arastirma.tarimorman.gov.tr/bursagida
ISSN 1303-3107
e-ISSN 2822-2873

Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi / Journal of Food and Feed Science - Technology 36:34-51 (2026/2) 10.56833/gidaveyem. 1898829

Derleme Makale/Review Paper

Yoğurtta lezzet bileşiklerinin oluşumu ve etki faktörleri: yeni nesil yaklaşımlar ve araştırmalar

Formation and influence factors of flavor compounds in yogurt: next generation approaches and research

Nihat Akın[1], Damla Özışık[1*]

[1]*Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, KONYA, TÜRKİYE*
(Yazar sıralamasına göre)
***ORCID ID**: 0000-0002-0966-1126, Prof. Dr.*
***ORCID ID**: 0009-0006-9406-1518, Gıda Mühendisi*
**Sorumlu yazar/Corresponding author: damlaozisik29@gmail.com*

Geliş Tarihi : 03.03.2025
Kabul Tarihi : 20.01.2026

Öz

Amaç: Yoğurt, doğal ve besleyici özellikleriyle geniş bir tüketici kitlesine hitap eden popüler bir üründür. Ancak yoğurdun lezzeti, tüketicilerin ürüne olan kabulünü doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Yoğurdun lezzet profili; genellikle laktoz, protein ve yağların metabolizması sonucu ortaya çıkan bileşiklerle şekillenir. Bu bileşikler arasında karboniller, asitler, esterler, alkoller gibi farklı tat bileşenleri bulunur. Her bir lezzet bileşiği, tek başına belirli bir tat verebilir veya diğer bileşiklerle etkileşimde bulunarak yeni tat profilleri oluşturabilir.

Yoğurt içindeki lezzet bileşenlerinin etkileşim ağında merkezi bir rol üstlenen asetaldehit, tüm bileşenleri birleştiren bir bağlayıcı işlevi görür. Yoğurdun genel lezzetini etkileyebilecek birçok faktör bulunmaktadır; bunlar arasında çiğ süt türü, homojenizasyon işlemleri, sterilizasyon, fermantasyon, olgunlaştırma süreci, depolama şartları ve ambalaj malzemeleri yer alır.

Sonuç: Bu çalışma, yoğurttaki uçucu lezzet bileşenleri ile fermantasyon sırasında oluşan ana tat bileşiklerinin üretim süreçlerini ve lezzeti etkileyen faktörleri ele almaktadır. Ayrıca, ideal tat profili için teorik bir yaklaşım sunmakta ve bu alanda daha fazla araştırmanın gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Anahtar kelimeler: Fermantasyon, lezzet bileşenleri, tat profili, yoğurt

Abstract

Objective: Yogurt is widely consumed due to its natural composition and nutritional benefits. However, the taste of yogurt is an important factor that directly affects consumer acceptance of the product. The flavor profile of yogurt is predominantly influenced by compounds resulting from the metabolism of lactose, protein and fats. These compounds include different flavor components such as carbonyls, acids, esters and alcohols. Each flavor compound can impart a specific taste on its own or interact with other compounds to create new taste profiles.

Acetaldehyde plays a central role in the network of flavor components of yogurt, acting as a binder that unites all the components. There are many factors that can affect the overall flavour of yoghurt, including the type of raw milk, homogenization processes, sterilization, fermentation, ripening process, storage conditions and packaging materials.

Conclusion: This study offers a comprehensive overview of the volatile flavor compounds in yogurt, the production processes of the main flavor compounds formed during fermentation and the various factors that influence the flavor of yogurt. It also presents a theoretical approach to achieve the ideal flavor profile and highlights the need for further research to understand the flavor system of yogurt in more detail.

Keyword: Fermentation, flavor compounds, flavor profile, yogurt

1. Giriş

Son yıllarda bireyler, sağlık ve beslenme konularına daha fazla önem vermeye başlamış, bu da doğal ve besin değeri yüksek gıdalara olan ilgiyi artırmıştır. Özellikle fermente süt ürünleri, hem besleyici özellikleri hem de sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle daha fazla tercih edilmektedir. COVID-19 pandemisi de bu eğilimi hızlandırarak, sağlıklı beslenmeye yönelik farkındalığın artmasına katkıda bulunmuştur. Fermente süt ürünleri arasında yoğurt, sahip olduğu zengin besin içeriği, kendine özgü lezzet profili ve düşük tuz içeriği ile öne çıkmaktadır. Bu özellikleri sayesinde yoğurt, günümüzde sağlıklı beslenme alışkanlıklarının önemli bir parçası haline gelmiştir (Demirgül ve Sağdıç, 2018).

Yoğurdun lezzet profiline verilen önemin artmasıyla birlikte, bu konuya yönelik bilimsel araştırmalar da hız kazanmıştır. Yoğurdun lezzeti, süt bileşimi, çiğ sütün işlenme süreci, süt metabolizması ve kullanılan süt kaynakları gibi birçok faktörlerle şekillendirilmektedir. Dolayısıyla, yoğurdun lezzet bileşenlerinin oluşumu ve bu bileşenler arasındaki etkileşimlerin daha iyi anlaşılmasına yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır (Tian vd., 2019; Bai vd., 2020; Li vd., 2022; Peng vd., 2022).

Bu makalede, yoğurdun uçucu lezzet bileşiklerinin sınıflandırılması, bu bileşiklerin genel oluşumu, etkileşimleri ve lezzet oluşumunu etkileyen faktörler kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır. Ayrıca, yoğurt üretiminde lezzet bileşenlerinin oluşumunun temelleri, sakkarometabolizma, protein ve yağ katabolizması gibi biyokimyasal süreçlerin etkisiyle ele alınacaktır. Bu çalışma, yoğurdun lezzet profili üzerinde etkili olan faktörlerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine katkıda bulunmayı hedeflenmektedir.

2. Süt ürünlerinin lezzetini etkileyen faktörler

Süt ürünlerinin lezzeti, sadece metabolik süreçlerden değil, aynı zamanda ham maddelerin özelliklerinden, süt toplama mevsiminden, işleme yöntemlerinden, depolama koşullarından ve diğer birçok faktörden de etkilenir. Lezzet bileşiklerinin oluşumu, bu faktörlerin birleşimiyle şekillenir ve her bir aşama, yoğurdun son lezzet profilini büyük ölçüde etkileyebilir (Elmas ve Yuceer, 2024).

Ayrıca, işlem süreçleri sırasında süt ve süt ürünlerinin ısıl işlemlerden geçmesi, mikrobiyolojik aktivite, enzimatik reaksiyonlar ve bileşiklerin kimyasal değişimleri, lezzet oluşumunu doğrudan etkileyebilir (Wolf vd., 2013).

Depolama koşulları da büyük bir öneme sahiptir; sıcaklık, nem ve ışık gibi faktörler, ürünün raf ömrü boyunca lezzet değişimlerini etkileyebilir. Bu nedenle, süt ürünlerinin lezzeti, çok sayıda faktörün etkileşimiyle şekillenen dinamik bir süreçtir.

2.1. Yağ bileşiminin lezzet üzerindeki etkisi

Süt yağ asitlerinin bileşimi ve konsantrasyonu, süt ürünlerinin lezzetini doğrudan etkileyen önemli faktörlerdendir (Ponnampalam vd.. 2024). Geviş getiren hayvanlar (inekler, keçiler, koyunlar gibi) arasındaki farklılıklar, çiğ süt yağ asitlerinin bileşiminde belirgin farklara yol açar (Salhi vd., 2025) Yoğurdun yağ içeriği arttıkça, lipaz enzimi tarafından bozunmaya uğrayan diasetil ve asetaldehit gibi lezzet bileşiklerinin korunması sağlanır (Li vd. 2024). Ayrıca, farklı karbon sayısına sahip süt yağ asitleri de lezzeti etkileyebilir (Mitani vd., 2016). Örneğin, koyun ve keçi sütü, daha fazla orta ve kısa zincirli doymuş yağ asitlerine (C6:0, C8:0, C10:0, C12:0) sahip olup, bu da daha belirgin mumsu ve hayvansal bir tat profili oluşturur (Jia vd., 2021). Kısa zincirli yağ asitleri, süt ürünlerinde sabunsu tat ve diğer karakteristik tatları şekillendirebilir. Buna ek olarak, yüksek rakımlı bölgelerde yetiştirilen yaklardan elde edilen süt, eikosapentaenoik asit (C20:5) ve dokosaheksaenoik asit (C22:6) gibi yüksek doymamış yağ asitleri içerir; bu bileşikler sütlü ve tatlı bir lezzet profili sunarken, özgün yağ asidi bileşimi nedeniyle kendine has bir keskinlik de taşır (Çilginoğlu, 2020). Bu nedenle, yak sütü burada diğer süt türleriyle karşılaştırmalı olarak örnek olarak ele alınmıştır.

2.2. Bileşik konsantrasyonlarının lezzet üzerindeki etkisi

Yoğurt lezzetinde sadece bileşiklerin varlığı değil, aynı zamanda bunların konsantrasyonları da belirleyici rol oynar (Kaminarides vd., 2007). Örneğin, diasetil konsantrasyonları, süt tipine göre değişiklik gösterir; inek sütüyle yapılan yoğurdun

diasetil konsantrasyonu başlangıçta 14,20 mg/kg iken, keçi sütüyle yapılan yoğurtta bu değer 15,59 mg/kg'dır. Depolama süresi boyunca, 4 °C'de 14 gün sonra, bu değerler sırasıyla 16,60 mg/kg (inek yoğurdu) ve 16,80 mg/kg (keçi yoğurdu) seviyelerine ulaşmıştır. Diasetil ve asetaldehit gibi bileşiklerin konsantrasyonlarının artması, yoğurdun kremsi ve tereyağlı bir lezzet sağlamasına katkıda bulunur (Chen vd., 2017). Ancak, bileşiklerin konsantrasyonu arttıkça bu lezzet özellikleri zamanla azalabilir. Özellikle koyun yoğurdu, inek yoğurduna kıyasla daha yüksek asetaldehit konsantrasyonu içerdiğinden, koyun yoğurdu daha az kabul edilebilir bir tada sahip olabilir. Bununla birlikte, yağ içeriği yüksek olan yoğurtlarda belirli uçucu tat bileşenleri, örneğin 4-pentanal ve hekzanal gibi, belirgin bir şekilde değişebilir.

2.3. Farklı yem ve mevsimin lezzet üzerindeki etkisi

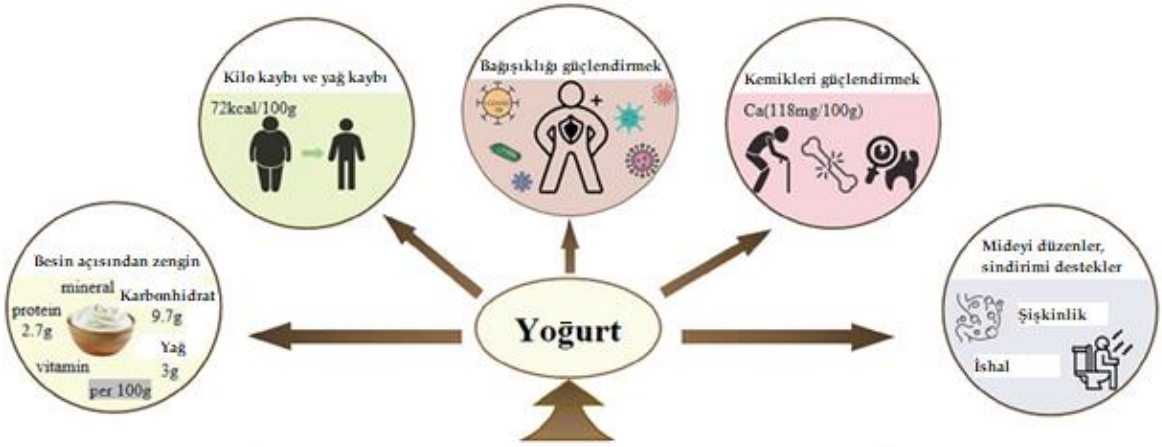
Süt yapısının bileşimi, hayvanların beslenme alışkanlıklarından etkilenir. Çalışmalar, merada beslenen ineklerin sütlerinde daha fazla aldehit bulunabileceğini göstermiştir (Carpino ve ark., 2004). Bu bileşiklerin çeşitliliği, hayvanların beslenme türüne göre değişebilir; örneğin, ot silajı ile beslenen hayvanların sütünde bulunan bazı bileşikler (oktanal ve nonanal), mera ile beslenen hayvanların sütünde bulunmaz (Boltar vd., 2015). Silajın, özellikle mısır silajının etanol içerdiği ve etanolün tat bileşenlerinin oluşumunu etkilediği bilinmektedir (Kilcawley vd., 2018). Mera ve silaj karışımının kullanılması, bitkilerden gelen karboksilik asitlerin ve silajdan gelen etanolün daha istenen esterleri oluşturmasına neden olur. Bunun yanı sıra, toplama mevsimi de süt bileşenlerini etkileyebilir. Kış mevsiminde ot silajı ile beslenen ineklerin sütlerinde 2-bütanon ve etil asetat gibi aroma bileşiklerinin seviyeleri daha yüksek bulunurken (Boltar vd., 2015), bu dönemde toplanan sütler, diğer mevsimlere kıyasla daha fazla etanol içeriği taşımaktadır (Gonzalez-Martin vd., 2016). Bu mevsimsel değişkenlik, süt ve süt ürünlerinin lezzet profiline doğrudan etki ederek duyusal özelliklerinde belirgin farklılıklar ortaya çıkarabilmektedir.

3. Yoğurt tüketimi ve sağlık için faydaları

Yoğurt, sağlığa pek çok fayda sağlayabilen besleyici bir gıda maddesidir. İyi bir protein, kalsiyum, iyot ve B_{12} vitamini kaynağı olarak, özellikle çocuklar ve yetişkinlerde obezite ile kardiyometabolik risklerin azaltılmasında önemli bir rol oynar (Li vd., 2023; Sun vd., 2024). Yoğurdun ideal kalsiyum-fosfor oranı, kemik sağlığına olumlu katkılarda bulunur. Öte yandan son yıllarda, fermente süt ürünleri, özellikle yoğurt, probiyotik taşıyıcı sistemler arasında öne çıkmıştır (Akın ve Özışık, 2023). Bununla birlikte, yoğurt gibi süt ürünlerinde nanoenkapsüle edilmiş probiyotikler, hem besinsel faydaların korunmasına hem de ürünün duyusal özelliklerinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu teknolojinin ilerleyen yıllarda gıda endüstrisinde daha yaygın bir şekilde kullanılacağı öngörülmektedir (Özışık vd., 2025). Ayrıca, yoğurt, güçlü bir bağışıklık sistemi, kilo ve yağ kaybı düzenlemesi, sindirim sistemi sağlığı ve laktoz intoleransına bağlı semptomların azaltılması için probiyotiklerin (*Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium bifidus*) gelişmesini ve kolonizasyonunu artırabilir (Moore vd., 2018; Hasegawa ve Bolling, 2023).

Son yıllarda artan sağlık bilinciyle birlikte, özellikle bağışıklık sistemini güçlendirmeye yönelik gıda tercihleri öne çıkmaktadır. Yoğurt, içerdiği probiyotik mikroorganizmalar (örneğin *Lactobacillus acidophilus ve Bifidobacterium bifidus*) sayesinde bağışıklık sisteminin desteklenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu faydaları, yeterli uyku, fiziksel aktivite ve dengeli beslenmeyle birlikte ele alındığında, yoğurtun fonksiyonel bir gıda olarak önemi daha da belirgin hale gelmektedir (Yiğit ve Yiğit, 2020). Bunun yanı sıra, yoğurt tüketiminin diyabetin önlenmesi, gastrointestinal sağlık üzerinde olumlu etkileri, bağışıklık sistemini destekleme ve obeziteyi önleme gibi faydaları olduğu da çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir (Pannerchelvan vd., 2024). Bu sağlık faydaları nedeniyle yoğurt pazarı hızla büyümekte ve 2028 yılına kadar küresel yoğurt pazarının 237 milyar doları aşması beklenmektedir (Shahbandeh, 2023a). Pandemi sonrasında yoğurt tüketimi dünya genelinde artış göstermiştir. 2022 yılı verilerine göre Amerika Birleşik Devletleri'nde toplam yoğurt tüketimi yaklaşık 2,11 milyon ton olarak gerçekleşmiş, kişi başına yıllık tüketim ise yaklaşık 6,3 kg düzeyinde kalmıştır (Shahbandeh, 2023b). Aynı yıl içerisinde Türkiye'de yoğurt ve ayran toplam üretimi yaklaşık 1,94 milyon ton olarak raporlanmış, kişi başına düşen yıllık yoğurt tüketimi ise yaklaşık 29 kg olarak bildirilmiştir (Doğar et al., 2024). Küresel ölçekte süt ürünleri

tüketimi, özellikle Avrupa kıtasında yüksek seviyelerdedir. Ulusal Süt Konseyi (2022) verilerine göre Türkiye'nin kişi başına yoğurt tüketimi birçok Avrupa ülkesinin ortalamasını aşmaktadır. Türkiye'de süt ve süt ürünleri tüketimi yıllar içinde artış göstermekte olup, bu artışa bağlı olarak yoğurt ve ayran gibi fermente süt ürünlerinin üretiminde de istikrarlı bir büyüme gözlemlenmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu ve sektör raporları, son yıllarda bu ürünlerin üretim miktarlarında düzenli bir artış yaşandığını ortaya koymaktadır. Nitekim yoğurt, Türkiye'de en fazla tüketilen süt ürünlerinden biri olup, kişi başına düşen tüketim miktarı, Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında oldukça yüksek seviyelerdedir. Bu durum, Türkiye'de süt ürünleri sektörünün güçlü bir iç tüketim potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Güler, 2020). Yoğurt tüketiminin sağlık üzerindeki faydaları Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Yoğurt tüketimi ve sağlığa faydaları (Yang, 2020; Hasegawa ve Bolling, 2023; Rizzoli ve Biver, 2024).
Figure 1. *Yogurt consumption and health benefits (Yang, 2020; Hasegawa and Bolling, 2023; Rizzoli and Biver, 2024).*

4. Yoğurdun duyusal değerlendirme yöntemleri ve yeni yaklaşımlar

Süt ürünleri kategorisinde peynir, tereyağı, yoğurt ve dondurma gibi temel gıdalar yer almaktadır. Özellikle yeni geliştirilen ürünlerin piyasaya sürülmeden önce ve sonrasında duyusal açıdan değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Geleneksel tanımlayıcı analiz yöntemleri, süt ürünlerinin duyusal değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılsa da, bu yöntemlerin yüksek maliyetli ve zaman alıcı olması kullanımını sınırlayabilmektedir. Son yıllarda geliştirilen yeni duyusal analiz yöntemleri, bu süreci daha verimli hale getirerek süt ürünleri alanında çalışan uygulayıcılar için önemli kolaylıklar sağlamaktadır (Eminoğlu ve Şenel, 2019).

Yeni duyusal metodolojiler, süt ürünlerini değerlendirmek için çeşitli yaklaşımlar sunmaktadır. Bunlar arasında Tüm Uygunları İşaretle (Check-All-That-Apply, CATA), Tüm Uygunları Derecelendir (Rate-All-That-Apply, RATA), Tam Yerinde Değerlendirme (Just-About-Right, JAR), Tercih Özelliklerini Belirleme (Preference Attribute Elicitation, PAE), Yansıtmalı Haritalama (Projective Mapping, PM) ve Sıralama Yöntemi yer almaktadır (Ribeiro vd., 2024).

CATA yöntemi, tatlılık, süt aroması, bileşen türü ve konsantrasyonu gibi faktörlere dayalı olarak ürünlerin farklılıklarını karşılaştırmak için kullanılmaktadır. RATA ve PAE yöntemleri tatlandırıcı tercihlerine odaklanırken, PM tatlandırıcı karışımlarının optimizasyonuna olanak tanır. JAR yöntemi tüketici kabulünü değerlendirmek için, sıralama yöntemi ise ürünleri protein ve yağ içeriğine göre gruplandırmakta işlevseldir (Pereira vd., 2021; Soutelino vd., 2023; Ribeiro vd., 2024).

Bu yeni metodolojiler, yoğurt duyusal analizinde daha hızlı, esnek ve ekonomik bir değerlendirme imkânı sunarak, süt ürünleri sektöründe inovatif yaklaşımların benimsenmesine katkı sağlamaktadır (Eminoğlu ve Şenel, 2019).

5. Yoğurtta bulunan önemli lezzet bileşenleri

Liu vd., (2022), yoğurtta karbonil bileşikleri, asitler, alkoller, esterler ve diğer aromatik bileşikler dahil olmak üzere yaklaşık 117 farklı lezzet bileşiği bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu bileşiklerin çoğu, yoğurdun lezzet profilini oluşturma potansiyeline sahiptir; ancak bu bileşiklerin yalnızca bir kısmı genellikle lezzet üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Asetaldehit, 2,3-bütandion, asetoin, 2-bütanon, 2,3-pentanedion ve asetik asit gibi bileşikler, yoğurdun karakteristik aromasına en fazla katkı sağlayan bileşenler arasında yer almaktadır (Božanić vd., 2003; Routray ve Mishra, 2011; Settachaimongkon vd., 2014).

Bununla birlikte, etil asetat, etil laktat, metil asetat ve dekanoik asit gibi diğer bazı bileşikler, yoğurda meyvemsi, kremamsı ve ferahlatıcı gibi ek hoş aromalar katmaktadır. Bu bileşiklerin çoğu, aroma üzerinde yardımcı bir etkiye sahip olup hem tek başlarına aroma sağlayabilmekte hem de mevcut profilin zenginleşmesine katkıda bulunabilmektedir. Yoğurttaki aroma profili, özellikle asitler, karbonil bileşikleri, alkoller ve esterlerin varlığıyla şekillenir. Çizelge 1, bu bileşiklerin aroma özelliklerini veya işlevlerini göstermektedir. Bu bölümde, aroma bileşiklerinin temel sınıflarından olan asitler, aldehitler, ketonlar, esterler ve alkoller ele alınmıştır. Her bir bileşik grubunun gıda aroması üzerindeki etkileri ve karakteristik özellikleri, alt başlıklar altında detaylı biçimde incelenmektedir.

Çizelge 1. Aroma bileşikleri ve yoğurt aromasına katkıları
Table 1. *Aroma compounds and their contribution to yogurt flavor*

Bileşik	Aroma Özelliği	Referans
Asetik Asit	Sirke, ekşi	Güler, 2005
Asetaldehit	Yeşil elma, meyvemsi	Zheng vd., 2021
Asetoin (3-Hidroksi-2-bütanon)	Tatlı, kremalı, tereyağlı	Chen vd., 2017
2,3-Bütandion (Diacetyl)	Kremsi, tereyağlı	Chen vd., 2017
2,3-Pentanedion	Tatlı, kremalı, pütürlü	Božanić vd., 2003
Etil Asetat	Ananas, meyvemsi	Carunchiawhetstine vd., 2003
Etil Butanoat	Meyvemsi, tatlı, muz	Qian ve Reineccius, 2003
1-Octen-3-ol	Mantar	Wang vd., 2021
Laktik Asit	Ferahlatıcı	Sfakianakis ve Tzia, 2017

5.1. Asitler

Araştırmalar, 10'dan fazla organik asidin yoğurt aroması üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu asitler, uçucu ve uçucu olmayan asitler olarak iki gruba ayrılabilir (Akbaridoust vd., 2015). Uçucu asitler, genellikle C_2-C_{10} arasında değişen doymuş yağ asitlerinden oluşur ve asetik asit, kaprik asit ve oktanoik asit gibi bileşikler yoğurdun aromasına katkıda bulunur. Asetik asit sirke, kaprik asit keskin ve bayat bir lezzet, oktanoik asit ise mumsu ve hayvansal bir aroma verir (Ai vd., 2015; Wang vd., 2020). Uçucu olmayan asitler arasında ise laktik asit, pirüvik asit, oksalik asit ve süksinik asit yer alır (Cheng, 2010). Bu asitler, doğrudan aroma sağlamasa da, çeşitli yollarla aroma bileşiklerine dönüşebilirler.

Asitler, tüketici tercihlerine göre yoğurda istenilen veya istenmeyen aromalar ekleyebilir. Örneğin, bütirik asit, hekzanoik asit ve hekzadekanoik asit sırasıyla meyveli, kremalı ve tatlı tatlar sağlar. Laktik asit ise asidik ve ferahlatıcı bir tat verir (Božanić vd., 2003). Ancak, oktanoik asit ve N-dekanoik asit sırasıyla mumsu, hoş olmayan ve sabunlu tatlar oluşturur. Asetik asit gibi bazı asitler ise sirke aroması verir, ancak bu tatların algılanabilirliği genellikle aroma bileşenlerinin yoğunluğuna bağlıdır (Pan vd., 2014).

5.2. Aldehitler

Asitlere kıyasla, yoğurtta bulunan aldehitlerin sayısı nispeten daha düşüktür ve genellikle istenmeyen tatlar oluşturmazlar. Yapılan araştırmalar, dört ana aldehitin yoğurda hoş bir tat kattığını ortaya koymuştur. Asetaldehit, yeşil elma, fındık ve yoğurt aromasına katkıda bulunur (Chen vd., 2017); heptanal ve nonanal, yeşil, tatlı ve çimenimsi tatlar sağlar (Moio vd., 1996); hekzanal ise meyvemsi, taze ve yağlı bir tat profili sunar (Mounchili vd., 2005). Metabolik yolun ana bileşiği olan asetaldehit, yoğurt lezzetinin gelişiminde önemli bir rol oynar.

5.3. Ketonlar

Aldehitler gibi, ketonlar da karbonil bileşikleridir, ancak yoğurt lezzetini farklı şekillerde etkilerler. Çoğu keton, yoğurda istenen lezzetleri sağlar. Örneğin, 2-undekanon ve 2-tridekanon sırasıyla ananas ve şeftali lezzetleri sunarken, aseton elma ve armut tatlarını verir. 2-bütanon, 2,3-bütandion, 2,3-bütadion ve 3-hidroksi-2-bütanon gibi ketonlar, kremsi, tatlı ve tereyağlı bir tat profili yaratır. Diğer ketonlardan farklı olarak, 2-heptanon ve 2-nonanon, yoğurda hardal ve baharatlı tatlar verebilir. Bisiklo[2,2,1]heptanon ise kafurlu bir tat sağlamaktadır (Elmas ve Yüceer, 2024).

5.4. Esterler

Esterler, yoğurt lezzet profiline yalnızca önemli tat katkıları sağlamakla kalmaz, aynı zamanda buruk ve acı gibi istenmeyen tatların maskelenmesinde de etkili olabilir (Cheng, 2010; Liu vd., 2022). Genel olarak, esterler yoğurda çiçeksi ve meyveli aromalar ekleyerek arzu edilen tatları oluşturur. Örneğin, etil asetat, etil hekzanoat ve etil kaprilat, yoğurda ananas ve elma gibi meyveli tatlar kazandırabilir. γ-laktonlar ve δ-laktonlar sırasıyla hindistan cevizi ve şeftali aromalarını verirken, δ-dekalakton hem şeftali hem de hindistan cevizi tatları sunar. Butil akrilat ve etil bütanoat ise muz gibi tropikal meyve tatları sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, δ-oktalakton çiçeksi, meyveli, kremalı ve tereyağlı tatları bir arada sunan bir profil oluşturur. δ-nonalakton, etil kaprat ve metil benzoat ise sırasıyla sütlü, şarap benzeri ve vanilya benzeri tatlar eklemektedir (Elmas ve Yuceer, 2024).

5.5. Alkoller

Alkoller, keçi ve koyun sütünden yapılan yoğurtlarda genellikle düşük konsantrasyonlarda bulunur ve bu konsantrasyonlar genellikle tada belirgin bir katkı sağlamaz. Ancak, Tibet ve Orta Asya'nın yüksek rakımlı bölgelerinde üretilen yak yoğurdu, farklı aroması, koyu kıvamı ve yüksek yağ içeriği ile bu konuda bir istisna teşkil etmektedir (Liu vd., 2022). Belirli bir alkol konsantrasyonu, yak yoğurduna yumuşak bir tat katarken; yüksek etanol seviyesi, şarap aroması gibi tartışmalı bir tat profili oluşturabilir. 3-metil-1-bütanol, taze alkollü, meyveli ve tahılımsı bir tat sağlarken (Reyes-Diaz vd., 2020; Capitain vd., 2022), 1-octen-3-ol, yoğurtta mantar benzeri bir tat oluşumuna katkı sağlar. Alkoller, doğrudan tat sağlamakla kalmaz, aynı zamanda depolama sürecinde asitlerle esterleşerek yeni tat bileşenlerinin oluşumunu tetikleyebilir ve böylece aroma üretiminde yardımcı bir rol oynayabilir.

6. Laktik asit bakterileri tarafından aroma bileşenlerinin üretimi

6.1. Asetaldehit üretim mekanizması

Fermantasyon sürecinde, sütteki laktik asit bakterileri (LAB) metabolizması, özellikle asetaldehit ve diasetil gibi tat bileşenlerinin üretimi açısından önemli bir rol oynar. LAB, substrat ve çevresel faktörlere bağlı olarak homofermentasyon ve heterofermentasyona katılabilir. Glikoliz yoluyla laktoz, oksalasetat tarafından da üretilebilen pirüvatı oluşturur. Pirüvat, başlıca üç enzim aracılığıyla asetil-CoA'ya dönüştürülür: pirüvat dehidrogenaz, asetil-CoA sentetaz ve asetil-CoA karboksilaz. Bu asetil-CoA, asetil-CoA redüktaz enzimi aracılığıyla başlıca tat bileşeni olan asetaldehite dönüşür. Ayrıca, asetaldehit, proteinlerin parçalanması sırasında da üretilebilir.

Yoğurttaki asetaldehit konsantrasyonu, fermantasyon sürecindeki farklı suşlar ve uygulanan işlemlere bağlı olarak 2,0 ile 41 mg/kg arasında değişkenlik gösterir (Akın, 2006). Bu konsantrasyon yalnızca 8,0 mg/kg'nın üzerinde olduğunda, yoğurda istenen lezzeti sağlayabilir.

Moleküler biyoloji alanındaki gelişmeler, LAB'ın glyA geninin asetaldehit üretimiyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. glyA geninin aşırı ifade edilmesi, ilgili starter kültürlerde asetaldehit üretimini yaklaşık 1,8–1,9 kat azaltırken; genin tamamen inaktive edilmesi asetaldehit üretiminin tamamen kesilmesine neden olur.

6.2. Diasetil sentezinin genetik kontrolü

Diğer bir aroma bileşiği olan diasetil, asetaldehite göre daha düşük bir konsantrasyona sahip olup 0,2 ile 3 mg/kg arasında değişir ve 1 mg/kg'lık bir konsantrasyon seviyesine ulaştığında belirgin bir aroma ortaya çıkarmaktadır (Chen vd., 2017).

Diasetil, aroma bileşiklerinin oluşumunda önemli bir rol oynayan bir bileşiktir ve sentezi, α-asetolaktat sentaz, laktat dehidrogenaz ve α-asetolaktat dekarboksilaz enzimleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu enzimlerin aktivitesi, als, ilvBN, ldh ve aldB genleri tarafından düzenlenmektedir. Ancak, diasetil üretiminin genetik kontrolü,

asetaldehit sentezinde etkili olan glyA geninden farklılık göstermektedir. Spesifik olarak, diasetil verimi, als veya ilvBN genlerinin aşırı ekspresyonu ya da ldh veya aldB genlerinin inaktivasyonundan anlamlı düzeyde etkilenmemektedir (Chaves vd., 2002; Chen vd., 2017).

6.3. Yoğurt fermantasyonunda rol oynayan lab türleri

Geleneksel yoğurt fermantasyonu, *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* türlerinin etkisiyle gerçekleşir. Bu iki suş, asetil-CoA sentetaz ve asetil-CoA karboksilaz gibi önemli enzimleri üreten genlere sahiptir (Fırat ve Çetin, 2024). Ayrıca, *Lactobacillus rhamnosus* GG gibi bazı suşlar, uçucu olmayan bileşiklerin üretimi konusunda katkı sağlayarak yoğurt fermantasyonunda yaygın olarak kullanılır (Canbulut ve Ozcan, 2015). *Lacticaseibacillus casei* tarafından fermente edilen yoğurt ise, baskın starter kültür türlerine göre uçucu bileşenlerden daha az zengindir ve bu nedenle yardımcı starter kültür olarak kabul edilir (Dimitrellou vd., 2025). Moleküler biyoloji alanındaki gelişmeler, LAB'ın glyA geninin asetaldehit üretimiyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Chaves vd., 2022).

7. Yoğurtta ana lezzet oluşum ağı

Yoğurdun lezzet profili, temel olarak iki ana süreçten meydana gelen karmaşık bir biyokimyasal mekanizma ile şekillenir. İlk olarak, sakkaritler, proteinler (özellikle kazein) ve lipitler gibi üç temel makro besin ögesinin metabolizması sonucu doğrudan aroma bileşikleri oluşur. İkinci olarak, bu bileşikler çeşitli biyokimyasal dönüşümlerle yeni aroma bileşiklerine dönüşerek yoğurdun karakteristik lezzetini belirler (Jia vd., 2021). Bu makro besin ögeleri, yalnızca doğrudan aroma bileşikleri üretmekle kalmayıp, aynı zamanda birbirleriyle etkileşime girerek daha geniş bir lezzet ağı oluşturur.

Karbonhidrat metabolizması, yoğurdun karakteristik lezzetini oluşturan önemli bileşiklerden diasetil ve asetoini üretirken, protein metabolizması karbonhidrat metabolizmasıyla bağlantılı olan ve asetaldehitin öncüsü niteliğinde bazı amino asitleri sağlar. Ayrıca, protein metabolizmasının bir ürünü olan heptaldehit, etanole dönüşerek karbonhidrat ve yağ metabolizmasıyla etkileşime girer (Köse ve Ocak, 2014; Oğurlu, 2019).

Diasetil ve asetoin, yoğurda tereyağı ve kremamsı tatlar kazandırırken, γ-lakton ve δ-lakton hindistan cevizi ve şeftali gibi meyvemsi aromalar sağlar. Öte yandan, 2-undekanon, gül benzeri bir aroma ile yoğurdun duyusal özelliklerine katkıda bulunur. Bu lezzet ağı, süt ürünleri üreticilerine doğal aromaya sahip farklı yoğurt çeşitleri geliştirme konusunda önemli bir rehber sunmaktadır (Choudhury vd., 2021).

7.1. Sakkarometabolizma ile lezzet bileşiği oluşumu

Sakkarometabolizma, asitler, ketonlar ve aldehitler olmak üzere üç temel lezzet bileşiği üretmektedir. Bu süreçte en önemli bileşiklerden biri, tüm sakkarometabolizma yolunun merkezi bir bağlantı noktası olan pirüvattır. Pirüvat, trikarboksilik asit döngüsünde sitrat liyaz tarafından oksaloasetata dönüştürülmekte ve doğrudan α-asetolaktik asit üretimini sağlamaktadır. Oksaloasetat ve α-asetolaktik asit, dekarboksilasyonun etkisiyle yeniden pirüvata dönüşebilmektedir (Gänzle, 2015; Carroll vd., 2016; McAuliffe vd., 2019).

Lezzet öncüsü olarak pirüvat, asetoin, diasetil ve asetaldehit gibi üç önemli aroma bileşiğine dönüşebilmektedir. Pirüvat doğrudan veya dolaylı yollarla da asetona dönüşmektedir. Dolaylı yolda, pirüvat öncelikle diasetil gibi bir başka önemli aroma bileşiğine dönüşmekte, ardından farklı enzimlerin etkisiyle asetona çevrilebilmektedir. Öncelikle, pirüvat α-asetolaktik asit sentazın etkisiyle α-asetolaktik aside dönüşmekte, ardından kimyasal oksidatif dekarboksilasyon ile diasetil oluşmaktadır. Diasetil ise diasetil redüktaz tarafından asetona veya α-asetolaktik asit dekarboksilaz tarafından dekarboksilasyon yoluyla doğrudan asetoine dönüştürülmektedir (Comasio ve diğerleri, 2019).

7.2. Protein katabolizmasından etkilenen lezzet oluşumu

Süt proteinleri, özellikle kazein, yavaşça parçalanarak serbest amino asitlerin oluşumunu sağlamaktadır. Amino asitler, özellikle dallı zincirli, aromatik ve sülfür içerenler olmak üzere, doğrudan veya lezzet bileşiklerinin öncüsü olarak aroma profiline katkıda bulunmaktadır (Martin vd., 2011). Farklı amino asitler farklı tat profilleri

sunmakta; örneğin arjinin acı tat ile ilişkilendirilirken, prolin, serin ve asparajin tatlı tat ile bağlantılıdır (Niro vd., 2017).

Amino asitlerden türeyen lezzet bileşiklerinin biyosentetik yolu transaminazlar aracılığıyla gerçekleşirken, kimyasal yolla Strecker bozunumu mekanizmasıyla oluşmaktadır (Afzal vd., 2017). Lösin, metiyonin ve treonin gibi bazı amino asitler, amino asit değişim reaksiyonları ve deaminasyon süreçleri ile lezzet bileşiklerine dönüşmektedir. Treonin ve glisin, treonin aldolaz enziminin etkisi altında yoğurtta asetaldehit üretmektedir (Ott vd., 2000). Aminotransferazlar aracılığıyla gerçekleşen bu dönüşüm, öncelikle α-keto asitlerin oluşumunu sağlamakta, ardından aldehitler, esterler ve alkollerin sentezlenmesiyle devam etmektedir.

Özellikle 3-metilbütiraldehit, lösinin katabolizması sonucu biyosentetik ve kimyasal yollarla oluşmakta ve fındık ile çikolata benzeri aroma sağlamaktadır (Smit vd., 2004). Keçimsi aroma ise, amino asit parçalanma metabolizmasıyla üretilen 3-metilbutan-1-ol, 2-feniletanol ve 4-metilfenol bileşikleri ile ilişkilendirilmektedir (Zabaleta vd., 2017).

7.3. Yağ katabolizması ve lezzet oluşumu üzerindeki etkisi

Lipoliz, yani triasilgliseritlerin oksidasyonu, serbest yağ asitlerinin üretimini sağlar ve bu asitler, ketonlar ve esterler gibi tat verici bileşiklere dönüşebilir. Yağ asitlerinin bu dönüşümü, iki ana yoldan birini takip eder. İlk yol, serbest yağ asitlerinin β-oksidasyonla β-ketoasitlere dönüştürülmesi ve ardından ketonlara dönüşmesidir. β-ketoasitlerin dekarboksilasyonu, farklı tat profilleri sunan metil ketonların oluşumuna yol açar. Örneğin, 2-heptanon, kurutulmuş muz aromalarını verirken, 2-nonanon ise gül benzeri aromalar oluşturur (Cao vd., 2014).

İkinci yol, serbest yağ asitlerinin β-oksidasyon sürecinde hidroksilasyon geçirerek γ-hidroksi asitler ve δ-hidroksi asitlerin oluşumu ile başlar. Bu asitler, daha sonra siklazın etkisiyle su kaybı yaşayarak sırasıyla γ-laktonlar ve δ-laktonlara dönüşür. Bu bileşikler, hindistan cevizi ve şeftali gibi meyve aromalarının oluşumunda rol oynar (Zisu ve Chandrapala, 2015).

Diğer taraftan, etanol içeren serbest yağ asitleri, asetaldehit ile reaksiyona girerek esterifikasyon yoluyla esterler üretir. Özellikle kısa zincirli yağ asitleri, metil merkaptanla birleşerek metil tiyoesterlerin oluşumuna neden olur (Cheng, 2010). Bu metabolik yollar, yağ katabolizmasının lezzet bileşikleri üretmedeki önemli katkılarını göstermektedir.

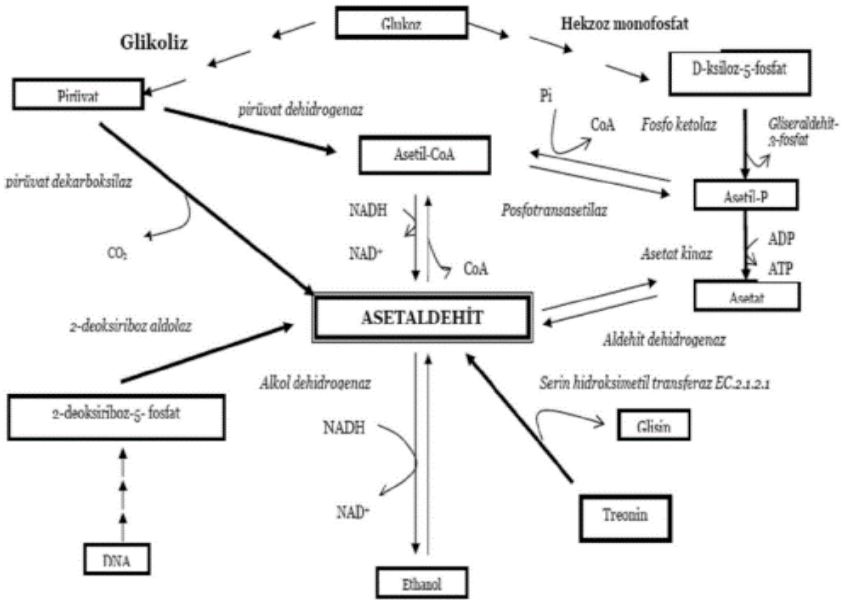
7.4. Metabolik ağda asetaldehitin bağlantı fonksiyonu

Asetaldehit, aroma bileşiklerinin oluşumunda kilit bir rol oynar ve farklı metabolik yollar aracılığıyla sentezlenebilir. Bu bileşiğin üretimi için iki ana yol tanımlanmıştır: glikometabolik yol ve protein katabolizması (Ott vd., 2000). Şekil 2'de, bu metabolik yolların şematik gösterimi yer almaktadır. Glikometabolik süreçte, laktoz önce β-galaktosidaz enzimi tarafından glikoza hidroliz edilir. Ortaya çıkan glikoz, glikoliz yoluyla pirüvata dönüştürülür ve ardından pirüvat, pirüvat dehidrogenaz veya pirüvat format liyaz enzimleri aracılığıyla asetil-CoA'ya çevrilir. Asetil-CoA, aldehit dehidrogenaz enzimi tarafından asetaldehite dönüştürülür. Alternatif bir yolda ise, pirüvat doğrudan pirüvat dekarboksilaz veya pirüvat oksidaz enzimleri aracılığıyla asetaldehite çevrilebilir. Protein katabolizması yolunda ise, amino asitlerin deaminasyonu sonucu oluşan α-keto asitler, dekarboksilasyon reaksiyonları ile asetaldehit üretir. Oluşan asetaldehit, glioksilat redüktaz enzimi aracılığıyla etanole dönüştürülebilir ve etanol, serbest yağ asitleriyle etkileşime girerek ester oluşumuna katkıda bulunabilir. Bu süreçler sayesinde asetaldehit, karbonhidrat, protein ve lipid metabolizmaları arasında önemli bir bağlayıcı görevi üstlenmektedir.

7.5. Bileşiklerin lezzet üzerindeki ilave etkileri

Lezzet bileşikleri, yoğurt lezzetini sadece tek başlarına etkilemekle kalmaz, aynı zamanda lezzet tamamlayıcılığı, lezzet geliştirme ve yeni lezzetlerin ortaya çıkmasına katkıda bulunan birleşik bir işlev gösterir. Araştırmalar, asetaldehit eksikliğinin, diasetil gibi bileşiklerin yüksek konsantrasyonları ile telafi edilebileceğini göstermektedir (Chen vd., 2019). Asetoin, 2,3-bütandion ile benzer bir tadı olsa da, asetoinin tadı, 2,3-bütandionunki kadar belirgin değildir. Bu iki bileşik birleştirildiğinde, ortaya çıkan karışım hafif, hoş ve tereyağlı bir tat sunar, ayrıca asetoin, 2,3-bütandionun sertliğini azaltır (Cheng, 2010). Diasetil, asetoin ve etil esterleri gibi aroma

bileşenleri, yoğurtta karakteristik kremamsı ve tereyağlı tatların gelişiminde rol oynar (Chen vd., 2017). Asetaldehit, asetoin ve 3-hidroksi-2-butanon (asetoin) gibi bileşiklerin yoğurttaki istenen lezzeti artırdığı bilinmektedir (Tian vd., 2020; Zheng vd., 2021). Yoğurtta düşük miktarlarda bulunan ve her zaman lezzeti artıran birkaç keton bileşiği vardır; bunlar arasında 4-pentanal, 2-metilbutanal, 2-butanon, 3-metil-2-butanon, 2-heksanon, 2-heptanon ve 2-nonanon bulunur. Ayrıca, 2-metilbutanol ve 3-metil-butanol gibi alkol bileşenleri, alkol lezzetini artırır (Toso vd., 2002). Diasetil, yoğurdun narin ve dolgun lezzetini sağlarken, asetaldehit içeriği düşük olduğunda diasetil lezzeti bu eksikliği telafi eder (Božanić vd., 2003).



Şekil 2. LAB'de asetaldehit oluşumuna yol açabilen farklı metabolik yolların genel görünümü (Köse ve Ocak, 2014).
Figure 2. *Overview of different metabolic pathways that can lead to acetaldehyde formation in LAB (Köse and Ocak, 2014).*

8. İşlemenin lezzet üzerindeki etkisi

Çiğ süt toplandıktan sonra, yoğurt üretimi için homojenizasyon, sterilizasyon, fermantasyon ve olgunlaştırma gibi işlemlerden geçer. Bu işlemler, yoğurdun lezzetini etkileyebilir. Her bir işlem, sütte yeni tat bileşiklerinin oluşmasına yol açabilir ve elde edilen yoğurdun lezzetini belirleyebilir.

8.1. Yağ globüllerinin proses yöntemlerinin lezzet üzerindeki etkisi

Süt yağ globüllerinin boyutu, özellikle peynir altı suyu ekstraksiyonu sürecinde yoğurt kalitesini doğrudan etkileyen bir parametredir. İdeal globül boyutunun sağlanması için başlıca iki işlem uygulanır: homojenizasyon ve ultrasonik yöntem. Her iki işlem, süt içerisindeki tat bileşiklerini farklı şekillerde dönüştürerek işlenmiş sütlerden elde edilen yoğurdun duyusal özellikleri ve lezzet profilini önemli ölçüde şekillendirebilir (Zisu ve Chandrapala, 2015).

Genel olarak, yoğurt aroma bileşiklerinin önemli bir kısmı süt yağından kaynaklanmaktadır. Homojenizasyon basıncı arttıkça, yağ globüllerinin boyutu küçülür ve istenmeyen pişmiş ya da karton lezzetlerinin yoğunluğu azalır (Köse ve Ocak, 2014; Ozturk vd., 2024). Ayrıca, yapısal modifikasyon sağlayan homojenizasyon, süt bileşenlerinin enzimatik erişilebilirliğini artırarak aroma bileşiklerinin özellikle asetaldehit ve metil ketonların sentezini teşvik eder (Vélez vd., 2017). Bu süreç, yoğurdun karakteristik tatlarının daha yoğun algılanmasına olanak tanır. Ultrasonik işlem, süt yağ globüllerinin istenilen boyutta olmasını sağlamak için kullanılan bir diğer yöntemdir. Yapılan bir çalışmada, ultrason süresinin, sütteki aroma bileşiklerinin üretimini etkileyebileceği ortaya konmuştur (Bui vd., 2020). Kısa süren ultrasonik işlemler, bazı aroma bileşenlerini artırırken, işlem süresi uzadıkça bu bileşiklerin konsantrasyonlarında küçük değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu tat bileşenleri arasında 1,3-bütadien, 1-büten-3-in, 1-heksen ve

hekzanal gibi bileşikler yer almaktadır (Riener vd., 2009; Sfakianakis ve Tzia, 2017).

Hem homojenizasyon hem de ultrasonik işlem, yağ globüllerinin boyutunu benzer şekilde etkileyebilse de, tat bileşiklerinin oluşumu üzerinde farklı etkiler yaratmaktadır. Sfakianakis ve Tzia (2017) tarafından yapılan bir araştırmada, 2,3-bütadien ve 3-hidroksi-2-bütanon gibi bazı bileşiklerin konsantrasyonlarının, homojenizasyon ve ultrason işlemleri arasında anlamlı bir fark göstermediği belirtilmiştir. Ultrasonik işlem uygulanan yoğurtlarda, aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler ve dimetil sülfür gibi uzun zincirli uçucu bileşiklerin konsantrasyonlarının anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir (Sfakianakis ve Tzia, 2017). Bu artış, yoğurdun aroma profiline daha yoğun ve kompleks duyusal özellikler kazandırabilir.

8.2. Sterilizasyonun lezzet bileşiği oluşumu üzerindeki etkisi

Yoğurt fermantasyonundan önce uygulanan pastörizasyon işlemi, hem sütün hem de elde edilen yoğurdun lezzet bileşenlerini etkileyebilir (Ruiz Pérez-Cacho vd., 2019). Pastörizasyonun lezzet bileşikleri üzerindeki iki temel etkisi bulunmaktadır: (1) mevcut lezzet bileşiklerinin konsantrasyonlarını değiştirmek ve (2) ısıya bağlı olarak yeni lezzet bileşiklerinin oluşumunu tetiklemek (Jo vd., 2018; Tong vd., 2019). İlk etkide, süt içindeki doğal uçucu bileşiklerin, örneğin aldehitler, metil ketonlar, alkanlar, olefinler ve alkenonlar gibi bileşiklerin yoğunluğu, ısıl işleme bağlı olarak artmaktadır (Li vd., 2013). İkinci etkide ise, sterilizasyon sırasında istenen ya da istenmeyen tat bileşenlerinin üretimi gerçekleşebilir. Özellikle lipit oksidasyonu, sterilizasyon sırasında esterler, metil ketonlar ve serbest yağ asitleri gibi lezzet bileşenlerinin oluşumuna yol açmaktadır. Örneğin, bütanedion, 2-heptanon ve 2-pentil keton gibi bileşiklerin konsantrasyonu ısıl işlemle doğru orantılı olarak artmaktadır (Vázquez-Landaverde vd., 2005; Tong vd., 2019). Ayrıca, laktoz ve amino grupları arasındaki Maillard reaksiyonu, azotlu bileşikler, maltol ve diasetil gibi lezzet bileşenlerinin üretimine yol açmaktadır (Jo vd., 2018). Ancak, sülfür içeren proteinlerin sülfür oluşturması pişmiş bir lezzet üretirken, doymamış yağ asitleri oksidasyonu ise karton benzeri bir tat oluşturmaktadır (Vázquez-Landaverde vd., 2006; Amador-Espejo vd., 2014; Amador-Espejo vd., 2017).

8.3. Farklı sterilizasyon yöntemlerinin lezzet bileşiği oluşumu üzerindeki etkisi

Pastörizasyon, UHT (Ultra Yüksek Sıcaklık), yüksek yoğunluklu ultrason (US) ve yüksek basınçlı işlem (HPP) gibi çeşitli ısıl ve ısıl olmayan işlemler, çiğ süt ve sonrasında elde edilen yoğurdun lezzet bileşenleri üzerinde farklı etkiler yaratmaktadır.

Pastörizasyon, çiğ sütte bulunan lipoprotein lipazı ortadan kaldırırken, elde edilen yoğurdun bayatlama ve keçimsi aromasının artmasına yol açmaktadır. Ancak, kaprilik ve kaprik asit gibi tatsız bileşiklerin konsantrasyonu hem süt hem de yoğurtta azalır (Sulejmani ve Hayaloglu, 2018). Ultra pastörize sütün aroması ise, UHT işlemine göre daha belirgin bir kükürt, yumurta ve haşlanmış lahana aroması taşır; bu durum, özellikle β-LG içeren peynir altı suyu proteinlerinden sülfidril bileşiklerinin salınmasıyla ilişkilidir (Vázquez-Landaverde vd., 2006; Lee vd., 2017). UHT işlemi, 2,3-bütandiol, hekzanal, 2-oktanon ve 2-heptanon gibi tat bileşenlerinin daha yüksek konsantrasyonlarda oluşmasını sağlar (Munir vd., 2022). Ayrıca, metil ketonlar ve biyojenik aminler gibi tat dışı bileşiklerin oluşumunu engellemektedir (Voigt vd., 2010; Calzada vd., 2015). Ultrason işlemi ise, asetaldehit, aseton ve hekzanal gibi arzu edilen tat bileşiklerini üretmeye neden olabilir. Bununla birlikte, glutaraldehit, heptanal karbonil, heptanal, 3-oktanon, amil izobutirat, dodekanoik asit ve oktanoik asit gibi istenmeyen uçucu bileşiklerin de üretilebileceği gözlemlenmiştir (Munir vd., 2022). Sonuç olarak, ultrasonik işlemle elde edilen yoğurt "lastiksi", yanık, keskin ve yağlı gibi hoş olmayan bir tada sahip olabilmektedir (Riener vd., 2009; Sfakianakis ve Tzia, 2017). Ohmik ısıtma ise, süt proteininin hidroliz derecesini artırarak vanilya aroması, tatlı ve kremamsı lezzetler üretir (Rocha vd., 2020). Bununla birlikte, furfural, 5-hidroksimetilfurfural, furanon ve karamel gibi istenmeyen tatların da oluşumu mümkündür (Ferreira vd., 2019; Rocha vd., 2020).

9. Yoğurtta lezzeti etkileyen diğer faktörler

Lezzet bileşenlerinin gelişimi, daha önce belirtilen faktörlere ek olarak, depolama ve paketleme

koşullarından da etkilenir. Bu iki unsur, yoğurdun tat profilini önemli ölçüde değiştirebilir.

9.1. Depolama koşullarının lezzet bileşikleri üzerindeki etkisi

Yoğurdun lezzet bileşiklerinin konsantrasyonu, olgunlaşma süreci boyunca değişiklik gösterir ve depolama yöntemi bu değişikliklerin en büyük belirleyicisidir. Örneğin, diasetil konsantrasyonu ortam sıcaklığında depolama sırasında azalırken (Tahmas-Kahyaoğlu vd., 2022), soğutulmuş koşullarda bu bileşiğin konsantrasyonu artma eğilimindedir (Božanić vd., 2003; St-Gelais vd., 2009). Ayrıca, laktik asit, asetik asit ve bütirik asit konsantrasyonları, ortam sıcaklığında depolama sırasında artarken, etil bütirat konsantrasyonunun artmasına katkıda bulunan etanol ile esterleşme süreci de devreye girer (Chen vd., 2019). Soğutulmuş depolamada, asetaldehit, diasetil ve aseton gibi tat bileşiklerinin konsantrasyonu artarken, ortam sıcaklığındaki depolamada bu bileşiklerin konsantrasyonlarında azalma gözlemlenir. Öte yandan, asetoinin konsantrasyonu soğutulmuş depolama sırasında azalsa da, bu bileşik ortam koşullarında yapılan depolama sırasında etkilenmemektedir (Tahmas-Kahyaoğlu vd., 2022). Laktat ve orotat konsantrasyonu ortam sıcaklığında depolama sırasında artarken, pirüvat ve sitrat konsantrasyonları üzerinde herhangi bir etkisi gözlemlenmemiştir (Miyaji vd., 2021). Depolama sırasında, tirozin bileşiği konsantrasyonu belirgin şekilde 0,17 mg/g'dan 0,20 mg/g'a yükselerek yoğurdun acılığını artırmaktadır.

9.2. Ambalajın lezzet üzerindeki etkisi

Yoğurdun depolama sürecinde kullanılan ambalaj materyali, ürünün lezzet profilini doğrudan etkileyebilmektedir. Ambalajın fiziksel ve kimyasal özellikleri, aroma bileşiklerinin stabilitesini ve uçucu maddelerin korunmasını belirleyerek duyusal değişimlere yol açabilmektedir. Özellikle kağıt bazlı ambalajlarda, hekzanal, heptanal ve oktanal gibi aldehit türevi aroma bileşiklerinin oluşumu gözlemlenmiştir. Ambalaj kaynaklı uçucu maddelerin süt ürünlerine geçişi, nonanal (yağlı, turunçgil, çimenli), 2-etil-1-heksanol ve D-limonen (odunsu) gibi bileşiklerin hem nötr tat profiline sahip yoğurtlarda hem de karton ambalajlı ürünlerde tespit edilmesiyle doğrulanmıştır (Zhang vd., 2022). Bu bulgular, ambalaj seçiminin süt ürünlerinin duyusal kalitesi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

10. Sonuç

Son yıllarda yapılan çalışmalar, yoğurdun lezzet profilini oluşturan tat bileşiklerinin tanımlanmasına ve temel aroma bileşenlerinin belirlenmesine odaklanmıştır. Ancak, yoğurt lezzeti üzerine gerçekleştirilen araştırmalar halen yeterince kapsamlı ve sistematik değildir. Bu alandaki boşlukların doldurulması, yoğurt üretiminde kalite ve tüketici beğenisini artırmak açısından önem arz etmektedir.

Çiğ sütün işlenme aşamaları ve depolama koşulları, yoğurdun tat bileşimini doğrudan etkilemektedir. Özellikle sıcaklık ve ambalajlama gibi faktörler, tat bileşiklerinin oluşumu ve stabilitesi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Teknolojik gelişmeler, yoğurdun işlenmesine yönelik yeni ısıl işlemlerin uygulanmasını mümkün kılmakta ve böylece özgün aroma bileşiklerinin oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak, bu yeni teknolojilerin yoğurt üzerindeki etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Lezzeti etkileyen faktörlerin detaylı bir şekilde incelenmesi ve fermente süt ürünlerine yönelik güncel teknoloji uygulamalarının anlaşılması, yoğurt ürünlerinde yeni tat profillerinin geliştirilmesi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, hem işleme hem de depolama süreçlerinin optimizasyonuna odaklanarak, tüketici beklentilerini karşılayan daha yenilikçi ve kaliteli ürünlerin üretilmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

11. Kaynaklar

Afzal, M. I., Ariceaga, C. C. G., Boulahya, K. A., Jacquot, M., Delaunay, S., & Cailliez-Grimal, C. (2017). Biosynthesis and role of 3-methylbutanal in cheese by lactic acid bacteria: Major metabolic pathways, enzymes involved, and strategies for control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(2), 399-406.

Ai, N. S., Liu, H. L., Wang, J., Zhang, X. M., Zhang, H. J., Chen, H. T., ... and Sun, B. G. (2015).

Triple-channel comparative analysis of volatile flavour composition in raw whole and skim milk via electronic nose, GC-MS and GC-O. *Analytical Methods*, *7*(10), 4278-4284.

Akbaridoust, G., Plozza, T., Trenerry, V. C., Wales, W. J., Auldist, M. J., and Ajlouni, S. (2015). Influence of pasture-based feeding systems on fatty acids, organic acids and volatile organic flavour compounds in yoghurt. *Journal of Dairy Research*, *82*(3), 279-286.

Akın, N. (2006). Modern Yoğurt Bilimi ve Teknolojisi. Damla Ofset Konya 456 p.

Akın, N., & Özışık, D. (2023). İnsan Bağırsak Mikrobiyomu Covid-19 İçin Tedavi Stratejileriyle İlişkilendiren Mekanizmalar. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *37*(2), 561-581.

Amador-Espejo, G. G., Gallardo-Chacón, J. J., Juan, B., and Trujillo, A. J. (2017). Effect of ultra-high-pressure homogenization at moderate inlet temperatures on volatile profile of milk. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(5), e12548.

Amador-Espejo, G. G., Suàrez-Berencia, A., Juan, B., Bárcenas, M. E., and Trujillo, A. J. (2014). Effect of moderate inlet temperatures in ultra-high-pressure homogenization treatments on physicochemical and sensory characteristics of milk. *Journal of dairy science*, *97*(2), 659-671.

Bai, M., Huang, T., Guo, S., Wang, Y., Wang, J., Kwok, L. Y., ... and Bilige, M. (2020). Probiotic Lactobacillus casei Zhang improved the properties of stirred yogurt. *Food Bioscience*, *37*, 100718.

Boltar, I., Čanžek Majhenič, A., Jarni, K., Jug, T., and Bavcon Kralj, M. (2015). Volatile compounds in Nanos cheese: Their formation during ripening and sesonal variation. *Journal of Food Science and Technology*, *52*, 608-623.

Božanić, R., Tratnik, L. J., and Hruškar, M. (2003). Influence of culture activity on aroma components in yoghurts produced from goat's and cow's milk. *Acta Alimentaria*, *32*(2), 151-160.

Bui, A. T. H., Cozzolino, D., Zisu, B., and Chandrapala, J. (2020). Effects of high and low frequency ultrasound on the production of volatile compounds in milk and milk products–a review. *Journal of Dairy Research*, *87*(4), 501-512.

Calzada, J., del Olmo, A., Picon, A., Gaya, P., and Nuñez, M. (2015). Effect of high-pressure processing on the microbiology, proteolysis, biogenic amines and flavour of cheese made from unpasteurized milk. *Food and bioprocess technology*, *8*, 319-332.

Canbulat, Z., and Ozcan, T. (2015). Effects of short-chain and long-chain inulin on the quality of probiotic yogurt containing L actobacillus rhamnosus. *Journal of food processing and preservation*, *39*(6), 1251-1260.

Cao, M., Fonseca, L. M., Schoenfuss, T. C., and Rankin, S. A. (2014). Homogenization and lipase treatment of milk and resulting methyl ketone generation in blue cheese. *Journal of agricultural and food chemistry*, *62*(25), 5726-5733.

Capitain, C. C., Nejati, F., Zischka, M., Berzak, M., Junne, S., Neubauer, P., and Weller, P. (2022). Volatilomics-Based Microbiome Evaluation of Fermented Dairy by Prototypic Headspace-Gas Chromatography–High-Temperature Ion Mobility Spectrometry (HS-GC-HTIMS) and Non-Negative Matrix Factorization (NNMF). Metabolites, 12(4), 299.

Carpino, S., Mallia, S., La Terra, S., Melilli, C., Licitra, G., Acree, T. E., ... and Van Soest, P. J. (2004). Composition and aroma compounds of Ragusano cheese: native pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, *87*(4), 816-830.

Carroll, A. L., Desai, S. H., and Atsumi, S. (2016). Microbial production of scent and flavor compounds. *Current opinion in biotechnology*, *37*, 8-15.

Carunchiawhetstine, M. E., Karagul-Yuceer, Y., Avsar, Y. K., and Drake, M. A. (2003). Identification and quantification of character aroma components in fresh Chevre-style goat cheese. *Journal of Food Science*, *68*(8), 2441-2447.

Chaves, A. C. S. D., Fernandez, M., Lerayer, A. L. S., Mierau, I., Kleerebezem, M., and Hugenholtz, J. (2002). Metabolic engineering of acetaldehyde

production by Streptococcus thermophilus. *Applied and Environmental Microbiology*, *68*(11), 5656-5662.

Chen, C., Lu, Y., Yu, H., Chen, Z., and Tian, H. (2019). Influence of 4 lactic acid bacteria on the flavor profile of fermented apple juice. *Food Bioscience*, *27*, 30-36.

Chen, C., Zhao, S., Hao, G., Yu, H., Tian, H., and Zhao, G. (2017). Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. *International Journal of Food Properties*, *20*(sup1), S316-S330.

Cheng, H. (2010). Volatile flavor compounds in yogurt: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, *50*(10), 938-950.

Choudhury, H. D., Deb, P., and Rajwanshi, R. (2021). Microbes: an integral component of flavor production. *Microbial Products for Health, Environment and Agriculture*, 19-38.

Comasio, A., Harth, H., Weckx, S., and De Vuyst, L. (2019). The addition of citrate stimulates the production of acetoin and diacetyl by a citrate-positive Lactobacillus crustorum strain during wheat sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, *289*, 88-105.

Demirgül, F., ve Sağdıç, O. (2018). Fermente süt ürünlerinin insan sağlığına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 45-53.

Dimitrellou, D., Sakadani, E. ve Kandylis, P. (2025). Yoğurtta Probiyotik Canlılığını Artırma: Depolama ve Gastrointestinal Geçiş Sırasında Lacticaseibacillus casei ATCC 393'ü Desteklemede Elma Liflerinin Rolü. *Gıdalar*, *14* (3), 376.

Doğar, D., Çiçek, A., & Ayyıldız, M. (2024). Türkiye'de süt ve süt ürünleri üretiminin mevsimsel ARIMA modeli ile tahmini. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, *11*(3), 642-653.

Elmas, E. T., ve Yuceer, Y. (2024). Yoğurdun Uçucu Bileşen Profili Ve Duyusal Özellikleri Üzerine Kültür Çeşidinin Etkileri. *Gıda*, *49*(4), 595-606.

Eminoğlu, G., ve Şenel, E. (2019). Süt ve Ürünlerinin Duyusal Değerlendirmesinde Kemometrik Yaklaşımlar. *Akademik Gıda*, *17*(1), 102-110.

Ferreira, M. V. S., Cappato, L. P., Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., ... and Cruz, A. G. (2019). Ohmic heating for processing of whey-raspberry flavored beverage. *Food Chemistry*, *297*, 125018.

Fırat, M. Ç., and Çetin, B. (2024). Geleneksel Yoğurtlardan Yoğurt Bakterilerinin İzolasyonu ve İzole Edilen Bakterilerin Yoğurt Nitelikleri Üzerine Etkisi. *Gıda Bilimi ve Mühendisliği Araştırmaları*, *3*(2), 123-129.

Gänzle, M. G. (2015). Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. *Current Opinion in Food Science*, *2*, 106-117.

González-Martín, M. I., Vicente-Tavera, S., Revilla, I., Vivar-Quintana, A. M., González-Pérez, C., Hierro, J. H., and Lobos-Ortega, I. (2016). The role of the canonical biplot method in the study of volatile compounds in cheeses of variable composition. *Grasas y Aceites*, *67*(1), e112-e112.

Güler, H. (2020). Ab Uyum Sürecinde Yunanistan Süt Sektörü Örneğinin İncelenmesi Ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi. *Ejons International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, *4*(16), 915-922.

GÜLER, Z. (2005). Quantification of free fatty acids and flavor characteristics of Kasar cheeses. *Journal of Food Lipids*, *12*(3), 209-221.

Hasegawa, Y., and Bolling, B. W. (2023). Yogurt consumption for improving immune health. *Current Opinion in Food Science*, *51*, 101017.

Jia, W., Liu, Y., and Shi, L. (2021). Integrated metabolomics and lipidomics profiling reveals beneficial changes in sensory quality of brown fermented goat milk. *Food Chemistry*, *364*, 130378.

Jo, Y., Benoist, D. M., Barbano, D. M., and Drake, M. A. (2018). Flavor and flavor chemistry differences among milks processed by high-temperature, short-time pasteurization or ultra-

pasteurization. *Journal of Dairy Science*, *101*(5), 3812-3828.

Kaminarides, S., Stamou, P., and Massouras, T. (2007). Comparison of the characteristics of set type yoghurt made from ovine milk of different fat content. *International Journal of Food Science and Technology*, *42*(9), 1019-1028.

Kilcawley, K. N., Faulkner, H., Clarke, H. J., O'Sullivan, M. G., and Kerry, J. P. (2018). Factors influencing the flavour of bovine milk and cheese from grass based versus non-grass based milk production systems. *Foods*, *7*(3), 37.

Köse, Ş., ve Ocak, E. (2014). Yoğurtta Lezzet Bileşenlerinin Oluşumu ve Bu Oluşum Üzerine Etki Eden Faktörler. Akademik Gıda, 12(2), 101-107.

Lee, A. P., Barbano, D. M., and Drake, M. A. (2017). The influence of ultra-pasteurization by indirect heating versus direct steam injection on skim and 2% fat milks. *Journal of Dairy Science*, *100*(3), 1688-1701.

Li, A., Han, X., Liu, L., Zhang, G., Du, P., Zhang, C., ... and Chen, B. (2024). Dairy products and constituents: a review of their effects on obesity and related metabolic diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *64*(33), 12820-12840.

Li, D., Cui, Y., Wu, X., Li, J., Min, F., Zhao, T., ... and Zhang, J. (2024). Lisansüstü Öğrenci Literatür Taraması: Yoğurtta aroma bileşiklerinin oluşumu ve etki faktörleri ağı. *Süt Bilimi Dergisi*, *107* (11), 8874-8886.

Li, D., Peng, J., Kwok, L. Y., Zhang, W., and Sun, T. (2022). Metabolomic analysis of Streptococcus thermophilus S10-fermented milk. *Lwt*, *161*, 113368.

Li, Y., Zhang, L., and Wang, W. (2013). Heat-induced changes in volatiles of milk and effects of thermal processing on microbial metabolism of yogurt. *Journal of Food Biochemistry*, *37*(4), 409-417.

Liu, C., Yang, P., Wang, H., and Song, H. (2022). Identification of odor compounds and odor-active compounds of yogurt using DHS, SPME, SAFE, and SBSE/GC-O-MS. *Lwt*, *154*, 112689.

Martin, F., Cachon, R., Pernin, K., De Coninck, J., Gervais, P., Guichard, E., and Cayot, N. (2011). Effect of oxidoreduction potential on aroma biosynthesis by lactic acid bacteria in nonfat yogurt. *Journal of Dairy Science*, *94*(2), 614-622.

McAuliffe, O., Kilcawley, K., and Stefanovic, E. (2019). Symposium review: Genomic investigations of flavor formation by dairy microbiota. *Journal of dairy science*, *102*(1), 909-922.

Mitani, T., Kobayashi, K., Ueda, K., and Kondo, S. (2016). Discrimination of "grazing milk" using milk fatty acid profile in the grassland dairy area in Hokkaido. *Animal science journal*, *87*(2), 233-241.

Miyaji, K., Kuwano, Y., Murakami, Y., Hirata, S., Imayoshi, Y., Maruyama, H., ... and Azuma, N. (2021). Off-flavors generated during long-term ambient storage of pasteurized drinking yogurt from skim milk. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, *85*(2), 391-400.

Moio, L., Rillo, L., Ledda, A., and Addeo, F. (1996). Odorous constituents of ovine milk in relationship to diet. *Journal of Dairy Science*, *79*(8), 1322-1331.

Moore, J. B., Horti, A., and Fielding, B. A. (2018). Evaluation of the nutrient content of yogurts: a comprehensive survey of yogurt products in the major UK supermarkets. *BMJ open*, *8*(8), e021387.

Mounchili, A., Wichtel, J. J., Bosset, J. O., Dohoo, I. R., Imhof, M., Altieri, D., ... and Stryhn, H. (2005). HS-SPME gas chromatographic characterization of volatile compounds in milk tainted with off-flavour. *International dairy journal*, *15*(12), 1203-1215.

Munir, M., Nadeem, M., Ali, B., Sultan, M., Kanwal, R., Al-Jumayi, H. A., ... and Mahmoud, S. F. (2022). Investigating the impact of ultrasound, microwave, and high-pressure processing of milk on the volatile compounds and sensory properties of cheddar cheese. *Agriculture*, *12*(5), 577.

Niro, S., Succi, M., Tremonte, P., Sorrentino, E., Coppola, R., Panfili, G., and Fratianni, A. (2017). Evolution of free amino acids during ripening of Caciocavallo cheeses made with different

milks. *Journal of Dairy Science*, *100*(12), 9521-9531.

Oğurlu, M. N. (2019). *Tarhana üretiminde farklı oranlarda kullanılan yağı azaltılmış fındık posasının ürünün fizikokimyasal ve duyusal özelliklerine etkisi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Ott, A., Germond, J. E., and Chaintreau, A. (2000). Origin of acetaldehyde during milk fermentation using 13C-labeled precursors. *Journal of agricultural and food chemistry*, *48*(5), 1512-1517.

Ozturk, G., Paviani, B., Rai, R., Robinson, R. C., Durham, S. D., Baller, M. I., ... and Barile, D. (2024). Investigating milk fat globule structure, size, and functionality after thermal processing and homogenization of human milk. *Foods*, *13*(8), 1242.

Özışık, D., Akın, N., ve Arslan, F. (2025). Yoğurt Üretiminde Hidrokolloid Kullanımı: Gelişen Teknolojiler ve İnovatif Çözümler. *Akademik Et ve Süt Kurumu Dergisi*, (9), 19-27.

Pan, D. D., Wu, Z., Peng, T., Zeng, X. Q., and Li, H. (2014). Volatile organic compounds profile during milk fermentation by Lactobacillus pentosus and correlations between volatiles flavor and carbohydrate metabolism. *Journal of dairy science*, *97*(2), 624-631.

Pannerchelvan, S., Rios-Solis, L., Wasoh, H., Sobri, M. Z. M., Wong, F. W. F., Mohamed, M. S., ... and Halim, M. (2024). Functional yogurt: a comprehensive review of its nutritional composition and health benefits. *Food & Function*.

Peng, C., Yao, G., Sun, Y., Guo, S., Wang, J., Mu, X., ... and Zhang, H. (2022). Comparative effects of the single and binary probiotics of *Lacticaseibacillus casei* Zhang and *Bifidobacterium lactis* V9 on the growth and metabolomic profiles in yogurts. *Food Research International*, *152*, 110603.

Pereira, C. T. M., Pereira, D. M., and Bolini, H. M. A. (2021). Influence of a prebiotic and natural sweeteners on the sensory profile of skyr yogurt with mango pulp. *Journal of food science*, *86*(6), 2626-2639.

Ponnampalam, EN, Priyashantha, H., Vidanarachchi, JK, Kiani, A. ve Holman, BW (2024). Evcilleştirilmiş geviş getiren hayvanların et ve sütünün yağ içeriği, yağ asidi bileşimi ve duyusal özellikleri üzerinde beslenme faktörlerinin etkileri: genel bir bakış. *Hayvanlar*, *14* (6), 840.

Qian, M., and Reineccius, G. (2003). Potent aroma compounds in Parmigiano Reggiano cheese studied using a dynamic headspace (purge-trap) method. *Flavour and fragrance journal*, *18*(3), 252-259.

Reyes-Díaz, R., González-Córdova, A. F., del Carmen Estrada-Montoya, M., Méndez-Romero, J. I., Mazorra-Manzano, M. A., Soto-Valdez, H., and Vallejo-Cordoba, B. (2020). Volatile and sensory evaluation of Mexican Fresco cheese as affected by specific wild Lactococcus lactis strains. *Journal of Dairy Science*, *103*(1), 242-253.

Ribeiro, A. C., Magnani, M., Baú, T. R., Esmerino, E. A., Cruz, A. G., and Pimentel, T. C. (2024). Update on emerging sensory methodologies applied to investigating dairy products. *Current Opinion in Food Science*, *56*, 101135.

Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., and Lyng, J. G. (2009). Characterisation of volatile compounds generated in milk by high intensity ultrasound. *International Dairy Journal*, *19*(4), 269-272.

Rizzoli, R., and Biver, E. (2024). Role of fermented dairy products in the health benefits of a mediterranean diet. *Aging Clinical and Experimental Research*, *36*(1), 75.

Rocha, R. S., Calvalcanti, R. N., Silva, R., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., ... and Cruz, A. G. (2020). Consumer acceptance and sensory drivers of liking of Minas Frescal Minas cheese manufactured using milk subjected to ohmic heating: Performance of machine learning methods. *LWT*, *126*, 109342.

Routray, W., and Mishra, H. N. (2011). Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *10*(4), 208-220.

Ruiz Pérez-Cacho, P., de la Haba Ruiz, M. A., Dios-Palomares, R., and Galán-Soldevilla, H.

(2019). Linear regression models for estimating the effect of technological factors on the sensory characteristics of goat cheeses. *International Journal of Food Science and Technology*, *54*(7), 2396-2407.

Salhi, O., Dahmani, H., Nabi, M., Ouchetati, I., Mekri, M., Mihoubi, M., ... and Khelifi Touhami, N. A. (2025). Comparative analysis of physicochemical properties and fatty acid composition of milk from different ruminant species: implications for dairy production and nutrition. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *24*(4), 1-10.

Settachaimongkon, S., Nout, M. R., Fernandes, E. C. A., Hettinga, K. A., Vervoort, J. M., van Hooijdonk, T. C., ... and van Valenberg, H. J. (2014). Influence of different proteolytic strains of Streptococcus thermophilus in co-culture with Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus on the metabolite profile of set-yoghurt. *International journal of food microbiology*, *177*, 29-36.

Sfakianakis, P., and Tzia, C. (2017). Flavour profiling by gas chromatography–mass spectrometry and sensory analysis of yoghurt derived from ultrasonicated and homogenised milk. *International Dairy Journal*, *75*, 120-128.

Shahbandeh, M. (2023a). Global yogurt industry market revenue forecast 2018–2028. Accessed Nov. 3, 2023. https://www.statista.com/statistics/870893/global-yogurt-market-value-forecast/.

Shahbandeh, M. (2023b). U.S. yogurt market—Statistics & facts. Accessed Dec. 19, 2023. https://www .statista .com/ topics/1739/yogurt/#topicOverview.

Smit, B. A., Engels, W. J. M., Wouters, J. T. M., and Smit, G. (2004). Diversity of L-leucine catabolism in various microorganisms involved in dairy fermentations, and identification of the rate-controlling step in the formation of the potent flavour component 3-methylbutanal. *Applied microbiology and Biotechnology*, *64*, 396-402.

Soutelino, M. E. M., da Silva, D. B., da Silva Rocha, R., de Oliveira, B. C. R., Esmerino, E. A., da Cruz, A. G., ... and Silva, A. C. D. O. (2023). Yogurt added with beetroot extract: physicochemical parameters, biological activities and sensory evaluation by check-all-that-apply method. *International Journal of Food Science and Technology*, *58*(6), 3303-3309.

St-Gelais, D., Lessard, J., Champagne, C. P., and Vuillemard, J. C. (2009). Production of fresh Cheddar cheese curds with controlled postacidification and enhanced flavor. *Journal of dairy science*, *92*(5), 1856-1863.

Sulejmani, E. I., and Hayaloglu, A. A. (2018). Characterisation of Macedonian white-brined cheese: Effect of raw or heat-treated caprine milk. *International Journal of Dairy Technology*, *71*(2), 408-416.

Sun, Y., Liu, X., Wang, R., Liu, R., Lv, X., Ma, Y., and Li, Q. (2024). Lacticaseibacillus rhamnosus HF01 fermented yogurt alleviated high-fat diet-induced obesity and hepatic steatosis via the gut microbiota–butyric acid–hepatic lipid metabolism axis. *Food & function*, *15*(8), 4475-4489.

Tahmas-Kahyaoğlu, D., Cakmakci, S., and Hayaloglu, A. A. (2022). Changes during storage in volatile compounds of butter produced using cow, sheep or goat's milk. *Small Ruminant Research*, *211*, 106691.

Tian, H., Shi, Y., Zhang, Y., Yu, H., Mu, H., and Chen, C. (2019). Screening of aroma-producing lactic acid bacteria and their application in improving the aromatic profile of yogurt. *Journal of Food Biochemistry*, *43*(10), e12837.

Tian, H., Yu, B., Yu, H., and Chen, C. (2020). Evaluation of the synergistic olfactory effects of diacetyl, acetaldehyde, and acetoin in a yogurt matrix using odor threshold, aroma intensity, and electronic nose analyses. Journal of Dairy Science, 103(9), 7957-7967.

Tong, L., Yi, H., Wang, J., Pan, M., Chi, X., Hao, H., and Ai, N. (2019). Effect of preheating treatment before defatting on the flavor quality of skim milk. *Molecules*, *24*(15), 2824.

Toso, B., Procida, G., and Stefanon, B. (2002). Determination of volatile compounds in cows' milk using headspace GC-MS. Journal of Dairy Research, 69(4), 569-577.

Ulusal Süt Konseyi. (2022). Türkiye'de süt ve süt ürünleri tüketimi istatistikleri. https://www.sutkonseyi.org.tr (Erişim: 28 Ağustos 2025)

Vazquez-Landaverde, P. A., Torres, J. A., and Qian, M. C. (2006). Quantification of trace volatile sulfur compounds in milk by solid-phase microextraction and gas chromatography–pulsed flame photometric detection. *Journal of Dairy Science*, *89*(8), 2919-2927.

Vazquez-Landaverde, P. A., Velazquez, G., Torres, J. A., and Qian, M. C. (2005). Quantitative determination of thermally derived off-flavor compounds in milk using solid-phase microextraction and gas chromatography. *Journal of Dairy Science*, *88*(11), 3764-3772.

Vélez, M. A., Hynes, E. R., Meinardi, C. A., Wolf, V. I., and Perotti, M. C. (2017). Cheese milk low homogenization enhanced early lipolysis and volatiles compounds production in hard cooked cheeses. *Food Research International*, *96*, 215-225.

Voigt, D. D., Chevalier, F., Qian, M. C., and Kelly, A. L. (2010). Effect of high-pressure treatment on microbiology, proteolysis, lipolysis and levels of flavour compounds in mature blue-veined cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *11*(1), 68-77.

Wang, B., Wang, J., Xu, L. Y., Zhang, J. H., Ai, N. S., and Cao, Y. P. (2020). Characterization of the key odorants in kurut with aroma recombination and omission studies. *Journal of Dairy Science*, *103*(5), 4164-4173.

Wolf, I. V., Bergamini, C. V., Perotti, M. C., and Hynes, E. R. (2013). Sensory and flavor characteristics of milk. *Milk and dairy products in human nutrition: Production, Composition and Health*, 310-337.

Yang, Y. (2020). Milk and milk products. Pages 102–103 in China Food Composition Tables Standard Edition, 6th ed. Shanghai Jiaotong University Press.

Yiğit, E. A., and Yiğit, Y. (2020). Probiyotik Besinlerin Sağlık Üzerine Etkisi. *Turan: Stratejik Arastirmalar Merkezi*, *12*(46), 339-345.

Zabaleta, L., Albisu, M., and Barron, L. J. R. (2017). Volatile compounds associated with desirable flavour and off-flavour generation in ewe´ s raw milk commercial cheeses. *European Food Research and Technology*, *243*, 1405-1414.

Zhang, Y. C., Lin, Q. B., Zhong, H. N., and Zeng, Y. (2022). Identification and source analysis of volatile flavor compounds in paper packaged yogurt by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. Food Packaging and Shelf Life, 34, 100947.

Zheng, X., Shi, X., and Wang, B. (2021). A review on the general cheese processing technology, flavor biochemical pathways and the influence of yeasts in cheese. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 703284.

Zisu, B. ve Chandrapala, J. (2015). Süt ve süt ürünlerinde yüksek güçlü ultrason işleme. *Ortaya çıkan süt işleme teknolojileri: Süt endüstrisi için fırsatlar*, 149-180.