de gösterildiği gibidir:

Tablo 1. Süt ineklerine yönelik olması gereken TMR içeriklerinin parçacık boyutu

Elek	Gözenek genişliği (mm)	Parçacık boyutu (mm)	TMR
Üst elek	19	>19'den büyük	%2 ile %8
Orta elek	8	8 ile 19 aralığında	%30 ile %50
Alt elek	4	4 ile 8 aralığında	%10 ile %20
Tabla	-	<4'den küçük	%30 ile %40

Heinrichs (2013) tarafından süt sığırlarına yönelik bildirilen optimal oranlar

Bu elek aralıkları, rumeni yeterince uyaracak uzunlukta parçacık bulunmasını, ancak aşırı uzun parçacıkların yem seçimine ve tüketimin azalmasına yol açmamasını önlemeyi amaçlar. Ayrıca, çok ince parçacık oranının yüksek olması, rasyonun aşırı işlendiğine, tozluluk sorununa ve potansiyel rumen asidoz riskiyle karşı karşıya kalınacağına işaret eder.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Çalışmanın Kapsamı ve Örnekler

Bingöl ilinde faaliyetlerini sürdüren dört farklı ticari süt sığırcılığı işletmesinden (A, B, C ve D) temin edilen TMR örneklerinin Heinrichs (2013) bildirdiği yöntemle analiz edilmesine dayanmaktadır. A ve B çiftliklerinde karma ırk hayvan grupları bulunurken, C çiftliğinde Holstein, D çiftliğinde ise Simmental ırkı süt sığırcılığı yapılmaktadır. PSPS'nin dört elekli (19 mm, 8 mm, 4 mm ve taban) versiyonu kullanılmıştır. Her işletmeden iki tekerrür yapmak için 1 kg'lık TMR örnekleri homojen olarak alınmış, rasyon içerikleri Tablo 2'de bildirildiği üzere paylaşılmıştır. Örnekler PSPS ile iki kez analiz edilmiştir. Her elek üzerinde biriken yem materyali konulduğu kabın darası

alınarak tartılmış. Eleklerde yer alan miktara göre parçacık boyutu oranları belirlenmiş, aralıklar ve yüzde miktar tespit edilmiştir.

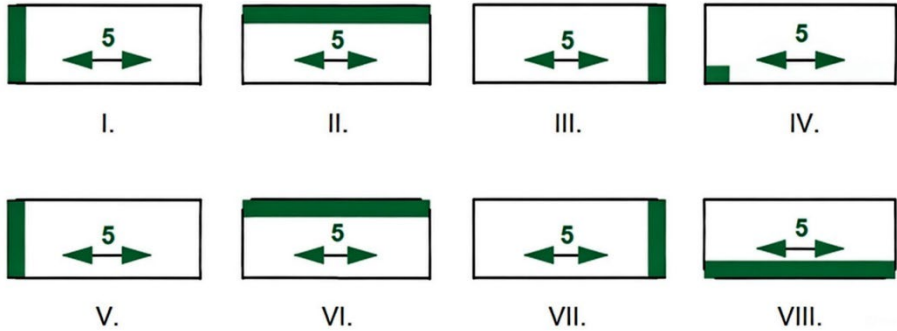
Tablo 2. Süt üretim çiftliklerinin den alınan TMR'ların hammadde içerikleri

TMR	A Çiftliği (Karma)	B Çiftliği (Karma)	C Çiftliği (Holstein)	D Çiftliği (Simmental)
Ticari Süt Yemi	%42	%55	%40	%33
Mısır Silajı	%30	%15	%40	%20
Yonca	%18	%10	%10	%15
Çayır Otu	%10	-	%5	%25
Pancar Posası	-	%15	-	%2
Arpa Ezmesi	-	%2	%5	%5
Buğday Samanı	-	-	-	-
Vit. - Min. Madde	-	%3	-	-

Bingöl'de faaliyet gösteren işletmelerden alınan rasyon örneklerine ait bilgiler

4.2. Analiz Prosedürü

İşletmelerden alınan her bir TMR örneği homojenize olacak şekilde ve aynı ağırlıkta olacak şekilde tartılmış, daha sonra PSPS'nin en üstteki (19 mm) eleğine konulmuştur (Şekil2). Düz bir zemin üzerinde dikey hareket olmayacak şekilde, elekleri tek yönde 5 kez çalkanmış, ardından ayırıcı elek çeyrek tur döndürülmüş. Bu işlem Şekil 1'de gösterildiği üzere toplam 8 set veya 40 çalkalama işlemi yapılmış, daha sonra her elektteki miktar tartılmış, her eleğe ait oranlar belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 1. TMR yem ayırıştırma için çalkalama deseni prosedürü (Heinrichs, 2013)



Şekil 2. Çiftlikten numunelerin alınması



Şekil 3. Çalkalama sonucu eleklerde kalan numunelerin tartımı

4.3. Değerlendirme Kriterleri

Elde edilen sonuçlar, Heinrichs (2013) tarafından önerilen optimal PSPS aralıkları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 3). Her bir parçacık fraksiyonu için sapmalar belirlenmiş ve bu sapmaların olası nedenleri ile potansiyel rumen sağlığı ve performans üzerindeki etkileri literatür bilgileri doğrultusunda tartışılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

PSPS'nin süt sığırlarına yönelik TMR yem parçacık ayrıcına ait analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Belirlenen sonuçlara göre hiçbir çiftliğin tüm

parçacık boyutları bildirilen optimal aralıkta bulunmamış, her işletmenin farklı elek gözeneklerinde kısmen bulunduğu görülmüştür.

Tablo 3. Bingöl süt sığırcılığı işletmelerine ait TMR örneklerinin parçacık dağılımı

Çiftlik Adı	Üst Elek (>19mm)	Orta Elek (8-19mm)	Alt Elek (4-8mm)	Tabla (<4mm)
A Karma	27.3 gr (%5.5)	136.5 gr (%27.3)	135.5 gr (%27.1)	200.7 gr (%40.1)
B Karma	4.6 gr (%0.9)	129.0 gr (%25.8)	85.3 gr (%17.1)	281.1 gr (%56.2)
C Holstein	38.8 gr (%7.8)	119.5 gr (%23.9)	82.7 gr (%16.5)	259.0 gr (%51.8)
D Simmental	55.7 gr (%11.1)	144.0 gr (%28.8)	117.1 gr (%23.4)	183.2 gr (%36.7)

A karma çiftliği uzun (>19 mm) parçacık oranı (%5.5) optimal aralığın (%2-8) içindedir ve kabul edilebilir düzeydedir. Orta (8-19 mm) ve kısa (4-8 mm) parçacık oranları da optimal aralıklara yakındır. Ancak, ince (<4 mm) parçacık oranı %40.1 ile önerilen <%30 sınırını aşmaktadır. Yüksek bulunan ince parçacık oranı, rasyonun aşırı öğütülmüş veya ince materyali yüksek miktarda içerdiğine, bu durum yem seçimini artabileceğine ve rumen asidozu riskinin yüksek olabileceğine işaret edebilir (Zebeli ve ark., 2012).

B karma çiftliği uzun parçacık oranı (%0.9) optimalin alt sınırının da altındadır. Bu, rasyonda yeterli fiziksel uyarıcı uzun parçacık olmayabileceği anlamına gelir. İnce parçacık oranı ise %56.2 ile ciddi miktarda yüksek bulunmuştur. Bu profil, rasyonun büyük ölçüde ince öğütülmüş bileşenlerden oluştuğunu ve ciddi miktarda yem seçimi, düşük çiğneme aktivitesi ve SARA riski taşıdığını düşündürmektedir (DeVries ve ark., 2008). Arzola-Alvarez ve ark., (2010) gibi çalışmalarda da görüldüğü üzere, su ilavesi bu kadar yüksek ince parçacık içeren bir rasyonda tozu bastırabilir, ancak altta yatan fiziksel yetersizlik bu sorununu tam anlamıyla çözemeyebilir.

Holstein çiftliği uzun parçacık oranı (%7.8) optimal aralığın üst sınırına yakındır. İnce parçacık oranı %51.8 ile B Çiftliği kadar olmasa da kritik

derecede yüksek bulunmuş. Bu da benzer riskleri beraberinde getirebilir. Orta ve kısa parçacık oranları ise optimalin altında bulunmuştur.

Simmental çiftliğinde en dikkat çekici sonuç, uzun parçacık oranının %11.1 ile önerilen maksimum değeri aşmasıdır. Bu, mısır silajı veya kaba otun çok uzun kesildiğini, karıştırmanın yetersiz olduğunu veya rasyonda aşırı miktarda saplı veya sert kaba yem kullanıldığına işaret etmektedir. Maulfair ve Heinrichs (2010) tarafından da vurgulandığı gibi, aşırı uzun parçacıklar inekler tarafından reddedilir, bu da gerçek tüketilen rasyonun formüle edilenden farklı olmasına neden olur. İnce parçacık oranı (%36.7) yine optimal seviyenin üzerinde tespit edilmiştir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bingöl'deki faaliyet gösteren işletmelerden alınan örneklerin PSPS analizi, TMR parçacık yönetiminde önemli iyileştirme alanları olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle ince parçacık (<4 mm) oranının tüm çiftliklerde aşırı yüksek olması ortak ve ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bu durum, konsantre yemlerin aşırı öğütülmesinden, rasyonda ince kaba yem kullanımından veya karıştırma sırasında parçacıkların parçalanmasından kaynaklanıyor olabilir. Kmicikewycz ve Heinrichs (2015) ve Coon ve ark., (2018) çalışmalarının da gösterdiği gibi, bu profile sahip rasyonlarla beslenen ineklerde yem seçimi artar, rumen pH'ı düşme eğiliminde olur ve SARA insidansı yükselebilir. Simmental çiftliği'ndeki aşırı uzun parçacık sorunu ise, fiziksel etkinliği artırmak isterken hayvanların bu parçacıkları reddederek besin alımını ve rasyon dengesini bozma riski taşır. İdeal olan, tüm fraksiyonların optimal aralıklarda olduğu, dengeli bir parçacık dağılımında olmasıdır.

Bu nedenle, mısır silajı ve kaba otların kesim uzunluğu, hedeflenen parçacık dağılımını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. TMR mikserinin kapasiteye uygun doldurulması, karıştırma süresinin yeterli ancak aşırı uzun olmaması sağlanmalıdır. Aşırı karıştırma, parçacık parçalanmasına ve ince parçacık oranının artmasına neden olur.

İşletmeler, kendi TMR'larını düzenli olarak PSPS ile analiz etmeli ve sonuçları optimal aralıklarla karşılaştırmalıdır. Bu, yem hazırlama sürecindeki sapmaları erken tespit etmeyi sağlar. Özellikle B ve C çiftlikleri gibi ince

parçacık yüksek rasyonlarda, yeme su veya melas ilavesi, tozu azaltarak yem seçimini bir miktar minimize edebilir ve yemlik stabilitesini artırabilir (Leonardi ve ark., 2005; DeVries ve Gill, 2012). Ancak bu, parçacık dağılımındaki temel sorunu çözmez, sadece yönetsel bir destek olarak görülmelidir.

İnce parçacık oranını düşürmek için rasyonda kullanılan bazı ince öğütülmüş konsantrelerin fiziksel formu değiştirilebilir. Ayrıca, kaba yem kaynağı olarak parçacık boyutu daha iyi korunabilen yonca kuru otu gibi kaynakların oranı artırılabilir. Rasyon formülasyonu için akademik danışmanlık veya Zooteknist'lerden tavsiye alınmalıdır.

Sonuç olarak PSPS, süt sığırcılığı işletmeleri için pahalı olmayan, uygulaması kolay ve son derece değerli bir rasyon yönetim aracıdır. Çalışma örneklerinde görüldüğü üzere düzenli parçacık analizi, rasyonun fiziksel kalitesi hakkında objektif veri sağlayarak, rumen sağlığını koruyucu, yem seçimini ve SARA riskini azaltıcı önlemlerin alınmasının temelini oluşturur. Optimal parçacık dağılımı, sadece yem maliyetlerinin etkin kullanımı değil, aynı zamanda inek sağlığı, refahı ve sürdürülebilir yüksek süt verimi için de vazgeçilmezdir.

KAYNAKLAR

- Arzola-Alvarez, C., Bocanegra-Viezca, J. A., Murphy, M. R., Salinas-Chavira, J., Corral-Luna, A., Romanos, A., Ruiz-Barrera, O., & Rodriguez-Muela, C. (2010). Particle size distribution and chemical composition of toplam mixed rations for dairy cattle: Water addition and feed sampling effects. *Journal of Dairy Science*, 93(9), 4180–4188. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2952>
- Castillo-Lopez, E., Haselmann, A., Petri, R. M., Knaus, W., ve Zebeli, Q. (2020). Evaluation of fecal fermentation profile and bacterial community in organically fed dairy cows consuming forage-rich diets with different particle sizes. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8020–8033. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18036>
- Coon, R. E., Duffield, T. F., & DeVries, T. J. (2018). Effect of straw particle size on the behavior, health, and production of early-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(7), 6375–6387. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13920>
- DeVries, T. J., & Gill, R. M. (2012). Adding liquid feed to a toplam mixed ration reduces feed sorting behavior and improves productivity of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2648–2655. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4965>
- DeVries, T. J., Dohme, F., & Beauchemin, K. A. (2008). Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feed sorting. *Journal of Dairy Science*, 91(10), 3958–3967. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1347>
- Grant, R. J., & Colenbrander, V. F. (1990). Milk fat depression in dairy cows: Role of particle size of alfalfa hay. *Journal of Dairy Science*, 73(7), 1823–1833. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78857-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78857-5)
- Heinrichs, A. J. (2013). The Penn State Particle Separator. DAS 2013-186. Penn State Extension. <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator>
- Jones, C. M., & Heinrichs, J. (2013). Penn State Particle Separator. Penn State Extension. <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator>
- Khorrani, B., Kheirandish, P., Zebeli, Q., & Castillo-Lopez, E. (2022). Variations in fecal pH and fecal particle size due to changes in dietary starch: Their potential as an on-farm tool for assessing the risk of ruminal acidosis in dairy cattle. *Research in Veterinary Science*, 152, 678–686. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.10.001>
- Kmicikewycz, A. D., & Heinrichs, A. J. (2015). Effect of corn silage particle size and supplemental hay on rumen pH and feed preference by dairy cows fed high-

- starch diets. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 373–385. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8103>
- Kmicikewycz, A. D., Harvatine, K. J., & Heinrichs, A. J. (2015). Effects of corn silage particle size, supplemental hay, and forage-to-concentrate ratio on rumen pH, feed preference, and milk fat profile of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4850–4868. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9249>
- Kronqvist, C., Petters, F., Robertsson, U., & Lindberg, M. (2021). Evaluation of production parameters, feed sorting behaviour and social interactions in dairy cows: Comparison of two total mixed rations with different particle size and water content. *Livestock Science*, 251, 104662. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104662>
- Lammers, B. P., Buckmaster, D. R., & Heinrichs, A. J. (1996). A simple method for the analysis of particle sizes of forage and topam mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 79(5), 922–928. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76442-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76442-1)
- Leonardi, C., & Armentano, L. E. (2003). Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(2), 557–564. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73634-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73634-0)
- Leonardi, C., Giannico, F., & Armentano, L. E. (2005). Effect of water addition on selective consumption (sorting) of dry diets by dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1043–1049. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72772-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72772-7)
- Li, F., Li, Z., Li, S., d Ferguson, J., Cao, Y., Yao, J., & ark. (2014). Effect of dietary physically effective fiber on ruminal fermentation and the fatty acid profile of milk in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 97, 2281–2290. doi: 10.3168/jds.2013-6895
- Martz, F. A., & Belyea, R. L. (1986). Role of particle size and forage quality in digestion and passage by cattle and sheep. *Journal of Dairy Science*, 69(7), 1996–2008. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80619-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80619-3)
- Maulfair, D. D., & Heinrichs, A. J. (2010). Technical note: Evaluation of procedures for analyzing ration sorting and rumen digesta particle size in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(8), 3784–3788. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3094>
- Maulfair, D. D., Fustini, M., & Heinrichs, A. J. (2011). Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and fecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3527–3536. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3718>

- Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463–1481. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2)
- Miller-Cushon, E. K., & DeVries, T. J. (2017). Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 4172–4183. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11983>
- Schadt, I., Ferguson, J. D., Azzaro, G., Petriglieri, R., Caccamo, M., Van Soest, P., & Licitra, G. (2012). How do dairy cows chew?—Particle size analysis of selected feeds with different particle length distributions and of respective ingested bolus particles. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4707–4720. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5118>
- Yang, W. Z., & Beauchemin, K. A. (2007). Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Chewing and ruminal pH. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2826–2838. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-741>
- Zebeli, Q., Aschenbach, J. R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B. N., & Drochner, W. (2012). Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(3), 1041–1056. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4421>

BÖLÜM 5

KETEN TOHUMU VE SÜTÜNÜN FİZİKOKİMYASAL VE BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

Dr. Öğr. Üyesi Murat KAYA¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156583>

¹ Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Kayseri, Türkiye. muratkaya@kayseri.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3181-2517

1. GİRİŞ

Beslenme ve sağlıklı yaşam günümüzün trend konularındandır. Kaynakların etkin ve verimli kullanılabilmesi ve hayvan refahı gibi pek çok sebepten günümüzde insanlara ve doğal çevreye dost olan bitki bazlı gıdalara karşı tüketicilerin ilgisi giderek artmaktadır. Son yıllarda, hayvansal içeceklerin alternatifi olarak kullanılan bitki bazlı süt ürünlerinin çeşitliliği ve miktarında hızlı bir artış görülmektedir (Singhal ve ark., 2017; Verduci ve ark., 2019). Bitki bazlı sütler, inek sütünün görünümünü ve kıvamını taklit eden baklagiller, yağlı tohumlar, tahıllar ve yalancı tahılların sıvı bazlı özütleridir (Sethi ve ark., 2016). Ancak bazı ülkelerde yasal kısıtlamalar nedeniyle sadece hayvanların salgı bezlerinden sağım yolu ile elde edilen sıvı hayvansal ürüne “süt” denilmekte, bitki bazlı ürünlerden elde edilen süt benzeri ürüne “içecek” yada “meşrubat” ifadesinin kullanılmasına izin verilmektedir (Sethi ve ark., 2016; Singhal ve ark., 2017).

1.1. Bitkisel sütün tanımı

Bitkisel sütler, parçalanarak su içerisinde çözündürülmüş çeşitli bitkisel materyal içeren koloidal yapıdaki süspansiyon ya da emülsiyonlar şeklinde tanımlanabilir. Bir başka ifadeyle bitkisel sütler, geleneksel olarak farklı ham maddelerin süspansiyon halinde öğütülmesi ve daha sonra daha büyük parçacıkları uzaklaştırmak için filtrelenmesiyle hazırlanan sıvı ürünler olarak tanımlanmaktadır (Sethi ve ark., 2016).

1.2. Yağlı tohum bitkisel sütünün üretim aşamaları ve karşılaşılan sorunlar

Tohumlar ıslak öğütme işleminden önce suda bekletilir. Öğütme sonrasında sütte bulunan büyük parçacıkları uzaklaştırmak için genellikle ince bir bezle filtrasyon gerçekleştirilir. Tercihen tohum sütünün ağızda bıraktığı olumsuz hissi iyileştirmek ve ürünün raf ömrünü uzatmak için keçiyoynuzu gamı, akasya gamı veya karragenan gibi stabilizatörler ve kıvam arttırıcılar yapıyı iyileştirmede kullanılabilir. Keten tohumu sütü hazırlama aşmaları ise tohumlar detoksifikasyon amacıyla 9 dk boyunca 720 W mikrodalgada ısıtılmış, 1:7 oranında de iyonize su ile 2 saat süresince ısıtılmış, ısıtılan karışımın müsilağı 0,85 mm gözenek çapına sahip elekten geçirilerek uzaklaştırılmış, kolloid değirmende öğütülmüş (1000 W 2 dak), öğütülen keten tohumu-su karışımı 0,075 mm gözenek

çapına sahip bezden geçirilmiş süzöntü 9 dakika ısıtılarak homojenize edilmiştir (Zhao ve ark., 2025).

Tohumlardan bitkisel süt üretilirken çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Bu problemler:

- Ürünün doğası gereği öğütme aşamasında heterojen bir parçacık boyutu ortaya çıkabilmektedir. Bu da filtrasyonda verim düşmesine neden olabilmektedir.
- Karıştırma yetersiz kaldığında yağ fazının son üründen ayrışması sorunu ile karşılaşılabilir.
- Öğütmede kullanılan ekipman uygunsuzluğu stabilizatörün homojen karışmamasına neden olabilmektedir.
- Ürünün yağlı olması nedeniyle öğütme ekipmanının temizliğinde problemler yaşanabilmektedir. Bu durum kontaminasyon riskini de beraberinde getirmektedir.
- Kıvam arttırıcısının ürün içerisinde homojen dağıtılmaması durumunda ürün kaybı meydana gelmektedir (Anonim, 2025).

2. KETEN TOHUMU ve İÇERDİĞİ BESİN ÖĞELERİ, BİYOAKTİVİTESİ

Keten bitkisinin latince adı *Linum usitatissimum*'dur. Usitatissimum kelimesi latince "çok kullanışlı" anlamına gelmektedir. Bitki antik yunan döneminden beri doğal lif, keten ve kağıt hammaddesi olarak kullanılmaktadır (Waldschläger ve ark., 2005).

Keten tohumu makro ve mikro besin elementleri açısından oldukça zengin bir içeriğe sahiptir. Bu özelliği de onu insanlar için değerli bir gıda haline getirmektedir. Keten tohumu % 18 protein, % 37,3 lipid (n-3, n-6), % 3,52 kül, % 34,4 total karbonhidrat (% 23,1 diyet lif), mineral maddeler (Ca, Fe, Mg, P, K, Na, Zn, Cu, Mn, Se), vitaminler (Tiamin, Niasin, B6, Folat, E, K), aminoasitler (Triptofan, treonin, izolösin, lösin, lisin, metionine, fenilalanin, tirozin, valin, arginin, histidin, alanin, aspartik asit, glutamik asit, glisin, prolin, serin, hidroksi prolin, sistin), biyoaktif maddeler (İzoflavonlar: Daidzein, genistein, daidzin, geniştin, glisitin) içermektedir. Keten tohumu yağı en önemli α -linolenik asit kaynaklarından birisidir (Yang ve ark., 2021). Şekil 1'de keten tohumunun besin öğeleri verilmiştir. Biyomolekül çeşitliliği keten tohumuna yüksek besin değeri özelliği kazandırmakta,

aynı zamanda yapısındaki bazı bileşenler fonksiyonel özellikler nedeniyle gıda katkı maddesi olarak da araştırılmasına neden olmaktadır (Tolkachev ve Zhuchenko, 2004).

Keten tohumu çok çeşitli uçucu bileşik içermektedir. Gerçekleştirilen bir çalışmada keten tohumu tozunda 52 farklı bileşen belirlenmiştir. Bu bileşiklerden baskın olanları heksanal, d- limonen, 1-heksanol, β -felandren, α -felandren ve nonanaldır (Yang ve ark., 2021).



Şekil 1. Keten tohumu besin öğeleri
Kaynak: (Anonim, 2021)

Keten tohumu, keten tohumu gamı, lignanlar, diyet lifi ve yüksek α -linolenik asit gibi fonksiyonel bileşenler açısından zengin bir tohumdur (Cao WeiWei ve ark.,

2017; Mueed ve ark., 2022). Ayrıca keten tohumunun kotiledon kısmında yoğunlaşmış, yüksek amino asit skorlarına sahip globulinler ve albüminlerden oluşan yüksek kaliteli proteinler de içermektedir (Rabetafika ve ark., 2011; Dzuovor ve ark., 2018).

2.1. Keten tohumu ve biyoaktif bileşiklerinin sağlık üzerine etkileri

Keten tohumu çeşitli fenolik bileşiklere sahiptir. Bu bileşikler fenolik asitler ve lignanlar olarak iki kategoride yer almaktadırlar. Fenolik asitlerin miktarı 790-1030 mg/100 g arasında değişkenlik göstermektedir. Keten tohumunda bulunan başlıca fenolik asitler klorojenik asit, p-hidroksi benzoik asit, ferulik asit, vanilik asit ve kumarik asittir. Lignanlar arasında matairesinol, pinoreesinol, diphyllin ve skeoisolarsiresinol bulunmakta ve fenolik asitlere nazaran daha düşük konsantrasyonda olmaktadır (Herchi ve ark., 2011; Bekhit ve ark., 2018).

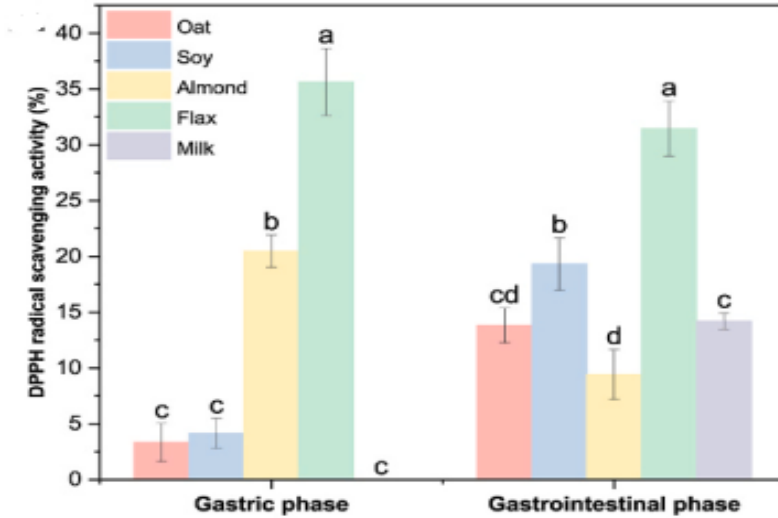
Keten tohumu % 37,3 oranında yağ içermektedir. Keten tohumu yağı, esansiyel- ω 3 yağ asitlerinden olan α -linolenik (ALA) asitçe zengin birkaç kaynaktan bir tanesidir. ALA'nın kalp hastalıklarının ana nedenlerinden olan düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) kandaki seviyesini düşürdüğünden tüketimi tavsiye edilmektedir (Cunnane ve ark., 1993).

Lignan, 370000 μ g/100 g konsantrasyonla en fazla keten tohumunda bulunmaktadır. Keten tohumunu 2900 μ g/100 g ile susam tohumu, 2787 μ g/100 g ile siyah çay, 2646 μ g/100 g ile yeşil çay takip etmektedir (Meagher ve Beecher, 2000). Keten tohumu yapısında bulunan izoflavanoid grubunda fenolik bir bileşik olan lignanın sağlık üzerine oldukça önemli/olumlu etkileri bulunmaktadır (Clifford, 2000; Özkıyanak Kanmaz ve Ova, 2012). Lignanın insan vücudunda östrojene benzer özelliklerde etki gösterdiği çalışmalarla ortaya konmuştur (Webb ve McCullough, 2005). Lignanlar, 17- β estradiol'e yapısal benzerliği nedeniyle östrojen aracılı yollarla kanseri karşı etki gösterebilir. Ayrıca lignanın canlıların üreme fonksiyonlarına da etki ettiği yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir (Tou ve ark., 1998, 1999; Tou ve Thompson, 1999). Lignanların kolon kanseri oluşumundaki rolünü araştıran çalışmaların büyük çoğunluğu ya in vitro ya da hayvan deneylerine dayanmaktadır. LS174T, Caco-2, HCT-15 ve T-84 kodlu dört kolon kanseri hücre hattı üzerinde yapılan bir çalışmada, lignanın 100 μ M konsantrasyon uygulamasının hücre hatlarının büyümesini engelleyici etki gösterdiği tespit edilmiştir (Sung ve ark., 1998). Epidemiyolojik bir çalışma lignan alımı ile meme kanseri riski arasında

ki ters ilişkiyi desteklemiştir (Dai ve ark., 2002; den Tonkelaar ve ark., 2001; Grace ve ark., 2004; Hultén ve ark., 2002; Ingram ve ark., 1997; Kilkkinen ve ark., 2004; Pietinen ve ark., 2001). Lignanın aromataz enzimini inhibe ederek ve östrojen reseptör- β ile rekabet ederek testosteronun prostat üzerindeki büyüme teşvik edici etkisini azalttığı düşünülmektedir (Griffiths ve ark., 1998). Gerçekleştirilen çalışmada *In vitro* ortamda, 10–100 μ M lignanın PC-3 ve LNCaP prostat kanseri hücre hatlarının büyümesini inhibe ettiği tespit edilmiştir (Lin ve ark., 2001).

Keten tohumundan elde edilen bitkisel sütte sindirim sonrası ortaya çıkan biyoaktif peptitlerin araştırıldığı bir çalışmada, sindirim sonrası belirlenen biyoaktif peptitler, ACE inhibitörü ve dipeptidil peptidaz IV inhibitörü olmuştur (Zhao ve ark., 2025).

Bitkisel preparatların oksidatif stresi azaltıcı etkiye sahip aktif bileşikleri içermesi önemli kriterlerdendir. Keten tohumu antioksidanca zengin gıdalar arasında yer almaktadır. Yulaf, soya, keten ve badem bitkisel sütlerin antioksidan kapasitelerinin belirlendiği bir çalışmada keten tohumundan elde edilen bitkisel sütün en yüksek DPPH radikalini süpürme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir (Zhao ve ark., 2025). Farklı bitkisel sütlerin *in vitro* sindirimi sonrasında ki DPPH radikalini süpürme kapasitelerine ait sonuçlar Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı bitkisel sütlerin DPPH radikalini süpürme kapasitesi

Kaynak: (Zhao ve ark., 2025)

Keten tohumunun ticari kullanım şekli, yağ, un veya hayvan yemi şeklindedir. Tüketicilerin sağlık hassasiyetleri arttıkça fonksiyonel bir ürün olan keten tohumundan elde edilen ürünler yada keten tohumu ile zenginleştirilmiş ürünlere ilgi ve talep gün geçtikçe artış göstermektedir. İyi bir protein kaynağı olmasına rağmen, keten tohumu sütlü içecekler üzerine yapılan araştırmalar sınırlıdır (Yue ve ark., 2024a).

3. KETEN TOHUMU VE KETEN TOHUMU SÜTÜ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

Yapılan bir çalışmada, keten tohumu tozunun uçucu bileşenleri, çözücü destekli flavır buharlaştırma yöntemi ile elde edilmiş, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi-olfaktometri kombinasyonu kullanılarak bileşenler açısından analiz edilmiştir. Örneklerde 52 aktif koku bileşiği tanımlanmıştır. Çiğ keten tohumunda heksanal, d-limonen, 1-heksanol, β -felandren, α -felandren ve nonanalini tipik koku vericiler olduğu tespit edilmiştir (Yang ve ark., 2021).

Yapılan bir diğer çalışmada, keten tohumu sütündeki uçucu bileşikler tanımlanmış, sütler duysal açıdan değerlendirilmiştir. Çalışmada keten sütünde meyvemsi, kavrulmuş, tatlı ve salatalık aromalarından sorumlu 1-okten-3-ol, 2-metoksi-4-vinilfenol ve 2,3,5-trimetilpirazin koku bileşenleri tespit edilmiştir. Sarı tohumlu keten bazlı sütün, kahverengi tohumluya kıyasla daha belirgin fasulyemsi, kavrulmuş ve tahıl aromasına sahip olduğu belirlenmiştir. Sarı tohumlu süt daha küçük partikül boyutu ve daha yüksek stabiliteye sahip olmuş ve bu sonuçların keten tohumu sütünün lezzetini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebileceği sonucuna varılmıştır. Keten tohumu çeşidinin keten tohumu sütünün lezzeti için çok önemli bir kriter olduğu anlaşılmıştır (Yue ve ark., 2024b).

Keten tohumundan elde edilen bitkisel sütte sindirim sonrası ortaya çıkan biyoaktif peptitlerin araştırıldığı bir çalışmada, sindirim sonrası belirlenen 2 önemli biyoaktif peptit ACE inhibitörü, dipeptidil peptidaz IV inhibitörü olmuştur.

Bitkisel preparatlar için oksidatif stresi azaltıcı etkiye sahip aktif bileşikler içermek önemli kriterlerdendir. Keten tohumu antioksidanca zengin gıdalar arasındadır. Yine aynı çalışmada yulaf, soya, keten ve badem bitkisel sütlerinin antioksidan kapasiteleri belirlenmiş ve keten tohumundan elde edilen bitkisel sütün en yüksek DPPH radikalini süpürme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür (Zhao ve ark., 2025).

Gerçekleştirilen bir çalışmada keten tohumu, soya, fındık, ceviz, yulaf, badem, kinoa ve Hindistan cevizi ile zenginleştirilmiş muffin tipi keklerin fonksiyonel, yapısal, reolojik ve biyoaktif özellikleri araştırılmıştır. Bitkisel bazlı süt hazırlarken ürünün karakteristiğine göre % 2-8 oranında hammadde kullanılmıştır. Üretilen muffin keklerin reçetesi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bitkisel Bazlı Sütçe Zenginleştirilmiş Muffin Keklerin Bileşenleri

İçerik adı	Kontrol	SSM	FSM	CSM	QSM	KTSM	HCSM	YSM	BSM
Buğday unu	200 g	200g	200g	200g	200g	200 g	200 g	200	200g
Ayçiçek yağı	100 g	100g	100g	100g	100g	100 g	100 g	100g	100g
Yumurta	90 g	0	0	0	0	0	0	0	0
Akuafaba	0	90 g	90 g	90 g	90 g	90 g	90 g	90 g	90 g
Şeker	150 g	150g	150g	150g	150g	150 g	150 g	150g	150g
İnek sütü	32 g	0	0	0	0	0	0	0	0
SSM	0	32 g	0	0	0	0	0	0	0
FSM	0	0	32 g	0	0	0	0	0	0
CSM	0	0	0	32 g	0	0	0	0	0
QSM	0	0	0	0	32 g	0	0	0	0
KTSM	0	0	0	0	0	32 g	0	0	0
HCSM	0	0	0	0	0	0	32 g	0	0
YSM	0	0	0	0	0	0	0	32 g	0
BSM	0	0	0	0	0	0	0	0	32 g
Kabartma tozu	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g
Vanilin	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g

Kaynak: (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025)

SSM: Soya sütü muffin, FSM: Fındık sütü muffin, CSM: Ceviz sütü muffin, QSM: Kinoa sütü muffin, KTSM: Keten tohumu sütü muffin, HCSM: Hindistan cevizi sütü muffin, YSM: Yulaf sütü muffin, BSM: Badem sütü muffin

Tüm örnekler Newtonian olmayan akış sergilemiş ve kayma hızı arttıkça görünür viskozitede azalma ile karakterize olmuştur. Bu kayma gücüyle zayıf

moleküller arası bağların kopmasıyla görülen yalancı plastik akış kek, muffin gibi gıdalarda tipiktir. Ancak kullanılan bitkisel süt tipine bağlı bazı farklılıklar görülmüştür. KTSM, HCSM ve YSM hamurları diğer sütlerle hazırlanan hamurlara göre daha yüksek kayma stresi ve viskoziteye sahip olmuşlardır (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

İnek sütü ile hazırlanan kontrol muffin örneğinde en yüksek protein (8,51 g/100 g) ve yağ (22,21 g/100 g) değerlerine ulaşılmıştır. Bitki bazlı sütlerle hazırlanan muffin örneklerinde ise 5,40-5,92 g/100 g arasında değişen daha düşük protein değerleri, 19,92-19,61 g/100 g arasında değişen daha düşük yağ değerleri elde edilmiştir. Diyet lifi açısından SSM (1,02 g/100 g) ve CSM (0,99 g/100 g) örnekleri en yüksek diyet lifi sonuçlarına sahip olmuşlardır. Keten tohumu sütlü muffin örneğinin Ca içeriği 165.94 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Örnekler arasında en yüksek K değerine sahip numune 1331 mg/100 g ile soya sütlü muffin örneğinden elde edilmiştir. Keten tohumlu muffin örneğinin K değeri 1212.24 mg/100 g'dır. Bitki bazlı sütlü muffinlerin Mg değerleri (161,8 -174,3 mg/100 g) kontrol örneğine göre dikkat çekici düzeyde yüksek çıkmış, bu durum ürünlerin beslenme açısından önemli bir kaynak teşkil edebileceği sonucunu ortaya koymuştur (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Sonuçlar mineral profili açısından değerlendirildiğinde örnekler arasında dikkat çekici farklılıklarla karşılaşmıştır. İnek sütü ile hazırlanan kontrol örneği en yüksek Ca (301,99 mg/100 g) değerine sahip olurken bitki bazlı sütlerle hazırlanan örneklerin Ca değerleri 146,15-252,08 mg/100 g arasında değişkenlik göstermiştir (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Farklı bitkisel sütler kullanılarak üretilen ürünlerin duyu testleri kıyaslandığında kontrol örneği 8,2 beğeni skoru alırken, keten tohumu sütlü örneğin genel beğeni skoru 7,0 olmuştur. Bu değer bitki bazlı sütlü örnekler arasında ki en yüksek değer olmuştur (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Kinoa, keten tohumu ve hindistan cevizi sütleri kullanılarak üretilen muffin hamurunda daha yüksek toplam fenolik madde ile antioksidan kapasite (özellikle CUPRAC) elde edilerek ürünlerin fonksiyonellikleri artırılmış, Ceviz ve kinoa sütlü muffinler başta olmak üzere tüm örneklerin glutamik asit, arjinin ve lösini oldukça önemli düzeyde diğer aminoasitleri ise belirgin şekilde artırdığı görülmüştür (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Elde edilen bu fizikokimyasal sonuçlar bitki bazlı sütlerle üretilen ürünler ile hayvansal kaynaklı süt kullanılarak üretilen ürünler arasındaki olması beklenen farklılıkları doğru şekilde yansıtmaktadır. Ürünlerde hayvansal kaynaklı süt yerine bitki bazlı süt kullanmak o ürünlerin diyet lif ve Mg miktarında gözle görülür artışlara, enerji ve yağ içeriğinde azalmaya neden olmaktadır (Walther ve ark., 2022; Johnson ve ark., 2025).

Farklı mikrodalga, ısıtma ve homojenizasyon koşullarının keten tohumu sütünün yapısındaki koku bileşenleri ile endojen enzimler arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir çalışmada, mikrodalga ve ısı uygulamasının endojen enzim konsantrasyonu ile aroma maddeleri konsantrasyonu arasında ters ilişki olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga uygulamasının özellikle aroma salınımı açısından faydalı olduğu görülmüştür. Bitki bazlı süt yapısında bulunan ketene özgü 9 temel aroma bileşeninin konsantrasyonlarının 215,9 µg/kg'dan 587,32 µg/kg'a yükseldiği belirlenmiştir. sonuçlar, mikrodalga aroma ekstraksiyon teknolojisinin rasyonel kullanımı ve uygun ısıtma ve homojenizasyon işlemlerinin keten tohumu sütünün lezzet kalitesini etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermiştir (Zhao ve ark., 2025).

Farklı termal sterilizasyon koşullarının (65 °C-30 dk, 85 °C-15 dk ve 95 °C-15 s) keten tohumu sütünün fizikokimyasal stabilitesi üzerindeki etkisini, bünyedeki yağ globüllerinin arayüzey özelliklerindeki değişiklikleri incelemek için araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırma nesnesi olarak keten tohumu sütü kullanılmıştır. Sonuçlar, termal sterilizasyon işleminin keten tohumu sütünün ortalama partikül boyutunda %95,58'lik ($P<0,05$) bir artışa ve Zeta potansiyelinin mutlak değerinde %12,26'lık ($P<0,05$) bir azalmaya yol açtığını, bununla birlikte viskoelastisitenin azaldığını ve sütün fiziksel stabilitesinin iyileştiğini göstermiştir (Yu ve ark., 2024).

SONUÇ

Keten tohumu besleyici, fonksiyonel özellikleri, probiyotikliği ve fitokimyasal özellikleriyle bilinçli tüketicilerin ve gıda sektörünün ilgisini çekmektedir. Keten tohumu ve ürünleri bağırsak biyotasına olan olumlu etkileri ve diğer sağlık faydaları onu potansiyel ürün konumuna getirmektedir. Daha etkin olarak keten tohumu ürünleri kullanılmasındaki en önemli engel kolay oksidatif bozulmaya yatkın çoklu doymamış yağ asidince zengin olması gösterilebilir. Keten tohumu yapısında bulunan siyanogenjenik glikozitin hidrojensiyanide degrade

olması halinde yüksek toksik etki gösterme potansiyeli vardır. Hidrojen siyanid nefesin durması ve insan endokrin, kardiyovasküler ve sinir sistemi üzerinde olumsuz etkiler gösterme gibi olumsuz etkiler gösterebilir. Yapılan çalışmalar farklı süt ikamelerinin belirli koşullarda tüketici kabul edilebilirliği açısından uygun olduğunu ortaya koymuştur. Bulgular süt içermeyen bitkisel sütlerle üretilen ürünlerin (keten tohumu sütünde bu gruba dahildir.), istenen fiziksel ve duyuşsal kaliteyi korurken fırınlanmış ürünlerin beslenme ve fonksiyonel çeşitliliğini artırabileceğini teyit etmiştir.

Vegan ürünlerin üretiminde kullanılacak bitki bazlı sütler için standartlaştırılmış kalite parametrelerinin oluşturulmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Ürün ve üretim süreçlerinden kaynaklanan farklı yaklaşımlar son ürün özelliklerinde önemli değişikliklere neden olabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim. (2021). *USDA. Report 12220, Seeds, Flaxseed.* <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/2262075/nutrients>, (Erişim Tarihi: 25.12.2025).
- Anonim. (2025). *Manufacture of Plant-Based Milk Alternatives—Non-Dairy Milk Processing.* <https://www.silverson.com/us/resource-library/application-reports/manufacture-of-plant-based-milk-alternatives>, (Erişim Tarihi: 25.12.2025)
- Bekhit, A. E.-D. A., Shavandi, A., Jodjaja, T., Birch, J., Teh, S., Mohamed Ahmed, I. A., Al-Juhaimi, F. Y., Saeedi, P., Bekhit, A. A. (2018). Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13, 129-152. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.017>
- Cao WeiWei, C. W., Huang QingDe, H. Q., Deng QianChun, D. Q. (2017). Research progress in the utilization of flaxseed meal food. *Food Research and Development*, 38(7): 200-205.
- Clifford, M. N. (2000). Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence, dietary burden, absorption and metabolism. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7): 1033-1043. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7%253C1033::AID-JSFA595%253E3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7%253C1033::AID-JSFA595%253E3.0.CO;2-T)
- Cunnane, S. C., Ganguli, S., Menard, C., Liede, A. C., Hamadeh, M. J., Chen, Z.-Y., Wolever, T. M. S., Jenkins, D. J. A. (1993). High α -linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum*): some nutritional properties in humans. *British Journal of Nutrition*, 69(2): 443-453. <https://doi.org/10.1079/BJN19930046>
- Dai, Q., Franke, A. A., Jin, F., Shu, X.-O., Hebert, J. R., Custer, L. J., Cheng, J., Gao, Y.-T., Zheng, W. (2002). Urinary excretion of phytoestrogens and risk of breast cancer among Chinese women in Shanghai. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention: A Publication of the American Association for Cancer Research, Cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 11(9): 815-821.
- den Tonkelaar, I., Keinan-Boker, L., Veer, P. V., Arts, C. J., Adlercreutz, H., Thijssen, J. H., Peeters, P. H. (2001). Urinary phytoestrogens and postmenopausal breast cancer risk. *Cancer Epidemiology, Biomarkers &*

Prevention: A Publication of the American Association for Cancer Research, Cosponsored by the American Society of Preventive Oncology, 10(3): 223-228.

- Dzuvor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S., Agyei, D., Dzuvor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S., Agyei, D. (2018). Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed. *Molecules*, 23(10): <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>
- Grace, P. B., Taylor, J. I., Low, Y.-L., Luben, R. N., Mulligan, A. A., Botting, N. P., Dowsett, M., Welch, A. A., Khaw, K.-T., Wareham, N. J., Day, N. E., Bingham, S. A. (2004). Phytoestrogen concentrations in serum and spot urine as biomarkers for dietary phytoestrogen intake and their relation to breast cancer risk in European prospective investigation of cancer and nutrition-norfolk. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention: A Publication of the American Association for Cancer Research, Cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 13(5): 698-708.
- Griffiths, K., Denis, L., Turkes, A., Morton, M. S. (1998). Phytoestrogens and diseases of the prostate gland. *Bailliere's Clinical Endocrinology and Metabolism*, 12(4): 625-647. [https://doi.org/10.1016/s0950-351x\(98\)80008-6](https://doi.org/10.1016/s0950-351x(98)80008-6)
- Herchi, W., Sakouhi, F., Boukhchina, S., Kallel, H., Pepe, C. (2011). Changes in fatty acids, tocopherols, carotenoids and chlorophylls content during flaxseed development. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(7): 1011-1017. <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1750-3>
- Hultén, K., Winkvist, A., Lenner, P., Johansson, R., Adlercreutz, H., Hallmans, G. (2002). An incident case-referent study on plasma enterolactone and breast cancer risk. *European Journal of Nutrition*, 41(4): 168-176. <https://doi.org/10.1007/s00394-002-0373-3>
- Ingram, D., Sanders, K., Kolybaba, M., Lopez, D. (1997). Case-control study of phyto-oestrogens and breast cancer. *Lancet (London, England)*, 350(9083): 990-994. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(97\)01339-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(97)01339-1)
- Johnson, A. J., Stevenson, J., Pettit, J., Jasthi, B., Byhre, T., Harnack, L. (2025). Assessing the nutrient content of plant-based milk alternative products available in the united states. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 125(4): 515-527.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2024.06.003>

- Kilkinen, A., Virtamo, J., Vartiainen, E., Sankila, R., Virtanen, M. J., Adlercreutz, H., Pietinen, P. (2004). Serum enterolactone concentration is not associated with breast cancer risk in a nested case-control study. *International Journal of Cancer*, 108(2): 277-280. <https://doi.org/10.1002/ijc.11519>
- Lin, X., Switzer, B. R., & Demark-Wahnefried, W. (2001). Effect of mammalian lignans on the growth of prostate cancer cell lines. *Anticancer Research*, 21(6A): 3995-3999.
- Meagher, L. P., and Beecher, G. R. (2000). Assessment of Data on the Lignan Content of Foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 13(6): 935-947. <https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0932>
- Mueed, A., Shibli, S., Korma, S. A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T., Deng, Z., Mueed, A., Shibli, S., Korma, S. A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T., Deng, Z. (2022). Flaxseed bioactive compounds: Chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. *Foods*, 11(20): <https://doi.org/10.3390/foods11203307>
- Özkyanak Kanmaz, E., and Ova, G. (2012). Keten tohumu yapısındaki fenolik bileşikler. *Akademik Gıda*, 10(4): 58-90.
- Pietinen, P., Stumpf, K., Männistö, S., Kataja, V., Uusitupa, M., Adlercreutz, H. (2001). Serum enterolactone and risk of breast cancer: A case-control study in eastern Finland. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention: A Publication of the American Association for Cancer Research, Cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 10(4): 339-344.
- Rabetafika, H. N., Van Remoortel, V., Danthine, S., Paquot, M., Blecker, C. (2011). Flaxseed proteins: Food uses and health benefits. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(2): 221-228. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02477.x>
- 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>
- Singhal, S., Baker, R. D., Baker, S. S. (2017). A comparison of the nutritional value of cow's milk and nondairy beverages. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 64(5): 799-805. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000001380>

- Sung, M. K., Lautens, M., Thompson, L. U. (1998). Mammalian lignans inhibit the growth of estrogen-independent human colon tumor cells. *Anticancer Research*, 18(3A): 1405-1408.
- Tolkachev, O. N., and Zhuchenko, A. A. (2004). Biologically active substances of flax: Medicinal and nutritional properties (a review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 34(7): 360-367.
<https://doi.org/10.1023/A:1005217407453>
- Topaloğlu Günan, K., and Yolci Ömeroğlu, P. (2025). Evaluation of plant-based milks in vegan muffins: Functional, structural, rheological and nutritional characterization. *Foods (Basel, Switzerland)*, 14(23): 3989.
<https://doi.org/10.3390/foods14233989>
- Tou, J. C., Chen, J., Thompson, L. U. (1998). Flaxseed and its lignan precursor, secoisolariciresinol diglycoside, affect pregnancy outcome and reproductive development in rats. *The Journal of Nutrition*, 128(11): 1861-1868.
<https://doi.org/10.1093/jn/128.11.1861>
- Tou, J. C., Chen, J., and Thompson, L. U. (1999). Dose, timing, and duration of flaxseed exposure affect reproductive indices and sex hormone levels in rats. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A*, 56(8): 555-570.
<https://doi.org/10.1080/00984109909350177>
- Tou, J. C., and Thompson, L. U. (1999). Exposure to flaxseed or its lignan component during different developmental stages influences rat mammary gland structures. *Carcinogenesis*, 20(9): 1831-1835.
<https://doi.org/10.1093/carcin/20.9.1831>
- Verduci, E., D'Elis, S., Cerrato, L., Comberiati, P., Calvani, M., Palazzo, S., Martelli, A., Landi, M., Trikamjee, T., Peroni, D. G., Verduci, E., D'Elis, S., Cerrato, L., Comberiati, P., Calvani, M., Palazzo, S., Martelli, A., Landi, M., Trikamjee, T., Peroni, D. G. (2019). Cow's milk substitutes for children: Nutritional aspects of milk from different mammalian species, special formula and plant-based beverages. *Nutrients*, 11(8):.
<https://doi.org/10.3390/nu11081739>
- Waldschläger, J., Bergemann, C., Ruth, W., Effmert, U., Jeschke, U., Richter, D. U., Kragl, U., Piechulla, B., Briese, V. (2005). Flax-seed extracts with phytoestrogenic effects on a hormone receptor-positive tumour cell line. *Anticancer Research*, 25(3A): 1817-1822.

- Walther, B., Guggisberg, D., Badertscher, R., Egger, L., Portmann, R., Dubois, S., Haldimann, M., Kopf-Bolan, K., Rhyn, P., Zoller, O., Veraguth, R., Rezzi, S. (2022). Comparison of nutritional composition between plant-based drinks and cow's milk. *Frontiers in Nutrition*, 9, 988707. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.988707>
- Webb, A. L., and McCullough, M. L. (2005). Dietary lignans: Potential role in cancer prevention. *Nutrition and Cancer*, 51(2): 117-131. https://doi.org/10.1207/s15327914nc5102_1
- Yang, Y., Deng, Q., Jia, X., Shi, J., Wan, C., Zhou, Q., Wang, Q. (2021). Characterization of key odorants in peeled and unpeeled flaxseed powders using solvent-assisted flavor evaporation and odor activity value calculation. *LWT*, 138, 110724. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110724>
- Yu, X., Yang, F., Qiao, H., Sun, H., Li, S., Deng, Q., Zhou, Q., Chen, Y., Zhu, Y. (2024). Effect of thermal sterilization on physicochemical stability and antioxidant capacity of flaxseed milk. *Journal of Food Science and Technology*, 42(6): 144-153. <https://doi.org/10.12301/spxb202300523>
- Yue, Y., Wang, C., Chen, Y., Zheng, M., Zhang, Y., Deng, Q., Zhou, Q. (2024a). Aroma characteristics of flaxseed milk via GC–MS–O and odor activity value calculation: Impacts and selection of different flaxseed varieties. *Food Chemistry*, 432, 137095. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137095>
- Yue, Y., Wang, C., Chen, Y., Zheng, M., Zhang, Y., Deng, Q., Zhou, Q. (2024b). Aroma characteristics of flaxseed milk via GC–MS–O and odor activity value calculation: Impacts and selection of different flaxseed varieties. *Food Chemistry*, 432, 137095. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137095>
- Zhao, Y., Wu, X., Zhou, Z., Du, G., Chen, J., Liu, X. (2025). Comparative evaluation of antioxidant activity and protein digestion of plant-based milk from different sources under dynamic *in vitro* digestion models. *Food Bioscience*, 65, 106045. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106045>
- Zhao, Yue, Y., Chen, Y., Deng, Q., Zhou, Q. (2025). Changes of endogenous enzymes and key aromas in the preparation of flaxseed milk. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 41(4): 318-326.

BÖLÜM 6

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE MİKROBİYAL BOZULMALAR

Dr. Öğr. Üyesi Nazife YILMAZ¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156636>

¹ Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Erzincan, Türkiye. nazife.kacmaz@erzincan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3000-7874

GİRİŞ

İnsanlar gıda ürünlerini üretmeye ve depolamaya başladığından beri gıda bozulmaları kayıpları ve israfı, gıda güvenliği ve emniyeti açısından insanlar için önemli bir sorun haline gelmiştir. Gıda kaybı ve israfı, küresel olarak büyük bir endişe kaynağıdır ve süt ürünleri, gıda kaybı ve israfının en büyük kategorilerinden birini temsil etmektedir. Bu kayıplar, ilk tarımsal üretimden tüketici seviyesine kadar tedarik zincirinde meydana gelen bir veya daha fazla sorunun sonucudur (Garnier ve ark., 2017; Martin ve ark., 2021).

Proteinler, lipitler, karbonhidratlar, vitaminler, mineraller, esansiyel amino asitler ve diğer besin maddeleri sütte büyük miktarlarda bulunur ve bu da onu dengeli ve beslenme açısından zengin bir gıda haline getirir (Saha ve ark., 2024). Süt kalsiyum, fosfor, magnezyum ve potasyum içerir. Sütte bulunan kalsiyum vücut tarafından kolayca emilir; D vitamini, kalsiyum emilimini ve kullanımını desteklemede rol oynar. Süt ayrıca sağlıklı cilt ve gözleri desteklemeye yardımcı olan riboflavin (B2 vitamini) açısından da önemli bir kaynaktır. Süttten elde edilen yoğurt, peynir ve dondurma gibi süt ürünleri de protein, vitamin ve mineral gibi besin maddeleri açısından zengindir (Nagpal ve ark., 2012).

Sütte bulunan besinlerin bazıları tüm mikroorganizmalar için doğrudan besin kaynağı olarak kullanılabilirken, diğerleri belirli popülasyonlar tarafından ana bileşenlerin metabolizması sonucu ortaya çıkan ve diğerleri tarafından kullanılan bileşenler ve metabolitler yoluyla sağlanır. Çiğ süt, mikroorganizmalar için doğal bir büyüme ortamıdır. Çiğ süt mikroflorasının bileşimi ve kalitesi, yalnızca süt üretim ve işleme yerlerindeki hijyenik önlemler, süttün soğutulma hızı ve sıcaklığı ile değil, aynı zamanda süt işletmesinin havasındaki ve ekipman ve mekanların yüzeylerindeki mikroflora ile de belirlenir. Çiğ süt mikroflorasının ayrılmaz bir parçası laktik asit bakterileridir (LAB): *Lactobacillus casei subsp. paracasei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermentum*, *Leuconostoc lactis*, *Leuconostoc cremoris* bunlardandır. Bu bakterilerin yanı sıra soğuk depolama sırasında yerleşen psikrotrofik mikroorganizmalar da baskın florayı oluşturur ve sıklıkla *Pseudomonas* ve *Acinetobacter* türlerini içerir. Sütte ayrıca LAB olmayan cinslerin diğer suşlarına ve çeşitli maya ve küflere de rastlanır. Öte yandan insan sütünde tipik olarak bulunan *Streptococcus*, *Staphylococcus*,

Lactobacillus ve *Bifidobacterium* türleri de baskındır (Quigley ve ark., 2013; Bluma ve Ciprovica, 2015).

Mikroorganizmalar süt kalitesini ve raf ömrünü olumsuz etkileyebilir; örneğin, soğuğa dayanıklı bakteriler soğutma işlemi sırasında çoğalabilir ve hücre dışı lipaz ve proteaz üretimi yoluyla bozulmaya neden olabilir (Desmaures ve Gueguen, 1997). Çiğ sütün soğutulması, ağırlıklı olarak mezofilik mikroorganizmaların çoğalmasının kontrol edilmesine olanak tanır. Bu mikroorganizmalar, laktozun hidrolizi sonucu yan ürün olarak laktik asit üretildiği için süt proteinlerinin asitlenmesinden ve termal kararsızlığından sorumludur (McAuley ve ark., 2016). Ancak soğutma aynı zamanda psikrotrofik bakterilerin büyümesi için de ideal koşullar oluşturmaktadır. Çiğ sütte bulunan psikrotrofik bakteriler arasında gram negatif bakterilerden *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Acinetobacter* ve *Hafnia* ile gram pozitif cinslerden *Bacillus*, *Microbacterium*, *Staphylococcus* ve *Carnobacterium* bulunmaktadır (Yuan ve ark., 2019). Bu bakteriler pastörizasyon veya ultra yüksek sıcaklık (UHT) işlemiyle ortadan kaldırılabilse de, bu bakteriler tarafından soğutulmuş koşullar altında ki süt depolama ve taşıma sırasında üretilen termotolerant enzimler bir çok süt ürününün üretimi sırasında uygulanan ısıl işlemlere dayanabilmektedir (Machado ve ark., 2016). Lipazlar ve proteazlar süt ürünlerinin kalitesini etkileyen başlıca bozulmaya neden olan enzimlerdir. Lipazlar sütteki trigliseritleri hidrolize ederek, sabun ve bütirik asitle ilişkili istenmeyen tatlarla karakterize lipolitik acılaşmaya neden olurlar. Proteazlar kazein fraksiyonlarını hidrolize ederek acı olarak tanımlanan istenmeyen tatlar üretir ve ürünün jelleşmesine neden olur. İyi kalitede süt ürünlerine yönelik artan talebi karşılamak için, psikrotrofik bakterilerin çeşitliliğine ve bozulma potansiyeline ve bunların süt ürünlerinin kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerine çok dikkat edilmesi gerekmektedir (Yuan ve ark., 2019).

2. Sütte Mikrobiyal Kontaminasyon Kaynakları

Süt, meme bezinin alveollerine salgılandığı için steril kabul edilir. Çiğ süt, nötr değere yakın pH değeri, yüksek su içeriği ve zengin besin ve mineral içeriği nedeniyle kirletici mikroorganizmaların büyümesi için ideal bir ortam sağlar (Champagne ve ark., 1994). Çiğ sütte 160'tan fazla bakteri türü tanımlanmıştır. Bu bakteriler, hava, toprak, su, ineklerin memesi ve meme

uçları ve kirli sağım ekipmanları dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan ürüne bulaşmaktadır (Yuan ve ark., 2019).

Mikrobiyal kontaminasyona genellikle üç ana kaynak neden olmaktadır: memenin içi, memenin dışı ve süt işleme ve depolama ekipmanlarının yüzeyi (De Silva ve ark., 2016).

Sağlıklı bir meme bezinin içi, sağlam meme uçlarına sahip hayvanlarda özellikle kolostrogenez ve süt salgılanması başlamasından önce steril bir ortam olarak kabul edilir (Fusco ve ark., 2020). Geleneksel olarak, sütte bulunan bakterilerin dış çevreden, meme bezi derisinden veya yavruların ağız boşluğundan kaynaklanan kontaminasyondan geldiğine inanılır. Bununla birlikte, bazı çalışmalar sütteki bakterilerin yalnızca dış kolonizasyondan kaynaklanmadığını ve bakteriyel bulaşmanın endojen bir yolu olduğunu ileri sürmektedir. Bu nedenle, memeden farklı anatomik bölgelerdeki mikroorganizmalar bir şekilde meme bezine girebilir (Addis ve ark., 2016). Sütün içsel kontaminasyonu, hayvandaki sistemik bir hastalıktan veya meme bezi iltihabı (mastitis) gibi lokalize bir enfeksiyondan kaynaklanabilir. Klinik mastitisli hayvanların ürettiği süt genellikle değişmiş bir görünüme sahiptir (pullar, pıhtılar veya kan içerebilir veya rengi değişmiş olabilir) ve bu nedenle insan tüketimine uygun değildir. Öte yandan, subklinik mastitisli ineklerin sütü, enfekte olmayan hayvanların ürettiği süttten görünürde farklılık göstermez ve bir çiftlikte toplu süte karıştırılırsa, gıda zincirine girer ve insan sağlığı için tehdit oluşturur. Mastitis; bakteri, mikoplazma, maya ve algler de dahil olmak üzere 150'den fazla farklı mikroorganizmadan kaynaklanabilir (Zastempowska ve ark., 2016). Ayrıca, çiğ sütün mikrobiyal kontaminasyonu, kontamine olmuş sağım makineleri veya sağımcinin elleri, tüketimden önce yetersiz süt işleme ve depolama koşulları, sütün sağımı sırasında veya sonrasında meme ve meme uçlarının dış yüzeyinin dışkı, deri, çevre vb. ekzojen koşulları nedeniyle kirlenmesinden oluşur. Genel olarak, hayvanda meme içi enfeksiyon veya meme bezinde sistemik hastalık teşhis edilmediği sürece, üretim yerindeki sütte mikroorganizma veya toksinler bulunmamalıdır. Bununla birlikte, çiğ sütte patojen ve bozulmaya neden olan organizmaların oluşumunu en aza indirmeyi amaçlayan adımlara rağmen, bunların tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir. İneğin sağlığı ve hijyeni, çiftlik ortamı, sağım ekipmanının temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi için kullanılan prosedürler ve sütün saklanma sıcaklığı ve süresi gibi tüm faktörlerin, çiğ sütteki mikrobiyal

kontaminasyon seviyesini ve mevcut mikroorganizma türlerini etkilediği belirtilmiştir (Zastempowska ve ark., 2016; Verraes ve ark., 2015).

Sütün mikrobiyal bileşimi, çiğ sütte meme kanalında, meme derisinin yüzeyinde, çevredeki havada ve yemde bulunan mikroorganizmalar ile barınma koşulları, su temininin kalitesi ve ekipman hijyeni gibi diğer çevresel faktörler gibi çeşitli parametrelerden etkilenir. Dahası, yetersiz soğutma kapasitesi ve uzun depolama süreleri de süt depolaması sırasında bakteri üremesi nedeniyle bakteri sayısını artırabilir. Bu nedenle, çiğ sütteki yüksek bakteri sayısının nedenini belirlemek her zaman kolay değildir kontaminasyonun kaynağı hakkında fikir verebilecek çok fazla parametre vardır (Velázquez-Ordoñez ve ark., 2019).

Sütün mikrobiyotası üretilecek süt ürünlerinin daha sonraki sürecini doğrudan etkiler. Mikroorganizmalar, laktat üretimi yoluyla sütün fermentasyonunu sağlayabilir ve ortaya çıkan ürünlerin duyuusal, dokusal, lezzet ve organoleptik özellikleri üzerinde çeşitli etkilere sahip olabilir. Mikroorganizmalar ayrıca süt kalitesi ve raf ömrü üzerinde olumsuz etkilere de neden olabilir; örneğin, psikrotolerant bakteriler soğutma sırasında çoğalabilir ve hücre dışı lipaz ve proteaz üretimi yoluyla bozulmaya neden olabilirler (Quigley ve ark., 2013).

Optimum büyüme sıcaklıklarına bakılmaksızın 7°C'nin altında büyüeyebilen bakteriler, psikrotroflar olarak tanımlanır. Bu bakteriler, özellikle hijyenik koşullar altında, çiğ sütteki başlangıç mikroflorasının %10'undan daha azını oluşturur; ancak bu rakam, yetersiz hijyen koşullarında %75'ten fazla olabilir. Hijyenik olarak üretilen çiğ sütte bile psikrotrofik bakteri sayısı depolama sıcaklığına ve süresine bağlıdır. Gram-negatif cinsler (*Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Acromobactor* *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Chryseobacterium*, *Serratia*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* ve *Rahnella* gibi Enterobacteriaceae) ve Gram-pozitif cinsler (*Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Microbacterium*, *Lactococcus* ve *Lactobacillus*) dahil olmak üzere çok çeşitli cinsler çiğ sütte sıklıkla bulunur. Bunlar arasında *Pseudomonas* ve *Bacillus*, buzdolabında saklanan çiğ süttten en sık izole edilen bakterilerdir (Munsch-Alatossava ve Alatossava, 2006; Vithanage ve ark., 2016).

Bu nedenle hijyenik süt üretimine, çiğ sütün soğukta bekleme süresinin en aza indirilmesine ve sütün en kısa sürede işlenmesine önem verilmelidir.

Böylece raf ömrü uzatılmış, güvenli işlenmiş süt elde edilir. Taze sütün önceki günün sütüyle karıştırılması çiğ sütte yüksek bakteri üremesine neden olabilir (Sarkar, 2016)

2.1 Patojen Mikroorganizmaların Kaynağı Olarak Süt

Halk sağlığı ve gıda güvenliği uzmanlarına göre, her yıl dünya çapında milyonlarca hastalık, bakteri, mantar, virüs ve parazitler de dahil olmak üzere patojenlerle kirlenmiş gıdaların tüketimiyle ilişkilendirilmektedir. Süt, çeşitli mikroorganizmalar barındırabildiği için gıda kaynaklı patojenler için önemli bir rezervuar olabilir (Oliver ve ark., 2005).

Sütteki patojenlerin yaygınlığı, çiftlik büyüklüğü, çiftlikteki hayvan sayısı, hijyen, çiftlik yönetim uygulamaları, sağım tesisleri, mevsim ve diğerleri dahil olmak üzere birçok faktörden etkilenir. Çiğ süt, klinik olarak sağlıklı hayvanlardan elde edilse bile patojenlerle kontamine olabilir. Kaliteli görünen (yani düşük toplam bakteri sayısına sahip) süt bile patojen içerebilir. Süt çiftlikleri, çeşitli gıda kaynaklı patojenler için önemli bir rezervuardır. Çeşitli kontaminasyon kaynaklarının göreceli önemi, çiftçilik uygulamalarına bağlıdır ve her patojen için farklı olabilir. Patojenler çıplak gözle görülemez ve sayılarının ölçülmesi birkaç gün sürebilir, bu nedenle çiğ sütün tüketilmeden önce güvenliğinin belirlenmesi son derece zor olabilir (Lucey, 2015).

Çiğ sütteki mikrobiyal popülasyonların bir özeti Quigley ve ark., (2013) tarafından yapılan çalışmalarda süt üreten hayvanlarda baskın mikro florayı genellikle *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus* ve *Enterococcus* türlerini içeren LAB grubu mikroorganizmaların oluşturduğu belirtilmiştir. Diğer baskın mikroorganizmalar *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus* türleri, *Micrococcaceae*, ipliksi küfler ve mayalar olarak sınıflandırılmıştır (Zastempowska ve ark., 2016). Patojenlerle kirlenmiş çiğ sütün tüketiminin bazı durumlarda ciddi hastalıklara yol açabilmesi nedeniyle önemli sağlık problemlerine neden olmaktadır (Oliver ve ark., 2009). Yapılan son çalışmalara göre; *Bacillus cereus*, *Campylobacter coli* ve *Campylobacter jejuni*, enterotoksin üreten *Staphylococcus aureus*, *Helicobacter pylori*, insan patojenik verocytotoxin üreten *Escherichia coli* (VTEC), insan patojeni *Yersinia*, *Leptospira*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus equi subsp. zooepidemicus*, *Clostridium botulinum*, *Brucella* türleri, *Mycobacterium bovis*, *Cryptosporidium parvum* ve

Toxoplasma gondii gibi insan patojenik mikroorganizması inek, keçi ve koyunlardan elde edilen çiğ süt tüketimiyle ilişkili ana mikrobiyolojik tehlikeler olarak kabul edilmektedir. Bazı mikrobiyolojik tehlikeler henüz doğrulanmadığı için varsayımsal olarak belirtilmektedir, ancak insanlar için patojenik olma (*Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis*) veya gıda kaynaklı olma (*Coxiella burnetii*) potansiyeline sahiptirler. Bu mikroorganizmaların ağız yolu ile alınması durumunda değişen şiddette hastalıklar meydana gelebilmektedir. Tipik semptomlar arasında ateş, bulantı, kusma, ishal ve karın ağrıları bulunabilirken aşırı tüketim durumlarında ölüm meydana gelebilir (Quigley ve ark., 2013). *Salmonella* spp., *Campylobacter* ve *E. coli*, *Y. enterocolitis*, *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* gibi bazı verositotoksin üreten insan patojenleri de dahil olmak üzere salgınlara neden olan çeşitli gıda kaynaklı patojenler çiğ sütte mevcuttur. Birçok sanayileşmiş ülkede gıda kaynaklı bakteriyel hastalıkların yaklaşık %2-6'sı çiğ/pastörize edilmemiş sütteki patojenlerden kaynaklanmaktadır. Çiğ sütte bulunan insan patojenleri, gıda kaynaklı hastalıklara ve salgınlara neden olmaktadır. Kontaminasyon nedeniyle çiğ sütte yüksek sayıda *S. aureus* bulunduğunda, insanlar için zararlı olan bir enterotoksin üretmektedir. Listeriyoz, sütte yüksek enfeksiyon yükü olan *L. monocytogenes* bulunduğunda ortaya çıkan bir durumdur. Süt kaynaklı enfeksiyonların yaygın belirtileri arasında karın krampları, ishal, bulantı, kusma, ateş vb. yer alır. Daha ciddi belirtiler, örneğin *E. coli* O157:H7'nin neden olduğu hemolitik üremik sendrom ve *Campylobacter* spp.'nin neden olduğu Guillain-Barré sendromu ağır hastalığı olan kişilerde görülebilir. Bu belirtiler ayrıca artrit gibi kronik sorunlara veya bazı durumlarda ölüme bile yol açabilir (Murphy ve ark., 2007; Jørgensen ve ark., 20075).

2.2. Pastörizasyon ve Sütün Güvenliği

Gıda güvenliği açısından, sütün pastörizasyonu, sıvı süt ve diğer süt ürünlerinin tüketimi için gerekli bir adım olarak belirlenmiştir. Pastörizasyon, sütün önceden belirlenmiş bir süre boyunca önceden belirlenmiş bir sıcaklıkta ısıtılması işlemidir. Pastörizasyonun amacı, mikroorganizmaları yok etmek, güvenliğini artırmak ve süt ve süt ürünlerinin raf ömrünü uzatmaktır. Pastörizasyon, vejetatif bakteri hücrelerinin çoğunu ortadan kaldırırsa da, termodurik mikroorganizmalar ve bazen bazı Gram-negatif çubuk bakteriler

gibi bazı türler bu işlemten sağ çıkabilir ve daha sonra nihai üründe çoğalarak süt ürünlerinin güvenliğini ve kalitesini bozabilir. Bu nedenle, sütün mikrobiyolojik olarak dikkatli bir şekilde izlenmesi sadece pastörizasyon işleminden önce değil, sonrasında da gereklidir (Nada ve ark., 2012; Reta ve Addis, 2015).

Süt pastörizasyonunun iki temel amacı vardır: patojenik bakterileri öldürmek ve canlı bozulma bakterilerinin sayısını azaltarak sütün raf ömrünü uzatmaktır. Pastörizasyon koşullarının birincil amacı, *Mycobacterium tuberculosis* ve *C. burnettii*'i yani, en yüksek sıcaklığa dayanıklı süt patojenlerini yok etmektir. Patojenlerin yaklaşık %99,9'u yüksek sıcaklıkta kısa süreli pastörizasyon (HTST) ile öldürülür ve canlı *Mycobacterium avium* popülasyonları etkili bir şekilde azaltılır. İnsan patojeni *E. coli*, *Listeria spp.*, *Salmonella spp.*, *C. jejuni* ve *C. botulinum* gibi tüm vejetatif patojenler HTST pastörizasyonu ile yok edilir. Bununla birlikte, *B. cereus* veya *C. botulinum*'un ısıya dayanıklı sporları pastörizasyon ile yok edilmez aksine, pastörize sütün soğutulması sırasında bu sporların çimlenmesi tetiklenebilir. Özellikle *C. botulinum* ve *B. cereus* gibi vejetatif ve çoğu spor oluşturan patojenler ancak *Bacillus thermotolerans* gibi bazı aşırı ısıya dayanıklı patojen olmayanların sporları bu kategoriye girmemekle beraber daha yüksek sıcaklık işlemleriyle (örneğin, UHT, sterilizasyon ve ısı) yok edilebilmektedir (Rabbani ve ark., 2025).

Örneğin, termotolerant bakteriler gibi bazı bakteriler süt pastörizasyonuna direnç gösterir. Ayrıca, ısıya son derece dirençli sporlar, UHT işlemine ve hatta sprey kurutma işlemlerine bile dayanabilir ve pastörize süt tozlarında varlığını sürdürebilir. Bu nedenlerle, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), termotolerant, termofilik, psikrotrofik ve spor oluşturan bakterileri süt ürünlerinde en yüksek bozulma riski taşıyan mikroorganizmalar olarak ilan etmiştir. Termotolerant sayım, endüstri ve işletmelerdeki ekipmanların dezenfeksiyonunun bir göstergesi olarak kullanılır, ideal aralıklar ise 100 ile 200 kob/mL arasındadır. Bu gruptan, *B. cereus* süt ve süt ürünlerinde en sık rastlanan türdür ve sporları endüstride kullanılan termal işleme dayanabilme özelliğiyle karakterize edilir (Velázquez-Ordoñez ve ark., 2019).

Bacillus sporothermotolerans'ın yüksek ısıya dayanıklı sporlarının varlığı UHT veya sterilize edilmiş süt ve süt ürünlerinde önemli bir unsur olarak ortaya çıkmıştır. Süt çiftliğinde izole edilen baskın bakteri türleri sudan, yemlerden ve

sağım ekipmanlarından gelmektedir; bu açıdan *Bacillus licheniformis* ve *Bacillus paltidus*, çiğ süte yüksek ısıya dayanıklı sporların giriş noktaları olarak hareket eder ve bu aerobik spor oluşturan bakteriler yüksek kontaminasyon riskine ve süt ve süt ürünlerinin bozulmasına yol açabilir (Velázquez-Ordoñez ve ark., 2019). Süt endüstrisi, *Bacillus* cinsine ait aerobik spor oluşturan bakteriler ve akrabaları ile ilgili birçok zorlukla karşılaşmaktadır. Bu spor oluşturan bakteriler hem vejetatif form hem de ısıya dayanıklı spor yapısı yoluyla çiğ sütü kirletir. Süt zinciri boyunca kirlenme kaynakları çok çeşitlidir: su, toprak, hava, dışkı, meme, sağım ekipmanı vb. Bu bakteriler sütü kirllettikten sonra sporları, pastörizasyon (örn. 72 ° C'de 15 saniye) gibi geleneksel ısıtma işlemleriyle yok edilememektedir. Hatta bazılarının UHT işleminden (örn. 140-145 °C'de 2-5 saniye) sonra bile canlı kaldığı bilinmektedir (De Jonghe ve ark., 2010). Pastörizasyon işlemlerinin etkinliği, yüksek termal toleransa sahip doğal bir enzim olan alkalın fosfataz aktivitesinin ölçülmesiyle belirlenebilir (Rabbani ve ark., 2025)

2.3. Süt ve Süt Ürünlerinin Bozulması

Gelişmiş ülkelerde, çiğ sütün sanitasyonu “toplam” bakteri sayımı veya SPC (standart plaka sayımı) ile izlenir. A veya 1. sınıf çiğ süt için standart, $1,0 \times 10^5$ kob/mL'den daha düşük bir SPC değerinde olmalıdır. Çiğ sütün 6°C'nin altına soğutulması (genellikle sağım sonrası çiftlik tankında 3 ila 4°C) ardından süt işleme tesisine taşınması sırasında 6°C'nin altındaki sıcaklıklarda depolanması, çiğ sütün kalitesinin korunmasını sağlar. Süt mikroorganizmalar için oldukça uygun bir büyüme ortamı olduğundan, birçok bakteri cinsi, sütün maruz kaldığı ısı işlemlere dayanabilen ekzoenzimler (proteazlar veya lipazlar gibi) üreterek bu ortamına adapte olmuş ve süt endüstrisine ciddi ekonomik kayıplar olmuştur (Munsch-Alatossava ve ark., 2012).

"Süt bozulması", anormal tatlar, renk değişimleri ve tutarsız dokular gibi çeşitli göstergeler aracılığıyla hem üreticiler hem de tüketiciler tarafından tespit edilebilen bir dizi istenmeyen kalite değişikliğini kapsar. "Asitli tat", "tebeşirimsi ağız hissi " ve "ekşilik" gibi terimler genellikle bozulmayla ilişkilendirilir (Bandler ve Barnard, 1984).

Psikrotrofik bakteriler, ısıya dayanıklı hücre dışı enzimlerin üretimi yoluyla çiğ süt ve süt ürünlerinin kayıplarını artırıp raf ömrünü sınırlayarak süt endüstrisini ekonomik yönden etkiler. Bu enzimler istenmeyen tatların

oluşması, sütün jelleşmesi, amino asitlerin salınması, süt yağının parçalanması ve peynir üretiminde verim kaybı gibi teknolojik sorunlara yol açmaktadırlar (Júnior ve ark., 2018). Bu enzimlerin birçoğu pastörizasyondan sonra %60 ila %70, sütün sterilizasyonundan sonra ise %30 ila %40 oranında aktivitesini koruyabilir. Genel olarak, düşük konsantrasyonlarda bulunan ve süt içeriğini bozan bu enzimlerin kalıntı aktiviteleri, zamanla işlenmiş sütün fizikokimyasal özelliklerini değiştirebilir, işlenmiş süt ve süt ürünlerinin raf ömrünü ve kalitesini sınırlayarak süt sektörü için ekonomik ve teknolojik zorluklara neden olabilir. Psikrotrofik bakterilerin, enzimatik bozulma aktiviteleri nedeniyle süt endüstrisinde %30'a varan üretim kayıplarına yol açabileceği tahmin edilmektedir (Yalew ve ark., 2024).

Genel olarak, proteazların neden olduğu ürün kusurları şu sırayla meydana gelir: acılık, partikül oluşumu, krema oluşumu, tortu oluşumu ve jelleşme. Enzimatik aktivitenin başlangıcı ile süt ürünlerindeki kusurlar arasında doğrusal bir korelasyon bulunmuştur. Örneğin, *P. fluorescens* ile kontamine olmuş UHT sütte kazein misellerinin boyutunda ve kazein dışı azot konsantrasyonunda artış ve zeta potansiyelinde ve hidrasyon seviyesinde azalma tespit edilmiştir. Kazein miselleri arasındaki itme kuvvetlerinin azalması sonucunda agregat oluşumu gerçekleşir (Yuan ve ark., 2019).

Lipazlar termostabildir ve endüstri tarafından süte uygulanan ısı işlemleriyle vejetatif mikroorganizmaların ortadan kaldırılmasından sonra bile aktif kalabilen enzimlerdir. Süt yağını parçalayarak yağ asitlerini serbest kalmasına neden olmaktadır bu da süt ürünlerinde istenmeyen tat bozukluklarına yol açarlar bu durum tüketiciler tarafından olumsuz özellik olarak algılanır (Júnior ve ark., 2018; Yuan ve ark., 2019).

Çiğ süt mikrobiyotası, esas olarak *Pseudomonas* cinsine ait psikrotrofik mikroorganizmalar içerir ve bu mikroorganizmalar, soğuk ortamlarda ısıya dayanıklı proteolitik ve lipolitik enzimler üretebilme yetenekleri nedeniyle süt ve süt ürünlerinin bozulmasından sorumludur. Psikrotrofik bakteriler ısıya dayanıklı olmasa da, enzimleri pastörizasyon ve UHT işlemlerine dayanabilir. Bu enzimler, süt yağlarını ve proteinlerini hidrolize ederek istenmeyen tatların oluşmasına ve bazı durumlarda peynir veriminin azalmasına yol açabilir. Yüksek sıcaklıklarda kararlılıkları, çiğ sütlerin zaman-sıcaklık işlemlerine tabi tutulmasını gerektirir ve bu da nihai ürünün besin ve duyu kalitesinin kabul edilemez olmasına yol açar (Ercolini ve ark., 2009).

Bacillus cinsinin temsilcilerinden *B. cereus*, süt bozulmasına neden olan en yaygın türdür. Bu bakteri, lesitinaz kaynaklı pütürlü krema ve proteaz kaynaklı tatlı pıhtılaşma gibi çeşitli süt kalitesi kusurlarının oluşmasına neden olur. *Geobacillus stearothermophilus*, sakkaritleri fermente eder ve gaz üretmeden asitler oluşturarak sütün pıhtılaşmasına neden olur (Odeyemi ve ark., 2020).

Mezofilik sporların, toplama tankındaki çiğ sütte bulunan en yaygın spor oluşturan organizma olduğu belirtilmiştir. *B. licheniformis* ve *B. pumilus* gibi organizmalar toplama tankındaki çiğ sütte baskın durumdadır ve kaynağının süt çifliği ortamı olduğu belirtilmiştir (Kent ve ark., 2016)

3. SÜT ÜRÜNLERİNDE BOZULMAYA SEBEP OLAN MİKROORGANİZMALAR

Krema, tereyağı, dondurma, peynir, süt tozu, yoğurt gibi birçok ürün türü, çoğunlukla inek sütünden olmak üzere süt hayvanlarının sütünden hazırlanmaktadır. Süt ürünlerinin işlenmesi, paketlenmesi ve dağıtımı sırasında yüksek hijyen standartlarının korunması ve gıda işletmeleri tarafından hijyenik kurallarının düzenli ve sıkı uygulamaları insan sağlığı için güvenli, kaliteli süt ürünleri üretmek için gerekli olan başlıca unsurlardır (Pal ve ark., 2018). Bu noktada ürün güvenliğini sağlamak için bu ürün tiplerinde sorun oluşturan mikroorganizma tiplerinin ve kaynaklarının tam olarak anlaşılması gerekmektedir.

3.1.Tereyağındaki Kirleticiler

Tereyağı, taze veya fermente krema ve sütün çalkalanmasıyla hazırlanan süt yağının sürekli fazı oluşturduğu bir yağ içinde su emülsiyonudur. Tereyağı %80 süt yağı (genellikle %80-81), %17 nem, %1 karbonhidrat, protein ve %1.2-1.5 tuz (tuzsuz olanlar %82-83 süt yağı içerir) içermektedir (Kornacki ve ark., 2001; Pal ve ark., 2016b). Modern hijyenik üretim yöntemleri, tereyağının bakteriyel bozulmasını en aza indirmiştir. Ancak, mikroorganizmaların neden olduğu kusurlar zaman zaman meydana gelebilir. *Flavobacterium spp.*, *P.putrefaciens* ve *Shewanella putrefaciens*'in gelişimi sonucunda yüzey lekeleri oluşabilir (Pal ve ark., 2016b).

Tereyağı, uygun şekilde paketlenip kontrollü bir ortamda saklandığında diğer yerli süt ürünlerine kıyasla daha uzun raf ömrüne sahiptir. Bununla

birlikte, tereyağının kalitesi ve stabilitesi, üretim, işleme, pazarlama ve depolama sırasında mikrobiyal aktivite, kimyasal reaksiyonlar ve oksidasyondan etkilenebilir. Depolama sırasında kalite kaybını azaltmak için çeşitli doğal ve sentetik antioksidanlar kullanılmaktadır (Nekera ve ark., 2023).

Tereyağında mikrobiyal gelişmeyi önlemek için kremanın uygun pastörizasyonu, mikropları yok etmek için temeldir. Psikrotrofik bakterilerin çoğalması, düşük sıcaklıkta (3-5°C) etkili soğutma ile önlenabilir. Kullanımdan hemen önce, yayık 200 mg/litre klor çözeltisi ile dezenfekte edilmelidir. Kremadaki organizmaların çoğu ayran içinde giderilir, ancak küfler tereyağında kalabilir. Küfleri kontrol etmek için, tereyağı yayığının düzenli olarak temizlenmesi çok önemlidir. Karıştırmaktan kaçınılmalıdır çünkü bu, tereyağındaki mikrobiyal sayıyı artırır. Ayrıca, temiz ve dezenfekte edilmiş ambalaj malzemesi kullanımı, ambalaj odasının yüzeyinin uygun şekilde temizlenmesi, kremanın düşük sıcaklıkta saklanması, depolama alanlarının iyi havalandırılması, havadan bulaşmanın önlenmesi, tereyağı ambalajında yüksek hijyen standardının korunması ve gıda işletmecisi tarafından hijyen kurallarına uyulması, insan sağlığı için güvenli, kaliteli bir tereyağı üretmek için gerekli olan temel önlemlerdir (Pal ve ark., 2018).

3.2. Peynirdeki kirleticiler

Peynir, kazeinin pıhtılaşması ve süt yağının pıhtıda tutulmasıyla üretilen süt katılarının stabilize edilmiş bir pıhtısıdır. Protein, vitamin, kalsiyum ve fosfor açısından zengin bir kaynak olan, tüketime hazır bir süt ürünüdür (Pal ve ark., 2016b). Eskiden peynir gibi süt ürünleri "güvenli gıdalar" olarak sınıflandırılırken, 1980'lerden sonra üretim aşamalarında patojen mikroorganizmalar ve/veya toksinleri ile kirlenmiş peynir tüketimine bağlı enfeksiyon ve zehirlenmeler bildirilmiştir. Bu durum halk sağlığı için tehdit oluşturmakta ve peynirde kalite kusurlarına yol açarak büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Temelli ve ark., 2006).

İşlenmiş peynirlerin mikrobiyal kontaminasyon kaynakları çok çeşitlidir. Mikroorganizmalar, çiftlikten (toprak, dışkı, silaj ve çiğ süt) üretim tesisine (malzemeler, zemin, ekipman tesisleri ve ambalaj malzemesi) kadar üretimin tüm aşamalarında ürünleri kontamine edebilir. Ek olarak, dağıtım ve depolama sırasında bakteriyel sporların çimlenmesi ve çoğalmasıyla ilgili bir sorun ortaya çıkabilir ve bu da gıda bozulmasına veya gıda kaynaklı salgınlarına yol açabilir

(Kousta ve ark., 2010; Lücking ve ark., 2013; Miller ve ark., 2015; Peña ve ark., 2014). Çiğ sütle üretilen yumuşak peynirler, gıda kaynaklı patojenlerin en yaygın taşıyıcısını oluşturmaktadır ancak pastörize süt peynirleri de salgınlarda etken maddelerin taşıyıcısı olabilmektedir. Pek çok peynir türünün, patojenik bakterilerin büyümesi veya hayatta kalmasıyla uyumlu fizikokimyasal özelliklere ve raf ömrü sürelerine sahip olduğu bilinmektedir. *L. monocytogenes* yaygın ve psikrotrofik olduğundan bu patojenden arındırılmış peynir üretimi üreticiler için bir zorluluktur. Peynir tüketimiyle bağlantılı salgınlarda çoğu *L. monocytogenes*'ten kaynaklanmıştır. Son yıllarda dünya çapında peynir tüketimiyle bağlantılı birçok salmonelloz salgını da rapor edilmiştir. *S. aureus*, çiğ sütle üretilen peynirlerde bulunan başlıca patojenlerden biridir ve yüksek prevalans oranlarında süt toplama tankında tespit edilen sığır mastitisinin yaygın bir nedenidir. Enterotoksin üreten *S. aureus* yüksek ozmotolerans gösterdiğinden, su aktivitesi seviyeleri 0,86 kadar düşük olan peynirlerde bile büyüebilir veya hayatta kalabilir. Pastörizasyon, sütteki *S. aureus*'u etkisiz hale getirir ancak daha önce sentezlenmiş enterotoksinlerini etkisiz hale getirmeyebilir bu da peynirlerde kalabilir ve düşük dozlarda alındığında dahi gıda zehirlenmesine neden olabilir (Johler ve ark., 2015; Possas ve ark., 2021).

Bütirik asit bakterileri (BAB), Clostridium cinsine aittir. Laktatın asetat, bütirat ve hidrojen gazına fermentasyonu sırasında gaz üretimi yoluyla peynirde bozulmaya neden olurlar. Clostridium kaynaklı peynir kalite kusurları, süt ürünleri endüstrisine ekonomik kayıplara yol açar. Geç şişme, peynirlerdeki en önemli kalite kusuru ve bozulma belirtisidir ve *C. tyrobutyricum* tarafından meydana gelmektedir (Odeyemi ve ark., 2020). *C. sporogenes*, BAB grubundan değildir, ancak anaerobik peynir ortamında proteoliz nedeniyle gaz üretir (Doyle ve ark., 2015). Clostridyalarda büyümesi, laktik asit konsantrasyonu, tuz miktarı, pH, nem ve yağ içeriği, olgunlaşma sıcaklığı-süresi ve peynirdeki diğer mikroorganizmaların varlığından etkilenir (Odeyemi ve ark., 2020).

En çok araştırılan zoonozlardan biri olan *Brucella spp.*'nin neden olduğu Brucellosis, Malta humması veya Akdeniz humması olarak da bilinir. Brucella cinsi, hücre içi, hareketsiz, Gram-negatif ve fakültatif bir bakteri olarak sınıflandırılır. İnsanlarda Brucellosise sığırlardan bulaşan *B. abortus* ve sırasıyla keçi ve koyunlarda *B. melitensis* veya *B. iimelitensis* neden olur (Abedi ve

ark., 2020). En önemli enfeksiyon yolu, çiğ süt ve taze peynir gibi süt ve süt ürünlerinin tüketimi olarak kabul edilmektedir. Özellikle kırsal alanlarda, kendi ürettikleri sütü tüketen hanelerde yaygındır. Babaoğlu ve ark tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada Türkiye'nin Orta Anadolu bölgesinden alınan çiğ inek sütlerinde bulunduğu tespit edilmiştir burada 202 çiğ inek sütü örneğinden 35'i (%17,32) muhtemel *B. abortus* olarak tanımlanmıştır (Babaoglu ve ark., 2018). İnsanlarda bu hastalığın belirtileri ateş, halsizlik, iştahsızlık, baş ağrısı, eklem ağrısı, sırt ağrısı ve kas ağrısıdır ve ilerleyen aşamalarda farklı doku ve organları etkileyen subakut veya kronik bir hastalığa neden olabilir (Abedi ve ark., 2020).

Peynirdeki bozulmaları ve gıda zehirlenmelerini önlemek için yüksek kaliteli çiğ süt kullanılmalıdır. Çiğ sütün 10.000 ila 20.000 rpm'de bakteri filtrelemesi, bakteri sayısını %99,98 oranında azaltabilir. Süte %1 oranında iyi ve aktif starter kültürler eklenmeli ve mikrobiyal kontaminasyondan kaçınmaya özen gösterilmelidir. Peynir presleme işlemi deneyimli personel tarafından denetlenmelidir. Boru hatları ve diğer ekipmanlar her gün iyice temizlenmeli ve dezenfekte edilmelidir. Bu önlemlerin kaliteli peynir üretimi için çok etkili olduğu kanıtlanmıştır (Pal ve ark., 2018).

3.3. Kremadaki Kirleticiler

Krema, inek veya manda sütünden hazırlanan bir süt ürünüdür. İyi bir süt yağı kaynağıdır ve ayrıca A, D, E ve K gibi yağda çözünen vitaminler içerir. Krema, sütün içindeki yağın yoğunlaştırılmasından oluşur ve yağ esas olarak bir zarla korunan kürecikler halinde bulunur. Bu nedenle, krema çeşitli bileşimlere sahip olabilir ve genellikle yağ içeriğine veya işlevine göre tanımlanır. Yağ içeriği %10'dan %80'in üzerine kadar değişebilir (Pal ve ark., 2018).

Kremanın bozulması genellikle sıvı süt ürünlerinin bozulmasına benzer. Aerobik spor oluşturan bakteriler pastörizasyondan sağ kurtulur ve *B. cereus*'un psikrotrofik suşları tatlı kesilmeye ve parçalı kremaya neden olabilir. *B. coagulans*, *B. licheniformis* ve *B. subtilis* gibi diğer ısıya daha dayanıklı türler sterilizasyondan ve hatta UHT işlemlerinden sağ çıkabilir ve sterilize edilmiş kremalarda acılık ve incelmeye neden olabilir. *B. pumilus* ve *B. sporothermophilus* kremada, esas olarak çiğ süttten taşınan potansiyel kirleticiler olarak kabul edilmektedir (Pal ve ark., 2016b).

3.4. Dondurmadaki Kirleticiler

Dondurma, özellikle yaz aylarında ve yıl boyunca her yaş grubu tarafından beğenilerek tüketilen popüler bir sütlü tatlıdır. Dondurmanın bileşenlerini, süt, krema, buharlaştırılmış veya yoğunlaştırılmış süt, kuru süt, renklendirici maddeler, aromalar, meyveler, kuruyemişler, tatlandırıcılar, yumurta ve yumurta ürünleri ve stabilizatörlerin çeşitli kombinasyonları oluşturmaktadır (Yaman ve ark., 2006).

Süt bazlı bir ürün olan dondurma, besin içeriği, neredeyse nötr pH değeri (pH 6-7) ve uzun saklama süresi nedeniyle mikrobiyal büyüme için iyi bir ortam olarak kabul edilebilir. Dondurma üretimindeki çeşitli aşamalarda mikrobiyolojik tehlikeler meydana gelebilir. Bununla birlikte pastörizasyon, dondurma ve sertleştirme aşamaları bu tehlikelerin çoğunu ortadan kaldırabilir. Sütün pastörizasyonu, halk sağlığı için risk oluşturan patojenlerin çoğunu yok edebilir. Ancak, potansiyel mikrobiyolojik tehlikeler, pastörizasyondan sonra bile, kontamine olmuş bileşenlerin eklenmesi veya uygunsuz işlem görme yoluyla nihai ürünlerde bulunabilir. Bu özellikle yumuşak dondurmanın hazırlanmasında önemlidir çünkü üretiminin son aşaması satış noktasında gerçekleştirilir (Kanbakan ve ark., 2004).

Çiğ süttten yapılan dondurmalarda gözlemlenen başlıca mikrobiyolojik tehlikelerin *L. monocytogenes*, *S. aureus* ve Verotoxic *E. coli* olduğu tahmin edilmektedir (Verraes ve ark., 2015; Pal ve ark., 2016b). Dondurma örneklerinde patojenlerin varlığı çoğunlukla alet ve ekipmanlar, su, işçiler, çevre, ambalaj malzemeleri, dondurmanın taşınması ve dağıtımı sırasındaki kontaminasyonlar yoluyla. Dondurmada *Salmonella spp.*, *S. aureus*, *E. coli* gibi patojenik mikroorganizmaların varlığı belirlenmiştir, ancak *B. cereus*, *Y. enterocolitica*, *L. monocytogenes*, *Brucella spp.* ve *E. coli* O157:H7 gibi patojenik bakterilerin incelenmesi nadiren yapılmıştır (Yaman ve ark., 2006).

Türkiye'de üretilen dondurmaların yüksek mikrobiyal yüklerine dair raporlar bulunmaktadır. Türkiye'de tüketilen bazı dondurmalar, mikrobiyolojik kalite açısından Türk Standartları Enstitüsü (TS) 4265 standardına uymamaktadır. Çalışmalar, bu sorunun çözümü için dondurmaların sistematik mikrobiyal incelemesinin daha da gerekli olduğunu göstermiştir. Dondurma, özellikle hassas yaş grubundaki çocuklar tarafından yoğun olarak tüketildiğinden, mikrobiyolojik olarak güvenli olması gerekmektedir (Kanbakan ve ark., 2004).

3.5. Yoğurtdaki Kirleticiler

Yoğurt, dünya çapında yaygın olarak kabul gören en popüler fermente süt ürünlerinden biridir ve özellikle *Lactobacillus bulgaricus* ve *Streptococcus thermophiles* gibi laktik asit bakterileri tarafından gerçekleştirilen sütün kontrollü fermentasyonu ile elde edilir (Tamime ve Robisons, 2007). Besin değeri yoğun bir gıda olarak kabul edilirken, oldukça besleyicidir, kolay sindirilebilir ve ondan fazla temel besin, bazı mineraller ve vitaminleri içerir. Yoğurdun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik yapılarındaki değişiklikler, ürünün depolanmasını ve raf ömrünü belirler (M Hassan ve ark.,2019).

Yoğurt ve diğer fermente süt ürünlerinin nispeten düşük pH'ı, genellikle starter kültür olarak eklenen laktik asit bakterilerinin aktivitesi yoluyla süt laktozunun laktik aside fermente edilmesinin sonucu oluşan bir üründür. starter kültürleri *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii ssp. türlerini* içerir. Laktik asidin engelleyici etkisi, birincil karbonhidrat kaynağının (laktoz) kullanımı ve hidrojen peroksit gibi diğer engelleyici bileşiklerin üretimi nedeniyle sütte bulunan diğer bakterilere karşı büyük ölçüde rekabet üstünlüğü sağlarlar (Hervert ve ark., 2016).

Yoğurt yapımında pastörize süt kullanılması tavsiye edilir. Yüksek mikrobiyal yüke sahip çiğ süt kullanımı yoğurdun kalitesinde düşüşe neden olur (Pal ve ark., 2018).

3.6. Süt tozundaki kirleticiler

Süt tozu, sıvı süttten suyun uzaklaştırılmasıyla elde edilir. Suyun uzaklaştırılması, mikroorganizma büyümesini önlemek için su aktivitesini azaltmak amacıyla gereklidir. Kuru süt, peynir, dondurma, yoğurt ve peynir altı suyu tozu gibi çeşitli ürünlerin üretiminde kullanılır. Kuru süttten elde edilen çok sayıda ürün vardır. Ayrıca, kuru süttün sıvı süte göre avantajları arasında daha iyi saklama kalitesi, daha az depolama alanı ve düşük nakliye maliyetleri yer almaktadır (Pal ve ark., 2016a).

Süt tozu düşük su içeriğine (maksimum %5) sahip olduğundan ve su yaşam için ve dolayısıyla mikrobiyal gelişim ve çoğalma için gerekli olduğundan mikrobiyolojik olarak stabildir. Bununla birlikte, mikroorganizmalar düşük su içeriğine sahip ortamlarda hayatta kalabilir ve adapte olabilir. Bazı mikroorganizmaların düşük su aktivitesi (a_w) gibi stresli ortamlara maruz kalması, gıda dönüşümü sırasında karşılaşılan diğer streslere

ve süt tozu üretiminde (konsantrasyon, kurutma, ısıtma) karşılaşılabilecek streslere adaptasyona yol açabilir. Sonuç olarak, süt tozunda bulunan mikroorganizmalar çevrelerine takdire şayan bir şekilde adapte olmuşlardır ve birkaç haftadan birçok yıla kadar uzun bir süre hayatta kalabilirler. Daha sonra, yeniden oluşturulmuş üründe de çoğalabilirler ve süt yeniden oluşturulduktan sonra ve yeterli ek dekontaminasyon adımı olmadan tüketildiğinden gıda kaynaklı hastalıklara neden olabilirler (Lang ve Sant'Ana, 2021).

Çiğ süt, mezofilik spor oluşturan bakteriler, termofilik spor oluşturan bakteriler ve soğuğa dayanıklı spor oluşturan bakteriler tarafından üretilen endosporların önemli bir kaynağı olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte, çeşitli çalışmalar, süt tozlarının spor popülasyonunun genellikle çiğ sütünekinden farklı olduğunu göstermiştir. Örneğin, *Anoxybacillus spp.* ve *Geobacillus spp.*'nin termofilik sporları süt tozlarından sıklıkla izole edilirken, çiğ süttten nadiren izole edilmektedir (Peña ve ark., 2014)

Süt tozunun mikroflorasını etkileyen önemli bir faktör, kurutma işleminden önce süte uygulanan ısı işlemi ve süt kurutma yöntemidir. Nispeten şiddetli ısıya maruz kalındığında (örneğin, silindirli kurutma), ortaya çıkan toz, daha az aşırı sıcaklıkların uygulandığı durumlarda (örneğin, püskürtmeli kurutma tozu) elde edilen tozdan daha sınırlı bir flora gösterir. Püskürtmeli kurutmada, kontaminasyon yapan bakterilerin maruz kalabileceği ısı miktarı, *Salmonella* gibi nispeten ısıya duyarlı patojenler açısından bile süütün dekontaminasyonu için yetersizdir. Bu nedenle, püskürtmeli kurutma için süt önce pastörize edilmeli ve pastörizatör ile kurutucu arasında yeniden kontaminasyon olasılığının olmamasına dikkat edilmelidir. Tozun mikroflorasını etkileyen diğer faktörler, süt işleme tesisinden kaynaklanan kontaminasyonun derecesi ve kurutma işleminden önce mikrobiyal çoğalmanın ne ölçüde gerçekleşebileceğidir. Toz süt yeniden sulandırıldığında, hayatta kalan mikroorganizmalar çoğalabilir ve bu nedenle süt, yeniden sulandırıldıktan sonra taze süttten daha uzun süre saklanmamalıdır (Ahmed ve ark., 2014).

Süt tozlarında bulunan 3 temel spor oluşturan bakteri olarak. *B. licheniformis*, *Anoxybacillus sp.* ve *Geobacillus sp.* zorunlu termofiller olarak kabul edilir (yani, optimum büyüme sıcaklıkları sırasıyla 50 ila 62°C ve 55 ila 65°C'dir) ve genellikle süt işleme ortamıyla ilişkilendirilir. *B. licheniformis*,

hem mezofilik hem de termofilik sıcaklıklarda büyüebilme özelliğine sahiptir ve süt üretim ve işleme sürecinin tamamında bulunur (Kent ve ark., 2016).

4. SÜT ÜRÜNLERİNDE KÜF TOKSİNLERİ

Mikotoksinler, genellikle su kıtlığı olan ve bakteri üremesi için uygun olmayan yerlerde gelişen oldukça toksik olan küfler tarafından üretilen ikincil metabolitlerdir. Tahıl ve silaj gibi hayvan yemlerinin hazırlanma ve depolama yöntemleri, mikotoksin kontaminasyonuna yol açabilir. Hayvanlar kontamine olmuş gıdaları tükettiğinde mikotoksinler metabolize edilir, biyotransformasyona uğrar ve süt veya et gibi hayvansal ürünlere geçer, böylece insan sağlığı için risk oluşturur (Becker-Algeri ve ark., 2016). Mikotoksinler, yemlerde ve gıdalarda yaygın olarak bulunmaları ve insanlarda ve hayvanlarda neden olabilecekleri ciddi olumsuz sağlık etkileri (kanserojenite, genotoksisite/teratojenite, mutajenite, nefrotoksisite, hepatotoksisite, immünotoksisite ve diğer zayıflatıcı akut hastalıklar) nedeniyle halk sağlığı açısından en çok endişe duyulan doğal toksinler arasındadır (Bosco ve Mollea, 2012).

Süt ürünlerindeki kirleticiler arasında aflatoksinler (AF'ler), *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus* gibi küflerin son derece toksik ikincil metabolik ürünleri grubudur. Bu iki küf, sığır yeminin ana bileşenleri olan tahılları ve yağlı tohumları hasat öncesi ve sonrası işlemler sırasında enfekte eder. Küfler, bitkilerin büyümesi, olgunlaşması, hasadı ve tahılların işlenmesi sırasında bu tarım ürünlerinde ortaya çıkar. Varlıkları, sıcaklık, bağıl nem, oksijen mevcudiyeti ve hasarlı veya kırık tahıl taneleri gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Aflatoksinler, dünya genelinde yemlerde en sık görülen mikotoksinlerdir. Kontamine sığır yemindeki iki küf tarafından üretilen AflatoksinB1 (AFB1), memelilerde "süt toksini" olarak bilinen 4-hidroksillenmiş metabolit olan Aflatoksin M1'e (AFM1) dönüşür (Awasthi ve ark., 2012). Süt ürünlerinin ısıl işlemine ilişkin çalışmaların AFM1 miktarı üzerindeki etkilerine dair sonuçlar belirsizdir, ancak çalışmaların çoğu pastörizasyon ve sterilizasyon gibi işlemlerin bu ürünlerdeki AFM1 miktarında kayda değer bir değişikliğe neden olmadığını göstermektedir (Prandini ve ark., 2009). AFB1, bilinen en güçlü hepatokarsinojenlerden biridir ve diyetteki son derece düşük seviyelerdeki aflatoksinlere kronik maruz kalma bile insan sağlığı için önemlidir (Awasthi ve ark., 2012).

Bu patojenlerin yanı sıra, mikotoksinler ve bazı biyojenik aminler gibi bazı toksinler de potansiyel sağlık tehlikeleri oluşturmaktadır. Mikotoksinler, esas olarak bazı küf türleri (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Claviceps* ve *Alternaria*) tarafından üretilen ikincil metabolitler olarak biyosentezlenir (Grout ve ark., 2020). İnsanlar için en potansiyel tehlikeli olanlar AF'ler, okratoksinler (OT'ler), fusariotoksinler (FT'ler), trikoteksenler (TC'ler), sitrinin (CT) ve zearalenondur (ZEA). AF'ler, Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (IARC) tarafından potansiyel insan kanserojeni (Grup I) olarak sınıflandırılmıştır (Grenier ve Oswald, 2011). Sterigmatosistin (STC) gibi diğer mikotoksinlerin peynirde sıklıkla bulunduğu görülmüştür. STC, AFB1 gibi aflatoksinlere benzer bir yapıya sahiptir ancak daha düşük toksisiteye sahiptir. Mikotoksinler, süt ürünlerinde dolaylı kontaminasyon yoluyla bulunabilir; bu durum, süt ineklerinin mikotoksin içeren yemleri tüketmesi ve bu yemlerin süte geçmesiyle veya doğrudan kontaminasyon yoluyla ortaya çıkabilir. Doğrudan kontaminasyon ise, çevreden (havadan) bulaşan veya peynir yapımı sırasında olduğu gibi belirli olgunlaştırma kültürleri kullanılarak kasıtlı olarak aşıl原因an küflerin kasıtlı veya kazara büyümesiyle meydana gelir (El-Sayed ve ark., 2022).

Peynirde AFM1, kontamine süt kullanımından kaynaklanmaktadır. Varlığı peynir türüne göre değişmekte olup, peynirdeki seviyesinin azalması sıcaklık, pH, presleme süresi vb. gibi farklı işleme parametrelerine bağlıdır (Kure ve Skaar, 2019). Peynir ve fermente süt ürünlerinde en sık görülen küfler *Penicillium* türleridir. Bu organizmalar tarafından üretilen mikotoksinler penisilik asit, patulin, okratoksin A ve sitrinindir. Peynirde yaygın olarak incelenen bazı mikotoksinleri üretebilen küflerin yüzdesi %1,8 ile %12,4 arasında değişmektedir. Peynir, küf büyümesi için mükemmel bir substrattır, ancak mikotoksin üretimi için zayıf bir substrattır. Peynirde doğal olarak bulunan mikotoksinler arasında az ve değişken miktarlarda patulin, penisilik asit, sterigmatosistin (600 µg/kg), penitrem A ve mikofenolik asit bulunur. *P. roqueforti*, toksik alkaloidler ve diğer bileşikler üretebilir. Bu maddelerin insan sağlığı açısından önemi belirsizdir (Bullerman, 1981). *Penicillium* türleri peynirde sorbik asit ve potasyum sorbatı trans-1,3-pentadiene dönüştürerek "gazyacı" benzeri bir istenmeyen kokuya yol açarlar (Odeyemi ve ark., 2020).

Yoğurt ürünlerinin bozulmasıyla ilişkili en yaygın kontaminantlardan biri *A. niger*'dir ve uygun koşullar altında yoğurt/hava ara yüzünde bol miktarda

üreyebildiği için yaygınlığı yoğurdun raf ömrü için kritik öneme sahiptir (Gougouli ve ark., 2011).

AFM1 esas olarak sütün sulu fazında çözünür veya kazein parçacıklarına adsorbe olur bu sebepten dolayı peynir lorunun peynir altı suyuna göre daha yüksek konsantrasyonda AFM1 içerdiği görülmektedir. Çeşitli araştırmaların verileri, sütteki AFM1'in küçük bir kısmının kremaya, daha da küçük bir kısmının ise tereyağına geçtiğini göstermektedir. Bununla birlikte, sütteki AFM1'in geri kalanı yağsız sütte ve ayran içinde kalmaktadır (Prandini ve ark., 2009).

Süt ürünlerinde küf bulunması çeşitli bozulma türlerine yol açabilir. Bazı durumlarda küfler ürün yüzeylerinde tespit edilirken, diğerlerinde metabolitler oluşturarak istenmeyen kokulara, renk değişimine ve kıvamda bozulmaya neden olurlar (Odeyemi ve ark., 2020).

Küf bulaşmasının ana kaynağı üretim tesislerindeki ortamdır; bu nedenle, tesislerdeki küf sporlarının seviyesi çok önemlidir. Sorunlu küflerin yayılmasını önlemek için tesiste herhangi bir ürün veya yüzey üzerinde görünür küf oluşumundan kaçınılmalıdır. Küflerin yayılma yolu olan ortam sürekli kontrol altında tutulmalı ve steril edilmelidir.

5. SONUÇ

Tüketicilerin taze gıdaya olan talebi arttıkça, gıdaların kalitesi ve güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Gıdaların bozulması kalitesini ve raf ömrünü sınırlar. Bozulmaya neden olan mikroorganizmalar kaynağı ne olursa olsun gıdaların bozulmasında ve gıda kaynaklı hastalıklarda önemli bir rol oynar. Depolama sıcaklığı, işleme yöntemleri ve tedarik zinciri boyunca taşıma da gıda bozulmasına katkıda bulunur. Üreticiler çiftlikten tüketiciye kadar olan süreç boyunca temel mikrobiyal popülasyonlar tarafından oluşan bozulmayı kontrol etmek ve azaltmak için bir veya birden fazla strateji benimseyebilirler. Bu durum yalnızca bozulma, israfı azaltmakla kalmayıp aynı zamanda ekonomik, güvenli ve çevresel kaynakları da koruyan araçlar kullanarak gelecekte sürdürülebilir bir süt endüstrisine olanak sağlar.

KAYNAKLAR

- Abedi, A. S., Hashempour-Baltork, F., Alizadeh, A. M., Beikzadeh, S., Hosseini, H., Bashiry, M., ... & Khaneghah, A. M. (2020). The prevalence of *Brucella* spp. in dairy products in the Middle East region: A systematic review and meta-analysis. *Acta tropica*, 202, 105241.
- Addis, M. F., Tanca, A., Uzzau, S., Oikonomou, G., Bicalho, R. C., & Moroni, P. (2016). The bovine milk microbiota: insights and perspectives from-omics studies. *Molecular biosystems*, 12(8), 2359-2372.
- Ahmed, M. M. M., Hafez, E. E., Mona, A. M., Abdelrrassoul, H. A., & Mabrouk, Y. M. (2014). Detection of baby milk powder contamination by microorganisms. *World Appl. Sci. J*, 30, 93-98.
- Awasthi, V., Bahman, S., Thakur, L. K., Singh, S. K., Dua, A., & Ganguly, S. (2012). Contaminants in milk and impact of heating: an assessment study. *Indian journal of public health*, 56(1), 95-99.
- Babaoglu, U. T., Ogutucu, H., Demir, G., Sanli, D., Babaoglu, A. B., & Oymak, S. (2018). Prevalence of *Brucella* in raw milk: An example from Turkey. *Nigerian journal of clinical practice*, 21(7), 907-911.
- Bandler, D. K., & Barnard, S. E. (1984). Milk Flavor and Quality--from Cow to Consumer. *Cornell University*.
- Becker-Algeri, T. A., Castagnaro, D., de Bortoli, K., de Souza, C., Drunkler, D. A., & Badiale-Furlong, E. (2016). Mycotoxins in bovine milk and dairy products: A review. *Journal of food science*, 81(3), R544-R552.
- Bluma, A., & Ciprovica, I. (2015). Diversity of lactic acid bacteria in raw milk.
- Bosco, F., & Mollea, C. (2012). Mycotoxins in food. In Food industrial processes-Methods and equipment. *IntechOpen*.
- Bullerman, L. B. (1981). Public health significance of molds and mycotoxins in fermented dairy products. *Journal of Dairy Science*, 64(12), 2439-2452.
- Champagne, C. P., Laing, R. R., Roy, D., Mafu, A. A., Griffiths, M. W., & White, C. (1994). Psychrotrophs in dairy products: their effects and their control. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 34(1), 1-30.
- De Jonghe, V., Coorevits, A., De Block, J., Van Coillie, E., Grijspeerdt, K., Herman, L., ... & Heyndrickx, M. (2010). Toxinogenic and spoilage

- potential of aerobic spore-formers isolated from raw milk. *International journal of food microbiology*, 136(3), 318-325.
- De Silva, S. A. S. D., Kanugala, K. A. N. P., & Weerakkody, N. S. (2016). Microbiological quality of raw milk and effect on quality by implementing good management practices. *Procedia food science*, 6, 92-96.
- Desmaures, N., & Gueguen, M. (1997). Monitoring the microbiology of high quality milk by monthly sampling over 2 years. *Journal of Dairy Research*, 64(2), 271-280.
- Doyle, C. J., Gleeson, D., Jordan, K., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2015). Anaerobic sporeformers and their significance with respect to milk and dairy products. *International Journal of Food Microbiology*, 197, 77-87.
- El-Sayed, A. S., Ibrahim, H., & Farag, M. A. (2022). Detection of potential microbial contaminants and their toxins in fermented dairy products: A comprehensive review. *Food Analytical Methods*, 15(7), 1880-1898.
- Ercolini, D., Russo, F., Ferrocino, I., & Villani, F. (2009). Molecular identification of mesophilic and psychrotrophic bacteria from raw cow's milk. *Food microbiology*, 26(2), 228-231.
- Fusco, V., Chieffi, D., Fanelli, F., Logrieco, A. F., Cho, G. S., Kabisch, J., ... & Franz, C. M. (2020). Microbial quality and safety of milk and milk products in the 21st century. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 2013-2049.
- Garnier, L., Valence, F., & Mounier, J. (2017). Diversity and control of spoilage fungi in dairy products: *An update. Microorganisms*, 5(3), 42.
- Gougouli, M., & Koutsoumanis, K. P. (2017). Risk assessment of fungal spoilage: A case study of *Aspergillus niger* on yogurt. *Food microbiology*, 65, 264-273
- Grenier, B. O. I. P., & Oswald, I. (2011). Mycotoxin co-contamination of food and feed: meta-analysis of publications describing toxicological interactions. *World Mycotoxin Journal*, 4(3), 285-313.
- Hervet, C. J., Alles, A. S., Martin, N. H., Boor, K. J., & Wiedmann, M. (2016). Evaluation of different methods to detect microbial hygiene indicators relevant in the dairy industry. *Journal of dairy science*, 99(9), 7033-7042.

- Hervert, C. J., Martin, N. H., Boor, K. J., & Wiedmann, M. (2017). Survival and detection of coliforms, Enterobacteriaceae, and gram-negative bacteria in Greek yogurt. *Journal of dairy science*, 100(2), 950-960.)
- Johler, S., Weder, D., Bridy, C., Huguenin, M. C., Robert, L., Hummerjohann, J., & Stephan, R. (2015). Outbreak of staphylococcal food poisoning among children and staff at a Swiss boarding school due to soft cheese made from raw milk. *Journal of dairy science*, 98(5), 2944-2948.
- Jørgensen, H. J., Mathisen, T., Løvseth, A., Omoe, K., Qvale, K. S., & Loncarevic, S. (2005). An outbreak of staphylococcal food poisoning caused by enterotoxin H in mashed potato made with raw milk. *FEMS microbiology letters*, 252(2), 267-272.
- Júnior, J. R., De Oliveira, A. M., Silva, F. D. G., Tamanini, R., De Oliveira, A. L. M., & Beloti, V. (2018). The main spoilage-related psychrotrophic bacteria in refrigerated raw milk. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 75-83.
- Kanbakan, U., Çon, A. H., & Ayar, A. (2004). Determination of microbiological contamination sources during ice cream production in Denizli, Turkey. *Food Control*, 15(6), 463-470.
- Kent, D. J., Chauhan, K., Boor, K. J., Wiedmann, M., & Martin, N. H. (2016). Spore test parameters matter: Mesophilic and thermophilic spore counts detected in raw milk and dairy powders differ significantly by test method. *Journal of dairy science*, 99(7), 5180-5191.
- Kornacki, J. L., Flowers, R. S., & Bradley, J. R. L. (2001). Microbiology of Butter. *Applied Dairy Microbiology*, 2nd ed.; Marcel Dekker, Inc.: New York, NY, USA, 127-150.
- Kousta, M., Mataragas, M., Skandamis, P., & Drosinos, E. H. (2010). Prevalence and sources of cheese contamination with pathogens at farm and processing levels. *Food control*, 21(6), 805-815.
- Kure, C. F., & Skaar, I. (2019). The fungal problem in cheese industry. *Current Opinion in Food Science*, 29, 14-19.
- Lang, E., & Sant'Ana, A. S. (2021). Microbial contaminants in powdered infant formula: what is the impact of spray-drying on microbial inactivation?. *Current Opinion in Food Science*, 42, 195-202.
- Lucey, J. A. (2015). Raw milk consumption: risks and benefits. *Nutrition today*, 50(4), 189-193.

- Lücking, G., Stoeckel, M., Atamer, Z., Hinrichs, J., & Ehling-Schulz, M. (2013). Characterization of aerobic spore-forming bacteria associated with industrial dairy processing environments and product spoilage. *International journal of food microbiology*, 166(2), 270-279.
- M Hassan, G. A. M. A. L., Ms Meshref, A. R. A. F. A., Ma Zeinhom, M. O. H. A. M. E. D., & S Abdel-Halem, M. O. H. A. M. E. D. (2019). Impact of spoilage microorganisms on some dairy products. *Assiut Veterinary Medical Journal*, 65(161), 133-141.
- Machado, S. G., Heyndrickx, M., De Block, J., Devreese, B., Vandenberghe, I., Vanetti, M. C. D., & Van Coillie, E. (2016). Identification and characterization of a heat-resistant protease from *Serratia liquefaciens* isolated from Brazilian cold raw milk. *International Journal of food microbiology*, 222, 65-71.
- Martin, N. H., Torres-Frenzel, P., & Wiedmann, M. (2021). Invited review: Controlling dairy product spoilage to reduce food loss and waste. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1251-1261.
- McAuley, C. M., Singh, T. K., Haro-Maza, J. F., Williams, R., & Buckow, R. (2016). Microbiological and physicochemical stability of raw, pasteurised or pulsed electric field-treated milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38, 365-373.
- Miller, R. A., Kent, D. J., Boor, K. J., Martin, N. H., & Wiedmann, M. (2015). Different management practices are associated with mesophilic and thermophilic spore levels in bulk tank raw milk. *Journal of dairy science*, 98(7), 4338-4351.
- Munsch-Alatossava, P., & Alatossava, T. (2006). Phenotypic characterization of raw milk-associated psychrotrophic bacteria. *Microbiological Research*, 161(4), 334-346.
- Munsch-Alatossava, P., Gauchi, J. P., Chamlagain, B., & Alatossava, T. (2012). Trends of antibiotic resistance in mesophilic and psychrotrophic bacterial populations during cold storage of raw milk. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 918208.
- Murphy, M., Buckley, J. F., Whyte, P., O'mahony, M., Anderson, W., Wall, P. G., & Fanning, S. (2007). Surveillance of dairy production holdings supplying raw milk to the farmhouse cheese sector for *Escherichia coli* O157, O26 and O111. *Zoonoses and Public Health*, 54(9-10), 358-365.

- Nada, S., Ilija, D., Igor, T., Jelena, M., & Ruzica, G. (2012). Implication of food safety measures on microbiological quality of raw and pasteurized milk. *Food control*, 25(2), 728-731.
- Nagpal, R., Behare, P. V., Kumar, M., Mohania, D., Yadav, M., Jain, S., ... & Yadav, H. (2012). Milk, milk products, and disease free health: an updated overview. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(4), 321-333.
- Nekera, K. D., Kuyu, C. G., Tola, Y. B., & Gemechu, A. T. (2023). Chemical, microbial, and sensory characteristics of cow butter as affected by modified atmospheric packaging. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100892.
- Odeyemi, O. A., Alegbeleye, O. O., Strateva, M., & Stratev, D. (2020). Understanding spoilage microbial community and spoilage mechanisms in foods of animal origin. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 19(2), 311-331.
- Oliver, S. P., Boor, K. J., Murphy, S. C., & Murinda, S. E. (2009). Food safety hazards associated with consumption of raw milk. *Foodborne pathogens and disease*, 6(7), 793-806.
- Oliver, S. P., Jayarao, B. M., & Almeida, R. A. (2005). Foodborne pathogens in milk and the dairy farm environment: food safety and public health implications. *Foodbourne Pathogens & Disease*, 2(2), 115-129.
- Pal, M., Alemu, J., Mulu, S., Karanfil, O., Parmar, B. C., & Nayak, J. B. (2016a). Microbial and hygienic aspects of dry milk powder. *Beverage & Food World*, 43(7), 28-31.
- Pal, M., Devrani, M., & Pinto, S. (2018). Significance of hygienic processing of milk and dairy products. *Madridge Journal of Food Technology*, 3(2), 132-136.
- Pal, M., Mulu, S., Tekle, M., Pinto, S. V., & Prajapati, J. (2016b). Bacterial contamination of dairy products. *Beverage and food world*, 43(9), 40-43.
- Peña, W. E. L., de Andrade, N. J., Soares, N. F., Alvarenga, V. O., Junior, S. R., Granato, D., ... & de Souza Sant'Ana, A. (2014). Modelling *Bacillus cereus* adhesion on stainless steel surface as affected by temperature, pH and time. *International Dairy Journal*, 34(1), 153-158.

- Possas, A., Bonilla-Luque, O. M., & Valero, A. (2021). From cheese-making to consumption: Exploring the microbial safety of cheeses through predictive microbiology models. *Foods*, 10(2), 355.
- Prandini, A., Tansini, G. I. N. O., Sigolo, S., Filippi, L. A. U. R. A., Laporta, M., & Piva, G. (2009). On the occurrence of aflatoxin M1 in milk and dairy products. *Food and chemical toxicology*, 47(5), 984-991.
- Quigley, L., O'Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The complex microbiota of raw milk. *FEMS microbiology reviews*, 37(5), 664-698.
- Rabbani, A., Ayyash, M., D'Costa, C. D., Chen, G., Xu, Y., & Kamal-Eldin, A. (2025). Effect of Heat Pasteurization and Sterilization on Milk Safety, Composition, Sensory Properties, and Nutritional Quality. *Foods*, 14(8), 1342.
- Reta, M. A., & Addis, A. H. (2015). Microbiological quality assessment of raw and pasteurized milk. *International Journal of Food Science and Microbiology*, 2(6), 087-091.
- Saha, S., Majumder, R., Rout, P., & Hossain, S. (2024). Unveiling the significance of psychrotrophic bacteria in milk and milk product spoilage—A review. *The Microbe*, 2, 100034.
- Sarkar, S. (2016). Microbiological safety concerns of raw milk. *Safety*, 24, 1-7.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007). *Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology*. Elsevier.
- Temelli, S., Anar, Ş., Sen, C., & Akyuva, P. (2006). Determination of microbiological contamination sources during Turkish white cheese production. *Food Control*, 17(11), 856-861.
- Velázquez-Ordoñez, V., Valladares-Carranza, B., Tenorio-Borroto, E., Talavera-Rojas, M., Varela-Guerrero, J. A., Acosta-Dibarrat, J., ... & Pareja, L. (2019). Microbial contamination in milk quality and health risk of the consumers of raw milk and dairy products. In *Nutrition in Health and disease-our challenges Now and Forthcoming time*. IntechOpen.
- Verraes, C., Vlaemynck, G., Van Weyenberg, S., De Zutter, L., Daube, G., Sindic, M., ... & Herman, L. (2015). A review of the microbiological hazards of dairy products made from raw milk. *International Dairy Journal*, 50, 32-44.

- 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.
- Yalew, K., Pang, X., Huang, S., Zhang, S., Yang, X., Xie, N., ... & Li, X. (2024). Recent development in detection and control of psychrotrophic bacteria in dairy production: Ensuring milk quality. *Foods*, 13(18), 2908.
- Yaman, H., Elmali, M. E. H. M. E. T., Ulukanli, Z., Tuzcu, M., & Genctav, K. (2006). Microbial quality of ice cream sold openly by retail outlets in Turkey. *Revue de médecine vétérinaire*, 157(10), 457.
- Yuan, L., Sadiq, F. A., Burmølle, M., Wang, N. I., & He, G. (2019). Insights into psychrotrophic bacteria in raw milk: A review. *Journal of food protection*, 82(7), 1148-1159.
- Zastempowska, E., Grajewski, J., & Twaruzek, M. (2016). Food-borne pathogens and contaminants in raw milk-a review. *Annals of Animal Science*, 16(3), 623.

BÖLÜM 7

SICAKLIK-NEM İNDEKSİ VE ISI STRESİNİN SÜT SIĞIRCILIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Merve Nur EKTİREN¹

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÇAKIR²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156682>

¹ Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye. merveneren30@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-4221-6120

² Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Bingöl, Türkiye. yusufcakir@bingol.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3789-3039

GİRİŞ

Küresel iklim sisteminde meydana gelen değişimler, ekstrem hava olayların sıklığında ve şiddetinde ciddi dalgalanmaların yaşanmasına yol açmaktadır. Son yıllarda ortalama sıcaklık değerlerinde yaşanan artışlar ve yağış dağılımında görülen zamansal ve mekânsal sapmalar birçok bölgede kuraklık veya sel gibi aşırı hava olaylarının yaşanmasına neden olmaktadır (Held ve Soden, 2006; Pendergrass ve ark., 2017; Willner ve ark., 2018; Davenport ve ark., 2021; IPCC, 2021). Söz konusu bu değişimler iklim koşullarına bağımlı olan bitkisel ve hayvansal üretimin faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini sınırlamaktadır. Bu kapsamda iklim değişikliğinin üretim sistemleri üzerine olan olumsuz etkilerini minimize eden stratejilerin geliştirmesi günümüzde kritik öneme sahiptir. Hayvansal üretimde süt sığırlarının üretim performansı; genetik özellikler, besleme uygulamaları, bakım-yönetim koşulları ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Beede ve Collier, 1986). Barınak ortamında bulunan sıcaklık, bağıl nem, hava hareketi ve radyasyon süt sığırlarının termoregülasyon mekanizmalarını olumsuz etkilemektedir. Barınak ikliminde termal konforun sağlanamaması ısı stresine yol açmakta ve hayvanların fizyolojik ve davranışsal reaksiyonlarında farklılaşmalara neden olmaktadır (Armstrong, 1994; Kadzere ve ark., 2002; West, 2003; Bernabucci ve ark., 2010).

Süt sığırcılığında çevresel stresin takibi ve uyum stratejilerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir süt üretimi açısından son derece önemlidir (Renaudeau ve ark., 2012). Isı stresini, termoregülasyon kapasitesini aşan çevresel koşulları nedeniyle hayvanların vücut ısılarını dengede tutamadığı durum olarak tanımlanmaktadır (Yousef, 1985). Isı stresine maruz kalan hayvanların kuru madde alımı önemli ölçüde azalmakta ve enerji dengeleri bozulmaktadır. Bu durum özellikle süt sığırcılığında süt verimi ve üreme başarısında belirgin kayıplara yol açmaktadır (Kadzere ve ark., 2002; West, 2003). Hayvansal üretimde özellikle yaz aylarında artan dış hava sıcaklığı, kapalı barınak koşulları ve yem tüketimine bağlı olarak yükselen metabolik ısı üretimi, barınak içi termal yükün belirgin biçimde artmasına neden olmaktadır (Marai ve Habeeb, 2010; Giannone ve ark., 2023; Frigeri ve ark., 2023). Bu bağlamda, hayvansal üretimde verimlilik, hayvan sağlığı ve refahının sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için ısı stresinin azaltılmasına yönelik etkili yönetim ve çevresel kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır (St-Pierre ve ark., 2003; Dinçel ve Dikmen, 2013; Oliveira ve ark., 2025).

Sıcaklık-nem indeksi (SNİ), hava sıcaklığı ve nemin termal stres düzeyiyle ilişkili birleşik etkilerini bir bütün olarak ele alan bir değerlendirme ve izleme ölçütüdür. SNİ, üretim sistemlerinde sıcaklık stresıyla ilişkili kayıpların önceden tahmin edilmesi ve uygun yöntemler aracılığıyla önlemlerin alınmasına olanak tanıyan bir karar destek göstergesidir (Bianca, 1962; Fuquay, 1981; Bohmanova ve ark., 2007). Tüm canlılar, içinde bulunduğu ortamın sıcaklık ve oransal nem değerine bağlı farklı hassasiyetler göstermektedir. Örneğin, sığırlar terleme mekanizmaları sayesinde düşük bağıl nem koşullarında yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklı olabilirken; sıcak ve nemli koşullarda bu avantajlarını kaybederek hızla ısı stresine maruz kalabilmektedirler (Yousef, 1985). Süt sığırcılığında barınak ortamındaki SNİ değerlerinin eşik sınır değerlerinin üzerinde seyretmesi hayvanların yem tüketimini olumsuz etkilemekte ve metabolik enerji alımını sınırlamaktadır. Bu durum süt sığırlarında hormonal regülasyonu sekteye uğratarak (Collier ve ark., 2006), süt oluşumu açısından gerekli olan besin maddelerinin alımını olumsuz etkilemektedir. Süt sığırcılığında barınak ortamındaki termal konforun izlenmesinde önemli bir katkı sunan SNİ'nin belli dönemlerde eşik sınırlarını aşması süt veriminde istatistiksel olarak anlamlı düşüşlerin yaşanmasına yol açmaktadır (Kadzere ve ark., 2002; West, 2003; Bohmanova ve ark., 2007). Bu nedenle hayvansal üretim sistemlerinde termal konforun izlenmesinde ve yönetiminde SNİ etkin bir çevresel gösterge olarak kullanılmaktadır. Tüm bu çevresel ve yönetsel faktörler, süt sığırcılığında verim ve ürün kalitesini doğrudan etkilediğinden, sütün besin değeri ve ekonomik önemi çalışmanın odak noktası olarak ön plana çıkmaktadır.

Süt, insan beslenmesinde doğumdan başlayarak insan yaşamının her döneminde gerekli olan ve önemli makro ve mikro besin öğelerini yeterli miktarda içeren en temel gıdadır. Süt bileşimindeki; laktoz, kolayca sindirilebilir süt yağı, esansiyel yağ asitleri, biyolojik değeri yüksek süt proteinleri, esansiyel amino asitler, fosfolipitler, özellikle kalsiyum ve fosfor başta olmak üzere bazı önemli mineraller, riboflavin (B2), B12, A ve/veya β karoten gibi vitaminler ve daha birçok bileşeni yeterli ve dengeli bir şekilde içermesinden dolayı çok önemli bir gıdadır (Çakmakçı, 2020). Bu nedenle günlük beslenmede süt ve/veya süt ürünleri (peynir, yoğurt, vb.) insanların dengeli beslenmesi ve sağlığı açısından hayati öneme sahip gıda grubudur. Süt esas olarak su, yağ (lipitler), proteinler, laktoz ve tuzlardan oluşur; bu bileşenler sütün sadece besin değerini tanımlamakla kalmaz, aynı zamanda

ticari değerine de önemli ölçüde katkıda bulunur (Sanjulián ve ark., 2025). Örneğin; sütün bileşiminde bulunan proteinler ve mineraller (tuzlar), insanların sağlığı ve gelişimi için olduğu kadar, üretilen süt ürünlerinin (örneğin; peynir yapımı gibi süt işleme süreçlerinde ve tuz-protein etkileşimlerini içeren tüm özellikler) ticari değeri için de çok önemlidir (Franzoi ve ark., 2018; Górska-Warsewicz ve ark., 2019).

Süt, insanlar tarafından tüketilen en eski ve en geleneksel gıdalardan biridir (Sanjulián ve ark., 2025) ve binlerce yıldır doğanın en eksiksiz gıdası olarak bilinmektedir (Park, 2009) ve şu anda dünyada 6 milyardan fazla insanın beslenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Haug ve ark., 2007; McGrane ve ark., 2011; Visioli ve Strata, 2014). Küresel süt üretiminde inek sütü (%83) baskındır ve süt ürünlerine yönelik artan talebi karşılamak amacıyla, süt üretimi 1987-2017 yılları arasında yaklaşık %60 oranında artarak 522 milyon tondan 828 milyon tona ulaşmıştır (Górska-Warsewicz ve ark., 2019). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ve Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) projeksiyonlarına göre, önümüzdeki yıllarda kişi başına süt ve süt ürünü tüketim düzeyi (süt eşdeğeri olarak) Avrupa ve Kuzey Amerika bölgelerindeki batı ülkelerinde çok yüksek kalacak, Kuzey Afrika ülkelerinde, Orta Doğu'da önemli bir artış ve Asya bölgesi ülkelerinde ve Doğu'da istisnai bir yükseliş görülecektir. Orta ve Doğu Avrupa Birliği ülkelerinde, Amerika Birleşik Devletleri ve Rusya'da da talebin önemli ölçüde artacağı tahmin edilmektedir (Górska-Warsewicz ve ark., 2019). Ayrıca; insanların beslenmesinde süt ve süt ürünleri tüketme alışkanlığı binlerce yıldır devam etmekte olup, süt ve süt ürünleri bugün normal beslenmenin temel bileşenleri arasında yer almakta ve Avrupa ülkelerinde toplam gıda alımının %15'ini oluşturmaktadır (González-Montaña ve ark., 2012; Sanjulián ve ark., 2025).

Bu çalışmanın amacı, süt sığırcılığında barınak ortamı ve çevresel faktörlerin (sıcaklık, nem vb.) hayvanların termal konforu ve ısı stresi üzerindeki etkilerini, sıcaklık-nem indeksi (SNİ) kullanarak değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda, ülkemizin farklı bölgelerinde sıcaklık-nem indeksi (SNİ) üzerine yapılan çalışmaların süt verimi ve hayvan refahı üzerindeki sonuçları ortaya konulmuştur. Ayrıca, çalışmalarda elde edilen sonuçlardan hareketle iklim koşullarına bağlı olarak hesaplanan SNİ sınır değerleri hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

SICAKLIK-NEM İNDEKSİ (SNİ) ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye’de süt sığırcılığında sıcaklık-nem indeksi (SNİ) ve ısı stresinin etkilerini ortaya koymaya yönelik farklı coğrafi bölgelerde yürütülen çalışmalar, iklimsel koşullara bağlı olarak SNİ değerlerinin süt verimi ve hayvansal üretimin sürdürülebilirliği üzerinde kayda değer bir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda Akyüz ve ark. (2010), Kahramanmaraş iklim koşullarında SNİ değerlerinin; Haziran-Eylül ayları arasındaki periyotta kabul edilen 72 eşik sınır değerini aştığı belirlenmiştir. Bölgede yapılan süt sığırcılığı yetiştiriciliğinde belirtilen dönemlerde gerekli önlemlerin alınması hayvansal üretimin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Antalya koşullarında SNİ değerlerinin süt sığırcılığı üzerine etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada SNİ değerlerinin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında tehlikeli sınır olan 77’ye yaklaştığı (76.8) saptanmıştır. Çalışmada, Antalya ili kıyı şeridinin süt sığırcılığına uygun olmadığı; Akseki, Elmalı, İbradı ve Korkuteli ilçelerinin ise kaba yem amaçlı tarım alanı, mera alanı varlığı ve SNİ değerlerinin ideal aralıkta seyretmesi nedeniyle süt sığırcılığı açısından en uygun alanlara sahip olduğu ifade edilmiştir (Işık ve ark., 2016). Güney Marmara Bölgesi’nde yapılan çalışmada Haziran-Ağustos üretim periyodunda SNİ değerlerinin referans alınan 70 eşik değerini aştığı ve özellikle Ağustos ayında maksimum düzeye ulaştığı belirlenmiştir. Çalışmada, ısı stresine bağlı süt verimi kayıplarının önemli düzeylere ulaştığı bu dönemlerde hayvanların besleme yönetiminin optimize edilmesi, su tüketiminin yeterli düzeyde sağlanması, barınaklarda havalandırma ve gölgeleme olanaklarının artırılması ile serinletme sistemlerinin üretim sürecine entegre edilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır (Yaslıoğlu ve İlhan, 2016). Bursa iklim koşullarında SNİ’nin Siyah Alaca sığırlarda günlük süt verimi üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada SNİ değerinin belirlenen 70 eşik değerini üç yılda (2010-2012) toplam 268 gün aştığı belirlenmiştir. Süt sığırcılığında barınak ortamındaki sıcaklık ve nemin sürekli takibinin yapılması ve ihtiyaç halinde serinletme sistemlerinin devreye girmesi ısı stresine mücadelede önemli katkı sunacağı ifade edilmiştir (Duru, 2018). Siirt iklim koşullarında yürütülen çalışmada SNİ değerlerinin özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında Merkez, Baykan, Kurtalan ve Şirvan ilçelerinde belirlenen 72 sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. Bu aylarda süt sığırcılığında yaşanacak olan verim ve performans

kayıplarının önüne geçmek için serinletme sistemlerinin kullanılması önerilmiştir (Kibar ve ark., 2018). Konya ovası projesi kapsamındaki illerde yürütülen çalışmada, ortalama SNİ değerlerinin 50.9-55.3 değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada hesaplanan aylık ortalama SNİ değerlerinin özellikle yaz aylarında eşik sınır olarak kabul edilen 72'ye yaklaştığı ancak süt sığırcılığı açısından bir risk oluşturmadığı ifade edilmiştir (Ermetin ve ark., 2023). Buna karşın Kayseri ilinde yürütülen çalışmada SNİ değerlerinin, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında kabul edilen 70 eşik değerinin üzerine çıktığı ve bu sınırın yaklaşık 46 gün boyunca aşıldığı belirlenmiştir. Hayvansal üretimin sürdürülebilirliği için kritik aylarda gerekli önlemlerin alınması gerektiğini bildirilmiştir (Sarıözkan ve ark., 2025). Diyarbakır koşullarında SNİ değerlerinin Holstein süt sığırlarının verimi üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada SNİ değerlerin hesaplanmasında günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerlerinin dikkate alınmasının ısı stresini daha doğru yansıttığı ileri sürülmüştür. Çalışmada ayrıca, 72 eşik değerine en yakın sonuçların, günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem kombinasyonundan elde edildiği ve bu yaklaşımın hayvanların maruz kaldığı ısı stresini en iyi şekilde temsil ettiği ifade edilmiştir (Demir ve Yazgan, 2023). Şanlıurfa koşullarında yürütülen çalışmada ise SNİ'nin değerlerinin eşik sınır olarak kabul edilen 70'i özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında aştığı (77.5-77.6), SNİ'den en çok etkilenecek ilçelerin Merkez ve Akçakale olduğu ifade edilmiştir. SNİ'nin süt verimi üzerine olumsuz etkilerinin belirlenen dönemlerde bakım-yönetim uygulamalarının artırılması ile azaltılabileceği vurgulanmıştır (Çelik, 2020). Aydın ili koşullarında yürütülen bir başka çalışmada, SNİ değerlerinin Mayıs ayından itibaren artış gösterdiği ve Ekim ayından sonra azalma eğilimine girdiği belirlenmiştir. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için hesaplanan ortalama SNİ değerlerinin sırasıyla; 73.2, 77.7, 77.6 ve 72.0 olduğu bildirilmiş ve bu değerlerin yaz aylarında süt sığırcılığı açısından ısı stresi riskinin belirginleştiğini ortaya koyduğu ifade edilmiştir (Sevim ve Alarslan, 2023). Kırşehir ilinde süt sığırcılığı için ortalama sıcaklıklar bakımından hayvanların ısı stresine girmeden yetiştiriciliğinin yapılabileceği belirlenmiştir. İlde yapılması planlanan barınakların projelenmesinde maksimum sıcaklık dönemlerinin ve rüzgâr faktörünün dikkate alınması önerilmiştir (Boyacı, 2018).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Süt, içerdiği çok çeşitli besin maddeleri ve biyolojik bileşenler nedeniyle başta bebekler olmak üzere her yaştan insanın tüketebileceği temel bir gıdadır. Süt ve süt ürünlerinin bileşimi temel olarak su, yağ, proteinler, laktoz ve minerallerden (tuzlardan) oluşmaktadır. Süt ve süt ürünlerini bileşimindeki süt yağı; başta bebekler olmak üzere her yaştan insanın enerji gereksinimlerini sağlamasının yanında, besin emilimi ve gelişim süreçlerine de katkıda bulunmaktadır. Süt ve süt ürünlerinin bileşimindeki yüksek kaliteli proteinler ise; yapısal bütünlüğü korumaları ve çeşitli biyoaktif özellikler göstermeleri nedeniyle insanlar için çok değerli besin maddeleridir. Ayrıca; süt ve süt ürünlerinin bileşimindeki özellikle kalsiyum, magnezyum, potasyum, çinko ve fosfor gibi çok önemli mikro besinler kolayca emilebilen formda oldukları için her yaştan insanın beslenme ve sağlığını desteklemektedir. Süt ve süt ürünlerinin bileşiminde bulunan bu temel bileşenlere ek olarak, daha düşük konsantrasyonlarda pek çok biyoaktif bileşik de mevcuttur. Bu biyoaktif bileşikler, hemütün teknolojik olarak değerlendirilmesinde (ekonomik açıdan) hem de insanların beslenme ve sağlığı üzerine önemli fonksiyonlara sahiptir. Süt ve süt ürünlerinin besin değeri ve ekonomik önemi göz önüne alındığında, üretim süreçlerinde hayvanların termal konforunu sağlamak kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda sıcaklık-nem indeksi (SNİ), süt sığırcılığında ısı stresini öngörmek ve yönetmek için etkili bir araç olarak kullanılabilmektedir.

Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yürütülen çalışmalar sonucu elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, sıcaklık-nem indeksinin (SNİ) süt sığırcılığında ısı stresini değerlendirmede etkili bir gösterge olduğu belirlenmiştir. Araştırmaların yürütüldüğü iller dikkate alındığında özellikle yaz aylarında SNİ değerlerinin kritik eşik değeri olarak kabul edilen 70-72'nin üzerine çıktığı, bu durumun süt verimi ve hayvansal üretimin sürdürülebilirliği üzerinde istenmeyen etkiler ortaya çıkardığı belirlenmiştir. Kıyı ve sıcak bölgelerde riskin daha erken başladığı, iç ve yüksek rakımlı bölgelerde ise sürenin daha kısa olmakla birlikte yine de üretimin sürdürülebilirliği açısından risk oluşturduğu görülmektedir. Çalışmalar genel olarak ısı stresinin yol açtığı verim kayıplarının en aza indirgenmesi için;

- 1) Besleme yönetiminin optimize edilmesi,
- 2) Yeterli, sürekli ve kaliteli su temininin sağlanması,
- 3) Barınaklarda havalandırma ve gölgelemenin artırılması,

- 4) Serinletme sistemlerinin üretim sürecine entegre edilmesi,
- 5) Barınakların bölge iklimine uygun projelenmesi,
- 6) Süt verimliliği açısından bölge iklimine uyum sağlayabilen ırkların tercih edilmesi, gerekliliğini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

- Akyüz, A., Boyacı, S., & Çaylı, A. (2010). Determination of Critical Period for Dairy Cows Using Temperature Humidity Index. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(13), 1824-1827.
- Armstrong, D.V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, 77(7), 2044-2050. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- Beede, D.K., & Collier, R.J. (1986). Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.*, 62, 543-554.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167-1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
- Bianca, W. (1962). Relative importance of dry and wet- bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature (Lond.)* 195, 251.
- Bohmanova, J., Misztal, I., & Cole, J.B. (2007). Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. *Journal of Dairy Science*, 90, 1947-1956. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>
- Boyacı, S. (2018). Kırşehir İlinde Sıcaklık Nem İndeksi Değerlerinin Süt Sığırcılığı Açısından Değerlendirilmesi. In M. Çelik & S. M. Say (Ed.), *II. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi*, Bildiri Tam Metin Kitabı (ss:265-280). Adana, Türkiye: Veterinerlik-Ziraat ve Orman Bilimleri.
- Collier, R.J., Dahl, G.E., & VanBaale, M.J. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1244-1253. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72193-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2)
- Çakmakçı, S. (2020). Süt Fizik ve Kimyası Ders Notları, Atatürk Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- Çelik, R. (2020). Şanlıurfa ili süt sığırcılığı işletmelerindeki süt verim kaybına ısı stresinin etkisi. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 9(2), 206-210. <https://doi.org/10.31196/huvfd.828885>
- Davenport, F.V., Burke, M. & Diffenbaugh, N.S. (2021). Contribution of historical precipitation change to US flood damages. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 118, e2017524118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2017524118>

- Demir, O., & Yazgan, K. (2023). Effects of Air Temperature and Relative Humidity on Milk Yield of Holstein Dairy Cattle Raised in Hot-Dry Southeastern Anatolia Region of Türkiye. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 710-720. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1159540>
- Dinçel, D., & Dikmen, S. (2013). Süt sığırlarında sıcak stresinin tespiti, verim özellikleri üzerine etkileri ve korunma yöntemleri. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 32(1), 19-29.
- Duru, S. (2018). Türkiye'nin Bursa şehrindeki Siyah Alaca ineklerde günlük süt verimi için ısı stresi başlangıç seviyesinin belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 65, 193-198.
- Ermetin, O., Kul, E., & Sarı, M. (2023). KOP (Konya Ovası Projesi) Bölgesi'nde sıcaklık-nem indeksi (SNİ) değerlerinin süt sığırcılığı açısından değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(5), 954-962. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i5.954-962.5999>
- Franzoi, M., Niero, G., Penasa, M., Cassandro, M., & De Marchi, M. (2018). Technical note: Development and validation of a new method for the quantification of soluble and micellar calcium, magnesium, and potassium in milk. *Journal of Dairy Science*, 101(3), 1883-1888. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13419>
- Frigeri, K.D.M., Deniz, M., Damasceno, F.A., Barbari, M., Herbut, P., & Vieira, F.M.C. (2023). Effect of Heat Stress on the Behavior of Lactating Cows Housed in Compost Barns: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 13(4), 2044. <https://doi.org/10.3390/app13042044>
- Fuquay, J.W. (1981). Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science*, 52(1), 164-174. <https://doi.org/10.2527/jas1981.521164x>
- Giannone, C., Bovo, M., Ceccarelli, M., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2023). Review of the Heat Stress-Induced Responses in Dairy Cattle. *Animals*, 13, 3451. <https://doi.org/10.3390/ani13223451>
- González-Montaña, J. R., Senís, E., Gutiérrez, A., & Prieto, F. (2012). Cadmium and lead in bovine milk in the mining area of the Caudal River (Spain). *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(7), 4029-4034. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2241-1>

- Górska-Warsewicz, H., Rejman, K., Laskowski, W., & Czeczotko, M. (2019). Milk and dairy products and their nutritional contribution to the average Polish diet. *Nutrients*, 11(8), 1771. <https://doi.org/10.3390/nu11081771>
- Haug, A., Høstmark, A. T., & Harstad, O. M. (2007). Bovine milk in human nutrition-A review. *Lipids in Health and Disease*, 6(1), 25. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-6-25>
- Held, I.M. & Soden, B.J. (2006). Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *J. Clim.*, 19, 5686-5699. <https://doi.org/10.1175/JCLI3990.1>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021-The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press; 2023.
- Işık, M., Aydınsakir, K., Dinç, N., Büyüktaş, K., & Tezcan, A. (2016). Antalya koşullarında sıcaklık-nem indeks değerlerinin süt sığırcılığı açısından değerlendirilmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 29(1), 27-31.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., & Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science*, 77(1), 59-91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)
- Kibar, M., Yılmaz, A., & Bakır, G. (2018). Sıcaklık Nem İndeks Değerlerinin Süt Sığırcılığı Açısından Değerlendirilmesi: Siirt İli Örneği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 5(1), 45-50. <https://doi.org/10.19159/tutad.338044>
- Marai, I.F.M., & Habeeb, A.A.M. (2010). Buffalo's biological functions as affected by heat stress-A review. *Livestock Science*, 127(2-3), 89-109. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>
- McGrane, M. M., Essery, E., Obbagy, J., Lyon, J., MacNeil, P., Spahn, J., & Van Horn, L. (2011). Dairy consumption, blood pressure, and risk of hypertension: an evidence-based review of recent literature. *Current Cardiovascular Risk Reports*, 5(4), 287-298. <https://doi.org/10.1007/s12170-011-0181-5>
- Oliveira, C.P., Sousa, F.C.d., Silva, A.L.d., Schultz, É.B., Valderrama Londoño, R.I., & Souza, P.A.R.d. (2025). Heat Stress in Dairy Cows: Impacts, Identification, and Mitigation Strategies: A Review. *Animals*, 15, 249. <https://doi.org/10.3390/ani15020249>

- Park, Y.W. (2009). Introduction: Overview of bioactive components in milk and dairy products. *In Bioactive Components in Milk and Dairy Products*; Park, Y.W., Ed.; Publishers, Wiley- Blackwell: Ames, Iowa; Oxford, UK, pp. 3-14. ISBN 978-3-86944-021-7.
- Pendergrass, A.G., Knutti, R., Lehner, F., Deser, C. & Sanderson, B.M. (2017). Precipitation variability increases in a warmer climate. *Sci. Rep.*, 7, 17966. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17966-y>
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdiene, J.L., & Collier, R.J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707-728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>.
- Sanjulián, L., Fernández-Rico, S., González-Rodríguez, N., Cepeda, A., Miranda, J. M., Fente, C., Lamas, A., & Regal, P. (2025). The role of dairy in human nutrition: Myths and Realities. *Nutrients*, 17(4), 646. <https://doi.org/10.3390/nu17040646>
- Sarıözkan, S., Güngör, G., Küçükoflaz, M., & Demir, S. (2025). Kayseri ilinde sıcaklık-nem indeks değerlerinin süt sığırcılığı ve manda yetiştiriciliği açısından değerlendirilmesi. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 96(1), 1-13.
- Sevim, S., & Alarслан, E. (2023). Süt Sığırcı Yetiştiriciliğinde Sıcaklık Stresinin Önemi: Aydın İli Bozdoğan İlçesi Örneği. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 281-285. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.1356893>
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B., & Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, 86(E. Suppl.), E52-E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- Visioli, F., & Strata, A. (2014). Milk, dairy products, and their functional effects in humans: a narrative review of recent evidence. *Advances in Nutrition*, 5(2), 131-143. <https://doi.org/10.3945/an.113.005025>
- West, J.W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- Willner, S.N., Otto, C. & Levermann, A. (2018). Global economic response to river floods. *Nature Climate Change*, 8, 594-598. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0173-2>

- Yaslıoğlu, E., & İlhan, H. (2016). Güney Marmara süt sığırı yetiştiriciliğinin ısı stresi yönünden değerlendirilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(04), 12-19.
- Yousef, M.K. (1985). Stress physiology in livestock. Volume I. Basic principles., (ix+217pp.), CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. ISBN (Hardback): 978-0-8493-5667-4, CABI Record Number: 19862273343

BÖLÜM 8

SÜT YAN ÜRÜNLERİNİN GIDA ENDÜSTRİSİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE FONKSİYONELLİK PERSPEKTİFİ

Dr. Öğr. Üyesi Fadime SEYREKOĞLU¹

Emrah ÇETİN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156753>

¹ Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Amasya, Türkiye. fadime.tokatli@amasya.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9787-4115

² Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Amasya, Türkiye. emrahcetin05@hotmail.com, Orcid ID: 0009-0004-6421-5462

GİRİŞ

Süt ve süt ürünleri uzun yıllardır insan sağlığı için gerekli olan protein, mineral, yağ ve vitamin gibi temel besin maddelerini içermektedir. Süt ve süttten elde edilen ürünlerin tüketimi her geçen gün artmaktadır. Süt ve süt ürünlerinin üretiminin artmasıyla birlikte yan ürünler ve atık maddeler de oluşmaktadır. Süt endüstrisinde yüksek oranda organik bileşikler içeren bu maddeler şayet arıılmazsa çevre ve insanlar için tehdit oluşturma potansiyeline sahiptir. Meydana gelen bu atık maddeler ve yan ürünler karbon ayak izini azaltabilme potansiyelinin yanında farklı biyolojik ürünler üretmek için kullanılabilecek hammaddeler olarak değerlendirilebilmektedir.

Süt endüstrisinde süütün işlenmesiyle meydana çıkan yan ürünler peynir altı suyu, dondurma, tereyağı ve peynir artıkları gibi yenilebilir yan ürünler ve gıda maddesi olarak değerlendirilemeyen atıklar olarak ayrılmaktadır (Sar ve ark., 2022).

Süt endüstrisi, küresel gıda tedarik zincirinin temel taşlarından biri olup, dünya nüfusunun beslenmesinde kritik bir role sahiptir. Ancak, peynir, tereyağı ve kazein gibi ana ürünlerin üretimi sırasında kaçınılmaz olarak büyük hacimlerde yan ürünler ortaya çıkmaktadır (Pires ve ark., 2021). Bu yan ürünler, geleneksel olarak düşük değerli hayvan yemi veya atık olarak görülmüş, bu durum hem çevresel sorunlara hem de önemli bir ekonomik kayba yol açmıştır (Czarniecka-Skubina ve ark., 2025). Son yıllarda, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi kavramlarının gıda sektöründe ön plana çıkmasıyla birlikte, bu yan ürünlerin yüksek katma değerli bileşenler olarak yeniden değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir (Azkariahman ve ark., 2025).

Süt yan ürünleri, süütün işlenmesi sırasında ana üründen ayrılan ve besinsel açıdan zengin bileşenler içeren akımlardır. Başlıca süt yan ürünleri arasında peynir altı suyu (PAS), tereyağı altı suyu (buttermilk) ve süt permeate (milk permeate) yer almaktadır. Peynir altı suyu, peynir üretiminde süütün pıhtılaştırılması sonucu ortaya çıkan ve süütün yaklaşık %85-95'ini oluşturan sıvıdır (Pires ve ark., 2021). Yüksek Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değerlerine sahip olan bu yan ürünler, uygun arıtma yapılmadan çevreye deşarj edildiğinde su kaynaklarında ciddi kirliliğe ve ekolojik denge bozukluklarına neden olmaktadır (Pires ve ark., 2021). Bu

çevresel baskı, gıda üreticilerini yan ürünlerin geri kazanımı ve değerlendirilmesi konusunda yenilikçi çözümler aramaya itmiştir.

Bu bölümde, süt yan ürünlerinin sadece bir atık değil, aynı zamanda fonksiyonel ve besleyici gıda bileşenleri için değerli bir hammadde kaynağı olduğu vurgulanmaktadır. Öncelikle süt yan ürünlerinin kimyasal bileşimini ve sınıflandırılmasını detaylıca inceleyecektir. Ardından, bu yan ürünlerin süt ve süt ürünleri, et ve et ürünleri, tahıl ve unlu mamuller, meyve sebze ürünleri, içecek sektörü ve fonksiyonel gıdalar gibi farklı gıda matrislerindeki spesifik kullanım alanları, güncel bilimsel çalışmalar ışığında ayrıntılı başlıklar altında ele alınacaktır. Son olarak, süt yan ürünlerinin değerlendirilmesinin sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi açısından taşıdığı önem tartışılacak ve geleceğe yönelik perspektifler sunulacaktır.

1. Süt Yan Ürünlerinin Kimyasal Bileşimi ve Sınıflandırılması

Süt yan ürünlerinin gıdalarda kullanımı, büyük ölçüde içerdikleri yüksek besin değerine sahip bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Bu bileşenler, özellikle proteinler, laktoz, mineraller ve vitaminler, yan ürünleri katma değeri yüksek gıda bileşenlerine dönüştürmektedir.

1.1. Peynir Altı Suyu (PAS)

Peynir altı suyu, sütün pıhtılaştırılması yöntemine bağlı olarak tatlı ve ekşi olmak üzere iki ana tipe ayrılır. Tatlı PAS, peynir üretiminde peynir mayası (rennet) kullanılarak elde edilir ve pH değeri 6.0-6.5 civarındadır. Ekşi PAS ise, laktik asit bakterileri veya asit ilavesiyle pıhtılaştırma sonucu oluşur ve pH değeri 4.5-5.8 aralığındadır (Pires ve ark., 2021).

Süt endüstrisinin en önemli atık maddeleri arasında bulunan peynir altı suyu (PAS), sütün pıhtılaşarak kazeinin uzaklaştırılmasından sonra çıkan sarımsı yeşil renkteki sütün saydam sıvı kısmından meydana gelir (Hameed ve ark., 2023). Peynir altı suyu farklı miktarlarda albümin ve globülin gibi serum proteinleri, vitaminler, kalsiyum, fosfor, çinko ve magnezyum gibi mineraller ve laktoz içermektedir (Rezende ve ark., 2014; Bilal ve Altınar, 2017).

PAS bileşiminde bulunan süt yağı dışında laktoperoksidadaz ve laktoferrin gibi minör bileşenlerde bulunmaktadır (Yüksel, Yüksel ve Ürüşan, 2019). Peynir altı suyu proteinleri tüm esansiyel aminoasitleri içeren yüksek kalitedeki proteinlerdir (Haraguchi ve ark., 2009; Bilal ve Altınar, 2017). Serum

proteinleri açısından da zengin olan PAS proteinleri antioksidan, antiviral, antibakteriyel ve hipolipidemik ajan olarak görev yapabilmektedir (Bilal ve Altın, 2017; Yüksel, Yüksel ve Ürüştan, 2019). PAS'ın en değerli bileşenleri, yüksek biyolojik değere sahip olan peynir altı suyu proteinleridir. Bu proteinler, esas olarak beta-laktoglobulin, alfa-laktalbumin, immünoglobulinler, sığır serum albümini ve laktoferrin gibi globüler proteinlerden oluşur (Sukmana ve ark., 2025). Bu proteinler, konsantrasyonlarına göre Peynir Altı Suyu Konsantreleri (%30-89 protein), Peynir Altı Suyu İzolatları ($\geq$ %90 protein) ve enzimatik hidroliz sonucu elde edilen Peynir Altı Suyu Hidrolizatları olarak sınıflandırılır (Khetu ve ark., 2025) Peynir Altı Suyu Hidrolizatları, sindirimi kolaylaştıran ve antihipertansif, antioksidan ve antimikrobiyal gibi biyoaktif özelliklere sahip peptitler içerir (Hameed ve ark., 2023).

PAS protein tozu, şekerlemelerde ve pastacılık ürünlerinde kullanılmasının yanında, indirgenmiş formları sporcu besinlerinde de kullanılmaktadır. PAS konsantresi ise içerdiği yüksek aminoasitlerle kas ve vücut gelişimine katkı sağlar. PAS izolatu laktoz ve yağ içermediğinden porsiyon olarak bakıldığında daha fazla protein içerir bu nedenle kas oluşumunu desteklerken kilo kaybını hızlandırır (Güzeler, Esmek ve Kalender, 2017).

PAS bileşimi işlenen sütün kaynağına, üretilen peynirin tipine ve üretim şekline göre değişiklik gösterebilmektedir (Pal ve Radavelli-Bagatini., 2013; Bilal ve Altın, 2017). Bu faktörlerin yanı sıra pıhtılaştırma sıcaklığına, parça büyüklüğüne pıhtılaştırma aşamasında asit veya maya kullanılıp kullanılmaması gibi etkenlerde etkili olabilmektedir (Jeličić ve ark., 2008; Yüksel, Yüksel ve Ürüştan, 2019). Asit kullanılarak pıhtılaştırılan kazein proteinleri ekşi (pH 4,6) olarak tanımlanırken, enzim ile pıhtılaştırılan kazeinler tatlı (pH 6,3) olarak tanımlanır (Westergaard, 2004; Yüksel, Yüksel ve Ürüştan, 2019). Peynir altı suyu bileşimi Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Peynir altı suyu bileşimi

BİLEŞENLER	PEYNİR ALTI SUYUNDAKİ MİKTARI
Su	% 93.3
Kuru madde	% 6.7
Yağ	% 0.9
Protein	% 0.9
Süt şekeri	% 4.4
Kül	% 0.5

(Westergaard, 2004; Yüksel, Yüksel ve Ürüsan, 2019).

PAS geçmiş yıllarda geleneksel yöntemler ile değerlendirilirken günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle birlikte ters osmoz, ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon, konsantre etme ve kurutma gibi yöntemlerle ürün bileşenlerinin tek tek ayrılarak farklı alanlarda kullanımı sağlanmıştır. (Sousa ve ark., 2012). Bahsedilen bu yöntemler arasında en etkin yöntemler; konsantrasyon, koyulaştırma ve kurutmadır (Burmistrov ve ark., 2021). PAS proteini içeriğindeki kalsiyum, vitamin ve yüksek kalitedeki proteinler sayesinde sıvı veya kurutulmuş formlarda protein barları, çeşitli içecekler, hayvan ve insan beslenmesi gibi birçok alanda kullanılabilir (Sousa ve ark., 2012).

Laktoz, PAS'ın kuru maddesinin %70-75'ini oluşturan ana bileşenidir (Pires ve ark., 2021). Laktoz, gıda endüstrisinde tatlandırıcı, dolgu maddesi ve kristalizasyon önleyici olarak kullanılırken, aynı zamanda laktuloz ve galakto-oligosakkaritler (GOS) gibi prebiyotik bileşenlerin üretiminde de hammadde olarak değerlendirilir. PAS, aynı zamanda kalsiyum, fosfor, potasyum ve magnezyum gibi önemli minerallerin de kaynağıdır.

PAS ve pas ürünleri günümüzde gıda, ziraat, hayvancılık, Biyoteknoloji olmak üzere birçok alanda kullanılabilir (Demir, 2020). PAS ve bundan elde edilen ürünler gıda sanayinde en yaygın olarak tat ve aromayı arttırmak için eklenmektedir. Gıda sanayinde patates cipsleri, tuzlu bisküviler, peynir aromalı soslar olmak üzere çok çeşitli gıda maddelerinin üretiminde kullanılmaktadır (Küçüköner, 2011; Yüksel, Yüksel ve Ürüsan, 2019). Bunun yanı sıra bebek mamaları ve diyet gıdalar gibi ürünlerde de fonksiyonel katkı maddesi olarak katılabilir (Demir, 2020).

Yüksek emülsiyon stabilitesi ve kapasitesi sayesinde PAS proteinleri yağ oranı bakımından yüksek krema, sürülebilir özellikteki krem peynirler, soslar ve mayonez yapımı gibi çeşitli gıdalarda katkı maddesi olarak kullanılabilir (Özcan ve Delikanlı, 2011).

PAS içeriğindeki α -laktalbumin ile β -laktoglobulinler anne sütündeki temel proteinlere benzediği için bebeklerin ihtiyaç duyduğu aminoasitleri içerdiğinden bebek mamalarının yapımında yüksek ölçekte eklenebilmektedir. PAS proteinlerini ısıtma işlemine tabi tutarak hipoalerjik bebek maması üretiminde kullanılan bir yöntemdir (Ertürk ve Özgen, 2021).

1.2. Tereyağı Altı Suyu (Buttermilk)

Tereyağı altı suyu, kremanın tereyağına dönüştürülmesi sırasında ortaya çıkan ve yağsız süte benzeyen, ancak daha zengin bir bileşime sahip olan bir yan üründür.

Tereyağı altı suyunun en önemli özelliği, yüksek oranda Süt Yağı Küresel Membranı (MFGM) bileşenlerini içermesidir (Bielecka ve ark., 2024). MFGM, fosfolipitler, sfingolipitler ve glikoproteinler gibi biyoaktif bileşenlerden oluşur ve nörolojik gelişim, bağışıklık sistemi ve kardiyovasküler sağlık üzerinde olumlu etkileri olduğu gösterilmiştir (Nazari ve ark., 2025). Bu zengin bileşim, tereyağı altı suyunu fonksiyonel gıda formülasyonları için cazip bir bileşen haline getirir.

Tereyağı altı suyu, içerdiği proteinler ve MFGM bileşenleri sayesinde mükemmel emülsifiye edici ve stabilize edici özelliklere sahiptir (Bielecka ve ark., 2024). Bu özellikleri, özellikle fırıncılık ve et ürünleri gibi emülsiyon bazlı gıdalarda yağ ikamesi ve doku iyileştirici olarak kullanılmasına olanak tanır (Hameed ve ark., 2023).

1.3. Süt Permeatı (Milk Permeate)

Süt permeatı, sütün veya peynir altı suyunun ultrafiltrasyon (UF) veya nanofiltrasyon (NF) gibi membran proseslerinden geçirilmesiyle elde edilen, protein ve yağdan arındırılmış, laktoz ve mineralce zengin sıvıdır (Azkarahman ve ark., 2025). Permeat, kuru maddesinin büyük bir kısmını (%80'den fazlasını) oluşturan laktoz ve mineraller açısından zengindir. Bu bileşim, permeatı ucuz bir laktoz kaynağı ve mineral takviyesi olarak kullanıma uygun hale getirir. Permeatın yüksek mineral içeriği, özellikle sporcu içeceklerinde ve rehidrasyon

çözeltilerinde elektrolit dengesini sağlamak için kullanılabilir (Dairy Foods, 2025). Permeat, gıda endüstrisinde hacim artırıcı, tatlandırıcı ve fermantasyon substratı olarak kullanılır. Ayrıca, laktozun kristalizasyonu ve ardından gıda ve ilaç endüstrilerinde kullanılan yüksek saflıkta laktoz üretimi için de temel bir hammadde görevi görür (Azkarahman ve ark., 2025).

2. Süt Yan Ürünlerinin Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları

Süt yan ürünlerinin gıda endüstrisinde değerlendirilmesi hem besinsel zenginleştirme hem de teknolojik işlevsellik sağlama potansiyeli nedeniyle son yıllarda yoğun ilgi görmektedir. Bu ürünlerin kullanımı, geleneksel gıdaların kalitesini artırmaktan, yeni nesil fonksiyonel gıdaların geliştirilmesine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.

2.1. Süt ve Süt Ürünlerinde Kullanımı

Süt yan ürünlerinin, özellikle peynir altı suyunun (PAS) ve tereyağı altı suyunun, yine süt bazlı ürünlerin formülasyonunda kullanılması, besin değerini artırmanın yanı sıra üretim maliyetlerini düşürme ve çevresel etkiyi azaltma açısından stratejik bir öneme sahiptir.

2.1.1. Fermente Süt Ürünleri (Yoğurt, Kefir)

PAS proteinleri, yoğurt ve kefir gibi fermente süt ürünlerinin besin değerini ve tekstürel özelliklerini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. PAS proteinleri'nin yoğurt formülasyonuna eklenmesi, su tutma kapasitesini artırarak sinerezisi (su salınımını) azaltır ve daha sıkı, daha kremsi bir yapı sağlar (Pires ve ark., 2021). Bu, özellikle düşük yağlı veya yağsız yoğurtlarda arzu edilen bir özelliktir. Ayrıca, PAS proteinleri'nin yüksek protein içeriği, ürünlerin besin etiketindeki protein miktarını artırarak onları sporcu ve yaşlı nüfus için daha çekici hale getirir. Tereyağı altı suyu tozuda, fermente ürünlerin toplam katı madde miktarını artırmak ve duyuusal özellikleri iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Küçük ve ark., 2025). Süt ürünlerinden olan yoğurt yapımında kuru madde oranını arttırmak amacıyla %1-2 oranında yağsız süt tozu ile birlikte PAS tozu kullanılmaktadır (Yüksel, Yüksel ve Ürüşan, 2019).

2.1.2. Peynir Üretiminde Randıman Artışı ve Peynir Altı Suyu Peynirleri

PAS'ın en doğrudan kullanım alanlarından biri, peynir altı suyu peynirlerinin (örneğin, Ricotta, Lor) üretimidir. Bu peynirler, PAS'ta kalan serum proteinlerinin ısı ve/veya asit yardımıyla pıhtılaştırılmasıyla elde edilir (Pires ve ark., 2021). Bu süreç, atık akımındaki proteinlerin geri kazanılmasını sağlayarak hem ekonomik hem de çevresel fayda sunar. Ayrıca, PAS'ın ultrafiltrasyon (UF) permeatının, peynir üretiminde randımanı artırmak amacıyla süte geri eklenmesi üzerine çalışmalar da mevcuttur. Bu uygulama, toplam protein içeriğini artırarak peynir verimini yükseltir (Tebliğ No: 2024/24).

2.1.3. Dondurma ve Sütlü Tatlılar

PAS ve permeat, dondurma ve sütlü tatlıların üretiminde laktoz, mineral ve protein kaynağı olarak kullanılır. PAS tozu, dondurmanın yapısını stabilize etmeye, erime direncini artırmaya ve maliyeti düşürmeye yardımcı olur. Permeatın yüksek laktoz içeriği, dondurmanın donma noktasını düşürerek daha yumuşak bir doku elde edilmesine katkıda bulunabilir. Ancak, laktozun kristalizasyonunu önlemek için dikkatli formülasyon gereklidir (Azkariahman ve ark., 2025).

PAS sahip olduğu fonksiyonel ve besleyici özellikler sayesinde farklı endüstri kollarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Nem tutma, raf ömrünü artırma, tekstürü iyileştirici, kıvam verme özelliklerinde dolayı şekerleme ve fırın ürünleri üretiminde kullanılmaktadır. Dondurma yapımında ise laktoz ve protein kaynağı olmasının yanı sıra kıvam arttırarak kristalleşmeyi azaltmaktadır (Mirzakulova ve ark., 2025).

2.2. Et ve Et Ürünlerinde Kullanımı

Süt yan ürünleri, et ve et ürünleri formülasyonlarında teknolojik, besinsel ve ekonomik avantajlar sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle emülsiyon tipi et ürünlerinde (sosis, salam, sucuk) ve kıyma bazlı ürünlerde (köfte, burger) PAS proteinlerinin işlevselliği öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda et ve et ürünlerinde PAS'ın %5,5 oranında kullanılabileceği belirlenmiştir. Sosis, salam gibi ürünlerde de katkı maddesi

olarak kullanılabilmektedir (Zorba ve ark., 1998; Yüksel, Yüksel ve Ürüşan, 2019).

2.2.1. Emülsiyon Stabilizasyonu ve Su Tutma Kapasitesi

PAS proteinleri, mükemmel emülsiyon oluşturma ve stabilizasyon özelliklerine sahiptir. Et emülsiyonlarında, proteinler yağ ve su fazları arasında bir arayüz oluşturarak emülsiyonun ayrılmasını önler ve ürünün tekstürel bütünlüğünü korur (Pires ve ark., 2021). Ayrıca, WPC'nin yüksek su bağlama kapasitesi, pişirme sırasında su kaybını (pişirme kaybını) azaltarak ürün randımanını artırır ve daha sulu bir son ürün elde edilmesini sağlar. Tereyağı altı suyu da, içerdiği bileşenleri sayesinde emülsiyon stabilizatörü olarak görev yapar ve et ürünlerinin yağ tutma kapasitesini iyileştirir (Bielecka ve ark., 2024).

2.2.2. Besin Değerinin Artırılması

Süt yan ürünlerinin et ürünlerine eklenmesi, ürünün besin profilini, özellikle protein içeriğini ve amino asit dengesini iyileştirir. PAS proteinleri, yüksek Biyolojik Değere (BD) sahip olup, et proteinlerini tamamlayıcı bir amino asit profili sunar. Bu, özellikle düşük kaliteli et hammaddesi kullanıldığında veya ürünün protein içeriğinin artırılması hedeflendiğinde önemli bir avantajdır.

2.2.3. Et İkame Ürünlerinde Kullanımı

Son yıllarda popülaritesi artan bitkisel bazlı et ikame ürünlerinde de süt yan ürünlerinin kullanımı araştırılmaktadır. PAS proteinleri, bitkisel proteinlerle sinerjik etkileşim göstererek, et ikamelerinin tekstürel özelliklerini, ağız hissini ve besin değerini iyileştirmek için kullanılabilir (Kheto ve ark., 2025). Bu, süt endüstrisi ile bitkisel gıda trendlerinin kesişim noktasında yeni ve sürdürülebilir ürün geliştirme fırsatları sunmaktadır.

2.3. Tahıl ve Unlu Mamullerde Kullanımı

Süt yan ürünleri, tahıl ve unlu mamul sektöründe hem besinsel zenginleştirme hem de teknolojik işlevsellik sağlamak amacıyla önemli bir potansiyele sahiptir. Bu ürünlerin kullanımı, fırıncılık ürünlerinin hacmini, dokusunu, rengini ve raf ömrünü olumlu yönde etkilemektedir.

2.3.1. Ekmek ve Fırıncılık Ürünleri

Peynir altı suyu tozu ve tereyağı altı suyu tozu, ekmek, kek, bisküvi ve diğer fırıncılık ürünlerinin formülasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. PAS proteinleri, hamurun yoğurma toleransını artırır ve ekmeğin hacmini ve gözenek yapısını iyileştirir. Bu proteinler, gluten ağı ile etkileşime girerek hamurun gaz tutma kapasitesini optimize edebilir (Hameed ve ark., 2023). Ayrıca, tereyağı altı suyunun içerdiği fosfolipitler ve proteinler, emülgatör görevi görerek hamurun stabilitesini artırır ve bayatlamayı geciktirir. Tereyağı altı suyunun 'nun kullanımı, fırıncılık ürünlerinin besin değerini, özellikle protein ve mineral içeriğini artırarak onları daha sağlıklı bir seçenek haline getirir (Hameed ve ark., 2023).

Peynir altı suyu ve tozunun fırıncılık ürünlerinde besin değeri arttırmak için kullanıma imkanı bulunmaktadır. Ancak yüksek miktarlarda kullanıldığında içeriğindeki laktoz ve minerallerden dolayı tekstür özelliklerini olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu olumsuz etkinin nedeni, laktozun neden olduğu ozmotik basınç ile maya aktivitesini baskılayarak ekmek hacmini azaltmaktadır (Mete, 2012).

Mayalı ve mayasız hamurlarda PAS protein konsantre tozunun ve yayık altı suyu tozunun kullanıldığı bir çalışmada, PAS protein konsantre tozu ve yayık altı suyu tozunun birlikte kullanılması ekmeklerde mineral ve protein yönünden zenginleştirici etki göstermesinin yanında duyuusal özellikleri de geliştirmiştir (Çelik, 2016).

2.3.2. Bisküvi, Kraker ve Makarna

PAS ve permeat, bisküvi ve kraker üretiminde de başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. PAS tozu, bisküvilerin kırılma direncini artırabilir ve daha gevrek bir doku sağlayabilir. Süt permeatının yüksek laktoz içeriği, Maillard reaksiyonu yoluyla ürünlerin yüzeyinde arzu edilen bir kahverengi renk oluşumuna katkıda bulunur ve tat profilini zenginleştirir (Azkariahman ve ark., 2025). Makarna üretiminde ise, PAS proteinlerinin eklenmesi, makarnanın pişme kalitesini (pişirme kaybını azaltma) ve protein içeriğini artırarak ürünün besin değerini yükseltir (Pires ve ark., 2021).

2.3.3. Besinsel Zenginleştirme ve Yapısal İyileştirmeler

Tahıl ürünlerinin, özellikle de temel gıdaların, PAS proteinleri ile zenginleştirilmesi, küresel protein eksikliği sorununa karşı sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. PAS proteinleri, tahıl bazlı ürünlerin amino asit profilini, özellikle lizin gibi sınırlayıcı amino asitler açısından tamamlayarak proteinin biyolojik değerini önemli ölçüde artırır. Bu zenginleştirme, tahıl bazlı gıdaların fonksiyonel özelliklerini ve sağlık faydalarını artırmada kritik bir rol oynamaktadır.

2.4. Meyve, Sebze ve İlgili Ürünlerde Kullanımı

Süt yan ürünlerinin meyve ve sebze bazlı gıdalarda kullanımı, genellikle besin değerini artırma, tekstürü iyileştirme ve koruyucu özellikler sağlama odaklıdır.

2.4.1. Meyve Suyu ve Nektar Zenginleştirilmesi

Peynir altı suyu (PAS) ve özellikle peynir altı suyu proteinleri, meyve suları ve nektarların protein içeriğini artırmak için kullanılır. Bu ürünler, "proteinli meyve suyu" veya "sporcu nektarı" gibi yeni ürün kategorilerinin geliştirilmesine olanak tanır. PAS'ın nötr tadı ve yüksek çözünürlüğü, meyve suyunun duyuşsal özelliklerini minimum düzeyde etkilerken, ürüne önemli bir besin katkısı sağlar (Pires ve ark., 2021). Ayrıca, PAS'ın tamponlama kapasitesi, meyve sularının asitliğini dengelemeye yardımcı olabilir.

2.4.2. Meyve Bazlı Tatlılar ve Püreler

Meyve bazlı tatlılar, jöleler ve pürelerde PAS proteinleri, jelleşme ve kıvam artırıcı ajan olarak kullanılabilir. PAS proteinleri'nin ısı ile jelleşme özelliği, bu tür ürünlerin istenen tekstürel yapısını oluşturmada ve stabilize etmede etkilidir. Bu, özellikle düşük kalorili veya düşük şekerli formülasyonlarda, geleneksel kıvam artırıcıların yerine geçebilecek doğal bir alternatif sunar.

2.4.3. Kaplama Malzemesi Olarak Kullanımı

PAS proteinleri ve laktoferrin gibi biyoaktif bileşenler, meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmak için yenilebilir kaplama filmlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Bu filmler, meyve yüzeyinde bir bariyer oluşturarak nem

kaybını ve gaz transferini (oksijen ve karbondioksit) yavaşlatır, böylece oksidasyonu ve mikrobiyal bozulmayı geciktirir (Khetu ve ark., 2025). Laktoferrin gibi antimikrobiyal peptitlerin varlığı, kaplamanın koruyucu etkisini daha da artırır. Bu uygulama, gıda israfını azaltma ve sürdürülebilir gıda sistemlerini destekleme açısından büyük önem taşımaktadır (Sustainable food systems, 2022).

Son yıllarda PAS proteinleri ile üretilen yenilebilir kaplama ve filmlerin gıdalara aroma verme, gaz transferi ve nem kaybını azaltabilmektedir. Bunun yanı sıra ürüne has aroma tat ve yapıyı bozmaması da avantajlarından biridir (Yüksel, İstek ve Bulca, 2020).

2.5. İçecek Sektöründe Kullanımı

Süt yan ürünlerinin, özellikle peynir altı suyunun (PAS) ve süt permeatının, içecek sektöründe kullanımı hem besin değerini artırma hem de yeni, yenilikçi içecek formülasyonları geliştirme potansiyeli sunmaktadır.

2.5.1. Sporcu İçecekleri ve Protein Takviyeleri

PAS proteinleri, yüksek biyolojik değeri, hızlı sindirilebilirliği ve dallı zincirli amino asit içeriği nedeniyle sporcu beslenmesinin temel bileşenlerindendir (Pires ve ark., 2021). Sporcu içeceklerinde ve protein takviyelerinde PAS proteinleri'nin kullanımı, kas onarımını ve sentezini destekler. Süt permeatı ise, laktoz ve mineral içeriği sayesinde, spor sonrası rehidrasyon içeceklerinde ucuz ve etkili bir karbonhidrat ve elektrolit kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Permeat bazlı içeceklerin, özellikle dayanıklılık sporcuları için hidrasyonu iyileştirdiği gösterilmiştir (Dairy Foods, 2025).

2.5.2. Fermente ve Alkolsüz İçecekler

PAS, fermente içeceklerin üretiminde zengin bir substrat olarak kullanılır. Laktik asit bakterileri veya mayalar kullanılarak PAS'ın laktozu fermente edilebilir, bu da alkolsüz veya düşük alkollü, probiyotik özellikli içeceklerin (örneğin, PAS bazlı kefir veya kvas) üretimine olanak tanır (Pires ve ark., 2021). Bu tür içecekler hem PAS'ın değerlendirilmesini sağlar hem de tüketicilere sağlıklı alternatifler sunar. Ayrıca, tereyağı altı suyu da kendine has hafif ekşi tadı ve besin içeriği nedeniyle, fermente içeceklerin formülasyonunda kullanılmaktadır (Nazari ve ark., 2025).

2.5.3. PAS Bazlı İçecek Formülasyonları

PAS'ın doğal olarak yüksek asitliği ve "peynirimsi" tadı, doğrudan içecek olarak tüketimini kısıtlamaktadır. Ancak, demineralizasyon, tatlandırma ve meyve suyu ile karıştırma gibi teknolojik işlemlerle bu sorunlar aşılabilmektedir. Özellikle meyve suları ile karıştırılan PAS bazlı içecekler hem protein hem de vitamin/mineral açısından zengin, duyuşsal olarak kabul edilebilir ürünler olarak piyasaya sürülmektedir (Pires ve ark., 2021).

2.6. Fonksiyonel Gıdalarda Kullanımı

Süt yan ürünleri, biyoaktif bileşenlerin zenginliği sayesinde, sağlık üzerinde faydalı etkileri olan fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır.

2.6.1. Biyoaktif Peptitlerin Fonksiyonel Özellikleri

PAS proteinlerinin enzimatik hidrolizi ile elde edilen biyoaktif peptitler, fonksiyonel gıdaların en önemli bileşenlerindendir. Bu peptitlerin, antihipertansif (ACE inhibitör aktivitesi), antioksidan, antimikrobiyal ve immünomodülatör etkileri bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır (Hameed ve ark., 2023). Bu peptitler, kapsüllenerek veya doğrudan gıda matrislerine eklenerek, kardiyovasküler sağlığı destekleyen veya oksidatif stresi azaltan fonksiyonel gıdaların üretimine olanak tanır.

2.6.2. Probiyotik ve Prebiyotik Ürünler

PAS'ın laktoz içeriği, prebiyotik özelliklere sahip olan galakto-oligosakkaritlerin (GOS) üretimi için ideal bir substrattır. GOS, bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyerek sindirim sağlığını destekler. Ayrıca, PAS ve tereyağı altı suyu, probiyotik mikroorganizmaların büyümesi için uygun bir ortam sağlayarak, probiyotik yoğurtlar, içecekler ve takviyelerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Bridging Tradition and Innovation, 2024). Tereyağı altı suyunun içerdiği bileşenleri de, bağırsak sağlığı ve bağışıklık sistemi üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Nazari ve ark., 2025).

2.6.3. Yaşlı ve Klinik Beslenme Ürünleri

Süt yan ürünlerinden elde edilen yüksek kaliteli proteinler ve biyoaktif bileşenler, yaşlı nüfusun artan protein ihtiyacını karşılamak ve malnütrisyonu önlemek amacıyla geliştirilen klinik beslenme ürünlerinde ve yaşlılara yönelik gıdalarda kritik bir rol oynamaktadır. Peynir altı suyu proteinleri'nin hızlı emilimi ve yüksek besin değeri, kas kütlelerinin korunması (sarkopeni) ve iyileşme süreçlerinin desteklenmesi için idealdir (Pires ve ark., 2021).

3. Sürdürülebilirlik ve Ekonomik Değerlendirme

Süt yan ürünlerinin gıda endüstrisinde değerlendirilmesi, sadece ürün kalitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda küresel gıda sistemlerinin sürdürülebilirliği ve döngüsel ekonomi hedefleri açısından da kritik bir öneme sahiptir. Döngüsel ekonomi modeli, atıkların kaynak olarak yeniden kullanılması ilkesine dayanır ve süt endüstrisi için büyük bir potansiyel sunar. Geleneksel lineer modelde (al-yap-at) atık olarak görülen peynir altı suyu (PAS) ve süt permeatı, döngüsel ekonomide yüksek katma değerli bileşenler olarak yeniden sisteme dahil edilir (Azkariahman ve ark., 2025). Bu yaklaşım, çevresel yükü azaltırken, aynı zamanda yeni pazar fırsatları ve ekonomik büyüme yaratır. Örneğin, PAS'tan elde edilen proteinlerin ve laktozun gıda formülasyonlarında kullanılması, bu bileşenlerin dışarıdan tedarik edilme ihtiyacını azaltır ve kaynak verimliliğini artırır.

Süt yan ürünlerinin, özellikle PAS'ın yüksek BOİ ve KOİ değerleri nedeniyle çevreye deşarjı, su kirliliğinin önemli bir kaynağıdır (Pires ve ark., 2021). Yan ürünlerin gıdada değerlendirilmesi, bu çevresel etkiyi azaltmanın en etkili yoludur. Membran filtrasyon (UF, NF, RO) ve kurutma teknolojileri, yan ürünlerin hacmini ve kirlilik yükünü azaltarak, geri kalan atık suyun arıtma maliyetlerini düşürür. Bu teknolojiler, PAS'ın biyoaktif bileşenlerini (proteinler, mineraller) geri kazanarak, atık bertaraf yükünü ekonomik bir değere dönüştürür (Czarniecka-Skubina ve ark., 2025).

2021-2025 yılları arasındaki küresel pazar trendleri, süt yan ürünlerinin değerinin hızla arttığını göstermektedir. Özellikle peynir altı suyu permeatı pazarı, 2025 yılına kadar önemli bir büyüme kaydetmiştir (Metastat Insight, 2025). Bu büyüme, sporcu beslenmesi ve fonksiyonel gıdalara olan talebin artmasıyla doğrudan ilişkilidir. Tüketicilerin protein takviyelerine ve doğal içeriklere yönelmesi, WPC ve WPI gibi yüksek proteinli yan ürünlerin pazar

değerini yükseltmiştir. Tereyağı altı suyu ve permeatın, düşük maliyetli ve besleyici bileşenler olarak hayvan yemi ve gıda formülasyonlarında artan kullanımı da bu ekonomik değerlendirme sürecini desteklemektedir (Hoogwegt, 2025).

4. Gelecek Perspektifleri

Süt yan ürünlerinin gelecekteki değerlendirme stratejileri, daha çok biyoaktif bileşenlerin (peptitler, MFGM bileşenleri, laktoferrin) ileri teknolojilerle (membran prosesleri, enzimatik hidroliz) ayrıştırılması ve saflaştırılması üzerine odaklanacaktır.

1 Biyoaktif Bileşenlerin Hedeflenmesi: Gelecek araştırmalar, PAS ve tereyağı altı suyundan elde edilen spesifik biyoaktif peptitlerin ve MFGM bileşenlerinin, kronik hastalıkların (hipertansiyon, diyabet, obezite) önlenmesi ve yönetilmesindeki klinik etkinliğini kanıtlamaya odaklanacaktır. Bu, yan ürünlerin nutraceutik ve farmasötik alanlara açılmasını sağlayacaktır.

2 Sürdürülebilir Üretim Teknolojileri: Süperkritik akışkan ekstraksiyonu ve ultrason destekli ekstraksiyon gibi yeşil teknolojilerin, yan ürünlerden biyoaktif bileşenlerin daha verimli ve çevre dostu bir şekilde geri kazanılması için kullanımı artacaktır.

3 Yeni Nesil Gıdalar: Süt yan ürünleri, bitkisel bazlı gıdalarla hibrit ürünlerin (örneğin, PAS ile zenginleştirilmiş vegan et ikameleri) geliştirilmesinde ve 3D gıda baskısı gibi yenilikçi üretim yöntemlerinde hammadde olarak daha fazla yer alacaktır (Enhancing 3D Printing Performance, 2024).

Süt endüstrisinin, yan ürünleri bir atık yükü olarak değil, döngüsel ekonominin temel bir kaynağı olarak görmeye devam etmesi, hem sektörün ekonomik sağlığı hem de gezegenin sürdürülebilirliği için hayati önem taşımaktadır.

5. Sonuç

Bu kitap bölümü, süt yan ürünlerinin (peynir altı suyu, tereyağı altı suyu ve süt permeatı) gıda endüstrisinde sadece bir atık değil, aynı zamanda yüksek

besin değerine sahip, fonksiyonel ve ekonomik açıdan değerli bir kaynak olduğunu ortaya koymuştur. Bu yan ürünlerin süt ve süt ürünlerinden et, tahıl, meyve/sebze ve içecek sektörlerine kadar geniş bir yelpazede başarılı bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. Özellikle PAS proteinlerinin emülsiyon stabilizasyonu, su tutma kapasitesi ve besin zenginleştirmedeki rolü; tereyağı altı suyunun MFGM bileşenleri sayesinde fonksiyonel gıdalardaki potansiyeli ve süt permeatının laktoz ve mineral kaynağı olarak kullanımı, bu alandaki inovasyonun temelini oluşturmaktadır. Süt yan ürünlerinin değerlendirilmesi hem çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada hem de gıda güvenliği ve beslenme kalitesini artırmada kritik bir rol oynamaktadır.

KAYNAKLAR

- Azkarahman, A. R., Nisa, K., & Sari, D. P. (2025). From waste to resource: A review on advancing whey permeate valorization. *Journal of Cleaner Production*, 45(3), 103671.
- Bielecka, M. M., Cichosz, G., & Dziuba, J. (2024). An Evaluation of the Impact of Curd and Buttermilk Powder on the Rheological and Microstructural Properties of Mayonnaise. *Molecules*, 30(1), 66.
- Bilal, T., & Altiner, A. (2017). Peynir altı suyunun insan ve hayvanlarda metabolizma üzerindeki etkileri. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 6(1), 29-42.
- Bridging Tradition and Innovation: A Systematic Review and Bibliometric Analysis of Turkish Fermented Foods. (2024). *Foods*, 14(24), 4324.
- Burmistrov, D. E., Pavkin, D. Y., Khakimov, A. R., Ignatenko, D. N., Nikitin, E. A., Lednev, V. N., ... & Zvyagin, A. V. (2021). Application of optical quality control technologies in the dairy industry: An overview. *MDPI*, In *Photonics*, 8 (12), 551.
- Czarniecka-Skubina, E., & Gondek, E. (2025). Whey—A Valuable Technological Resource for the Food Industry: A Review. *Foods*, 14(24), 4258.
- Çelik, K. (2016). Süt Sektöründe Atık Değerlendirme ve Çevresel Etkilerinin Yenilikçi Yaklaşımlar, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- Dairy Foods. (2025, Eylül 15). Bioactives are dairy industry's next opportunity. *Dairy Foods*. Erişim adresi: <https://www.dairyfoods.com/articles/98510-bioactives-are-dairy-industrys-next-opportunity>
- Demir, E. (Ed.). (2020). *Peynir altı suyu ve değerlendirme yöntemleri*. Tudás Alapítvány.
- Enhancing 3D Printing Performance and Product Quality Through the Valorization of Food By-Products and Waste. (2024). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(4), 1023-1045.
- Erturk, E., & Ozgen, I. (2021). Peynir altı suyunun önemi ve kullanım alanları. *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Akademik Çalışmalar*. İzmir: Duvar Pub, 79-103.
- Hameed, A., Anwar, MJ, Perveen, S., Amir, M., Naeem, I., Imran, M., & Awuchi, CG (2023). Süt atık malzemelerinin fonksiyonel, endüstriyel ve terapötik uygulamaları. *Uluslararası Gıda Özellikleri Dergisi*, 26 (1), 1470-1496.
- Hameed, A., Khan, M. A., & Nadeem, M. (2023). Functional, industrial and therapeutic applications of dairy by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(1), 1-15.
- Haraguchi, F. K., Pedrosa, M. L., Paula, H. D., Santos, R. C. D., & Silva, M. E. (2009). Influência das proteínas do soro sobre enzimas hepáticas, perfil lipídico e

- formação óssea de ratos hipercolesterolêmicos. *Revista de Nutrição*, 22, 517-525.
- Hoogwegt. (2025, Haziran 1). Our insights on Today's Global Dairy Business Market. *En Horizons*. Erişim adresi: <https://hoogwegt.com/media/rt4fckdc/en-horizons-june-2025.pdf>
- Jeličić, I., Božanić, R., ve Tratnik, L. (2008). Whey based beverages-new generation of dairy products. *Mljekarstvo*, 58(3), 257-274.
- Kheto, A., & Pal, S. (2025). A review on advancements in emerging processing of whey protein: Functional properties and food applications. *Food Science & Nutrition*, 13(2), 12067.
- Küçük, N. Y., & Yılmaz, M. (2025). The Effect of Using Demineralized Whey Powder and Buttermilk Powder on the Quality of White Cheese. *Journal of Dairy Science*, 108(4), 3451-3460.
- Küçüköner, E. (2011). Peynir Tozu ve Peyniraltı Suyu Tozu Üretimi, 1.Ulusal Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi, 19- 20 Kasım, Ankara, 80-85s.
- Metastat Insight. (2025, Nisan 2). Permeate Market Size, Share & Trend Analysis Report. Erişim adresi: <https://www.metastatinsight.com/report/permeate-market>
- Mete, H. (2012). Peynir Altı Suyu'nun Ekmekçilikte Değerlendirilmesi ve Ekonomik Önemi. *Tekirdağ S.M.M.M. Odası Sosyal Bilimler Dergisi*, 1, 1-10.
- Mirzakulova, A., Sarsembaeva, T., Suleimenova, Z., Kowalski, Ł., Gajdzik, B., Wolniak, R., & Bembenek, M. (2025). Whey: Composition, Processing, Application, and Prospects in Functional and Nutritional Beverages—A Review. *Foods*, 14(18), 3245.
- Nazari, A., & Karimi, M. (2025). Physical stabilization of fermented buttermilk using microparticulated whey protein and xanthan gum. *Journal of Dairy Science*, 108(3), 2345-2355.
- Özcan, T., ve Delikanlı, B. (2011). The Functional Effects Of Whey Protein Additives For Improvement Of Textural Properties Of Foods. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 25(2), 77-88.
- Pal, S., & Radavelli-Bagatini, S. (2013). The effects of whey protein on cardiometabolic risk factors. *Obesity reviews*, 14(4), 324-343.
- Pires, A. F., Marnotes, N. G., & Rubio, O. D. (2021). Dairy By-Products: A Review on the Valorization of Whey and Second Cheese Whey. *Foods*, 10(5), 1067.
- Rezende, A. V., Rabelo, C. H., Veiga, R. M., Andrade, L. P., Härter, C. J., Rabelo, F. H., ... & Reis, R. A. (2014). Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 213-221.

- Sar, T., Harirchi, S., Ramezani, M., Bulkan, G., Akbas, M. Y., Pandey, A., & Taherzadeh, M. J. (2022). Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review. *Science of the Total Environment*, 810, 152253.
- Sousa, G. T., Lira, F. S., Rosa, J. C., de Oliveira, E. P., Oyama, L. M., Santos, R. V., ve Pimentel, G. D. (2012). Dietary whey protein lessens several risk factors for metabolic diseases: a review. *Lipids in health and disease*, 11(1), 67.
- Sukmana, H., & Wibowo, S. (2025). A review of various protein separation techniques and their applications in dairy industry. *European Food Research and Technology*, 251(3), 1-15.
- Sustainable food systems in fruits and vegetables food supply chains. (2022). *Frontiers in Nutrition*, 9, 829061.
- Tebliğ No: 2024/24. Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliği. (2024). *Resmi Gazete*.
- Yüksel, M., Yüksel, A. K., & Ürüsan, H. (2019). Peynir altı suyunun çeşitli özellikleri ve kullanım olanakları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 114-125.
- Yüksel, N., İstek, M. M., & Bulca, S. (2020). Peyniraltı Suyu Proteinlerinin Gıda Ambalajlamada Film Ve Kaplama Materyali Olarak Kullanımı. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1042-1052.

BÖLÜM 9

SÜT ÜRÜNLERİ MİKROBİYOTASININ TANIMLANMASINDA KLASİK VE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Dr. Öğr. Üyesi Şehriban OĞUZ¹

Öğr. Gör. Dr. Nursel SÖYLEMEZ MİLLİ²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156786>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye. sehribanoguz@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6889-9487

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bilimsel Endüstriyel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi (BETUM), Bolu, Türkiye. nurselsoylemez@ibu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3610-2706

1. GİRİŞ

Süt ve fermente süt ürünleri, üretim sürecine özgü ekolojik koşullar ile olgunlaşma sırasında gerçekleşen biyokimyasal ve mikrobiyel etkileşimler nedeniyle son derece zengin ve heterojen mikrobiyel popülasyonlara ev sahipliği yapmaktadır. Bu mikroorganizmalar, ürünlerin aroma ve tat profillerinin oluşumu, tekstürel özelliklerin gelişimi ve depolama stabilitesi üzerinde belirleyici rol oynarken; aynı zamanda hijyen indikatörleri ve potansiyel patojen varlığı aracılığıyla gıda güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, süt ve süt ürünlerine özgü mikrobiyotanın doğru ve güvenilir şekilde tanımlanması; kalite güvence sistemlerinin etkin biçimde yürütülmesi, üretim proseslerinin standardizasyonu, uygun starter kültürlerin seçimi ve mikrobiyolojik risklerin değerlendirilmesi açısından vazgeçilmez bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Mikrobiyota tanımlama çalışmalarında, taksonomik çözünürlük düzeyi, analitik hassasiyet, örnek işleme verimliliği, canlı hücrelerin teyidi ve mikrobiyel topluluğun temsili kapsamı gibi birbirini kısmen kısıtlayan birden fazla gereksinim eş zamanlı olarak dikkate alınmaktadır. Ancak mevcut yöntemlerin hiçbirisi bu ölçütlerin tamamını tek başına ve aynı anda karşılayabilme kapasitesine sahip değildir. Bu kapsamda, kültür temelli yaklaşımlar canlı mikroorganizmaların doğrulanması ve mevzuata uyum açısından önemli avantajlar sunmakla birlikte, mikrobiyel çeşitliliğin tamamını yansıtmada sınırlı bir kapsama sahiptir. Buna karşılık, kültürden bağımsız ve dizileme temelli yöntemler mikrobiyel topluluğun daha geniş bir profilini ortaya koyabilse de canlı-ölü hücre ayrımı ve sonuçların biyolojik olarak doğrulanması açısından ilave metodolojik stratejilere ihtiyaç duyabilmektedir. Söz konusu metodolojik denge sorunu, süt ürünleri mikrobiyotasının bütüncül, güvenilir ve yorumlanabilir şekilde karakterize edilmesini zorlaştıran başlıca etkenlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Bu bölüm, mevcut metodolojik boşlukların açık biçimde ortaya konulmasını ve süt ürünleri mikrobiyotasının daha güvenilir biçimde karakterize edilebilmesini amaçlayan bir yaklaşımla yapılandırılmıştır. Bu doğrultuda, farklı tanımlama yöntemlerinin üstünlüklerini birbirini tamamlayacak şekilde bütünleştiren ve sistematik bir bakış açısına dayanan kavramsal bir çerçeve sunulmaktadır. Böylelikle mikrobiyel tanımlama süreci, yalnızca taksonomik sınıflandırma ile sınırlı bir analiz alanı olmaktan

çıkarılarak; ürün kalitesinin değerlendirilmesi, üretim proseslerinin izlenmesi ve gıda güvenliğine yönelik kararların desteklenmesi açısından işlevsel ve bütüncül bir değerlendirme hattı olarak ele alınmaktadır.

2. KÜLTÜR VE FENOTİP TEMELLİ TANIMLAMA: TEMEL İLKELER, UYGULAMA ALANI VE SINIRLILIKLAR

Mikroorganizmaların tanımlanması, mikrobiyoloji biliminin temel basamaklarından biri olup klinik, gıda, çevre ve endüstriyel uygulamalarda kritik bir rol oynamaktadır. Tanımlama süreçlerinde kullanılan yaklaşımlar genel olarak fenotipik ve genotipik yöntemler olarak iki ana grupta ele alınmaktadır. Klasik fenotipik identifikasyon, mikroorganizmaların morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerine dayanan, tarihsel olarak en eski ve en yaygın kullanılan tanımlama yaklaşımıdır. Fenotip, bir organizmanın genetik yapısının çevresel koşullar altında ortaya koyduğu gözlemlenebilir özellikleri ifade ederken; genotip, organizmanın ifade edilmemiş olsa dahi tüm kalıtsal bilgisini kapsamaktadır. Fenotipik özellikler, mikroorganizmanın metabolik kapasitesi ve çevresel koşullara adaptasyonu hakkında doğrudan bilgi sunması açısından tanımlama süreçlerinde önemli bir yer tutmaktadır (Sandle, 2014; Anonim, 2025a).

Moleküler ve proteomik temelli tanımlama tekniklerinde son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, fenotipik yöntemler günümüzde hâlen birçok laboratuvarıda ilk tarama ve ön tanımlama aracı olarak kullanılmaktadır. Özellikle gıda mikrobiyolojisi alanında ve geleneksel fermente ürünlerin mikrobiyotasının araştırılmasında, fenotipik testler izolasyon ve karakterizasyon sürecinin ayrılmaz bir parçası olmaya devam etmektedir. Bu yöntemler, izolatların temel biyolojik özelliklerinin ortaya konulmasını sağlayarak ileri düzey moleküler analizler için yol gösterici bir ön değerlendirme sunmaktadır (Anonim, 2025a,b).

Fenotipik tanımlama yöntemlerinin yaygın olarak tercih edilmesinin başlıca nedenlerinden biri, birçok laboratuvarıda görece düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir olmalarıdır. Bununla birlikte, mikroorganizmaların fenotipik özelliklerinin; kullanılan besiyeri, inkübasyon süresi ve büyüme koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterebildiği bilinmektedir. Hücre boyutu ve şekli, spor oluşumu, hücresel yapı, antijenik özellikler, biyokimyasal aktiviteler ve antimikrobiyel ajanlara duyarlılık gibi

parametreler; sıcaklık, pH, redoks potansiyeli, ozmolalite, besin maddelerinin bulunabilirliği, büyüme fazı ve kültürlenme tekniği gibi çok sayıda çevresel faktörden etkilenmektedir. Ayrıca, Petri plağındaki koloni yoğunluğu ve katı ya da sıvı ortam kullanımı gibi değişkenler de fenotipik ifadelerin yorumlanmasını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, fenotipik testlerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde dikkatli ve temkinli bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir.

Bakterilerin biyokimyasal özelliklerine dayalı klasik tanımlama yaklaşımı, saf kültür hâlindeki mikroorganizmaların; fermente edilebilir veya parçalanabilir belirli substratların varlığında, seçici veya ayırt edici besiyerlerinde gelişim gösterip göstermediğinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu değerlendirme, agar plakları, eğik agarlar, sıvı besiyerleri, kâğıt şeritler veya benzeri destek materyalleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Büyüme sonucunda ortamda meydana gelen renk değişimi, gaz oluşumu, floresan bileşiklerin ortaya çıkışı veya diğer metabolik aktivite göstergeleri gözlemlenmekte; elde edilen bulgular referans mikroorganizmaların bilinen davranışlarıyla karşılaştırılarak tanımlama yapılmaktadır. Ancak bu süreç; zaman alıcı olması, yüksek iş gücü ve malzeme gerektirmesi ve sonuçların büyük ölçüde analistin deneyimine bağlı olarak yorumlanması nedeniyle sınırlılıklar içermektedir. Bu durum, fenotipik tanımlamanın öznel nitelik taşımasına ve tanımlama güvenilirliğinin bazı durumlarda azalmasına yol açabilmektedir (Kalamaki ve ark., 1997).

Fenotipik tanımlama yöntemleri, genellikle moleküler tekniklere kıyasla daha düşük maliyetli olsa da özellikle yakın akraba türler arasında yeterli ayırımı her zaman sağlayamamaktadır. Laktik asit bakterileri (LAB) gibi fenotipik özellikleri büyük ölçüde örtüşen mikroorganizma gruplarında bu sınırlılık daha belirgin hâle gelmektedir. Günümüzde geliştirilen otomatize fenotipik tanımlama sistemleri, daha az iş gücüyle hızlı ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin yüksek maliyetli olması, ön tanımlama için morfolojik bilgi gerektirmesi, belirli hücre yoğunluğunda bakteri süspansiyonu hazırlanmasının zorunlu olması ve biyokimyasal olarak benzer türlerin ayırımındaki yetersizlikler gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenlerle, daha doğru ve güvenilir bir sınıflandırma sağlamak amacıyla fenotipik yöntemlerin moleküler

tanımlama teknikleriyle desteklenmesi yaygın olarak önerilmektedir (McCartney, 2002; Sandle, 2014).

Geleneksel kültürlenme yöntemleri; güvenilirlikleri, hassasiyetleri ve düzenleyici otoriteler tarafından kabul görmeleri nedeniyle günümüzde hâlen altın standart olarak değerlendirilmektedir. Canlı mikroorganizma varlığının belirlenmesi, sayım yapılması ve genomik analizlere dayalı fenotip tahminlerinin doğrulanması açısından kültürlenme temelli yöntemler vazgeçilmezdir. Gıda güvenliği kapsamında, hijyen göstergelerinin (*Enterobacteriaceae*, maya ve küfler, laktik asit bakterileri) sayımı ve patojenlerin (*Listeria*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* vb.) tespiti için kullanılan birçok ISO standardı geleneksel kültürlenme yöntemlerine dayanmaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemler nispeten ucuz ve basit olmalarına rağmen; ön zenginleştirme aşamaları, inkübasyon süreleri ve biyokimyasal doğrulama testleri nedeniyle genellikle 5-7 gün sürebilen zaman alıcı bir süreç gerektirmektedir. Ayrıca, kontaminasyon riskini en aza indirmek için aseptik tekniklere titizlikle uyulması zorunludur (Zhao ve ark., 2014; Ferone ve ark., 2020).

Sonuç olarak, geleneksel tanımlayıcı kültürlenme ve fenotipik yöntemler, kültürlenebilir hücrelerin varlığı ve sayısının belirlenmesinde uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar, mikrobiyel popülasyonların farklı canlılık ve metabolik aktivite düzeylerine sahip alt popülasyonlar içerebileceği gerçeğini çoğu zaman göz ardı etmekte ve fizyolojik durum hakkında sınırlı bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle, klasik fenotipik yöntemlerin güçlü yönlerinden yararlanılırken, sınırlılıklarının farkında olunması ve mümkün olan durumlarda tamamlayıcı moleküler yaklaşımlarla desteklenmesi gerekmektedir (Sohier ve ark., 2014).

3. LAB ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN KLASİK FENOTİPİK TANIMLAMA VE MOLEKÜLER DOĞRULAMA İHTİYACI

Mikroorganizmaların tanımlanması, özellikle gıda mikrobiyolojisinde ürün güvenliği, kalite kontrolü ve teknolojik uygunluğun değerlendirilmesi açısından temel bir aşamayı oluşturmaktadır. Tanımlama yaklaşımları genel olarak fenotipik ve genotipik yöntemler olarak sınıflandırılmakta olup, fenotipik yöntemler tarihsel olarak geliştirilen ilk sistematik tanımlama araçları arasında yer almaktadır. Klasik fenotipik identifikasyon, mikroorganizmaların

morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerine dayanmakta; bu özellikler mikroorganizmanın metabolik kapasitesi ve çevresel koşullara adaptasyonu hakkında doğrudan bilgi sunmaktadır (Jay ve ark., 2005; Sandle, 2014).

LAB, gıda mikrobiyolojisinde klasik fenotipik tanımlamanın en yaygın uygulandığı mikroorganizma gruplarından biridir. LAB'ın genel olarak Gram-pozitif, katalaz-negatif, spor oluşturmeyen ve çoğunlukla anaerobik veya mikroaerofilik özellik göstermesi, ilk aşamada temel ayırt edici kriterler olarak değerlendirilmektedir. İzolasyon sonrası gerçekleştirilen Gram boyama, katalaz testi ve hücre morfolojisinin (kok veya basil formu) incelenmesi; *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc* ve *Pediococcus* gibi cinslerin ön sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Axelsson, 2004; De Vos ve ark., 2009; Holzapfel ve Wood, 2014).

Fenotipik identifikasyonda LAB için en sık başvurulanan yaklaşımlardan biri, karbonhidrat fermentasyon profillerinin belirlenmesidir. Glikoz, laktoz, sakkaroz, mannoz ve riboz gibi karbon kaynaklarının fermente edilme yeteneği; homofermentatif ve heterofermentatif LAB ayrımında temel bir kriter olarak kullanılmaktadır. Örneğin, *Lactococcus lactis* türleri genellikle homolaktik fermentasyon yoluyla laktozu fermente ederken, *Leuconostoc* türleri heterofermentatif metabolizma sonucu laktik asidin yanı sıra CO₂ ve aroma bileşikleri üretmektedir. Bu metabolik farklılıklar, klasik biyokimyasal testler aracılığıyla ayırt edilebilmektedir (Carr ve ark., 2002; Hammes ve Hertel, 2009; Felis ve Pot, 2014).

LAB'ın fenotipik tanımlanmasında büyüme koşullarına dayalı fizyolojik testler de önemli bir yer tutmaktadır. Farklı sıcaklıklarda (örneğin 10 °C ve 45 °C), tuz konsantrasyonlarında (%4–6.5 NaCl) ve pH aralıklarında büyüme yeteneğinin değerlendirilmesi; özellikle *Lactococcus* ve *Enterococcus* türlerinin ayrımında yaygın olarak kullanılan kriterler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, bu fizyolojik özelliklerin; besiyeri bileşimi, inkübasyon süresi ve hücrelerin büyüme fazına bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği bildirilmektedir. Bu durum, fenotipik sonuçların yorumlanmasında standart koşulların önemini ortaya koymaktadır (Axelsson, 2004; Holzapfel ve Wood, 2014).

Klasik biyokimyasal testlere dayalı LAB tanımlama süreci, saf kültür elde edilmesini takiben; seçici veya ayırt edici besiyerlerinde gözlenen renk değişimleri, asit üretimi, gaz oluşumu ve diğer metabolik aktivite

göstergelerinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle geleneksel peynirler ve fermente süt ürünlerinden izole edilen LAB'ın ön tanımlanmasında uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak fenotipik olarak birbirine oldukça benzeyen LAB türleri arasında ayırım yapılması çoğu zaman güçleşmekte; özellikle *Lactobacillus plantarum* grubu veya *Lactococcus lactis* alt türleri gibi yakın akraba taksonlar arasında yalnızca fenotipik verilere dayalı güvenilir bir tür düzeyi tanımlama her zaman mümkün olamamaktadır (Temmerman ve ark., 2004; De Vos ve ark., 2009).

Fenotipik yöntemlerin LAB tanımlamasındaki başlıca avantajları; düşük maliyetli olmaları, özel ekipman gerektirmemeleri ve rutin laboratuvar koşullarında kolaylıkla uygulanabilmeleridir. Buna karşın, testlerin zaman alıcı olması, sonuçların analist deneyimine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmesi ve çevresel koşullara duyarlı fenotipik ifadeler nedeniyle tekrarlanabilirliğin sınırlı olabilmesi önemli dezavantajlar arasında yer almaktadır. Bu sınırlılıklar, özellikle yakın akraba LAB türlerinin ayırımında fenotipik yöntemlerin tek başına yeterli olmadığını ortaya koymaktadır (McCartney, 2002; Sandle, 2014).

Geleneksel kültürleme ve fenotipik tanımlama yöntemleri, LAB'ın canlılığının doğrulanması, sayım yapılması ve gıda güvenliği açısından değerlendirilmesi bakımından günümüzde hâlen vazgeçilmez kabul edilmektedir. Bununla birlikte, bu yaklaşımlar mikrobiyel popülasyonların farklı fizyolojik durumlara sahip alt gruplarını yeterince yansıtamamakta ve mikrobiyel çeşitliliğe ilişkin sınırlı bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle, klasik fenotipik identifikasyon yöntemlerinin güçlü yönlerinden yararlanılırken, tür düzeyinde doğru ve güvenilir bir tanımlama yapılabilmesi için moleküler ve proteomik yaklaşımlarla desteklenmesi günümüzde yaygın olarak benimsenen bir strateji hâline gelmiştir (Temmerman ve ark., 2004; Holzapfel ve Wood, 2014).

Starter kültür kullanılmaksızın geleneksel yöntemlerle üretilen ve Aydın ili ile çevresinden temin edilen toplam 90 adet İzmir Tulum peyniri örneği üzerinde yürütülen çalışmada, fenotipik analizler sonucunda 36 adet *Lactococcus* izolatu elde edilmiştir. İzolatların alt tür düzeyinde ayırımının yapılabilmesi amacıyla Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) temelli moleküler tanımlama yöntemleri uygulanmış; analizler sonucunda izolatların 18'inin *lactis* ve 11'inin *cremoris* alt türlerine ait olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, fenotipik testler açısından *Lactococcus* özellikleri sergilemesine

rağmen bazı suşların moleküler olarak doğrulanamadığı bildirilmiştir. Ayrıca, klasik fenotipik tanımlamada *Lactococcus* karakteri göstermeyen 10 izolatın *lactis* özgül primeri ile pozitif amplifikasyon verdiği saptanmış; fenotipik ve moleküler tanımlama sonuçları arasındaki bu uyumsuzluk nedeniyle söz konusu izolatlar atipik suşlar olarak değerlendirilmiştir (Büyükyörük ve Soyutemiz, 2010).

Semt pazarından temin edilen toplam 50 adet Mengen peyniri örneği üzerinde yürütülen çalışmada, 117 adet LAB izolatı elde edilmiştir. İzolatların fenotipik tanımlamaya dayalı taksonomik dağılımı incelendiğinde, baskın grubun %44.5 oranıyla *Enterococcus* türlerinden oluştuğu, bunu sırasıyla %29.9 oranında *Lactobacillus* ve %25.6 oranında *Lactococcus* türlerinin izlediği belirlenmiştir. Elde edilen izolatlardan, asit üretim kapasitesi ve proteolitik aktivite açısından öne çıkan toplam 22 suş seçilerek 16S rDNA dizi analizi ile moleküler düzeyde tanımlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre seçilen suşların 15'inin *Enterococcus* spp. (9'u *Enterococcus faecium*, 4'ü *E. faecalis* ve 2'si *E. Durans*), 5'inin *Lactococcus* spp. (3'ü *Lac. lactis* subsp. *lactis* ve 2'si) *Lac. garvieae*, bir tanesinin *Lactobacillus* spp. (*Lb. casei*) ve bir tanesinin ise *Weissella* spp. (*W. Viridescens*) olduğu tespit edilmiştir (Akoğlu ve ark., 2017).

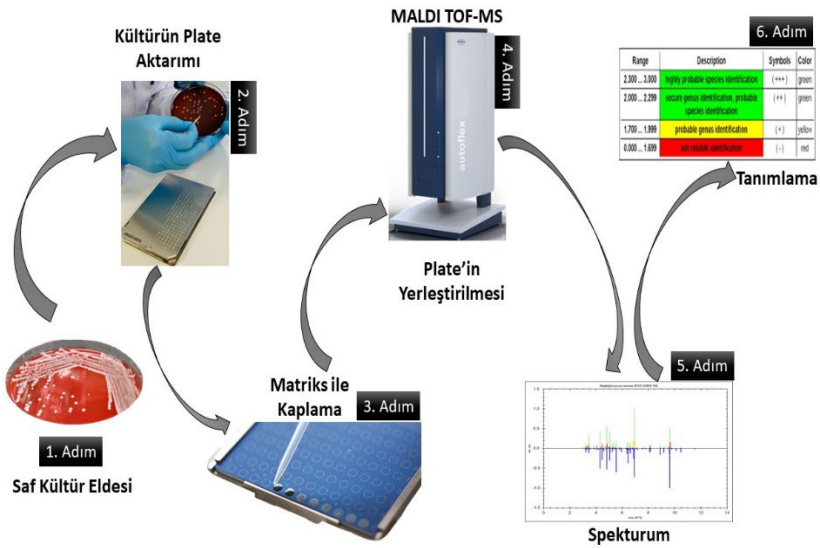
4. PROTEOMİK PARMAK İZİ YAKLAŞIMI: MALDI-TOF MS İLE İZOLAT DÜZEYİNDE MİKROBİYOTA TANIMLAMASI

4.1 MALDI-TOF MS ile fermente süt ürünleri mikrobiyota tanısı

Proteomiks esaslı bir yöntem olarak öne çıkan MALDI-TOF MS, mikroorganizmaların tür düzeyinde tanımlanmasında protein parmak izi yaklaşımından yararlanan bir kütle spektrometrisi tekniğidir. İlk yıllarda ağırlıklı olarak kimyasal analiz amaçlı kullanılan bu teknoloji, mikroorganizma tanımlamada hızlı ve doğru sonuçlar vermesi nedeniyle son yıllarda klinik ve gıda mikrobiyolojisinde yaygın biçimde uygulanmaya başlamıştır (Lartigue, 2013; Jadhav ve ark., 2014). Geniş bir protein spektrumunun kısa sürede taranmasına olanak vermesi, yöntemi DNA temelli moleküler yaklaşımlara kıyasla daha hızlı bir tanımlama alternatifi hâline getirmiştir (Gandhi ve ark., 2013).

MALDI-TOF MS'in çalışma mantığı, mikroorganizma hücresinde yüksek bollukta bulunan ve taksonomik kimliği yansıtan ribozomal proteinlerin

kütle spektral dağılımını ölçmeye dayanır. Uygulamada elde edilen spektral imza çoğu durumda ribozomal kökenli proteinlerin baskın olduğu bileşenleri yansıtır ve türlere özgü karakteristik bir desen üretir. Tanı güvenilirliğinin sağlanabilmesi için ölçüme alınacak kolonilerin saf kültür olması ve mümkünse gelişimini henüz tamamlamış kolonilerden ölçüm yapılması beklenir. Karışık kültür varlığı, yaşlı koloni kullanımı veya uygunsuz inkübasyon koşulları spektrum kalitesini düşürerek eşleşme skorlarını olumsuz etkileyebilir (Nacef ve ark., 2017). Bu nedenle taze ve saf koloni hedef plaka üzerine aktarılır ve matriks eklenerek kristallenme sağlanır. Lazer ile iyonlaştırılan moleküller uçuş zamanı prensibiyle ayrıştırılır ve böylece m/z değerlerinden oluşan spektrum elde edilir. Cihaz yazılımı bu spektrumu referans spektrum kütüphanesiyle karşılaştırarak tür düzeyinde kimliklendirme yapar (Gandhi ve ark., 2013; Nacef ve ark., 2017). Bu tanı sürecinin aşamaları, MALDI BioTyper sistemi özelinde Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1. MALDI-TOF MS-MALDI BioTyper sistemi ile mikroorganizma tanısı iş akışı

Bu çerçevede MALDI-TOF MS, özellikle kültüromik tasarımlarda önemli avantaj sağlar. Kültüromik yaklaşım, farklı besiyeri ve inkübasyon

koşulları kullanarak kültürlenebilir çeşitliliği mümkün olduğunca geniş yakalamayı hedeflediğinden, çok sayıda izolata kısa sürede tanımlanmasına ihtiyaç duyulur. Peynir gibi karmaşık fermente ürünlerde bu gereksinim daha da belirginleşir.

Maroilles peynirinde yürütülen izolat temelli çalışmalarda MALDI-TOF MS ile yapılan tanımlamaların doğrulama amaçlı moleküler sonuçlarla uyum gösterebildiği bildirilmiştir (Nacef ve ark., 2017). Naxos adasına özgü artisanal peynirlerde starter olmayan LAB'ın MALDI-TOF MS ile profillemesi, geniş izolat havuzunun hızlı dereplikasyonuna ve tür kompozisyonunun ortaya konmasına olanak sağlamıştır (Gantzias ve ark., 2020). Çiğ süt ve taze artisanal peynir örneklerinde LAB profili oluşturulması, yöntemin hammadde-ürün ilişkisinin izolat düzeyinde izlenmesine katkı sunabileceğini göstermektedir (Caldeira ve ark., 2024). Kültürlenebilir süt mikrobiyotasının mevsimsel farklılıklarının MALDI-TOF MS ile ortaya konması ise yöntemin kalite kontrol ve izleme uygulamalarına uyarlanabilirliğini desteklemektedir (Pałczyńska ve ark., 2025).

MALDI-TOF MS'in rutinde kullanılabilirliğini belirleyen temel unsur, tanımlamanın dayandığı spektral kütüphanelerin kapsamıdır. Fermente gıdalara özgü LAB ve bölgesel varyantların kütüphanede ne ölçüde temsil edildiği, tanı başarısını doğrudan etkiler (Gantzias ve ark., 2020). Günümüzde MALDI-TOF MS prensibiyle çalışan ve yaygın kullanılan iki ticari platform öne çıkmaktadır. Bunlar Bruker firmasının Microflex LT cihazı ile birlikte kullanılan Biotyper yazılımı ve bioMérieux firmasının VITEK MS platformunda kullanılan Vitek MS yazılımıdır. Bu iki sistemin farklı türlerde bakteri ve maya tanımlamadaki doğruluğunun karşılaştırıldığı çalışmada, 477 izolat üzerinde her iki cihazın da cins ve tür düzeyinde tanımlamada yaklaşık yüzde 99 doğruluk sağladığı rapor edilmiştir (Deak ve ark., 2015). Bununla birlikte, yakın akraba türlerin ayırımında ve alt tür düzeyindeki tanımlamalarda kütüphane içeriğinin belirleyici olması nedeniyle, bazı durumlarda ek doğrulama stratejilerine ihtiyaç duyulabileceği belirtilmektedir (Lartigue, 2013; Ling ve Hui, 2019; Tchamba ve ark., 2019).

MALDI-TOF MS'in başlıca avantajları yüksek hız, yüksek örnek verimi ve izolat başına düşük sarf maliyetidir. Buna karşılık yöntemin temel sınırlılığı kültüre bağımlı olmasıdır. Bu sebeple mikrobiyotanın yalnızca kültürlenebilir fraksiyonunu temsil eder ve topluluk düzeyinde göreceli bolluk ya da fonksiyonel

potansiyel hakkında doğrudan bilgi üretmez. Bu sınırlılık, süt ürünleri mikrobiyotasının bütüncül değerlendirilmesinde metagenomik yaklaşımların tamamlayıcı rolünü güçlendirir. NGS tabanlı çalışmalar, artisanal ve bölgesel peynirlerde kültürden bağımsız biçimde daha geniş bir topluluk profilinin elde edilebildiğini ortaya koymaktadır (Posheva ve ark., 2024; Josifovska ve ark., 2024). Dolayısıyla en tutarlı yaklaşım, kültüromik kapsamında elde edilen izolatların MALDI-TOF MS ile hızlı biçimde kimliklendirilmesi ve metagenomik verilerle birlikte yorumlanmasıdır. Bu sayede hem kültürlenebilir fraksiyonun somut envanteri çıkarılır hem de kültürden bağımsız topluluk profili ile uyumlu, entegre bir mikrobiyota değerlendirmesi yapılabilir.

MALDI-TOF MS ile geleneksel peynir mikrobiyotasının aydınlatıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Slovakya'nın geleneksel peynirlerinden Bryndza'da 7 farklı çiftlikten toplanan 30 örnek üzerinde yürütülen çalışmada, araştırmacılar MALDI-TOF MS ile üç ana mikroorganizma grubuna ait 20 bakteri cinsinin 40 türünü tanımladıklarını bildirmiş ve yöntemin mikrobiyel tanımlamadaki hız ve kesinliğine dikkat çekmiştir (Kačániová ve ark., 2019a). Aynı araştırma grubunun Slovakya'nın geleneksel inek sütü peynirlerinde yürüttüğü başka bir çalışmada, üretimde doğrudan kullanılmayan ancak olgunlaşma sonunda üründe tespit edilen LAB topluluğu MALDI-TOF MS ile belirlenmiştir. Bu çalışmada *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* ve *Streptococcus* cinslerine ait türler rapor edilmiştir (Kačániová ve ark., 2019b). Ayrıca aynı araştırmacılar, pastörize edilmemiş 10 süt numunesi ve 10 süt ürünü numunesi olmak üzere toplam 20 örnekte kültürlenebilir LAB popülasyonunu MALDI-TOF MS ile tanımlamış ve yöntemin süt endüstrisi ihtiyaçları için mikroorganizma tanımlamada önemli bir araç olabileceğini ifade etmişlerdir (Kačániová ve ark., 2017).

Nacef ve arkadaşları, çiğ ve pastörize sütle üretilen geleneksel Fransız peyniri Maroilles'de LAB'ın kültürlenebilir popülasyonunu MALDI-TOF MS ile tanımlamış, çiğ sütle yapılan üretimden 105 suşun, pastörize sütle yapılan üretimden ise 92 suşun açık şekilde tanımlanabildiğini bildirmiştir. Seçilen suşlarda 16S rDNA temelli tanımlama ile MALDI-TOF MS sonuçlarını karşılaştıran araştırmacılar, MALDI-TOF MS'in hızlı, ekonomik açıdan uygun, sağlam ve güvenilir bir yöntem olduğunu vurgulamıştır (Nacef ve ark., 2017).

Türkiye’de yürütülen bir çalışmada 8 ilden toplanan 21 geleneksel peynir örneğinden toplam 150 LAB izolatı elde edilmiş; 100 izolat biyokimyasal testlerle cins düzeyinde, 71 suş ise MALDI-TOF MS ile tür düzeyinde tanımlanmıştır. Araştırmacılar, LAB tanımlamasında MALDI-TOF MS’in biyokimyasal testlere kıyasla daha doğru, daha hızlı ve daha uygun maliyetli olduğunu ifade etmiştir (Kanak ve Yılmaz, 2019).

Yine Türkiye’de Mihaliç peynirinde bulunan propiyonik asit bakterileri üzerine yapılan çalışmada, 25 geleneksel Mihaliç peynir örneğinden morfoloji, Gram-boyama, katalaz aktivitesi ve pigment üretimi temelinde 95 izolat elde edilmiş, MALDI-TOF MS ile yapılan tanımlamada 21 izolatin propiyonik asit bakterisi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, Mihaliç peynirindeki propiyonik asit bakteri çeşitliliğinin MALDI-TOF MS ile hızlı ve ekonomik biçimde ortaya konabileceğini göstermiştir (Sivri ve Öksüz, 2019).

Sırbistan kaynaklı el yapımı peynirlerde yapılan bir çalışmada, peynir mikrobiyotasının MALDI-TOF MS ile tanımlandığı ve bu tip geleneksel ürünlerde yöntemin yararlı bir araç olduğunun vurgulandığı bildirilmiştir (Ledina ve ark., 2018). Kačániová ve arkadaşları, inek sütünden yapılan tutsülenmemiş Slovak peyniri Parenica’da seçilen mikroorganizma gruplarını MALDI-TOF MS ile hızlı biçimde tanımlamış; yaz ve kış dönemlerinde yaptıkları örneklemelerde mikrobiyolojik kontaminasyonun yaz aylarında daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada, tutsülenmemiş Parenica peynirinden en sık *Escherichia coli* ve *Str. salivarius* subsp. *thermophilus* izole edildiği belirtilmiş ve toplam 25 mikrobiyel cinsin MALDI-TOF MS ile tanımlandığı raporlanmıştır (Kačániová ve ark., 2020).

MALDI-TOF MS, geleneksel peynirlerde patojen izolatlarının tanımlanması açısından da değerlendirilmektedir. Pyz-Łukasik ve arkadaşları, Güney Polonya’da geleneksel olarak çiğ süttten üretilen 370 peynir örneğinde *Listeria monocytogenes* varlığını incelemiş; 23 örnekte pozitiflik saptamış ve MALDI-TOF MS’in *L. monocytogenes* izolatlarının tanımlanmasındaki etkinliğini değerlendirmiştir (Pyz-Łukasik ve ark., 2021).

Batı Karadeniz Bölgesi’nde yer alan beş farklı ilden, geleneksel yöntemlerle üretilmiş manda ve inek yoğurtları izolasyon materyali olarak toplanmıştır. Yoğurt örneklerinden izole edilen LAB’ın tanımlanmasında MALDI-TOF MS Biotyper sistemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında potansiyel LAB özellikleri gösteren toplam 84 izolat elde edilmiştir. Bu

izolatların 76'sı *Lb. delbrueckii*, 3'ü *Lb. fermentum*, 2'si *Lb. helveticus*, 2'si *Lb. plantarum* ve 1'i *E. faecalis* olarak identifiye edilmiştir (Encu ve ark., 2022).

Kars Kaşar peynirinde yer alan termofilik LAB'ın belirlenmesine yönelik olarak yürütülen çalışmada, Kars iline bağlı farklı köylerden temin edilen 15 adet peynir altı suyu örneği incelenmiştir. Elde edilen örneklerden izole edilen toplam 217 izolatın, Gram boyama ve katalaz testleri sonuçlarına göre LAB özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Bu izolatlar arasından seçilen 170 suşun tanımlanması amacıyla MALDI-TOF MS yöntemi kullanılmış ve izolatların 89'unun *Enterococcus*, 57'sinin *Lactobacillus*, 23'ünün *Streptococcus* ve 1'inin *Lactococcus* cinsine ait olduğu ortaya konulmuştur (Oğuz ve Andıç, 2024).

Söylemez Milli ve ark. (2025a) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geleneksel yöntemlerle basma ve salamura şeklinde üretilen Van Otlı peynirlerinin mikrobiyel kompozisyonunun belirlenmesinde MALDI-TOF MS tekniğinden yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, izole edilen suşların 20'sinin *E. durans*, 25'inin *E. faecium*, 25'inin *Lb. brevis* ve 15'inin *Lb. paracasei* olduğu tespit edilmiştir.

5. KÜLTÜRDEN BAĞIMSIZ DİZİLEME YAKLAŞIMLARI: METAGENOMİK İLE SÜT ÜRÜNLERİ MİKROBİYOTASININ PROFİLLENMESİ

5.1 Metagenomik yaklaşımlarla peynir ve fermente süt ürünleri mikrobiyotasının tanımlanması

Metagenomik yaklaşımlar, peynir ve diğer fermente süt ürünlerinde bulunan mikrobiyel topluluğun kültürleme basamağına ihtiyaç duyulmadan doğrudan örnekten elde edilen toplam nükleik asit üzerinden değerlendirilmesini mümkün kılan dizileme temelli yöntemlerdir. Bu yaklaşım, klasik kültür temelli analizlerin yalnızca kültürlenebilir fraksiyonu temsil etmesi nedeniyle ortaya çıkan kapsama sorununu azaltır. Böylece kültüre alınamayan veya seçilen koşullarda çoğalmayan taksonlar da topluluk profiline dâhil edilebilir. Fermente gıdalarda mikrobiyota çeşitliliğinin ve süreç boyunca dinamiklerin kültürden bağımsız yöntemlerle daha kapsamlı değerlendirilebileceği, fermentasyon mikrobiyotası literatüründe yöntemsel bir çerçeve olarak vurgulanmaktadır (Cocolin ve ark., 2013). Süt ürünlerinde özellikle LAB'ın kültürden bağımsız tanımlanmasına yönelik yöntemlerin

derlenmesi de bu alanda dizileme temelli yaklaşımların teknik gerekçesini desteklemektedir (Pogačić ve ark., 2010). Metagenomik uygulamalar, daha geniş bir -omik çerçevenin parçası olarak foodomics yaklaşımı altında da konumlandırılmakta; gıda bileşeni-mikrobiyota-biyolojik süreç ilişkilerini birlikte okuyabilen bütüncül analiz hattına katkı sunmaktadır (Cifuentes, 2009; Capozzi ve Bordoni, 2013).

5.2 Metagenomik yaklaşımın prensibi ve dizileme stratejileri

Metagenomik analizlerde temel prensip, örnekten izole edilen toplam mikrobiyel DNA'nın yüksek verimli dizileme ile okunması ve dizilerin biyoinformatik iş akışlarıyla anlamlandırılmasıdır. Bu çerçevede dizileme stratejisi hedefli dizileme ve hedeflenmemiş dizileme olmak üzere iki ana kola ayrılmaktadır. Hedefli yaklaşım, topluluğu temsil eden belirli işaretleyici bölgelerin dizilenmesine dayanır. Bakterilerde 16S rRNA, ökaryotlarda 18S rRNA ve mantarlarda ITS bölgeleri gibi hedefler, topluluğun taksonomik profilinin çıkarılmasında sıklıkla kullanılır. Hedeflenmemiş yaklaşım ise örnekteki genomik içeriğin geniş kapsamda taranmasını amaçlar ve literatürde tüm metagenom dizileme veya whole metagenome sequencing (WGS) olarak adlandırılır. Tüm metagenom dizileme, tek bir işaretleyici gene bağlı kalmadan daha geniş genomik bilgiye erişim sağladığı için daha yüksek taksonomik çözünürlük sunabilir. Metagenomik dizileme ile geniş ölçekli gen kataloglarının oluşturulması bu veri derinliğinin kapsamını göstermektedir (Qin ve ark., 2010; Söylemez-Milli ve ark., 2025b).

Metagenomik analiz hattı, gen ifadesi düzeyinin de değerlendirilmek istendiği senaryolarda metatranskriptomik katmanla birlikte ele alınabilir. Metatranskriptomik yaklaşım, yüksek verimli dizileme ile gen ifadesi profili çıkarılmasını hedefler ve metagenomik çıktıların “potansiyel” düzeyinden “aktif süreç” düzeyine taşınmasında tamamlayıcı bir omik katman olarak değerlendirilir (Gilbert ve Hughes, 2011; Dong ve Chen, 2013). Ayrıca örnekte ökaryotik bileşenlerin, özellikle mayaların izlenmesi gereken durumlarda ökaryotik rRNA dizilerinin sayımlanmasına yönelik araçlar, metodolojik açıdan önemli bir destek sağlayabilir (Dollive ve ark., 2012).

5.3. Metagenomik iş akışı

Metagenomik çalışmaların iş akışı, laboratuvar ve biyoinformatik basamakların birlikte kurgulanmasına dayanır. Laboratuvar tarafında örneklerin uygun koşullarda alınması ve korunması, total DNA izolasyonu ve dizileme kütüphanesi hazırlanması kritik adımlardır. Biyoinformatik tarafta ham verinin kalite kontrolü ve filtrelenmesi, taksonomik sınıflandırma, gerekirse fonksiyonel anotasyon ve istatistiksel karşılaştırmalar yer alır. Bu nedenle metagenomik analizlerde “ıslak aşama” kadar “kuru aşama” optimizasyonu da zorunludur. Her basamak incelenen materyale ve araştırma hedeflerine uyarlanmalıdır.

Kısaca metagenomik yaklaşımlarla süt ve süt ürünleri mikrobiyotasının tanımlanmasında genel iş akışının oklarla gösterimi verilmiştir: Örnekleme ve korunma → Total DNA izolasyonu → Dizileme stratejisi seçimi (hedefli ya da tüm metagenom) → Kütüphane hazırlama ve dizileme → Ham veri kalite kontrolü/filtreleme → Referans veri tabanları ile sınıflandırma → Taksonomik çıktı ve gerekirse fonksiyonel yorum → İstatistiksel karşılaştırma ve raporlama.

Metagenomik tasarımda maliyet-veri yükü dengesi de önemlidir. Bu nedenle literatürde iki aşamalı tasarımlar önerilmekte; önce daha ekonomik hedefli dizileme ile ön değerlendirme yapılması, ardından seçilen örnek alt kümesinde hedeflenmemiş dizilemeye geçilmesi, kaynak kullanımını dengeleyen bir strateji olarak ele alınmaktadır. Mikrobiyel topluluk çalışmalarında iki aşamalı deneysel tasarım mantığı metodolojik olarak tartışılmıştır (Tickle ve ark., 2013).

5.4 Avantajlar ve sınırlılıklar

Metagenomik yaklaşımların en belirgin avantajı kültürden bağımsız olmalarıdır. Böylece topluluğun daha geniş bir kesiti profillenebilir ve özellikle geleneksel ürünlerde parti/üretici farklılıklarının mikrobiyotaya yansımaları daha görünür hale gelir. Tüm metagenom dizileme, taksonomik profillemenin ötesinde fonksiyonel potansiyele ilişkin çıkarımları da destekleyebilir. Bu da kalite, olgunlaşma biyokimyası ve güvenlik gibi başlıklarda mikrobiyel temelli yorumların kapsamını genişletir. Buna karşılık, hedefli dizilemede primer seçimi ve PCR yanlılığı ile tür düzeyindeki ayırım gücü sınırlılıkları, tüm metagenom dizilemede ise yüksek maliyet, veri hacmi ve biyoinformatik yorumlama karmaşıklığı temel kısıtlar olarak öne çıkar. Ayrıca metagenomik

çıkıtlar çoğunlukla görelî bolluk temellidir; canlı-ölü ayrımını doğrudan garanti etmemesi nedeniyle yorumlamada doğrulama stratejileri önem kazanır (Qin ve ark., 2010; Allard ve ark., 2018).

5.5 Literatürde peynir ve fermente süt ürünlerinde metagenomik bulgular

Metagenomik yaklaşımların peynir mikrobiyotasına uygulanmasına ilişkin çalışmalar, üretim basamakları boyunca mikrobiyel dinamiklerin ve çekirdek toplulukların ortaya konmasını mümkün kıldığını göstermektedir. Dalmasso ve ark. (2016), Plaisentif peynirinde yüksek verimli dizileme kullanarak üretimin erken aşamalarında çeşitliliğin daha yüksek olduğunu, olgun peynirde ise topluluğun daha sınırlı sayıda cins etrafında yoğunlaştığını bildirmiş ve çekirdek toplulukta LAB'ın belirleyici rolünü vurgulamıştır.

Türkiye'de otlu peynir mikrobiyotasının 16S tabanlı metagenomik analizinde ise LAB'ın baskınlığı ve *Lactobacillus*, *Lactococcus* ve *Streptococcus* cinslerinin öne çıkması, geleneksel peynirlerde kültürden bağımsız profillemenin topluluk yapısını ortaya koymadaki katkısını desteklemiştir (Sudağıdan ve ark., 2021).

Rocha ve ark. (2021), Serra da Estrela PDO peynirinde bakteriyel ve fungal toplulukları eş zamanlı olarak ele alan bütüncül bir profillemeye yaklaşımı benimseyerek, çiğ süt ile bitkisel kökenli pıhtılaştırıcının peynir mikrobiyomu üzerindeki katkılarını ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur. Araştırmacılar, çekirdek mikrobiyota içerisinde bakteriyel fraksiyonda *Leuconostoc* ve *Lactococcus* cinslerinin baskın olduğunu; fungal toplulukta ise *Candida*, *Debaryomyces* ve *Yarrowia* cinslerinin belirgin şekilde öne çıktığını bildirmiştir.

Josifovska ve ark. (2024), Bieno peynirinde 16S rRNA V3–V4 hedefli amplicon yaklaşımıyla, baskın mikrobiyotada *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Bifidobacterium* ve *Enterococcus* cinslerini ve *Lactobacillaceae* üyelerini bildirmişlerdir. Örnekler arası farklılığın daha çok sub-dominant taksonlar üzerinden şekillendiğini ve beta çeşitlilik analizlerinin coğrafi üretim lokasyonlarını yansıtmaya eğilimi taşıdığını göstermişlerdir.

Metagenomik yaklaşımın üretim ekosistemi düzeyinde kullanımı da önem kazanmıştır. Cerit ve ark. (2024), küçük ölçekli bir beyaz peynir tesisinde shotgun metagenomik ile kültüromiği birlikte kullanarak, üretim aşamaları ve

ekipman yüzeylerinde mikrobiyel bileşimin ayrıştığını; LAB içinde *Lactococcus* cinsinin ve tür düzeyinde *Lac. lactis*'in baskın olduğunu bildirmiştir. Aynı çalışmada kültüromik katmanda MALDI-TOF MS ile tür düzeyi doğrulamanın güçlenmesi, metagenomik çıktılarının izolat temelli yaklaşımlarla birlikte yorumlanması değerini göstermiştir

Metagenomik uygulamalar yalnızca peynirle sınırlı değildir. Demirci ve ark. (2022), Türkiye'nin dağlık bölgelerindeki geleneksel geri aşılmalı ev yoğurtlarında NGS tabanlı profillemeye gerçekleştirmiş; toplulukta *Firmicutes*'in baskın filum olduğunu, cins düzeyinde *Lactobacillus*'un belirgin üstünlük gösterdiğini ve tür düzeyinde çoğu örnekte *Lb. delbrueckii*'nin öne çıktığını raporlamıştır. Bazı örneklerde *Lb. helveticus*'un yüksek relatif bolluklara ulaşması, yerel üretim pratiklerinin mikrobiyotik kompozisyonunu anlamlı ölçüde yönlendirebildiğini göstermiştir. Ayrıca, bazı türlerin yeni nesil probiyotik adayları bağlamında tartışılması, metagenomik verinin fonksiyonel yorum potansiyelini güçlendirmiştir.

González-Orozco ve ark. (2023), kefir taneleri ile süt kefirinin mikrobiyotasını metagenomik olarak karşılaştırmış; baskın suşları izole ederek moleküler düzeyde tanımlamış ve güvenlik ile probiyotik performans parametreleri üzerinden değerlendirmiştir. Bulgular, kefir tanelerinin daha kararlı ve baskın türlerce belirlenen bir topluluk yapısına sahip olduğunu; *Lb. kefiranofaciens*, *Lb. helveticus* ve *Lb. kefir* suşlarının in vitro antibakteriyel aktivite ve antibakteriyel protein üretimi gibi işlevsel özellikler sergilediğini göstermiştir. Metagenomik kontiglerde bakteriyosin üretimi ve antibakteriyel bileşiklerle ilişkili genlerin varlığı da gözlenen aktivitenin olası moleküler temelini desteklemiştir. Fermente ürünlerde probiyotik özellik gösterebilecek maya adaylarının keşfinde sekans temelli taramaların kullanılabilirliği de aday bulma perspektifinde örneklenmiştir (Staniszewski ve Kordowska-Wiater, 2023).

Literatüre katkı sunan çalışmalar incelendiğinde, metagenomik yaklaşımlar, peynir ve fermente süt ürünlerinde mikrobiyotanın kapsamlı biçimde tanımlanması, üretim basamakları boyunca dinamiklerin izlenmesi ve gerektiğinde fonksiyonel potansiyele ilişkin çıkarımlar yapılması için güçlü bir çerçeve sunar. Uygulamada hedefli dizileme ile geniş ölçekli tarama ve seçilmiş örneklerde tüm metagenom dizileme yaklaşımını birleştiren iki

aşamalı tasarımlar, maliyet ve veri derinliği arasında rasyonel bir denge sağlayabilir (Tickle ve ark., 2013).

5 SONUÇ

Süt ve fermente süt ürünlerinde mikrobiyota tanımlaması, ürün kalitesi, proses standardizasyonu ve gıda güvenliği açısından kritik bir basamaktır ve tek bir yöntemle tüm ihtiyaçların karşılanması çoğu zaman mümkün değildir. Kültürleme ve fenotipik yöntemler, canlı mikroorganizma varlığının doğrulanması ve sayım yapılması gibi temel gereksinimler açısından günümüzde hâlen vazgeçilmezdir ve düzenleyici uygulamalarla uyumlu “referans” bir çerçeve sağlar. Bununla birlikte, fenotipik özelliklerin besiyeri ve inkübasyon koşullarına bağlı değişkenliği, analist yorumuna duyarlılık ve yakın akraba taksonlarda ayırım gücünün sınırlı kalması, tür düzeyinde güvenilir tanımlama için tamamlayıcı yaklaşımları gerekli kılar.

MALDI-TOF MS, izolat başına düşük sarf maliyeti ve yüksek hız avantajıyla, özellikle kültüromik tasarımlarda çok sayıda izolatın dereplikasyonu ve tür düzeyi kimliklendirilmesi için güçlü bir seçenek sunmaktadır. Ancak yöntemin kültüre bağımlı oluşu, mikrobiyotanın yalnızca kültürlenebilir fraksiyonunu temsil ettiği anlamına gelir ve topluluk düzeyinde görelî bolluk veya fonksiyonel potansiyel hakkında doğrudan bilgi üretmesini sınırlar. Kültürden bağımsız metagenomik yaklaşımlar ise daha geniş bir topluluk profilinin elde edilmesini sağlayarak kültüre alınamayan taksonları görünür kılar; hedefli dizileme ve tüm metagenom (shotgun) stratejilerinin araştırma sorusuna göre seçilmesi, maliyet-veri derinliği dengesinin kurulmasında belirleyicidir. Buna karşın metagenomik çıktılarda canlı-ölü ayrımı ve biyoinformatik yorumlama karmaşıklığı gibi kısıtlar, sonuçların dikkatle değerlendirilmesini ve mümkün olduğunda doğrulama adımlarını gerekli kılar.

Sonuç olarak, süt ürünleri mikrobiyotasının güvenilir ve anlamlı biçimde ortaya konulabilmesi, farklı analitik yaklaşımların birbirini tamamlayacak şekilde bütünleştirilmesine bağlıdır. Bu kapsamda, kültürleme ve fenotipik testler aracılığıyla canlı mikrobiyel fraksiyonun izole edilmesi ve temel özelliklerinin belirlenmesi; MALDI-TOF MS yöntemi ile izolatların hızlı, tekrarlanabilir ve standardize biçimde tanımlanması; metagenomik yaklaşımlar ile ise topluluk düzeyinde mikrobiyel çeşitliliğin daha geniş bir perspektiften

değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Kalite kontrol, starter kültür seçimi, üretim proseslerinin izlenmesi ya da gıda güvenliğine yönelik risk analizi gibi araştırma hedeflerine göre kurgulanan bu entegre yaklaşım, süt ve fermente süt ürünlerinde mikrobiyotanın hem kapsayıcılık hem de analitik doğruluk açısından daha tutarlı ve yorumlanabilir biçimde karakterize edilmesine olanak tanımaktadır.

KAYNAKLAR

- Akoğlu, A., Yaman, H., Coşkun, H., Sarı, K. (2017). Mengen peynirinden laktik asit bakterilerinin İzolasyonu, moleküler tanımlanması ve bazı starter kültür Özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 21 (2): 453-459. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.11073>
- Allard, M.W., Bell, R., Ferreira, C.M., Gonzalez-Escalona, N., Hoffmann, M., Muruvanda, T., Ottesen, A., Ramachandran, P., Reed, E., Sharma, S. (2018). Genomics of foodborne pathogens for microbial food safety. *Current Opinion in Biotechnology* 49: 224-229. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.11.002>
- Anonim (2025a). NCIMB. <https://www.ncimb.com/microbial-identification/identification-methods-for-bacteria-and-fungi/> (Erişim tarihi: 18.12.2025)
- Anonim (2025b). Molecular Epidemiology, <https://molecularapi.com/phenotypic.html> (Erişim tarihi: 18.12.2025)
- Axelsson, L. (2004). Lactic acid bacteria: Classification and physiology. In S. Salminen, A. von Wright, & A. Ouwehand (Eds.), *Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects* (3rd ed., pp. 1–66). Marcel Dekker, New York
- Büyükyörük, S., Soyutemiz, G.E. (2010). Geleneksel olarak üretilmiş İzmir Tulum Peynirinden *Lactococcus lactis* (*Lactococcus lactis* alttür *lactis* ve alttür *cremoris*) suşlarının izolasyonu, fenotipik ve moleküler teknikler ile identifikasyonu. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 7 (2): 81-87. <https://doi.org/10.1080/1040-840291046759>
- Caldeira, L.A., Valente, G.L.C., Barbosa, C.D., Braga, D.E., Monção, F.P., Fonseca, L.M., Souza, M.R., Gloria, M.B.A. (2024). Profile of lactic acid bacteria (MALDI-TOF-MS) and physico-chemical and microbiological characteristics of the raw milk and fresh artisanal cheese from Serra Geral, Minas Gerais, Brazil. *Food Research International* 176: 113831. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113831>
- Capozzi, F., Bordoni, A. (2013). Foodomics: A new comprehensive approach to food and nutrition. *Genes & Nutrition* 8 (1): 1-4. <https://doi.org/10.1007/s12263-012-0310-x>

- Carr, F.J., Chill, D., Maida, N. (2002). The lactic acid bacteria: A literature survey. *Critical Reviews in Microbiology* 28 (4): 281–370. <https://doi.org/10.1080/1040-840291046759>
- Cerit, Z.G., Kahraman Ilıkkın, Ö., Baloglu, M.C., Yılmaz, R. (2024). Detection of the lactic acid bacterial community in small scale white cheese processing facility using shotgun metagenomics and culturomics. *International Dairy Journal* 155: 105971. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105971>
- Cifuentes A. (2009). Food analysis and foodomics. *Journal of Chromatography A* 1216 (43): 7109. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.09.018>
- Cocolin, L., Alessandria, V., Dolci, P., Gorra, R., Rantsiou, K. (2013). Culture independent methods to assess the diversity and dynamics of microbiota during food fermentation. *International Journal of Food Microbiology* 167: 29-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.05.008>
- Dalmasso, A., Soto del Rio, M. D., Civera, T., Pattono, D., Cardazzo, B., Bottero, M.T. (2016). Characterization of microbiota in Plaisentif cheese by high-throughput sequencing. *Food Microbiology* 55: 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.004>
- De Vos, P., Garrity, G.M., Jones, D., Krieg, N.R., Ludwig, W., Rainey, F.A., Schleifer, K.H., Whitman, W.B. (2009). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (Vol. 3: The Firmicutes). Springer, New York.
- Deak, E., Charlton, C., Bobenchick, A.M., Miller, S.A., Pollet, S., McHardy, I.H., Wu, M.T., Garner, O.B. (2015). Comparison of the VITEK MS and Bruker Microflex LT MALDI-TOF MS platforms for routine identification of commonly isolated bacteria and yeast in the clinical microbiology laboratory. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease* 81: 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2014.09.018>
- Demirci, T., Akın, N., Öztürk, H.İ., Oğul, A. (2022). A metagenomic approach to homemade back-slopped yogurts produced in mountainous villages of Turkey with the potential next-generation probiotics. *LWT – Food Science and Technology* 154: 112860. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112860>
- Dollive, S., Peterfreund, G. L., Sherrill-Mix, S., Bittinger, K., Sinha, R., Hoffmann, C., Nabel, C.S., Hill, D.A., Artis, D., Bachman, M.A. (2012). A tool kit for quantifying eukaryotic rRNA gene sequences from human

- microbiome samples. *Genome Biology* 13: 1-13. <https://doi.org/10.1186/gb-2012-13-7-r60>
- Dong, Z., Chen, Y. (2013). Transcriptomics: Advances and approaches. *Science China Life Sciences* 56: 960-967. <https://doi.org/10.1007/s11427-013-4557-2>
- Encu, Ş.B., Acar-Soykut, E., Çakır, İ. (2022). Geleneksel yoğurtlardan izole edilen laktik asit bakterilerinin MALDI TOF MS biotyper sistemi ile tanımlanması ve bazı starter kültür özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda* 47 (6): 1059-1082. <https://doi.org/10.15237/gida.GD22088>
- Felis, G.E., Pot, B. (2014). The family *Lactobacillaceae*. Lactic acid bacteria: Biodiversity and taxonomy, 245-247.
- Ferone, M., Gowen, A., Fanning, S., Scannell, A.G. (2020). Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 19 (6): 3106-3129. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12618>
- Gandhi, K., Kumar, A., Sarkar, P., Aghav, A., Lal, D. (2013). MALDI-TOF MS: Application in dairy and related sectors. *Research and Reviews: Journal of Dairy Science and Technology* 2: 2319-3409.
- Gantzias, C., Lappa, I.K., Aerts, M., Georgalaki, M., Manolopoulou, E., Papadimitriou, K., De Brandt, E., Tsakalidou, E., Vandamme, P. (2020). MALDI-TOF MS Profiling of Non-starter Lactic Acid Bacteria from Artisanal Cheeses of the Greek Island of Naxos. *International Journal of Food Microbiology* 323: 108586. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108586>
- Gilbert, J.A., Hughes, M. (2011). Gene expression profiling: Metatranscriptomics. In *Methods in Molecular Biology* (Vol. 733, pp. 195-205). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-089-8_14
- González-Orozco, B.D., García-Cano, I., Escobar-Zepeda, A., Jiménez-Flores, R., Álvarez, V.B. (2023). Metagenomic analysis and antibacterial activity of kefir microorganisms. *Journal of Food Science* 88 (7): 2933-2949. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16614>
- Hammes, W.P., Hertel, C. (2009). Genus I. *Lactobacillus* Beijerinck 1901, 212AL. Bergey's manual of systematic bacteriology, 3, 465-90.

- Holzapfel, W.H., Wood, B.J.B. (2014). Lactic acid bacteria: Biodiversity and taxonomy. Wiley Blackwell, Chichester, UK.
- Jadhav, S., Sevir, D., Bhav, M., Palombo, E.A. (2014) Detection of *Listeria monocytogenes* from selective enrichment broth using MALDI-TOF mass spectrometry. *Journal of Proteomics* 97: 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2013.09.014>
- Jay, J.M., Loessner, M.J., Golden, D. A. (2005). Modern Food Microbiology (7th ed.). Springer, New York.
- Josifovska, S., Posheva, V., Doytchinov, V.V., Papadimitriou, K., Bazukyan, I., Gotcheva, V., Dimov, S.G. (2024). Amplicon-based metagenomic characterization of the microbiome of the traditional “Bieno” cheese produced in North Macedonia. *Food Bioscience* 57: 103552. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103552>
- Kačániová, M., Felšöciová, S., Haščík, P., Nagyová, L., Horská, E., Godočíková, L., Lopašovský, L., Terentjeva, M., & Kunová, S. (2019b). Lactic acid bacteria isolated from traditional cheese. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies* 52 (2): 83.
- Kačániová, M., Kunová, S., Štefániková, J., Felšöciová, S., Godočíková, L., Horská, E., Nagyová, L., Haščík, P., Terentjeva, M. (2019a). Microbiota of the traditional Slovak sheep cheese “Bryndza”. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 9 (Special Issue): 482-486. <https://doi.org/10.3390/foods9091195>
- Kačániová, M., Terentjeva, M., Godočíková, L., Puchalski, C., Kunová, S., Kluz, M., Kordiaka, R., Haščík, P. (2017). Identification of lactic acid bacteria in milk and milk products with MALDI-TOF mass spectrometry. *Animal Science and Biotechnologies* 50 (1): 115.
- Kačániová, M., Terentjeva, M., Kunová, S., Borotová, P., Haščík, P., Štefániková, J. (2020). Microbiota of non-smoked Slovak cheese “Parenica”. *Advanced Research in Life Sciences* 4: 41-47. <https://doi.org/10.2478/arls-2020-0017>
- Kalamaki, M., Price, R.J., Fung, D.Y. (1997). Rapid Methods For Identifying Seafood Microbial Pathogens and Toxins 1. *Journal of Rapid Methods & Automation in Microbiology* 5 (2): 87-137. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4581.1997.tb00155.x>

- Kanak, E.K., Yilmaz, S.Ö. (2019). Maldi-tof mass spectrometry for the identification and detection of antimicrobial activity of lactic acid bacteria isolated from local cheeses. *Food Science and Technology* 39: 462-469. <https://doi.org/10.1590/fst.19418>
- Lartigue, M.-F. (2013). Matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry for bacterial strain characterization. *Infection, Genetics and Evolution* 13: 230-235. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.10.012>
- Ledina, T., Golob, M., Djordjević, J., Magas, V., Colovic, S., Bulajic, S. (2018). MALDI-TOF mass spectrometry for the identification of Serbian artisanal cheeses microbiota. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* 13: 309-314. <https://doi.org/10.1007/s00003-018-1164-y>
- Ling, S., Hui, L. (2019). Evaluation of the complexity of indoor air in hospital wards based on PM2.5, real-time PCR, adenosine triphosphate bioluminescence assay, microbial culture and mass spectrometry. *BMC Infectious Diseases* 19: 646. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4249-z>
- McCartney, A.L. (2002). Application of molecular biological methods for studying probiotics and the gut flora. *British Journal of Nutrition* 88 (S1): 29-37. <https://doi.org/10.1079/BJN2002627>
- Nacef, M., Chevalier, M., Chollet, S., Drider, D., Flahaut, C. (2017). MALDI-TOF mass spectrometry for the identification of lactic acid bacteria isolated from a French cheese: The Maroilles. *International Journal of Food Microbiology* 247: 2-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.005>
- Oğuz, Ş., Andiç, S. (2024). Isolation, identification, and characterization of thermophilic lactic acid bacteria isolated from whey of Kars Kashar cheeses. *Antonie van Leeuwenhoek* 117 (1): 85. <https://doi.org/10.1007/s10482-024-01982-w>
- Pałczyńska, J., Pryshchepa, O., Ludwiczak, A., Florkiewicz, A., Radtke, A., Pomastowski, P. (2025). MALDI-TOF mass spectrometry analysis of seasonal variations in culturable milk microbiota and physico-chemical properties in Poland: Implications for dairy management and quality control. *International Dairy Journal* 166: 106251. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2025.106251>

- Pogačić, T., Kelava, N., Zamberlin, Š., Dolenčić-Špehar, I., Samaržija, D. (2010). Methods for culture-independent identification of lactic acid bacteria in dairy products. *Food Technology and Biotechnology* 48: 3-11.
- Posheva, V., Muleshkova, T., Josifovska, S., Chakarov, S., Dimov, S.G. (2024). Review on the NGS-based studies of microbiotas of artisanal and regional kinds of cheese with potential as functional foods: Composition and functional analysis. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 38 (1): 2361751. <https://doi.org/10.1080/13102818.2024.2361751>
- Pyz-Łukasik, R., Gondek, M., Winiarczyk, D., Michalak, K., Paszkiewicz, W., Piróg-Komorowska, A., Policht, A., Ziomek, M. (2021). Occurrence of *Listeria monocytogenes* in artisanal cheeses from Poland and its identification by MALDI-TOF MS. *Pathogens* 10: 632. <https://doi.org/10.3390/pathogens10060632>
- Qin, J., Li, R., Raes, J., Arumugam, M., Burgdorf, K. S., Manichanh, C., Nielsen, T., Pons, N., Levenez, F., Yamada, T., et al. (2010). A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature* 464: 59-65. <https://doi.org/10.1038/nature08821>
- Rocha, R., Vaz Velho, M., Santos, J., Fernandes, P. (2021). Serra da Estrela PDO cheese microbiome as revealed by next generation sequencing. *Microorganisms* 9: 2007. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102007>
- Sandle, T. (2014). Biochemical and modern identification techniques| Food-Poisoning Microorganisms.
- Sivri, G.T., Öksüz, Ö. (2019). Identification of *Propionibacterium* spp. isolated from mihaliç cheeses by MALDI-TOF MS. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 16 (2): 244-250. <https://doi.org/10.33462/jotaf.526431>
- Sohier, D., Pavan, S., Riou, A., Combrisson, J., Postollec, F. (2014). Evolution of microbiological analytical methods for dairy industry needs. *Frontiers in Microbiology* 5: 16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00016>
- Söylemez Milli, N., Öndül Koç, E. Encu, Ş.B., Çakır, İ. (2025a). Van Otlı Peynirinin MALDI-TOF MS yöntemi ile mikrobiyel karakterizasyonu ve seçili laktik asit bakterilerinin starter kültür potansiyelinin değerlendirilmesi. *Gıda* 50 (5): 780-797. <https://doi.org/10.15237/gida.GD25067>

- Söylemez-Milli, N., Ertürkmen, P., Alp Baltakesmez, D. (2025b). The Resistance Abilities of Some *Bacillus* Species to Gastrointestinal Tract Conditions Whole Genome Sequencing of the Novel Candidate Probiotic Strains *Bacillus clausii* BA8 and *Bacillus subtilis* BA11. *Food Science & Nutrition* 13 (2): 1-17. <https://dx.doi.org/10.1002/fsn3.70018>
- Staniszewski, A., Kordowska-Wiater, M. (2023). Probiotic yeasts and how to find them—Polish wines of spontaneous fermentation as source for potentially probiotic yeasts. *Foods* 12: 3392. <https://doi.org/10.3390/foods12183392>
- Sudağidan, M., Yurt, M.N.Z., Taşbaşı, B.B., Acar, E.E., Ersoy Ömeroğlu, E., Uçak, S., Özalp, V.C., Aydın, A. (2021). 16S bacterial metagenomic analysis of herby cheese microbiota. *Acta Veterinaria Eurasia* 47: 188-196. <https://doi.org/10.5152/actavet.2021.21037>
- Tchamba, C.N., Rao, A.S., Boyen, F., Haesebrouck, F., Duprez, J.-N., Théron, L., Thiry, D., Mainil, J.G. (2019). Comparison of quantitative PCR and MALDI-TOF mass spectrometry assays for identification of bacteria in milk samples from cows with subclinical mastitis. *Journal of Applied Microbiology* 127 (3): 683-692. <https://doi.org/10.1111/jam.14358>
- Temmerman, R., Huys, G., Swings, J. (2004). Identification of lactic acid bacteria: Culture-dependent and culture-independent methods. *Trends in Food Science & Technology*, 15 (7–8): 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.12.007>
- Tickle, T.L., Segata, N., Waldron, L., Weingart, U., Huttenhower, C. (2013). Two-stage microbial community experimental design. *The ISME Journal* 7: 2330–2339. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.139>
- Zhao, X., Lin, C.W., Wang, J., Oh, D.H. (2004). Advances in rapid detection methods for foodborne pathogens. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 24 (3): 297-312. <http://dx.doi.org/10.4014/jmb.1310.10013>

BÖLÜM 10

LAKTOZ İNTOLERANSI-SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNİN TÜKETİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Elif YILDIRIM¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156846>

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Konya, Türkiye. eyildirim@erbakan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-5411-1652

1. Giriş

Günlük beslenmemizde yaygın olarak tüketilen süt ve süt ürünleri çeşitli temel makro ve mikro besin öğeleri almamızı sağlar (Gaucheron, 2011).

Sütün bileşiminde bulunan Laktoz, D-galaktozun D-glukoza (β -1,4 glikozidik bağ) bağlanmasıyla oluşan bir disakkarittir. Laktoz, sütün doğal bileşenlerinden biri olan bir disakkarit olup, D-galaktoz ve D-glukoz monosakkaritlerinin β -1,4 glikozidik bağ ile birbirine bağlanması sonucunda oluşan bir karbonhidrattır. Laktoz insan sütünde ve diğer memelilerde ana karbonhidrattır ve önemli bir enerji kaynağıdır (Misselwitz ve ark., 2019; Szilagyi ve Ishayek, 2018).

Laktozun en önemli kaynağı süt ve yoğurt ve peynir gibi fermente süt ürünleridir. Yoğurt, işlenmemiş süt laktozunun yaklaşık %50'sini içerirken, peynirin laktoz içeriği düşüktür (Misselwitz ve ark., 2019). Laktoz miktarı, hayvansal kökenli sütler arasında türe bağlı olarak değişkenlik göstermekte, her bir süt çeşidi farklı düzeylerde laktoz içermektedir. Anne sütünde 7,0 mg/100 ml, inek sütünde 4,7-5,0 mg/100 ml, koyun sütünde 4,4-4,8 mg/100 ml, keçi sütünde 4,2-4,8 mg/100 ml, manda sütünde 4,8-5,0 mg/100 ml'dir (Silaniko ve ark., 2015).

Bitkisel kaynaklı sütlerde (findık, pirinç, yulaf, soya) laktoz bulunmaz. Laktoz tozu sosis, et suyu, margarin, ekmekek, soslar ve birçok hazır yemeğin dokusunu ve lezzetini artırmak amacıyla işlenmiş gıdalarda yaygın olarak kullanılan bir katkı maddesidir (Misselwitz ve ark. 2019). Laktoz intoleransı olan bireylerin gizli laktoz içeriği şüphesiyle, süt içeriği ve peynir altı suyu gibi süt bileşenleri açısından tüm gıda ürün etiketlerini dikkatlice okuması önem arz etmektedir (McFee, 2024).

Laktaz (Beta galaktosidaz, florizin hidrolaz olarak da adlandırılır), iki polipeptit zincirinden oluşur. Laktaz enzimi, laktoz molekülünü hidrolitik bir reaksiyonla glukoz ve galaktoz birimlerine ayırarak sindirilebilir hâle getirmektedir (Burke, 2019). Laktaz, bitkiler, hayvan organları, mayalar, mantarlar ve bakteriler gibi farklı kaynaklardan elde edilebilen bir enzimdir ve en yaygın olarak gıda bazlı teknolojide ve özellikle tüm süt ve imalat sanayinde kullanılır (Khalid ve ark., 2024).

Laktoz intoleransı, laktaz yetersizliği olan bireylerde laktoz içeren gıdaların tüketiminden sonra ortaya çıkan sindirim sisteminde semptomlarla karakterize edilen klinik bir durumdur (Di Stefano ve ark., 2007; Vandenplas, 2015). Bu durum, laktaz aktivitesinin azalması veya yokluğu ya da aynı enzimin sentezinin azalması veya yokluğu nedeniyle ortaya çıkabilir. Yaygın görülen semptomlar arasında ishal, gaz, kramp, bağırsak sesleri ve karın şişkinliği yer alır (Vandenplas, 2015). Semptomların şiddeti kişiden kişiye değişir ve çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu etmenler kapsamında; intestinal mukozadaki laktaz düzeyi, bağırsak mikrobiyotasının yapısı, diyetle alınan laktozun miktarı, gastrointestinal sistemdeki geçiş hızı ve semptomların algılanmasına ilişkin bireysel farklılıklar belirleyici rol oynamaktadır (Martínez Vázquez ve ark., 2020).

Laktoz intoleransı için başlıca tedavi stratejileri, laktoz içeren gıdaların tüketimini azaltmak veya ortadan kaldırmak ve laktoz içeren yemeklerle birlikte takviye laktaz enzimleri tüketmektir. Laktoz intoleransı olan kişilerde laktoz tüketimi laktaz üretimini artırmaz. Buna ek olarak, prebiyotiklerin veya laktozun kontrollü tüketimi, laktoz intoleransı bulunan bireylerde bağırsak mikrobiyotasında uyumsal değişikliklerin gelişmesini destekleyerek semptomların yönetimine katkı sağlayabilmektedir. Mevcut sınırlı sayıda araştırma, galaktooligosakkaritler (GOS) başta olmak üzere bazı prebiyotiklerin ve düşük miktarlarda laktoz alımının, *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* gibi laktozu metabolize edebilen bakteri türlerinin çoğalmasını teşvik edebileceğini ve buna bağlı olarak klinik belirtilerin hafifleyebileceğini göstermektedir (Angima ve ark., 2024).

2. Epidemiyoloji

Dünya çapında tanısı doğrulanmış laktoz intoleransı olgularının görülme sıklığı yaklaşık %57 düzeyindedir. Bölgesel dağılım incelendiğinde, bu oran Amerika kıtasında yaklaşık %50, Asya'da %70 civarında, Afrika'da ise %100'e yakın bir yaygınlık göstermektedir. Kıtalaradaki yaygınlık değişiklik göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde laktoz intoleransı görülme sıklığı beyaz nüfusta yaklaşık %15, Meksika kökenli Amerikalılarda %53 ve Afro-Amerikan bireylerde %80 düzeyindedir. Avrupa genelinde prevalans yaklaşık %28 olarak bildirilmektedir; bu oran

İskandinav ülkelerinde %2 gibi oldukça düşük seviyelerden, Güney İtalya’da %70’e kadar çıkan yüksek değerlere ulaşabilmektedir (Catanzaro ve ark., 2021). Laktoz intoleransı küresel ölçekte yaygın bir durum olmakla birlikte, beş yaşın altındaki çocuklarda nadir olarak ortaya çıkmaktadır (Bayless ve ark., 2017).

3. Laktaz Eksikliğinin Etiyolojisi

Laktoz intoleransı primer (geç başlangıçlı), sekonder (edinilmiş), gelişimsel ve konjenital olmak üzere dört ana sınıfta değerlendirilmektedir. Bu sınıflandırmada her bir tip, nedensel faktörler, klinik bulguların ortaya çıkış zamanı ve altta yatan patofizyolojik mekanizmalar bakımından birbirinden ayrılmaktadır (Goosenberg ve Afzal, 2025). *Primer laktaz eksikliği*, diğer bir ifadeyle erişkin tip laktaz yetmezliği, tüm laktaz eksikliği olguları içerisinde en sık karşılaşılan form olarak tanımlanmaktadır. Laktazın kalıcı olmaması ve azalması nedeniyle ortaya çıkar; bu durumda bu enzimin aktivitesi yaşla birlikte kademeli olarak azalır (Leis ve ark., 2020). Bu bireylerin laktoz alımı, laktoz malabsorpsiyonuna ve laktaz eksikliğine neden olur (Lomer ve ark., 2008).

Otozomal resesif bir durum olan birincil laktoz eksikliği. 2 yaşından sonra çocuklarda görülür. Özellikle beyaz tenli kişilerde 5-6 yaşlarında daha sorunlu hale gelir. Bazı ırksal gruplarda ergenlik döneminden önce görülmez (Khalid ve ark., 2024). Laktaz aktivitesi, yaşamın ilk yıllarında azalır; ancak laktaz geninin güçlendirici bölgesinde mutasyon bulunan bireylerde bu enzimin kalıcılığı sağlanır. Laktaz geninde tanımlanan bazı nükleotid polimorfizmleri, özellikle C/T-13910 ve G/A-22018 varyantları, enzimin yaşam boyu ekspresyonunun sürdürülmesi ile ilişkili bulunmuştur (Borralhoa ve Marcos, 2025).

Sekonder laktaz eksikliği, laktaz enziminin sentezlendiği ince bağırsak mukozasında yapısal veya fonksiyonel hasar oluşturan herhangi bir patolojik durumun sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Laktazın azalmasından kaynaklanan ikincil laktaz eksikliğinde enteropatiler, enfeksiyonlar veya cerrahi işlemler buna neden olabilir (Leis ve ark., 2022; Hammer ve ark., 2022). Sekonder laktaz eksikliğinin yaygın nedenleri arasında gastrointestinal sistem enfeksiyonları, çölyak hastalığı, Crohn hastalığı,

kemoterapi uygulamaları, antibiyotik kullanımı, ince bağırsak cerrahileri ve ince bağırsağa uygulanan radyoterapi bulunmaktadır (Goosenberg ve Afzal, 2025). İkincil laktaz eksikliği, her yaşta gelişebilmekle birlikte, çoğu vakada altta yatan etiyolojik faktörün tedavi edilmesini takiben gerileyen ve geçici özellik gösteren bir durumdur (Leis ve ark., 2020).

Konjenital (doğuştan) laktaz eksikliği, laktaz geninde meydana gelen mutasyonlara bağlı olarak gelişen, nadir görülen otozomal resesif kalıtım gösteren bir genetik bozukluk olarak tanımlanmaktadır (Lomer ve ark., 2008; Leis ve ark., 2020). Yenidoğanın anne sütü veya laktoz içeren süt tüketmeye başlamasıyla birlikte yaşamın ilk günlerinde ortaya çıkan genetik mutasyonların sonucudur. Laktaz enziminin doğumda yokluğu veya enzimatik aktivitesinin önemli ölçüde azalmasıyla karakterize edilen bir hastalıktır (Leis ve ark., 2020; Upton ve ark., 2007). Doğuştan laktaz eksikliği, Hastalar laktozsuz bir diyet uyguladıktan sonra semptomlar düzelir (Hammer ve ark., 2022; Zingone ve ark., 2023).

Gelişimsel laktaz eksikliği, gebeliğin 28 ila 37. haftalarında doğan prematüre bebeklerde gözlenir. Prematüre bebeklerde ince bağırsaklarının olgunlaşmamışlığından kaynaklanan bu durum, bağırsak olgunlaştıkça zamanla iyileşir (Hammer ve ark., 2022; Zingone ve ark., 2023).

4. Laktoz İntoleransının Patofizyolojisi

Laktaz aktivitesi doğumda en yüksek düzeydedir ve ilerleyen dönemlerde zamana bağlı olarak kademeli bir azalma göstermektedir (Jansson-Knodell ve ark., 2020). Emzirme sürecinde laktozun sindirilebilmesi, yenidoğanın sağlıklı büyümesi ve yaşamını sürdürebilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Nitekim, doğumdan kısa bir süre sonra tanı konulmadığı takdirde, laktaz aktivitesindeki konjenital yetersizliğin yaşamı tehdit edici sonuçlara yol açabildiği bildirilmiştir.

İnce bağırsak mukozasının fırça kenarında yer alan villus yapıları üzerinde lokalize laktaz enzimi, laktozu glikoz ve galaktoz monosakkaritlerine parçalamaktadır (Ugidos-Rodríguez ve ark., 2018). Oluşan bu monosakkaritler, sodyum(+)/glikoz (galaktoz) ortak taşıyıcısı (SGLT1) aracılığıyla enterositlere aktif taşınma yoluyla alınmaktadır. Lüminal konsantrasyonların artması durumunda ise, ikincil bir kolaylaştırıcı

taşıyıcı olan GLUT2 devreye girerek emilime katkı sağlamaktadır. Enterositlerden glikoz, kolaylaştırılmış difüzyon yoluyla çevredeki kılcal damarlara geçerek emilim gerçekleşir (Misselwitz ve ark. 2019; Burke, 2019).

Glikoz, hücresel metabolizmada birincil enerji kaynağı olarak değerlendirilirken, galaktoz ise glikoza dönüştürülerek metabolize edilmekte ya da glikolipitler ve glikoproteinler gibi kompleks biyomoleküllerin yapısına katılarak kullanılmaktadır (Ugidos-Rodríguez ve ark., 2018).

Laktoz intoleransı, Laktaz eksikliğinden kaynaklı laktoz malabsorpsiyonu olan bireylerin laktoz içeren ürünlerin tüketiminden sonra gastrointestinal semptomlar yaşamasıyla ortaya çıkar (Borralhoa ve Marcos, 2025; Shepherd ve ark., 2013). Bu koşullarda sindirilemeyen laktoz, bağırsak lümeni içerisinde kalmaya devam eder ve distal ince bağırsak ile kolonda bakteriyel fermentasyon süreçlerine maruz kalır. Bu fermentasyon sonucunda hidrojen, metan, karbondioksit, hidrojen sülfür ile kısa zincirli yağ asitleri dâhil olmak üzere çeşitli uçucu gazlar ortaya çıkar. Emilmeden kalan laktozun lümende birikmesi, intraluminal ozmotik basıncın artmasına, buna bağlı olarak bağırsak içine sıvı çekilmesine ve ozmotik ishal gelişimine neden olur (Zhong ve ark., 2004; Shepherd ve ark., 2013). Bu süreçler laktoz intoleransının gastrointestinal semptomlarına yol açar ve oligosakkaritler, disakkaritler, monosakkaritler ve polioller de dâhil olmak üzere diğer fermente edilebilir karbonhidratların yanı sıra sukroz, fruktoz ve maltozun sindirim bozukluğu da gelişebilir (Cash ve ark., 2025; Rao, 2025).

5. Belirtiler

Laktoz intoleransında hem gastrointestinal hem de gastrointestinal kaynaklı olmayan semptomlar görülür. Laktoz intoleransı ile en sık ilişkilendirilen gastrointestinal semptomları arasında karın ağrısı, şişkinlik, gaz, ishal, bazen kabızlık, bağırsak sesleri, mide bulantısı ve kusma yer alır (Szilagyi ve Ishayek, 2018).

Laktoz intoleransına ait semptomlar, genellikle laktoz içeren besinlerin alınmasını takiben yaklaşık 30 dakika ile 2 saatlik bir süre içinde ortaya çıkmaktadır (Corgneau ve ark., 2017). Gastrointestinal semptomlar, yeterli miktarda laktozun, yani 5 ila 12 gram veya mililitre olarak 90 ila 240

mL'nin (3 ila 8 ons süte eşdeğer; yaklaşık 88.7-236,5ml) sindirimi nedeniyle ortaya çıkabilir (Khalid ve ark., 2024).

Ancak tüketim miktarına ve hastanın altta yatan gastrointestinal durumuna ve gastrointestinal sistemi etkileyebilecek diğer komorbiditelere bağlı olarak zamanlamada bazı farklılıklar vardır. Şiddet de değişebilir ve genellikle tüketilen laktoz miktarına, laktaz seviyesine, bireysel bağırsak ortamına ve gastrointestinal fonksiyonel kapasiteye bağlıdır (Corgneau ve ark., 2017; McFee, 2024).

Her bireyde aynı miktarda laktoz tüketimi semptomların ortaya çıkmasına neden olmaz. Bu sürecin ortaya çıkışı; laktaz salgılanma düzeyi, laktozun diğer besinlerle birlikte alınması, bağırsak pasaj süresi, ince bağırsakta bakteriyel aşırı çoğalma varlığı ve enterik mikrobiyotanın yapısal özellikleri gibi birden fazla etken tarafından belirlenmektedir (Shepherd ve ark., 2013).

6. Komplikasyonlar

Laktoz metabolizmasındaki değişikliklerle doğrudan ilgili bozukluklara ek olarak, zamanla laktoz intoleranslı kişilerin belirli hastalıklar geliştirme riskinin arttığı ortaya çıkmıştır. Bu durum, hem bağırsak mikrobiyomunun değişmesinden hem de toksik maddelerin aşırı üretiminden kaynaklanabilir (Shrier ve ark., 2008).

Laktoz intoleransının komplikasyonları nadir görülür. omplikasyonlar, uzun süre devam eden diyet kısıtlamaları ya da tedavi edilmemiş malabsorpsiyonun sürmesi sonucunda gelişebilmektedir. Bu duruma bağlı olarak ortaya çıkabilen başlıca komplikasyonlar arasında osteopeni, osteoporoz, yetersiz beslenme, vücut ağırlığında azalma, raşitizm ve büyüme geriliği yer almaktadır (Goosenberg ve Afzal, 2025).

Laktoz intoleransında anksiyete, depresyon ve yorgunluk laktoz intoleranslı bireylerin yüksek bir yüzdesinde görülmekte olup bu durumlar hastaların yaşam kalitesini etkileyebilir. Hastalar, karın ağrısı, ishal ve laktoz intoleransına eşlik eden diğer semptomlardan kaçınma amacıyla, besin tüketimlerini belirgin ölçüde kısıtlama eğilimi gösterebilmekte ve bu durum yeme bozukluklarının gelişmesine zemin hazırlayabilmektedir (Catanzaro ve ark.,2021).

7. Tanı Yöntemleri

Laktoz intoleransının tanısı öncelikle klinik olarak konulur, ancak belirsizlik olduğunda veya diğer durumları dışlamak için invaziv olmayan testlerle tanı desteklenebilir. Bu tanısal yaklaşımlar, laktozun emilimindeki bozuklukları, laktaz enziminin fonksiyonel aktivitesini ya da genetik yatkınlık varlığını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Goosenberg ve Afzal, 2025).

Klinik olarak kullanılan tanı yöntemleri şunlardır; hidrojen nefes testi, dışkı asitliği testi, genetik test, hızlı laktaz testi, laktoz tolerans testi.

Hidrojen nefes testi; laktoz alımını takiben nefeste bulunan hidrojen miktarının ölçülmesine dayanan bir tanı yöntemidir Temel seviyenin 20 ppm üzerinde bir artış, laktoz malabsorpsiyonunu gösterir 40] bu test intoleransı teşhis etmek için en sık kullanılan yöntemdir (Robles ve Priefer, 2020; Beyerlein ve ark., 2008).

Dışkı asitliği testi; bu test, emilmeyen laktozun laktik aside fermentasyonundan kaynaklanan düşük dışkı pH'sını tespit eder (Santonocito ve ark., 2015; Waud ve ark., 2008).

Genetik test; yüksek duyarlılık ve özgüllüğe sahip bir test olarak ortaya çıkmaktadır. Bu test, kan örneğinden izole edilen DNA'nın elde edilmesini ve sonrasında LCT-13910C>T ile LCT-22018G>A polimorfizmlerinin incelenmesini içeren bir analiz sürecine dayanmaktadır (Santonocito ve ark., 2015; Waud ve ark., 2008).

Hızlı laktaz testi; duodenal mukozadan biyopsi alınmasını içerir. Bu örnekler daha sonra laktoz ile inkübasyona tabi tutulur ve gerçekleştirilen bu işlem, laktaz aktivitesinin mevcut olup olmadığının belirlenmesini amaçlamaktadır (Kuokkanen ve ark., 2006).

Laktoz tolerans testi; 50 g laktozun oral olarak alınmasını ve bunu takiben kan glukoz düzeylerinin ölçülmesini içeren bir tanı yöntemidir. Laktozun sindirimi gliseminin yükselmesine neden olur. <20 mg/dL'lik bir artış laktoz intoleransını düşündürür (Swagerty ve ark., 2002).

8. Tedavi

Laktoz intoleransında temel semptom yönetimi yaklaşımı, laktoz içeren besinlerin sınırlandırılmasıdır. Laktoz intoleranslı bireylerde tam

laktoz eliminasyonu nadiren gereklidir. Buna rağmen, laktoz intoleransı bulunan birçok bireyin, yaklaşık 12–15 g laktozu herhangi bir semptom ortaya çıkmaksızın tolere edebildiği bildirilmektedir. Bu nedenle düşük doz laktoz tüketimi, laktozsuz ürünlerin kullanımı ve laktaz takviyeleri semptomların azaltılmasında yaygın olarak tercih edilen stratejiler arasında yer almaktadır (Vonk ve ark., 2003).

8.1. Beslenme uygulamaları

Süt ve süt ürünleri, kalsiyum başta olmak üzere proteinler, mineraller, çoklu doymamış yağ asitleri ve bazı hastalıkların önlenmesine katkı sağlayan besin ögeleri açısından önemli bir kaynaktır (Szilagyi ve Ishayek, 2018). Güncel yaklaşımlar doğrultusunda, laktoz intoleransı bulunan bireylerde süt içermeyen bir diyetin uygulanması artık önerilmemektedir. Bunun nedeni, intoleransı olan birçok kişinin günlük yaklaşık 12–15 g laktozu, yani yaklaşık 250 mL süte karşılık gelen miktarı, herhangi bir belirti gelişmeden tolere edebilmesidir. Bu nedenle geçerli bir strateji olarak bu hastalarda laktoz toleransını artırmak gereklidir (Rozenberg ve ark., 2016; Boukria ve ark., 2020).

Laktozun neden olduğu karınla ilişkili rahatsızlıkların ortaya çıkmasını engellemek ve süt ürünlerinde bulunan besin ögelerinin alımını sürdürebilmek amacıyla laktozsuz gıda ürünlerinin üretimi geliştirilmiştir. Beslenme açısından, klasik süt ürünlerine alternatif olarak kullanılabilirler, ancak laktoz içermezler. Olgunlaşma sürecinde bakteriler mevcut tüm laktozu tüketirler. Dolayısıyla taze peynirlerin aksine az veya hiç laktoz içermeyen olgunlaştırılmış peynirlerin tüketimi teşvik edilmelidir (Catanzaro ve ark., 2021).

Laktoz içeriği bulunan besinler:

- İnek, keçi ve koyun kaynaklı sütler
- Dondurma ile şerbet bazlı tatlılar
- Tereyağı ve margarin çeşitleri
- Ayran, krema, ekşi krema ve kahve için kullanılan kremalar
- Krema peyniri, süzme peynir, ricotta ve mascarpone gibi yumuşak peynir türleri
- Buharlaştırılmış süt, yoğunlaştırılmış süt ve süt tozu

- Puding ve muhallebi türü sütlü tatlılar
- Peynir altı suyu proteinleri, özellikle konsantre formları
- Hazırlanmasında süt veya tereyağı kullanılan krep ve waffle

Yoğurt, içeriğinde değişen miktarlarda laktoz bulundurur ve bazı bireylerde gastrointestinal semptomların ortaya çıkmasına neden olabilir. Ancak canlı yoğurt kültürleri, β -galaktosidaz sentezleyerek vücutta laktoz sindirim kapasitesini artırabilmektedir. Badem, hindistan cevizi ve soya gibi bitkisel kökenli süt alternatifleri laktoz içermeyen seçenekler olarak öne çıkmakla birlikte, tat özellikleri, besin ögesi yeterliliği ve üretim ile işleme süreçlerine ilişkin güçlükler konusundaki endişeler varlığını sürdürmektedir (Goosenberg ve Afzal, 2025).

Laktoza ek olarak, sütte bulunan ve gastrointestinal bozukluklara neden olabilecek beta-kazeinler diğer besin bileşenleri de dikkate alınmalıdır (Pal ve ark., 2015). Ayrıca Laktaz içeren süt ürünleri ve kalsiyum takviyesi önerilmektedir (Goosenberg ve Afzal, 2025).

Laktaz enzimi, *Kluyveromyces lactis* gibi maya türlerinden ya da *Aspergillus oryzae* ve *Aspergillus niger* gibi mantar kaynaklarından elde edilebilmektedir. Laktaz enzim takviyeleri tablet veya damla şeklinde mevcuttur (Corgneau ve ark., 2017; O'Connell ve Walsh, 2008). Kemik bütünlüğünün korunması amacıyla, kalsiyum ve D vitamini desteği önerilmektedir (Vonk ve ark., 2003).

Laktaz ekspresyonunu artırmaya yönelik etkili bir yöntem bulunmamakla birlikte, bağırsak mikrobiyotasının modülasyonu semptom yönetiminde önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bağırsak mikrobiyotası erken yaşamda şekillenmekte ve diyetle değiştirilebilmektedir. Özellikle *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* türleri, laktozu gaz üretmeden fermente edebilme yetenekleri sayesinde şişkinlik, gaz ve karın ağrısı gibi semptomların azalmasına katkı sağlayabilmektedir (Gingold-Belfer ve ark., 2020; Cano-Contreras ve ark., 2020; Leis ve ark., 2020).

Prebiyotikler, yararlı bakterilerin büyümesini destekleyen substratlar olup galaktooligosakkaritler (GOS) bu alanda en çok çalışılan bileşenlerdendir. GOS'un kolonda fermente edilmesi, laktoz fermente eden bakteri popülasyonunu artırabilmektedir. Klinik bulgular, düzenli GOS veya düşük doz laktoz tüketiminin β -galaktosidaz aktivitesini artırabildiğini ve

nefes hidrojen düzeylerini azaltabildiğini göstermektedir. Ancak semptomlardaki iyileşme bireyler arasında değişkenlik gösterebilmektedir (Pakdaman ve ark., 2016; Gingold-Belfer ve ark., 2020; Cano-Contreras ve ark., 2020). Sindirilemeyen oligosakkaritler olan fruktozlar ve galaktanlar olan prebiyotikler laktozu fermente edebilen bakteri florasının büyümesini ve çoğalmasını uyarırlar. Dolaylı olarak, Laktoz intoleransı semptomları üzerinde de olumlu etkileri vardır (Rastall ve Gibson, 2015; Leis ve ark., 2020).

8.2. Laktoz intoleransında sütün kullanımı ve önemi

Bebekler, laktoz bazlı beslenmeye adapte olarak dünyaya gelirler. Anne sütü veya laktoz bazlı formülle beslenen bebeklerin kanında, laktozsuz formülle beslenen bebeklere kıyasla daha yüksek glikoz ve aminoasitler gibi diğer besin maddeleri bulunmuştur. Laktoz, diş çürüğü gelişme riskini artırmadığı bilinen tek mono- veya disakkarit olarak kabul edilmektedir (Misselwitz ve ark., 2019).

Süt ürünlerinin yetersiz tüketimi ile görülme sıklığını etkilediği görülen kanserler arasında dünya çapında yüksek bir görülme sıklığı olan kolorektal kanser de bulunmaktadır. Süt tüketiminin, kolorektal kanser gelişme riskinin azalmasıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir. Sütün bu olumlu etkisi, kalsiyum ve D vitamini de dahil olmak üzere sütün bileşenlerinden kaynaklanabilir (Hull ve ark., 2020; Amiri ve ark., 2015).

Kalsiyumun ana kaynağı süt ve ürünleridir. Kalsiyum, anti-karsinojenik özellik gösteren bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Kalsiyum hücre farklılaşması ve apoptoz mekanizmalarında da rol oynar. Yapılan meta-analizlerde, süt ve süt ürünlerinin tüketiminin artmasının meme kanseri riskinin azalmasıyla ilişkili olabileceği gösterilmiştir. Bu kanser türünde gözlenen koruyucu anti-karsinojenik etkinin, esas olarak süt ve süt ürünlerinde yer alan kalsiyum, D vitamini, bütirat, laktoferrin ve konjuge linoleik asit bileşenlerine atfedildiği bildirilmektedir (Aune ve ark., 2012; Zang ve ark., 2015).

Süt ürünleri tüketimi ile mide kanseri riski arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların bir meta-analizi, toplam süt ürünlerinin mide kanseri riskinin azalmasıyla ilişkili olabileceğini, ancak süt tüketiminin mide kanseri

riskiyle ilişkili olmadığını öne sürmüştür. Süt ürünleri alımı ile hipertansiyon, inme ve metabolik sendrom ve tip 2 diyabet mellitus (T2DM) riski arasında azalmış riski destekleyen birçok çalışma ortaya çıkmıştır (Guo ve ark., 2015; Romero-Velarde ve ark., 2019).

Laktoz intoleransı olan bireylerde süt ürünleri alımının azalması, osteoporoz ve kırık riskinin artmasına neden olmaktadır. Süt ve ürünlerinde bulunan kalsiyum, D vitamini ve protein kemik kütlesinin ve yapısının korunması için gereklidir. Ayrıca, süt ve süt ürünlerinde yer alan A vitamini, potasyum, çinko ve magnezyum, kemik dokusunun oluşumu ve sürdürülmesinde önemli rol oynayan besin öğeleri arasında yer almaktadır. Laktoz intoleransı olan kişilerde kalsiyumun bağırsak emiliminde de azalma görülür (Fedota ve ark., 2020; Martin-Bautista ve ark., 2010; Obermayer-Pietsch ve ark., 2004).

9. Laktoz İntoleransında Nanoteknolojik Gelişmeler

Son yıllarda nano boyutlu malzemeler, yüksek hassasiyet, seçicilik ve taşınabilirlikleri sayesinde laktoz intoleransında tanı ve tedavi süreçlerinde önemli bir potansiyel sunmaktadır. Tanıda; hidrojen nefes testinin hassasiyetini artıran nano tabanlı sensörler, laktoz ve ilgili metabolitlerin izlenmesine olanak sağlayan biyosensörler ve genetik polimorfizmlerin saptanmasında kullanılan nanopartikül destekli moleküler yöntemler ile laktoz, ilgili metabolitler ve genetik varyantlar yüksek özgüllükle tespit edilebilmektedir.

Terapötik alanda ise nanoteknoloji, laktaz enziminin stabilitesini ve biyoyararlanımını artırmaya odaklanmakta; nanopartikül temelli immobilizasyon, kapsülleme ve taşıyıcı sistemler ile laktoz hidrolizinde yüksek verim sağlanmaktadır. Ayrıca nano kapsüllenmiş probiyotikler ve polimer bazlı sistemler, semptomların azaltılması ve laktozsuz ürünlerin geliştirilmesinde umut verici yaklaşımlar sunmaktadır. Genel olarak nanoteknoloji, laktoz intoleransının tanı, tedavi ve yönetiminde daha etkili ve hasta uyumunu artıran çözümler geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Tariq ve ark., 2024).

SONUÇ

Laktoz intoleransı, laktaz enziminin yetersizliği nedeniyle süt ve süt ürünlerinin sindirilememesi sonucu ortaya çıkan yaygın bir sindirim sistemi bozukluğudur. Belirtileri karın ağrısı, şişkinlik, gaz ve ishali içerir ve diğer gastrointestinal hastalıklarla karışabilir. Tanı yöntemleri arasında hidrojen nefes testi, invaziv olmaması ve yüksek doğruluğu nedeniyle sık tercih edilir; ancak semptom değerlendirmesiyle desteklenmelidir. Prebiyotikler, bağırsaktaki yararlı bakterilerin büyümesini teşvik ederek semptomları hafifletebilir. Tedavi genellikle bireye özel diyet düzenlemeleriyle yapılır; az miktarda süt ürünü birçok kişi tarafından tolere edilebilir ve ekzojen enzim veya probiyotik takviyeleri yardımcı olabilir. Bitki bazlı süt alternatifleri kullanılsa da besin yeterliliğine dikkat edilmelidir. Gelecekte, laktaz üretimi ve vücutta laktaz aktivitesini artıracak yöntemlerin geliştirilmesi araştırma alanı olarak önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Amiri, M., Diekmann, L., von Köckritz-Blickwede, M., Naim, H. Y. (2015). The diverse forms of lactose intolerance and the putative linkage to several cancers. *Nutrients*, 7, 7209-30. doi:10.3390/nu7095332.
- Angima, G., Qu, Y., Park, S. H., & Dallas, D. C. (2024). Prebiotic strategies for managing lactose intolerance symptoms. *Foods*, 16(7), 1002. <https://doi.org/10.3390/nu16071002>
- Aune, D., Lau, R., Chan, D. S., Vieira, R., Greenwood, D. C, Kampman E., et al. (2012). Dairy products and colorectal cancer risk: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Ann Oncol.*, 23, 37-45. doi:10.1093/annonc/mdr269.
- Bayless, T. M., Brown, E., Paige, D. M. (2017). Lactase Non-persistence and Lactose Intolerance. *Curr Gastroenterol Rep.*, 19(5), 23.
- Beyerlein, L., Pohl, D., Delco, F., Stutz, B., Fried, M., Tutuian, R. (2008). Correlation between symptoms developed after the oral ingestion of 50 g lactose and results of hydrogen breath testing for lactose intolerance. *Aliment Pharmacol Ther.*, 27(8), 659-65.
- Borrallho, A. I., Marcos, P. (2025). Lactose Intolerance and Malabsorption Revisited: Exploring the Impact and Solutions-Review Article. *GE Port J Gastroenterol*, 32, 350-357. DOI: 10.1159/000545923
- Boukria, O., El Hadrami, E. M., Boudalia, S., Safarov, J., Leriche, F., Aït-Kaddour, A. (2020). The effect of mixing milk of different species on chemical, physicochemical, and sensory features of cheeses: a review. *Foods*, 9, 1309. doi:10.3390/foods9091309.
- Burke, M. (2019). Carbohydrate Intolerance and Disaccharidase Measurement - a Mini-Review. *Clin Biochem Rev.*, 40(4), 167-174.
- Cano-Contreras, A. D., Minero Alfaro I. J., Medina López, V. M., Amieva Balmori, M., Remes Troche, J. M, Espadaler Mazo, J., et al. (2020). Efficacy of Probiotic on improvement of lactose intolerance symptoms: a randomized, placebo-controlled clinical trial. *J Clin Gastroenterol*, Online ahead of print. doi:10.1097/MCG.0000000000001456.

- Cash, B.D., Patel, D., Scarlata, K. (2025). Demystifying Carbohydrate Maldigestion: A Clinical Review. *Am J Gastroenterol*, 120(4S), 1-11.
- Catanzaro, R., Sciuto, M., & Marotta, F. (2021). Lactose intolerance: An update on its pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Nutrition research* (New York, N.Y.), 89, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.02.003>
- Corgneau, M., Scher, J., Ritie-Pertusa, L., Le, D. T. L, Petit, J., Nikolova, Y., Banon, S., Gaiani, C. (2017). Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 57(15), 3344-3356. doi:10.1080/10408398.2015.1123671.
- Di Stefano, M., Miceli, E., Mazzocchi, S., Tana, P., Moroni, F., Corazza, G.R. (2007). Visceral hypersensitivity and intolerance symptoms in lactose malabsorption. *Neurogastroenterol Motil.*, 19(11), 887-95.
- Fedota, O., Babalian, V., Ryndenko, V., Belyaev, S., Belozorov, I. (2020). Lactose tolerance and risk of multifactorial diseases on the example of gastrointestinal tract and bone tissue pathologies. *Georgian Med News*, (303), 109-13.
- Gaucheron, F. (2011). Milk and Dairy Products: A Unique Micronutrient Combination. *J. Am. Coll. Nutr.*, 30, 400S-409S.
- Gingold-Belfer, R., Levy, S., Layfer, O., Pakanaev, L., Niv, Y., Dickman, R., et al. (2020). Use of a novel probiotic formulation to alleviate lactose intolerance symptoms-a pilot study. *Probiotics Antimicrob Proteins*, 12, 112-18. doi:10.1007/s12602-018-9507-7.
- Goosenberg, E., Afzal, M. (2025). Lactose Intolerance. [Updated 2025 Aug 6]. In: StatPearls Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532285/>
- Guo, Y., Shan, Z., Ren, H., Chen, W. (2015). Dairy consumption and gastric cancer risk: a meta-analysis of epidemiological studies. *Nutr Cancer*, 67, 555-68. doi:10.1080/01635581.2015.1019634.
- Hammer, H. F, Fox, M. R, Keller, J., Salvatore, S., Basilisco, G., Hammer, J., et al. (2022). European guideline on indications, performance, and clinical impact of hydrogen and methane breath tests in adult and

- pediatric patients: European Association for Gastroenterology, Endoscopy and Nutrition, European Society of Neurogastroenterology and Motility, and European Society for Paediatric Gastroenterology Hepatology and Nutrition consensus. *United European Gastroenterol J.*, 10(1), 15-40. <https://doi.org/10.1002/ueg2.12133>
- Hull, R., Francies, F.Z., Oyomno, M., Dlamini, Z. (2020). Colorectal cancer genetics, incidence and risk factors: in search for targeted therapies. *Cancer Manag Res*, 12, 9869-82. doi:10.2147/CMAR.S251223.
- Jansson-Knodell, C. L., Krajicek, E. J., Savaiano, D. A, Shin, A. S. (2020). Lactose intolerance: a concise review to skim the surface. *Mayo Clin Proc.*, 95(7), 1499-505. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.04.036>
- Khalid, S., Amjad, Y., Zafar, L., Khan, O., Shahzadi, L., Aminullah S., Rafa, A. (2024). Systematic review: Diagnosis, treatment and management strategies of lactose intolerance. *Open Access Research Journal of Biology and Pharmacy*, 12(01), 001-013. DOI:<https://doi.org/10.53022/oarjbp.2024.12.1.0032>
- Kuokkanen, M., Myllyniemi, M., Vauhkonen, M., Helske, T., Kääriäinen, I., Karesvuori, S., et al. (2006). A biopsy-based quick test in the diagnosis of duodenal hypolactasia in upper gastrointestinal endoscopy. *Endoscopy*, 38, 708-12. doi:10.1055/s-2006-925354.
- Leis, R., de Castro, M.J, de Lamas, C., Picáns, R., Couce, M.L. (2020). Effects of prebiotic and probiotic supplementation on lactase deficiency and lactose intolerance: a systematic review of controlled trials. *Nutrients*, 12(5), 1487. <https://doi.org/10.3390/nu12051487>
- Lomer, M. C., Parkes, G. C, Sanderson, J. D. (2008). Review article: lactose intolerance in clinical practice--myths and realities. *Aliment Pharmacol Ther.*, 27(2), 93-103.
- Martin-Bautista, E., Muñoz-Torres, M., Fonolla, J., Quesada, M., Poyatos, A., Lopez-Huertas, E. (2010). Improvement of bone formation biomarkers after 1-year consumption with milk fortified with eicosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid, oleic acid, and selected vitamins. *Nutr Res.*, 30, 320--6. doi:10.1016/j.nutres..05.007.
- Martínez Vázquez, S. E., Nogueira de Rojas, J. R., Remes Troche, J. M., Coss Adame, E., Rivas Ruíz, R., Uscanga Domínguez, L. F. (2020).

- The importance of lactose intolerance in individuals with gastrointestinal symptoms. *Rev Gastroenterol Mex.*, 85, 321-31. doi:10.1016/j.rgmex.2020.03.002.
- McFee, R. B. (2024). Lactose intolerance - A practical approach, Part 1. Disease-a-month: *DM*, 70(12), 101823. <https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2024.101823>
- Misselwitz, B., Butter, M., Verbeke, K., Fox, M. R. (2019). Update on lactose malabsorption and intolerance: pathogenesis, diagnosis and clinical management. *Gut*, 68 (11), 2080-2091. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2019-318404>
- Obermayer-Pietsch, B.M., Bonelli, C.M., Walter, D.E., Kuhn, R.J., Fahrleitner-Pammer, A., Berghold, A., et al. (2004). Genetic predisposition for adult lactose intolerance and relation to diet, bone density, and bone fractures. *J Bone Miner Res.*, 19, 42-7. doi:10.1359/JBMR.0301207.
- O'Connell, S., Walsh, G. (2008). Application relevant studies of fungal beta-galactosidases with potential application in the alleviation of lactose intolerance. *Appl Biochem Biotechnol.*, 149(2), 129-38.
- Pakdaman, M.N., Udani, J.K., Molina, J.P., Shahani, M. (2016). The effects of the DDS-1 strain of lactobacillus on symptomatic relief for lactose intolerance - a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover clinical trial. *Nutr J.*, 15(1), 56.
- Pal, S., Woodford, K., Kukuljan, S., Ho, S. (2015). Milk intolerance, beta-casein and lactose. *Nutrients*, 7, 7285-97. doi:10.3390/nu7095339.
- Rao, S. S. C. (2025). Fructose and Lactose Malabsorption or Intolerance or Hypersensitivity: Which Triggers Symptoms and Why? *Am J Gastroenterol.*, 26.
- Rastall, R.A., Gibson, G.R. (2015). Recent developments in prebiotics to selectively impact beneficial microbes and promote intestinal health. *Curr Opin Biotechnol.*, 32, 42-6. doi:10.1016/j.copbio.2014.11.002.
- Robles, L., Priefer, R. (2020). Lactose intolerance: what your breath can tell you. *Diagnostics*, 10, 412. doi:10.3390/diagnostics10060412.
- Romero-Velarde, E., Delgado-Franco, D., García-Gutiérrez, M., Gurrola-Díaz, C., Larrosa-Haro, A., Montijo-Barrios, E., et al. (2019). The

- importance of lactose in the human diet: outcomes of a Mexican consensus meeting. *Nutrients*, 11, 2737. doi:10.3390/nu11112737.
- Rozenberg, S., Body, J. J., Bruyère, O., Bergmann, P., Brandi, M.L., Cooper, C., et al. (2016). Effects of dairy products consumption on health: benefits and beliefs - A commentary from the Belgian Bone Club and the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases. *Calcif Tissue Int.*, 98, 1-17. doi:10.1007/s00223-015-0062-x.
- Santonocito, C., Scapaticci, M., Guarino, D., Annicchiarico, E.B., Lisci, R., Penitente, R., et al. (2015). Lactose intolerance genetic testing: Is it useful as routine screening? Results on 1426 south-central Italy patients. *Clin Chim Acta.*, 439, 14-17. doi:10.1016/j.cca.2014.09.026.
- Shepherd, S. J., Lomer, M. C., Gibson, P. R. (2013). Short-chain carbohydrates and functional gastrointestinal disorders. *Am J Gastroenterol.*, 108, 707-17. doi:10.1038/ajg.2013.96.
- Shrier, I., Szilagyi, A., Correa, J. A. (2008). Impact of lactose containing foods and the genetics of lactase on diseases: an analytical review of population data. *Cancer Nutr.*, 6, 292-300. doi:10.1080/01635580701745301.
- Silanikove, N., Leitner, G., Merin, U. (2015). The interrelationships between lactose intolerance and the modern dairy industry: global perspectives in evolutionary and historical backgrounds. *Nutrients*, 7, 7312-31. doi:10.3390/nu7095340.
- Szilagyi, A., Ishayek, N. (2018). Lactose intolerance, dairy avoidance, and treatment options. *Nutrients*, 10. doi:10.3390/nu10121994.
- Tariq, Z., Qadeer, M. I., Anjum, A., Anjum, S., Hasan, M. (2024). Nondiagnostic advancements in revolutionizing lactose intolerance: A minireview for health sciences. *Hybrid Advances*, 6, 100264. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100264>
- Ugidos-Rodríguez, S., Matallana-González, M. C., Sánchez-Mata, M. C. (2018). Lactose malabsorption and intolerance: a review. *Food Funct.*, 9, 4056-68. doi:10.1039/c8fo00555a.
- Upton, J., Mackay, R., George, P. (2007). A simple gene test for lactose intolerance/adult hypolactasia. *N Z Med J.*, 120(1265), U2817.

- Vandenplas, Y., (2015). Lactose intolerance. *Asia Pac J Clin Nutr.*, 24, S9-13. doi:10.6133/apjcn.2015.24.s1.02.
- Vonk, R. J., Priebe, M. G., Koetse, H. A., Stellaard, F., Lenoir-Wijnkoop, I., Antoine, J. M., Zhong, Y., Huang, C. Y. (2003). Lactose intolerance: analysis of underlying factors. *Eur J Clin Invest.*, 33(1), 70-5.
- Waud, J, P., Matthews, S. B., Campbell, A. K., (2008). Measurement of breath hydrogen and methane, together with lactase genotype, defines the current best practice for investigation of lactose sensitivity. *Ann Clin Biochem.*, 45(Pt 1), 50-8.
- Zang, J., Shen, M., Du, S., Chen, T., Zou, S. (2015). The association between dairy intake and breast cancer in Western and Asian Populations: a systematic review and meta-analysis. *J Breast Cancer*, 18, 313-22. doi:10.4048/jbc.2015.18.4.313.
- Zhong, Y., Priebe, M. G, Vonk, R. J., Huang, C. Y., Antoine, J. M, He, T., Harmsen, H. J., Welling, G. W. (2004). The role of colonic microbiota in lactose intolerance. *Dig Dis Sci.*, 49(1), 78-83.
- Zingone, F., Bertin, L., Maniero, D., Palo, M., Lorenzon, G., Barberio, B., et al. (2023). Myths and facts about food intolerance: a narrative review. *Nutrients*, 15(23), 4969. [https://doi.org/ 10.3390/nu15234969](https://doi.org/10.3390/nu15234969)

BÖLÜM 11

SÜT MATRİSİNİN BESLENME VE SAĞLIK AÇISINDAN ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Davut KARAHAN¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18156880>

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Arı ve Arı Ürünleri Anabilim Dalı, Bingöl, Türkiye. dkarahan@bingol.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-4571-1095

GİRİŞ

Diğer canlılarda olduğu gibi insanlarda da beslenme, sağlığın korunması ve sürdürülmesinde temel unsurlardan biridir. Yeterli ve dengeli beslenme yalnızca enerji gereksiniminin karşılanmasını sağlamaz; aynı zamanda genel sağlık durumunu koruma, fizyolojik fonksiyonların devamlılığına katkıda bulunur, hastalıklara karşı direnci destekler ve yaşam kalitesini artırır. Beslenme sürecinin temelini, gıdaların sindirim yoluyla vücut tarafından kullanılabilir hale getirilmesi oluşturmaktadır (Özay Arancioğlu, 2021).

Besinlerin insan vücudundaki işlevleri farklı bakış açılarıyla ele alınmaktadır. En temel yaklaşımla besinler, metabolik faaliyetlerin sürdürülebilmesi için gerekli enerjiyi sağlayan birer yakıt olarak değerlendirilebilir (El Sohaimy, 2012). Bununla birlikte güncel beslenme biliminde, besinlerin yalnızca enerji sağlayıcı unsurlar olmadığı; aynı zamanda hastalıkların önlenmesi ve iyileştirilmesinde gerekli olan bileşenleri içermesidir. Bu nedenle, kronik hastalıkların önlenmesinde rol oynayan “temel besin öğeleri” insan beslenmesine yönelik araştırmaların uzun yıllardır merkezinde yer almaktadır (Beecher, 1999).

FONKSİYONEL GIDA

Hipokrat’a atfedilen ve “gıdanın ilaç, ilacın ise gıda olması” gerektiğini vurgulayan yaklaşım, modern beslenme bilimiyle birlikte yeniden önem kazanmıştır. Bu anlayış, fonksiyonel gıda kavramının gelişmesine zemin hazırlamıştır. Fonksiyonel gıdalar, protein, karbonhidrat ve lipid gibi temel makro besin öğelerinin ötesinde, insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösterebilen bileşenler içeren gıdalar olarak tanımlanmaktadır. Bu tür gıdalar; vitaminler, mineraller, polifenoller, flavonoidler, antioksidanlar, probiyotikler, amino asitler, yağ asitleri ve çeşitli ikincil metabolitler bakımından zengin bir bileşime sahiptir. (Barba ve ark., 2019).

Literatürde bu bileşiklerin antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antidiyabetik, nöroprotektif ve kardiyovasküler sistem üzerine koruyucu etkiler gösterebildiği bildirilmektedir. Bu bağlamda, biyoaktif bileşenler hücresel savunma mekanizmalarının desteklenmesi, doku yenilenmesi ve metabolik dengenin korunması gibi birçok fizyolojik süreçte rol oynadığı düşünülmektedir. Dolayısıyla bireylerin, sağlık hedeflerine ulaşabilmeleri için

beslenme alışkanlıklarında çeşitliliği ve dengeyi esas alan bir yaklaşım benimsemeleri bu bağlamda büyük önem taşımaktadır (Cianciosi ve ark., 2020; Wildman, 2001).

Son yıllarda beslenme bilimi, tek tek besin ögelerine odaklanan yaklaşımlardan uzaklaşarak, gıdaların bir bütün olarak değerlendirilmesini esas alan daha kapsamlı bir bakış açısına yönelmiştir. Bu yeni yaklaşımda, belirli bir gıda grubunun veya diyet modelinin sağlık üzerindeki etkilerinin yalnızca içerdiği besin ögelerinden olmamaktadır. Aynı zamanda besin dışı bileşenlerden ve bu bileşenler arasındaki fizikokimyasal etkileşimlerden kaynaklandığı kabul edilmektedir. Su, prebiyotikler, fitokimyasallar, hücresel yapılar ve mikroorganizmalar gibi unsurların oluşturduğu bu bütünsel yapı, literatürde “gıda matrisi” kavramı ile ifade edilmektedir (Aguilera, 2019; Klurfeld 2024). Gıda matrisi yaklaşımı, tam gıdaların sağlık etkilerinin anlaşılmasında, izole besin ögelerine dayalı değerlendirmelere kıyasla daha gerçekçi ve bütüncül bir çerçeve sunduğunu düşündürmektedir (Comerford ve ark., 2025). Temel besin ögeleri sağlık açısından kritik öneme sahip olsa da, bu ögelerin biyolojik etkilerinin büyük ölçüde bulundukları gıda matrisi tarafından şekillendirildiği gösterilmiştir (Aguilera, 2019).

Örneğin, kalsiyumun (Ca) takviye formunda alımının bazı kalp hastalıkları riskleriyle ilişkilendirildiği, buna karşın doğal gıdalar yoluyla alınan kalsiyumun benzer riskler taşımadığı bildirilmiştir (Yang ve ark., 2020).

Benzer şekilde, beta-karotenin bütün gıdalar içerisinde tüketildiğinde koruyucu etki gösterirken, yüksek dozlu takviye formunda olumsuz sağlık sonuçlarına yol açabildiğini düşündürmektedir. Bu bulgular, besin ögelerinin gıda matrisi içerisinde tüketilmesinin sağlık üzerindeki etkiler açısından belirleyici olduğunu göstermektedir (Yang ve ark. 2022).

Buna ek olarak, gıdalar yalnızca temel makro ve mikro besin ögelerinin kaynağı olmakla sınırlı değildir. Aynı zamanda insan sağlığı üzerinde biyolojik etki gösterebilen çok sayıda biyoaktif bileşiği de bünyelerinde barındırmaktadır (Thorning ve ark., 2017). Güncel beslenme rehberlerinde önerilen tüm gıda gruplarının prebiyotikler, polifenoller, flavonoidler, fonksiyonel lipidler ve çeşitli fitokimyasallar gibi sağlıkla ilişkili bileşenleri farklı oranlarda içerdiği bildirilmektedir. Bu bileşikler, insan yaşamı için temel besin ögeleri gibi zorunlu kabul edilmemekle birlikte, düzenli ve yeterli

düzeylerde tüketildiklerindeki fizyolojik süreçler üzerinde olumlu etkiler gösterebilmektedir (Liu ve ark., 2020; Özcan 2023; Quintieri ve ark., 2024).

Literatürde, bu tür biyoaktif bileşenlerin oksidatif stresin azaltılması, anti-inflamatuvar, bağışıklık sisteminin desteklenmesi ve metabolik dengenin korunması gibi mekanizmalar aracılığıyla kronik hastalık riskini azaltabildiği belirtilmektedir (Comerford ve ark., 2025; Azad, 2019; Oyenihı ve ark., 2022). Ayrıca bazı biyoaktif bileşiklerin enerji metabolizması ve kas fonksiyonu üzerindeki olumlu etkileri sayesinde kilo yönetimine katkı sağlayabildiği ve fiziksel performansın iyileştirilmesine yardımcı olabildiği de rapor edilmiştir (Konstantinidi ve Koutelidakis 2019; Abril ve ark., 2024). Bu yönüyle gıdalar, yalnızca beslenme gereksinimlerini karşılayan unsurlar değil, aynı zamanda sağlığın sürdürülmesinde ve iyileştirilmesinde rol oynayan kompleks sistemler olarak değerlendirilmektedir (Koyama ve ark., 2024; Jerger ve ark., 2023).

Gıda, bireylerin günlük yaşamında yalnızca biyolojik gereksinimleri karşılayan bir unsur olmanın ötesinde kültürel alışkanlıklar, davranış kalıpları ve duygusal faktörlerle şekillenen çok boyutlu bir olgudur. Yemek tercihleri; bireyin yaşadığı toplum, gelenekler, sosyoekonomik koşullar ve kişisel deneyimlerden önemli ölçüde etkilendiği düşünülmektedir. Bununla birlikte günümüzde beslenme alışkanlıkları, yalnızca bireysel sağlıkla değil; çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların kullanımı ve küresel sağlık sorunları ile de doğrudan ilişkilendirilmektedir (Turgeon ve Brisson, 2020).

Bu bağlamda Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) sürdürülebilir diyeti; biyolojik çeşitliliği ve ekosistemleri koruyan, kültürel olarak kabul edilebilir, ekonomik açıdan erişilebilir ve aynı zamanda beslenme açısından yeterli, güvenli ve sağlıklı bir beslenme modeli olarak tanımlamaktadır (Burlingame ve Dernini, 2012).

Ancak modern beslenme alışkanlıklarının, besin eksikliklerini azaltmaya yönelik yaklaşımlardan giderek uzaklaştığı ve aşırı enerji alımı, dengesiz beslenme ve obezite ile ilişkili kronik hastalıkların ön plana çıktığı ve bu bağlamda değerlendirilmesi uygun görünmektedir. Güncel küresel veriler, diyetle bağlantılı risk faktörlerinin özellikle kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölüm oranında önemli bir paya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, beslenmeye yönelik yalnızca tek tek besin öğelerine odaklanan yaklaşımların yetersiz kaldığını ve gıdaların yapısal bütünlüğü, bileşenler arası etkileşimleri

ve tüketim biçimlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır (Mozaffarian ve Ludwig, 2010).

GIDA MATRİSİ

Gıda matrisinin sağlık üzerindeki etkileri, farklı gıdalarda yer alan besin öğelerinin sindirim süreci, emilim mekanizmaları ve biyoyararlanım düzeylerinde önemli ölçüde değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmalar, bir gıdanın fiziksel ve yapısal özelliklerinin, tüketim sonrasında bileşenlerin sindirim enzimlerine maruziyetini, gastrointestinal sistemdeki dağılım davranışını ve matrisi terk ederek emilme biçimini belirgin şekilde etkili olduğunu düşündürmektedir (Aguilera, 2019). Bu yapısal etkiler, gıdaların yalnızca kimyasal bileşimleriyle değil, aynı zamanda organizmada oluşturdukları fizyolojik yanıtlarla da bire bir ilişkilidir. Dolayısıyla gıdalara verilen metabolik ve hormonal yanıtlar değişmekte, buna bağlı olarak uzun vadeli hastalık riskleri de değişebilmektedir. Nitekim hem *in vitro* sindirim modelleri hem de klinik çalışmalar, besin öğelerinin izole edilmiş hallerinde değil, doğal gıda matrisi içerisinde tüketildiğinde lipid ve protein profilleri başta olmak üzere metabolik parametreler üzerinde farklılıklar oluşturduğunu göstermektedir. Gıda matrisinin bu belirleyici rolü; tahıllar, meyveler ve diğer bitkisel gıdalar gibi farklı gıda gruplarında da rapor edilmiş olup, toplu değerlendirme yaklaşımının gerekliliğini ve bu bağlamda değerlendirilmesi uygun görünmektedir (Fardet, 2015; Fardet ve Richonnet, 2020).

SÜT MATRİSİ VE BESLENME

Diğer gıda gruplarında olduğu gibi, süt ve süt ürünlerinin de kendi özgün matrisi içerisinde ele alınması ve bu kapsamda incelenmesi büyük önem taşıdığını düşündürmektedir. Süt ürünleri; mineraller, vitaminler, yağlar, laktoz ve proteinler gibi temel besin öğelerini bünyelerinde barındırmakta, bazı fermente çeşitler ise ilave olarak canlı mikroorganizmalar (probiyotikler gibi) içermektedir (Mulet-Cabero ve ark., 2024).

Bir süt ürününün besinsel ve fizyolojik özellikleri, yalnızca içerdiği bileşenlerden değil, bu bileşenlerin birbirleriyle etkileşimi sonucunda oluşan yapısal değişkenliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu etkileşimler, literatürde “süt matrisi” olarak tanımlanan ve kendine özgün bir yapının ortaya

çıkmasına yol açmaktadır. Temel olarak bir süt sistemi, proteinler, mineraller ve suda çözünen vitaminleri içeren sürekli bir sulu faz içerisinde dağılmış yağ damlacıklarından oluşan doğal bir emülsiyon olarak tanımlanabilir (Walstra ve ark., 2005). Bununla birlikte peynir, yoğurt ve diğer süt ürünlerinin bileşimi ve yapısı kullanılan süt türüne, uygulanan teknolojik proseslere ve fermentasyon süreçlerine bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterebilmektedir (Mulet-Cabero ve ark., 2024).

Süt matrisi, farklı yapısal düzeylerde tanımlanabilen karmaşık bir yapıya sahiptir. Bunlar:

- Moleküler düzeyde; süt proteinlerinin birincil, ikincil, üçüncül ve dördüncü yapıları mineral bağlanmaları ve protein-protein etkileşimleri
- Mikroskobik düzeyde; özellikle kazein misellerinin oluşturduğu protein ağı ve yağ damlacıklarının bu ağ içerisindeki dağılımı
- Makroskobik düzeyde ise ürünün dokusal özellikleri, viskozitesi ve fiziksel stabilitesi öne çıkmaktadır.

Bu çok katmanlı yapı besin öğelerinin sindirim hızını, enzimlere erişilebilirliğini ve gastrointestinal sistemdeki salınım kinetiğini düzenleyerek fizyolojik yanıtların şekillenmesinde kritik rol oynamaktadır. Dolayısıyla, süt matrisinde meydana gelen yapısal farklılıklar, sindirimin kapsamını ve hızını etkileyerek besin öğelerinin biyoyararlanımında doğrudan rol almaktadır (Thorning ve ark., 2017).

Besin değeri açısından zengin olmaları nedeniyle süt ve süt ürünleri, dünyanın pek çok bölgesinde bilinen ve tarihsel olarak insan beslenmesinin temel bileşenlerinden biri olmuştur. Özellikle yüksek biyolojik değere sahip proteinler ile kalsiyumun önemli kaynağı olmaları, bu gıdaların beslenme bilimindeki yerini daha da güçlendirmiştir. Süt proteinlerinin amino asit profili ve kalsiyumun gıda matrisi içerisindeki biyoyararlanım avantajı, süt ürünlerini kemik sağlığı ve kas fonksiyonu açısından öne çıkan gıdalar hâline getirdiği düşünülmektedir. Bu besinsel özellikler, süt ürünlerinin uzun süredir “besleyici gıdalar” olarak tanınmasının temel sebepleri arasında yer almaktadır (Drewnowski ve Fulgoni, 2008).

Makroskopik ölçekte süt, serum fazı içerisinde homojen olarak dağılmış küçük süt yağı globüllerinden oluşan karmaşık bir dispers sistemi olarak tanımlanabilir. Mikroskobik ya da kolloidal düzeyde ise kazein miselleri,

globüler proteinler ve lipoprotein yapılar, laktoz, suda çözünen proteinler, mineraller, vitaminler ve diğer bileşenler açısından zengin bir ortamda süspansiyon hâlide bulunmaktadır. Bu yapısal organizasyon içerisinde süt yağı, doğal yağlar arasında en karmaşık bileşenlerden biri olarak kabul edilmektedir (Thorning ve ark., 2017).

Yaklaşık dört yüz farklı yağ asidi içeren süt yağı, esas olarak triasilgliseroller hâlinde esterleşmiş yapıdadır ve kendine has bir zar olan süt yağı globülü membranı ile çevrelenmiştir. Bu membran fosfolipitler ve çeşitli proteinlerden oluşan kutupsal lipidler açısından zengin bir bileşime sahiptir. Süt yağı globülünün bu karmaşık yapısı, yağın memeli süt bezlerinde sentezlenmesi ve salgılanması sırasında gerçekleşen biyolojik süreçlerin bir sonucu olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bu mükemmel yapı, süt yağının sindirim davranışını, lipitlerin emilim şeklini ve potansiyel biyoaktivitesini önemli ölçüde etkilemektedir (Månsson, 2008; Mather, 2000; Lopez, 2011).

Literatürde birçok araştırmada, süt ürünlerinin beslenme ve fizyolojik etkilerine bakıldığında bütünsel olarak dikkate alınması ve bu bağlamda değerlendirilmesi uygun görülmüştür (Turgeon ve Brisson, 2020).

SONUÇ

Sonuç olarak mevcut bilimsel çalışmalar, gıdaların sağlık üzerindeki etkilerinin yalnızca içerdiği besin öğelerinin kantitatif yani miktarsal olarak açıklanmasının her zaman yeterli olmayabileceğini göstermektedir. Bu kapsamda, gıda matrisinin yapısal özellikleri ile besin bileşenleri arasındaki etkileşimlerin, sindirim süreçleri ve emilim davranışları üzerinde belirli ölçüde etkili olabileceği anlaşılmaktadır. Özellikle süt ve süt ürünleri, farklı bileşenlerin özgün bir yapı içerisinde bir araya gelmesi nedeniyle, fizyolojik yapıların şekillenmesinde özenle değerlendirilmesi gereken gıda grupları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, süt ürünlerinin sağlık üzerindeki etkilerinin, tek tek besin öğelerine indirgenmeden, toplu bir gıda matrisi yaklaşımı çerçevesinde ele alınmasının daha kapsamlı bir değerlendirme olabileceği anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bu yaklaşımın beslenmeye yönelik yorumlara destekleyici nitelikte katkı sunmakla birlikte, farklı süt ürünleri, işleme prosesleri ve farklılıkları dikkate alan daha fazla deneysel ve klinik çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu da ortaya koymaktadır.

Bu nedenle, gıda matrisi kavramının gıda ve beslenme bilimi içerisindeki rolünün daha net biçimde tanımlanabilmesi için ileri araştırmaların yapılması ve değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

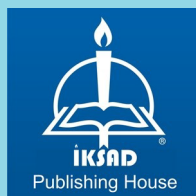
KAYNAKLAR

- Abril, A. G., Carrera, M., & Pazos, M. (2024). Marine bioactive compounds with functional role in immunity and food allergy. *Nutrients*, 16(16), 2592.
- Aguilera, J. M. (2019). The food matrix: implications in processing, nutrition and health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(22), 3612-3629.
- Azad, M. B. (2019). Infant feeding and the developmental origins of chronic disease in the CHILD cohort: role of human milk bioactives and gut microbiota. *Breastfeeding Medicine*, 14(S1), S-22.
- Barba, F. J., Saraiva, J. M. A., Cravotto, G., Lorenzo, J. M. (2019). Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds. *Woodhead Publishing*, Cambridge
- Beecher, G.R. (1999). Phytonutrients Role in Metabolism: Effect on Resistance to Degenerative Processes. *Nutrition Reviews*, 57: S3-S6
- Burlingame, B., & Dernini, S. (2012). Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Bioversity International
- Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Gasparrini, M., Quiles, J. L., Gil, E., Giampieri, F. (2020). The influence of in vitro gastrointestinal digestion on the anticancer activity of manuka honey. *Antioxidants*, 9(1), 64.
- Comerford, K. B., Unger, A. L., Cifelli, C. J., Feeney, E., Rowe, S., Weaver, C., & Brown, K. (2025). Decrypting the messages in the matrix: The proceedings of a symposium on dairy food matrix science and public health opportunities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-14.
- Drewnowski, A., & Fulgoni III, V. (2008). Nutrient profiling of foods: creating a nutrient-rich food index. *Nutrition reviews*, 66(1), 23-39.
- El Sohaimy, S. A. (2012). Functional foods and nutraceuticals-modern approach to food science. *World Applied Sciences Journal*, 20(5), 691-708.

- Fardet, A. (2015). A shift toward a new holistic paradigm will help to preserve and better process grain products' food structure for improving their health effects. *Food & Function*, 6(2), 363-382.
- Fardet, A., & Richonnet, C. (2020). Nutrient density and bioaccessibility, and the antioxidant, satiety, glycemic, and alkalinizing potentials of fruit-based foods according to the degree of processing: a narrative review. *Critical reviews in Food Science and nutrition*, 60(19), 3233-3258.
- Jerger, S., Jendricke, P., Centner, C., Bischof, K., Kohl, J., Keller, S., ... & König, D. (2023). Effects of specific bioactive collagen peptides in combination with concurrent training on running performance and indicators of endurance capacity in men: a randomized controlled trial. *Sports medicine-open*, 9(1), 103.
- Klurfeld, D. M. (2024). The whole food beef matrix is more than the sum of its parts. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(14), 4523-4531.
- Konstantinidi, M., & Koutelidakis, A. E. (2019). Functional foods and bioactive compounds: A review of its possible role on weight management and obesity's metabolic consequences. *Medicines*, 6(3), 94.
- Koyama, S., Joseph, P. V., Shields, V. D., Heinbockel, T., Adhikari, P., Kaur, R., ... & Voznessenskaya, V. V. (2024). Possible roles of phytochemicals with bioactive properties in the prevention of and recovery from COVID-19. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1408248.
- Liu, J., Yu, L. L., & Wu, Y. (2020). Bioactive components and health beneficial properties of whole wheat foods. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(46), 12904-12915.
- Lopez, C. (2011). Milk fat globules enveloped by their biological membrane: Unique colloidal assemblies with a specific composition and structure. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 16(5), 391-404.
- Månsson, H. L. (2008). Fatty acids in bovine milk fat. *Food & nutrition research*, 52, 10-3402.

- Mather, I. H. (2000). A review and proposed nomenclature for major proteins of the milk-fat globule membrane. *Journal of dairy science*, 83(2), 203-247.
- Mozaffarian, D., & Ludwig, D. S. (2010). Dietary guidelines in the 21st century—a time for food. *Jama*, 304(6), 681-682.
- Mulet-Cabero, A. I., Torres-Gonzalez, M., Geurts, J., Rosales, A., Farhang, B., Marmonier, C., ... & Peters, S. (2024). The dairy matrix: Its importance, definition, and current application in the context of nutrition and health. *Nutrients*, 16(17), 2908.
- Oyenihi, A. B., Belay, Z. A., Mditshwa, A., & Caleb, O. J. (2022). “An apple a day keeps the doctor away”: The potentials of apple bioactive constituents for chronic disease prevention. *Journal of food science*, 87(6), 2291-2309.
- Özay Arancıoğlu, İ. (2021). *Farklı kurutma yöntemlerinin nar tanelerinin biyoaktif bileşenleri, in vitro biyoerişilebilirliği, renk ve yapısal özelliklerine etkisi* (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özcan, M. M. (2023). A review on some properties of almond: impact of processing, fatty acids, polyphenols, nutrients, bioactive properties, and health aspects. *Journal of Food Science and Technology*, 60(5), 1493-1504.
- Quintieri, L., Fanelli, F., Monaci, L., & Fusco, V. (2024). Milk and its derivatives as sources of components and microorganisms with health-promoting properties: Probiotics and bioactive peptides. *Foods*, 13(4), 601.
- Thorning, T. K., Bertram, H. C., Bonjour, J. P., De Groot, L., Dupont, D., Feeney, E., ... & Givens, I. (2017). Whole dairy matrix or single nutrients in assessment of health effects: current evidence and knowledge gaps. *The American journal of clinical nutrition*, 105(5), 1033-1045.
- Turgeon, S. L., & Brisson, G. (2020). Symposium review: The dairy matrix—Bioaccessibility and bioavailability of nutrients and physiological effects. *Journal of dairy science*, 103(7), 6727-6736.
- Walstra, P., Walstra, P., Wouters, J. T., & Geurts, T. J. (2005). *Dairy science and technology*. CRC press.

- Wildman, R.E. (2001). Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods (1 ed.). CRC Series in Modern Nutrition
- Yang, C., Shi, X., Xia, H., Yang, X., Liu, H., Pan, D., & Sun, G. (2020). The evidence and controversy between dietary calcium intake and calcium supplementation and the risk of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of cohort studies and randomized controlled trials. *Journal of the American College of Nutrition*, 39(4), 352-370.
- Yang, J., Zhang, Y., Na, X., & Zhao, A. (2022). β -Carotene supplementation and risk of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*, 14(6), 1284.



ISBN: 978-625-378-566-6