

LİPAZ KATALİZLİ ENZİM MODİFİYE KREMA ÜRETİMİ VE LEZZET KATKISI OLARAK KULLANIMI

Ezgi YIKICI¹, Yonca KARAGÜL YÜCEER^{2*}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ezine Gıda İhtisas Organize Sanayi Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Ezine, Çanakkale, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye

Geliş / Received 14.01.2025; Kabul / Accepted: 14.04.2025; Online baskı / Published online: 28.04.2025

Yıkıcı, E., Karagül Yüceer, Y. (2025). Lipaz katalizli enzim modifiye krema üretimi ve lezzet katkısı olarak kullanımı. GIDA (2025) 50 (3) 361-373 doi: 10.15237/ gida.GD25017

Yıkıcı, E., Karagül Yüceer, Y. (2025). Production of lipase-catalyzed enzyme modified cream and its use as a flavor additive. GIDA (2025) 50 (3) 361-373 doi: 10.15237/ gida.GD25017

ÖZ

Enzim modifiye süt ürünleri üretiminde kullanılan başlıca enzim grubunu lipazlar oluşturmaktadır. Süt kremasının lipaz enzimi ile hidrolizasyonu ve esterifikasyonu sonucu oluşan ürüne lipolize krema (enzim modifiye krema- EMK) denilmektedir. EMK; konsantre krema-tereyağı aroma eldesi, düşük maliyet, sürdürülebilir endüstriyel uygulanabilirlik ve son ürün kararlılığı nedeniyle birçok yönden avantaj sağlamaktadır. Aroma oluşumu geleneksel süt ürünlerinde olgunlaştırma ve depolama sırasında uzun sürede gerçekleşmektedir. Aylarca sürebilen bu aşamada gıdanın doğal florasından kaynaklanan mikrobiyel faaliyetlerin kontrol altına alınamaması sonucu gıda güvenliği tam olarak sağlanamayabilmektedir. Üretim ve depolama kapasitesinde aksamalar olabilmektedir. Böylece standart ürün üretmekte zorluklar yaşanabilmektedir. Geleneksel üretimdeki bu dezavantajların aksine kontrollü koşullarda uygulanan enzimatik modifikasyonlar ile arzu edilen konsantre aroma ve lezzet 1-7 gün gibi kısa sürede, konsantre halde elde edilmektedir. Literatürde EMK ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu derleme lipaz enziminin özelliklerini, süt teknolojisinde kullanım alanlarını ve lezzet katkısı olarak üretilen EMK konusunda yapılan çalışmaları kapsamaktadır.

Anahtar kelimeler: Lipoliz, enzim modifiye krema, olgunlaşma, lezzet artırıcı

PRODUCTION OF LIPASED ENZYME MODIFIED CREAM AND ITS USE AS A FLAVOR ADDITIVE

ABSTRACT

Lipases are the main enzyme group used in the production of enzyme modified dairy products. The product resulting from the hydrolyzation and esterification of milk cream with lipase enzyme is called lipolyzed cream (enzyme modified cream-EMC). EMC is advantageous in many ways due to concentrated cream-butter flavor production, low cost, sustainable industrial applicability and product stability. Aroma formation occurs in traditional dairy products over a long period of time during ripening and storage. At this stage, which can last for months, food safety may not be fully insured as a result of the failure to control microbial activities originating from the natural flora of the food. Disruptions in production and storage capacity are subject to change. Thus, difficulties may

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: yoncayuceer@comu.edu.tr

☎: (+90) 286 218 0018/20051

☎s: (+90) 286 218 0541

Ezgi Yıkıcı; ORCID no: 0000-0002-7274-5584

Yonca Karagül Yüceer; ORCID no: 0000-0002-9028-2923

arise in producing standard products. Unlike these disadvantages in traditional production, the desired concentrated aroma and taste can be obtained in a short time such as 1-7 days with enzymatic modifications applied under controlled conditions. Studies on EMC are quite limited in literature. This review covers the properties of the lipase enzyme, its areas of use in dairy technology, and studies on EMC produced to develop flavor in some foods.

Keywords: Lipolysis, enzyme modified cream, maturation, flavor enhancer

GİRİŞ

Enzimler, kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi için gerekli aktivasyon enerjisini düşürerek tepkimeyi hızlandıran protein yapısında katalizörlerdir (Santos vd., 2022; Alzahrani vd., 2024). Enzimatik reaksiyonlar sonucunda gıdaların tat, aroma, renk, doku ve işlenebilirlik gibi özellikleri geliştirilmektedir (Sutay Kocabaş, 2021; Kumar vd., 2024). Doğada neredeyse tüm lezzet bileşenlerinin kaynağı enzim reaksiyonlarıdır. Aroma bileşiklerinin bazıları birincil son ürünlerdir, bazıları ise kimyasal ve enzimatik değişikliklerin ikincil veya üçüncül reaksiyon ürünleridir. Bu nedenle aroma dinamik bir sistemdir ve değişim halindedir (Kılara, 2011; Özatay ve Kaya, 2024).

Enzimlerin-enzimatik katalizörlerin süt endüstrisinde başlıca kullanım nedenleri ve avantajları belirtilmiştir. Bunlar; yeni fiziksel, duyu ve fonksiyonel özellikli süt ve süt ürünleri üretmek, yüksek ürün kalitesi elde etmek, kısıtlanmış sentez yolları ile kapasiteyi arttırmak, diyet ürünlerin hazırlanmasını sağlamak, fonksiyonel özellikleri modifiye etmek, doku ve lezzet gelişimini sağlamak, peynirin olgunlaştırılmasını hızlandırmak, hammadde girdisinde azalma ve düşük enerji kullanımı ile maliyet tasarrufu sağlamak, kimyasal bir reaksiyonun yan ürün oluşturmada gerçekleşmesini sağlamak ve çevre dostu olmaları ile atık oluşturmamalarıdır (Greicius vd., 2023; Castro ve Pinheiro, 2024). Lipaz, proteaz, katalaz, laktaz, transglutaminaz gibi enzimler süt ve ürünlerinin üretiminde veya kalitelerinin artırılmasında kullanılan başlıca enzim gruplarıdır (Mir Khan ve Selamoglu, 2020; Kumar vd., 2024; Özatay ve Kaya, 2024).

Süt yağının lipolizi ile lezzet yoğunluğu artırılmış doğal katkı maddesi elde etme yöntemi, üzerinde çalışılan başlıca konulardan biridir. Son yıllarda süt ve ürünlerine uygulanan enzimatik hidroliz ile

üretilecek enzim modifiye peynir, enzim modifiye krema ve enzim modifiye tereyağı önem kazanmıştır (Erbay vd., 2017). Enzim modifiye süt ürünleri üretimi ile geleneksel üretimde karşılaşılan bazı dezavantajlar da giderilmektedir. Uygulanan enzimatik işlemler ile aylarca depolama sonucu elde edilebilen geleneksel lezzetlerin daha kısa sürede (1-7 gün) konsantre olarak sağlanması, depolama maliyetlerinin bu sayede düşmesi, olgunlaştırma-depolama süresinin uzunluğuna bağlı olarak gıdanın mevcut florasında bulunan mikroorganizmaların kontrolsüz gelişme ihtimali ile bozulmaya sebep olabilecek olası mikrobiyel faaliyetlerin önlenmesi, son ürün kalitesi açısından standart bir üretim sağlanması ile mevcut bazı risklerin ortadan kaldırılması mümkündür. Bu derlemenin amacı lipaz enziminin özelliklerini, süt teknolojisinde kullanım alanlarını, avantajlarını ve lezzet katkısı olarak üretilen enzim modifiye krema (EMK) konusunda yapılan çalışmaları ortaya koyarak önemini vurgulamaktır.

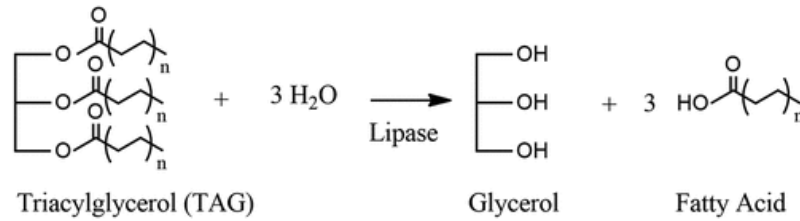
LİPAZLARIN KAYNAKLARI VE ÖZELLİKLERİ

Lipitlerin parçalanmasını sağlayan lipazlar, yağ asitlerini serbest bırakan yağ-su arayüzünde tri-, di- ve monoasilgliserollerini hidrolize eden gliserol ester hidrolazlardır (EC 3.1.1.3). Şekil 1'de gösterildiği gibi lipazlar; suyun varlığında triasilgliseroldeki yağ asidi ester bağının hidrolizinden ve serbest yağ asitlerinin salınımından sorumludur (Hossein vd., 2009; Melani vd., 2020). Genellikle gliserol molekülünün *sn-1* ve *sn-3* karbon pozisyonundaki yağ asitlerinin ester bağlarını birlikte veya ayrı olarak hidrolize ederler (Law, 2010).

Lipazların etki göstermesi için substratların suda çözünmemesi ve emülsifiye edilmesi gerekmektedir (Kılara, 2011; Konkit ve Kim, 2016; Mohammadi vd., 2021; Marwa vd., 2024). Lipazlar, lipoliz olarak adlandırılan hidroliz reaksiyonunun yanı sıra esterifikasyon,

interesterifikasyon, asidoliz, alkoliz ve aminoliz gibi sentez reaksiyonlarını da katalize etmektedir. Sulu ortamlarda hidroliz tepkimesi baskın olarak gerçekleşirken, sentez tepkimeleri su miktarının sınırlı olduğu veya bulunmadığı (organik) ortamda gerçekleşmektedir. Lipazların birincil rolü, lezzet gelişiminin öncüleri olan çeşitli serbest yağ asitlerini açığa çıkarmak ve farklı uçucu bileşiklerin oluşumunu sağlamaktır (Asif vd., 2023). Sonuç olarak son ürünün doğrudan veya dolaylı olarak lezzet gelişimine katkı sağlanmaktadır. Özellikle kısa ve orta zincirli uçucu serbest yağ asitlerinin düşük algılama eşikleri ürün lezzetini doğrudan etkilemektedir (Fraga vd., 2020; Koyuncu ve Batur, 2023). Bu nedenle kısa zincirli (4-8 karbonlu) ve orta zincirli (10-12 karbonlu) yağ asitleri gıda endüstrisinde doğal katkı maddelerine yönelik artan talebi karşılayan aroma vericiler olarak da kullanılmaktadır (Soares vd., 2020). Kısa zincirli yağ asitleri olan bütanoik, hekzanoik ve oktanoik

asitler istenen tereyağı lezzetine önemli katkı sağlayan bileşiklerdir (Kurtovic vd., 2016; Omar vd., 2016; Ulubaş, 2022). Wang ve Xu (2009); yaptıkları çalışmada peynir aromasından sorumlu başlıca yağ asitlerinin bütanoik asit ve hekzanoik asit olduğunu bildirmiştir. Omar vd. (2016) tarafından süt yağının 3 farklı mikrobiyel lipaz ile hidrolize edildiği çalışmada, örneklerde bütanoik asit, hekzanoik asit ve oktanoik asitin baskın olarak açığa çıktığı bildirilmiştir. Bu kısa zincirli yağ asitleri kremamsı, tereyağı ve keskin peynir aromaları ile ilişkilendirilmiştir (Wang ve Xu 2009; Kendirci vd., 2020; Zhang vd., 2021a, Karakus vd., 2022). Lipaz aktivitesini etkileyen başlıca faktörler; enzim türü, enzim kaynağı, enzim konsantrasyonu, substrat konsantrasyonu, emülsiyon stabilitesi, yağ-su arayüzeyi, sıcaklık, pH, süre, radyasyon, yüksek basınç, nem, emülgatör kullanımı ve çalkalama işlemi olarak belirtilmiştir (Law, 2010; Kılara, 2011).



Şekil 1. Lipaz hidroliz reaksiyonunun genel şeması (Messaoudi vd., 2010; Melani vd., 2020).

Doğada, çeşitli kaynaklardan temin edilebilen lipazların reaksiyon özelliklerinde önemli farklılıklar vardır ve bu özelliğe enzim özgüllüğü denilmektedir. Çoğunlukla trigliseritlerin gliserol kısmında konumsal özgüllük gösterirler. Bu özgüllük durumu dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar: substrata özgüllük (yalnız monoaçilgliserollere, mono- ve diaçilgliserollere ve yalnızca triaçilgliserollere özgüllük gösterme), konumsal özgüllük (*sn-1* ve *sn-3* konumsal özgüllük veya yalnızca *sn-2* konumsal özgüllük gösterme), yağ asidine özgüllük (belirli yağ asitlerine özgül olma durumu) ve özgüllük göstermeme (substrat veya açıl pozisyonlarının hiçbirine tercih göstermeme) durumlarıdır (Hossein vd, 2009; Kılara 2011; Rivero-Pino vd., 2020). Bu durum farklı lipaz enzimleri kullanılarak hidrolize edilen ürünlerin lezzet çeşitliliğini arttırmaktadır (Wang ve Xu 2009). Mikrobiyel

lipazların büyük çoğunluğunun (*Aspergillus niger*, *Mucor javanicus*, *Rhizopus arrhizus*, *Rhizopus delmar*, *Pseudomonas fragi* ve *Penicillium roqueforti* kaynaklı enzimler) ve pregastrik esterazların *sn-1* ve *sn-3*'e konumsal özgüllük gösterdiği düşünülmektedir. Diğer bazı mikrobiyel lipazların (*Candida cylindracea* ve *Staphylococcus aureus* kaynaklı lipazlar) ise herhangi bir özgüllük gösterme özelliği yoktur. Bunlar, trigliserit yapısındaki yağ asitlerini rastgele serbest bırakmaktadır (Kilcawley, 2006; Kılara, 2011). Nyssöola vd. (2015) süt yağında seçici olarak orta ve uzun zincirli yağ asitlerinin salınımını azaltarak doymamış yağ asidi bakımından zengin ürün üretmeyi amaçlamıştır. Bu nedenle çalışmada üç farklı mikrobiyel lipaz (*Candida rugosa* kaynaklı CRU-NS, *Thermomyces lanuginosus* kaynaklı TLA-1,3, *Pseudozyma antarctica* kaynaklı PAN-2) kullanılmıştır. Hidrolize edilmemiş süt yağı ile karşılaştırıldığında, *sn-2*

bölgesine özgülük gösteren PAN-2 (*Pseudozyma antarctica*) lipaz ile muamele edilen numune orta ve uzun zincirli yağ asitleri orantılı olarak azalırken doymamış yağ asitlerinin miktarı artmıştır. Araştırmacılar PAN-2 lipaz ile hidrolize edilen ürünün sağlık açısından potansiyel olarak yararlı olduğunu ve tereyağı ikame ürünlerinin üretiminde kullanılabileceğini bildirmiştir.

Genel olarak lipazlar, kullanılan substrata bağlı olarak pH 6.0- 8.0 ve 30-40 °C'lik bir sıcaklık aralığında aktivite göstermektedir, ancak bu değerler enzimin kaynağına göre değişebilmektedir (Santos vd., 2022). %99 yağlı tereyağı emülsiyonu ve %35 yağlı UHT kremanın substrat olarak kullanıldığı bir çalışmada mikrobiyel kaynaklı altı farklı ticari lipazın mavi küflü peynir lezzeti üretme yeteneği ile lipolitik aktiviteleri incelenmiştir. Sonuçta aromalı peynirlerin hazırlanması için gerekli olan serbest yağ asidi konsantrasyonunun kullanılan UHT krema ile daha fazla açığa çıktığı, lipazların sıcaklık değişimine kıyasla pH değişimine daha hassas olduğu ortaya konmuştur (Tomasini vd., 1993).

Lipazlar doğada mikrobiyel, hayvansal ve bitkisel kaynaklardan elde edilmektedir (Kıymacı vd., 2022; Castro ve Pinheiro, 2024; Fahim vd., 2024). Bitkisel kaynaklı lipazlar yağlı tohumlardan (buğday, badem, fındık, kayısı çekirdeği, hint fasulyesi, antep fıstığı tohumu vb.) izole edilmekle birlikte ticari olarak kullanımları mevcut değildir (Hosseinvd., 2009; Kilara, 2011; Borrelli ve Trono, 2015). Süt endüstrisinde aroma üretiminde ve modifikasyon çalışmalarında kullanılan lipazların ana kaynakları mikroorganizmalar ve hayvanlardır. Hayvansal ve mikrobiyel (maya, küf veya bakteriler) kaynaklı lipazlar substrat özelliklerine göre değişim gösterdikleri için farklı lezzetlerin üretiminde önemli rol oynamaktadır. Mikroorganizmaların çeşitliliği sonucu farklı katalitik aktiviteler göstermeleri, yüksek verimleri, kolay ekstraksiyon prosedürleri, ucuz ve hızlı sonuç vermeleri, enzimatik reaksiyon ürünlerinin kararlı ve stabil olması gibi sebeplerden dolayı endüstride mikrobiyel lipaz kullanımı daha yaygındır. Mikrobiyel enzimlerle karşılaştırıldığında hayvansal kaynaklı enzimlerin sayıları ve çeşitleri oldukça azdır. Ancak farklı hayvansal

lipazlar da ticari olarak piyasada bulunmaktadır (Kilara, 2011; Konkrit ve Kim, 2016). Farklı tür memelilerden, balık ve böceklerden lipaz elde edilmiştir. Somon balığından elde edilen sindirim lipazının sütte lezzet bileşenleri oluşturma potansiyelinin araştırıldığı bir çalışmada (Kurtovic vd., 2016), lipolize süt örneklerinde yüksek konsantrasyonlarda bütanoik asit, hekzanoik asit ve 2-heptanon açığa çıkmıştır. Endüstriyel işlemlerde kullanılan hayvansal lipazlar; pregastrik esterazlar (lingual lipaz) ve pankreatik (pankreas bezi) lipazlar olarak iki kaynaktan sağlanmaktadır (Kilara, 2011; Melani vd., 2020). Pankreatik lipazlar hayvanların pankreas bezlerinden (özellikle sığır ve domuz) elde edilmektedir. Pregastrik esterazlar ise geviş getiren genç hayvanların (oğlak, kuzu, buzağı) pregastrik dokularından diğer bir ifade ile epiglot bölgelerinden (dil kökü dokusu) elde edilmektedir (Kilara, 2011; Sutay Kocabaş vd., 2022). Aslında hayvansal enzimler, hayvanların atılan veya az değerli olan organlarından elde edilmektedir. Örneğin; pankreas çok zengin bir enzim (amilaz, proteaz ve lipaz) kaynağıdır. Hayvansal kaynaklı lipazlar, genellikle kısa ve orta zincir uzunluğuna sahip yağ asitlerini hidrolize etmektedir (Mir Khan ve Selamoglu, 2020). Trigliserit yapısındaki *sn-1* ve *sn-3* bölgelerine etki ederek son üründe bütanoik asit miktarını arttırmaktadırlar. Ha ve Lindsay (1993) tarafından 11 farklı lipaz enzimi (hayvansal ve mikrobiyel kaynaklı) ile üç farklı substratın (inek, koyun ve keçi sütü) hidrolize edildiği çalışmada; üç pregastrik lipaz (keçi, buzağı ve kuzu) keçi sütünde diğerlerine kıyasla daha yüksek konsantrasyonlarda C₈ (kaprilik asit) ve C₁₀ (kaprik asit) oluşumuna neden olmuştur. Koyun sütü yağının, domuz pankreas lipazı ile hidrolizasyonu sonucunda ise inek ve/veya keçi sütü yağına göre önemli ölçüde daha yüksek C₄ (bütanoik asit) oluştuğu belirlenmiştir. Her tip pregastrik lipazın (buzağı, oğlak veya kuzu) farklı yağ asidi seçiciliğinden dolayı kendi karakteristik lezzet profili oluşmaktadır (Sowa vd., 2022). 'Tereyağımsı ve hafif biberli' bir aroma buzağı lipazı ile, 'keskin acımsı-baharat' aroması oğlak lipazı ile, güçlü bir 'Pecerino (bir çeşit olgun koyun peyniri)' aroması ise kuzu lipazı kullanılarak elde edilebilmektedir (Hosseini vd. 2009; Erbay vd., 2016). Böylece hayvansal enzimler özel kullanım

alanlarında avantaj sağlamaktadır. Enzimlerin seçimi, serbest hale geçen yağ asitlerinin nihai profilini ve ortaya çıkan ürünün lezzetini belirlediği için kritik öneme sahiptir (Fraga vd., 2020). Farklı bir çalışmada susuz süt yağına, dört farklı ticari mikrobiyel lipaz (*Rhizomucor miehei*, *Rhizopus oryzae*, *Candida rugosa*, *Candida cylindracea* kaynaklı) uygulanmıştır. Çalışmada 46 uçucu bileşik (3 aldehit, 5 keton, 12 yağ asidi, 23 ester ve 3 lakton) belirlenmiştir. Palatase 20000L'nin (*Rhizomucor miehei* kaynaklı) lipolize süt yağı üretiminde tercih edilme sebebi; yüksek konsantrasyonlarda açığa çıkardığı bütanoik asit, hekzanoik asit, δ -dodekalakton, 2-nonanon, 2-undekanon ve hekzanal ile ilişkilendirilmiştir (Wang ve Xu 2009). Chen vd. (2021) tarafından keçi sütü ürünlerinde ekşimiş-keskin olarak nitelendirilen olumsuz tat algısını değiştirme noktasında yeni aroma bileşikleri üretmek için iki aşamalı lipaz modifikasyonunun etkisi araştırılmıştır. Kullanılan dört ticari lipazdan (*Aspergillus oryzae* tarafından üretilen Palatase 20000L, *Thermomyces lanuginosus*' dan üretilen Lipozyme TL IM, *Candida antarctica*'dan üretilen Novozyme 435, *Candida rugosa*'dan üretilen Candida Rugosa VII) Lipozyme TL IM'nin, 60 °C'de ve pH 8.0'de lipid hidrolizinin katalizinde en verimli enzim olduğu belirlenmiştir. İkinci adımda esterlerin sentezi için yapılan esterifikasyon işlemi ile hoşla gitmeyen “keçi” aromasının yoğunluğu azaltılmıştır. Meyvemsi aromaya sahip esterlerin üründeki toplam uçucu profilin %65'inden fazlasını oluşturduğu bildirilmiştir. Farklı bir çalışmada ise peynire özgü aromaların üretimi için inek, koyun ve keçilerden elde edilen susuz süt yağları on farklı mikrobiyel kaynaklı lipaz ve bir kütinaz tarafından lipoliz edilmiştir. En yüksek hidroliz dereceleri, koyun sütü yağında (%8.7) *Candida cylindracea* kaynaklı AY30TM lipaz ile, koyun sütü yağında (%8.0) *Rhizopus niveus* kaynaklı NTM lipaz ile ve inek sütü yağında (%8.3) *Pseudomonas fluorescens* kaynaklı AK20TM lipaz etkisiyle elde edilmiştir. Enzimlerin çoğu, C_{16:0} (palmitik asit), C_{18:0} (stearik asit), C_{12:0} (laurik asit) ve C_{14:0} (miristik asit) yağ asitlerini yüksek konsantrasyonda açığa çıkarmıştır. Lipolize süt yağlarının peynire özgü aromaların üretimi için alternatif hammadde olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır (Regado vd., 2007).

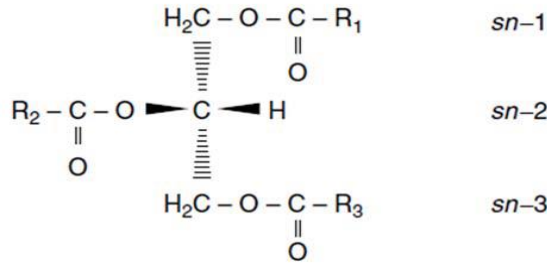
SÜT KREMASINDA (YAĞINDA) LİPAZLARIN KULLANIMI

Süt serumu içerisindeki süt yağı, emülsiyon halde ve yağ globülleri şeklinde bulunmaktadır. Globüllerin her biri, üç katmanlı globül zarı ile çevrelenmiş trigliserit (triasilgliserol (TAG)) çekirdeğini içermektedir. Trigliseritler süt lipitlerinin %98.3'ünü oluşturmaktadır (Capela vd., 2022). Yaklaşık %2'lik kısımda ise diasilgliseroller, monoasilgliseroller, serbest yağ asitleri, fosfolipitler, steroller, yağda çözünen vitaminler, β -karoten ve yağda çözünen aroma bileşikleri bulunmaktadır. Trigliseritler; üç yağ asidi ile esterleşmiş bir gliserol içeren yapılardır. Bu yapıların doymamışlık dereceleri ve molekül ağırlıkları farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların başlıca sebebi; karbon sayısı 4-18 arasında değişen farklı yapıları sahip çok sayıda yağ asidi çeşidinin trigliserit yapısına katılması ile açıklanmaktadır. Yapıya katılan yağ asitleri üç konumda (sn-1, sn-2 ve sn-3 pozisyonları) esterleşme dağılımı göstermektedir (Şekil 2) (MacGibbon ve Taylor 2006). Örneğin 4-6 karbonlu yağ asitleri sn-3, 12-14 karbonlu yağ asitleri genellikle sn-2, 16 karbonlu yağ asidi sn-1 ve sn-2, 18 karbonlu yağ asidi sn-1, 18:1 karbonlu yağ asidi sn-1 ve sn-3 konumlarında esterleşme eğilimindedir (MacGibbon ve Taylor 2006; Moneeb vd., 2021).

Süt yağında yaklaşık 400 farklı yağ asidi çeşidi belirlenmiştir. Bunlar; zincir uzunluğu, doymuşluk derecesi, çift bağların konfigürasyonu ve konjugasyonundaki değişkenlere göre farklılık göstermektedir. Bu yağ asitlerinin büyük çoğunluğu düşük miktarlarda (<%0.01) mevcuttur. Bununla birlikte yapıda baskın olarak bulunan, süt yağı içindeki konsantrasyonu %1 ve üzerinde yaklaşık 15 yağ asidi vardır. Major yağ asitleri kısa zincirli (4-8 karbonlu), orta zincirli (10-12 karbonlu) ve uzun zincirli (14-18 karbonlu) olarak gruplandırılmaktadır (MacGibbon ve Taylor 2006; Atasoy vd., 2022). Özellikle 4-10 karbon atomlu serbest yağ asitleri süt yağının eşsiz lezzetini ve yoğunluğunu geliştirmekten sorumludur (Sowa vd., 2022). Yağ asitleri kontrolsüz şekilde trigliserit yapısından ayrılarak serbest hale geçtiğinde kısa ve uzun zincirli yağ asitleri miktarlarındaki farklılıktan dolayı “ransid” veya “sabunsu” olarak nitelendirilen istenmeyen

tat ve aroma değişiklikleri söz konusu olabilmektedir (Kılara, 2011). Bütanoik, hekzanoik ve oktanoik asit gibi kısa zincirli yağ asitleri, süt ürünlerinde istenen krema, tereyağı ve peynir aroması ile ilişkilendirilen lezzetlere önemli katkıda bulunurken yüksek konsantrasyonlarda açığa çıkan uzun zincirli yağ asitleri sabunsu veya acı tatlara neden olmaktadır (Omar vd., 2016). Tercih edilmeyen bu lezzetlerin ancak kontrollü lipolitik preparatlar ile önlenilebileceği, ayrıca gıda endüstrisinde kullanılmak üzere farklı aroma konsantrelerinin de bu yöntemle elde edilebileceği bildirilmektedir (Kılcaşley, 2006; Kılara, 2011).

Tüketici taleplerinin günümüz gıda sektörünün gelişimini şekillendirmesi süt ve ürünleri açısından zengin olan ülkemizde farklı ürün denemelerini beraberinde getirmiştir. Bu amaçla ülkemizde son yıllarda, lipolitik enzimler kontrollü koşullarda kullanılarak hızlandırılmış modifikasyon çalışmalarına yer verilmiştir. Lipazların süt endüstrisinde başlıca kullanım alanları; peynirlerin lezzetini arttırmak, peynir aromaları üretmek, peynir olgunlaşmasını hızlandırmak, süt yağını (krema ve tereyağı) lipolize ederek farklı aromalar açığa çıkarmaktır (Hossein vd., 2009; Chandra vd., 2020).



Şekil 2. Trigliserit molekülünün stereospesifik numaralandırma (sn-) kurallarını gösteren Fischer diyagramı (MacGibbon ve Taylor 2006, Motoyama vd., 2010).

Zhang vd. (2016) yaptıkları çalışmada tam yağlı sütü, yağsız sütü ve kremayı *Rhizomucor miehei* den üretilen Palatase 20000L ile hidrolize ederek tam yağlı süt aromasına sahip ancak sadece %0.5 yağ içeren rekombine yağsız süt ürünü üretmeyi amaçlamıştır. Elde edilen ürünlerde açığa çıkan kısa zincirli yağ asitlerinin (bütanoik asit, kaproik asit), yağ asidi etil esterlerin (etil bütirat, etil kaproat, etil kaprat), ketonların (2-heptanon, 2-nonanon, 2-undekanon), hekzanal, dimetil sülfon ve δ-dekalakton gibi diğer uçucu bileşenlerin lezzet profilini önemli derece etkilediği belirlenmiştir. Duyusal değerlendirmede ise istenilen tam yağlı süt aroması elde edilmiştir. Tüketicilerin sağlıklı olarak değerlendirdiği ve tercih ettiği yağsız veya az yağlı süt ürünlerine yönelik lipaz modifikasyonunun kullanılabilirliğinin araştırıldığı benzer çalışmada (Zhang vd., 2021b), tam yağlı pastörize süt, mikrobiyel kaynaklı dört farklı ticari lipaz (Palatase 20000L, Lipozyme TLIM, Lipozyme RMIM ve Novozyme 435) ile modifiye edilmiştir. Lipozyme TLIM lipazın kullanımı ile elde edilen

modifiye yağsız sütte 9 serbest yağ asidi, 21 ester, 6 keton, 4 alkan, 4 aldehit ve 4 diğer bileşikler olmak üzere 48 aroma bileşeni tanımlanmıştır. Özellikle bütanoik asit, hekzanoik asit, heptanoik asit, 2-heptanon, 2-nonanon, nonanal, dekanal ve δ-dekalaktonun aroma zenginleştirmede etkili olduğu bildirilmiştir.

Ayrıca serbest yağ asitleri; esterler, ikincil alkoller, metil ketonlar, aldehitler ve laktonlar gibi birçok lezzet bileşiğinin oluşum reaksiyonunu katalizlemektedir (Chandra vd., 2020; Fatıma vd., 2020). Bu bileşiklerin enzim modifiye süt ürünlerinin aromasına önemli ölçüde katkı sağladığı bilinmektedir (Hossein vd., 2009; Kılara, 2011; Chandra vd., 2020; Kendirci vd., 2020; Tamura vd., 2021).

Süt ürünlerinde esterifikasyon ve alkoliz olmak üzere iki yolla oluşan esterler düşük algılama eşiklerinden dolayı aromaya önemli katkı sağlamaktadır. Ürüne meyvemsi, tatlı ve çiçeksi lezzet kazandırarak yağ asitlerinin neden olduğu

keskinlik ve acılık gibi istenmeyen aromaların azaltılmasına yardımcı olurlar (Wang ve Xu 2009). Zinjanab vd. (2021); UHT tam yağlı sütün etil alkol üreten kültürlerle fermantasyon sürecinin belirli zamanlarında *Rhizomucor miehei* kaynaklı Palatase 20000L ilavesi ile esterleşme tepkimesini incelemiştir. Fermente sütte gerçekleşen transesterifikasyon ile meyvemsi notalara sahip etil esterlerin (etil asetat, etil bütanoat, etil hekzanoat, etil oktanoat, etil dekanoat) farklı miktarlarda oluştuğu ve ürünün meyve aromalı olarak kullanılabileceği bildirilmiştir. Alkollerin yağ asitleri ile ester oluşturmaları ürün lezzetine katkı sağlamaktadır. Özellikle 3-metil-1-butanol, 2-butanol, 2-pentanol ve 2-heptanol gibi alkoller bazı peynirlerde temel aroma bileşeni olarak kabul edilmektedir (Sert, 2022).

Genellikle doymuş yağ asitlerinin β -oksidasyonu veya keto asitlerin dehidrasyonu ile oluşan metil ketonlar ise tatlı, meyvemsi ve kremamsı lezzet ile ilişkilendirilmektedir. 2-undekanon ve 2-nonanon süt ürünlerinin lezzetini bu yolla etkilemektedir (Wang ve Xu 2009). 2-Heptanon Mavi peynir aromasıyla ilişkilendirilmektedir (Zhang vd., 2016). Sitrat metabolizması sonucu oluşan asetoin ise tereyağımsı aroma ile ilişkilendirilen önemli lezzet bileşiklerinden biridir (Ulubaş, 2022). Hem aminoasitlerin katabolizması sonucu hem de doymamış yağ asitlerinin β -oksidasyonu ile aldehitler (heptanal, hekzanal, benzaldehit) oluşmaktadır. Benzaldehit acı badem aromasından, heptanal ve hekzanal yağmsı ve taze çim aromasından sorumludur (Ulubaş, 2022). Ürüne meyvemsi lezzet kazandıran laktonlar ise hidroksi yağ asitlerinin molekül içi esterleşmesi ve halka yapısının oluşumuyla meydana gelen siklik bileşiklerdir. Süt ürünlerinde bulunan δ -dekalakton, δ -hekzalakton, δ -oktalakton ve γ -hekzalaktonun lezzet üzerine olumlu etkisi olduğu bildirilmiştir (Ulubaş, 2022). Tereyağının güçlü, kremamsı tipik aroması ise δ -dodekalakton ile ilişkilendirilmiştir (Wang ve Xu 2009).

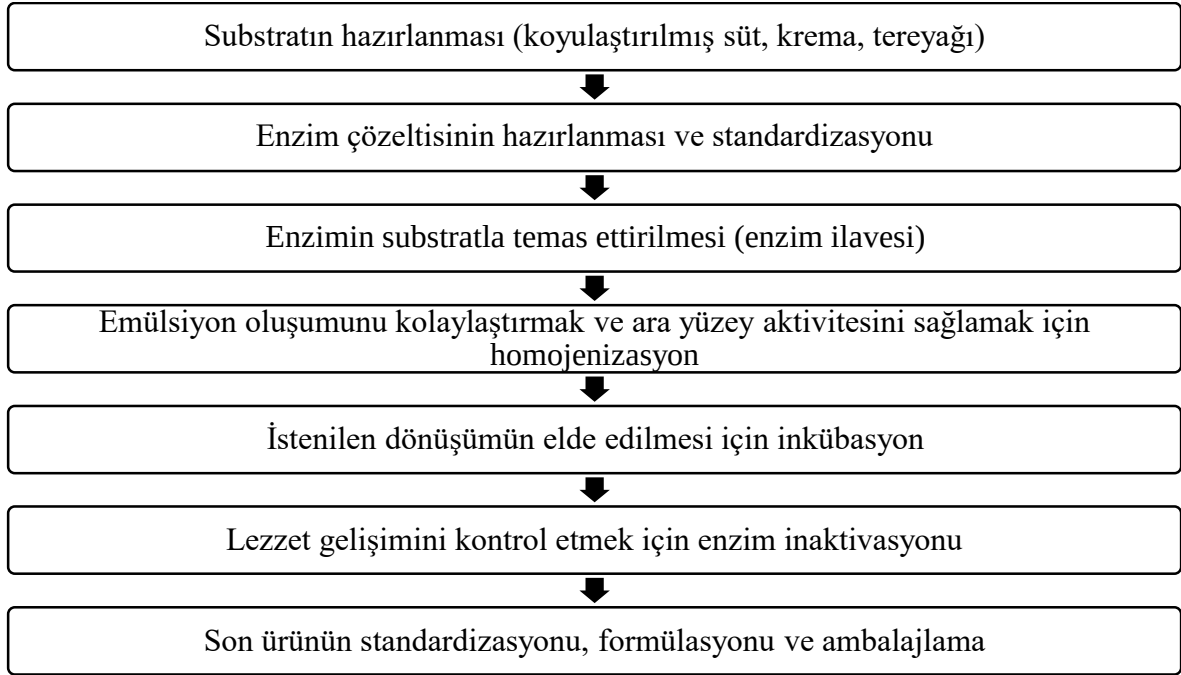
Lipolize Krema- Enzim Modifiye Krema (EMK) Üretimi

Süt yağına lipolitik enzimler eklenerek kontrollü koşullarda inkübasyon sağlanması ile gerçekleştirilen lipoliz prosesi sonucu elde edilen

ürüne literatürde lipolize ya da hidrolize krema denilmektedir (Law, 2010; Kilara, 2011). Son ürün aroma açısından oldukça konsantre halde; tereyağımsı ve kremamsı doğal lezzete sahip olmaktadır. Dolayısıyla elde edilen son ürüne EMK da denilebilmektedir (Erbay vd., 2017; Law, 2010; Sibeijn ve Wouters, 2009; Kilara, 2011). Literatürde süt kremasının lipolizini içeren çalışmalar oldukça sınırlıdır. EMK'lar gıdalara çok düşük seviyelerde eklenerek istenilen standart lezzetin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde EMK'ların maliyet avantajı sunduğu görülmektedir (Law, 2010). EMK kullanılan ürünlerde hafif lezzet elde etmek için %0.05-0.1 (ağırlık/ağırlık), daha belirgin bir etki için %0.1–0.5 (ağırlık/ağırlık) seviyeleri önerilmektedir (Kilara, 2011).

Enzim modifiye krema üretiminde substrat olarak yoğunlaştırılmış süt, krema ve tereyağı kullanılmaktadır. Kullanılacak lipaz ise amaçlanan gıda uygulamasına bağlı olarak belirlenmektedir. Lipaz standardizasyonu da yapıldıktan sonra lipaz aktivasyonunun sağlanması için substrat ile bir araya getirilmektedir. İstenilen özel tat-aroma elde edilene kadar veya önceden belirlenen bir asit derecesi değerine (ADV) ulaşılan kadar lipaz-substrat etkileşimi kontrollü koşullarda takip edilmektedir (Law, 2010; Chandra vd., 2020). EMK, lipolize krema, üretimi için genel süreç Şekil 3'de belirtilen adımlardan oluşmaktadır (Kilara, 2011).

Genel anlamda tüm enzim modifiye süt ürünleri üretiminde, kontrollü koşullarda olgunlaşma süreci taklit edilmektedir. Bu amaçla substrata (peynir pıhtısı, sadeyağ veya krema) bazı enzimler ilave edilmekte ve karışım belirli bir süre inkübe edilmektedir. Böylece aylarca veya yıllarca sürebilen olgunlaştırma ile elde edilebilen süt ürünlerinin lezzetine kısa süreli inkübasyon sonucunda (1-7 gün) ulaşılabilmektedir (Erbay vd., 2017; Bolat ve Erbay 2022). Enzim modifiye süt ürünleri üretiminde, süt yağını hidrolize etmek için kullanılan lipazlar ile son ürünün lezzet konsantrasyonunda 5 ila 30 kat artış sağlanabilmektedir (Sibeijn ve Wouters, 2009; Law, 2010).



Şekil 3. Enzim modifiye krema üretim aşamaları (Kılara, 2011).

Saerens vd. (2008); *Penicillium roqueforti* esteraz, *Candida cylindracea (rugosa)* lipaz, *Candida cylindracea* ve domuz pankreas lipaz/esteraz karışımı, *Penicillium roqueforti*/ *Rhizomucor miehei* esteraz karışımı, domuz pankreas lipaz tip II ve *Mucor javanicus* enzimlerini süt kremasına uygulayarak son üründe tereyağı aroması oluşumu üzerine etkisini belirlemiştir. Diğer lipazların kullanımına nazaran *Candida cylindraceae* lipaz kullanımı sonucu açığa çıkan ve tereyağı aroması üzerine de etkili olan kısa zincirli serbest yağ asitlerinden bütanoik asit, hekzanoik asit ve oktanoik asit konsantrasyonlarında belirgin artış görülmüştür. Ulubaş (2022) tarafından yapılan farklı bir çalışmada %40 yağlı süt kremasına mikrobiyel kaynaklı Palatase 20000L, Lipomod™ 801MDP, Lipozyme® CALB lipazları ile Lecitase® Ultra (fosfolipaz) eklenerek hidrolizasyon gerçekleştirilmiştir. Enzim modifiye tereyağı (EMT) olarak adlandırılan örneklerde çeşit ve miktar açısından asitlerin baskın olduğu 34 farklı uçucu bileşik (aldehit, keton, lakton, alkol, ester, fenol) tanımlanmıştır. En yüksek oranda açığa çıkan yağ asitlerinin bütanoik asit, hekzanoik asit ve oktanoik asit olduğu, duyuşal olarak tereyağına en çok benzetilen ve en fazla toplam serbest yağ

asidi miktarına sahip örneğin ise Palatase 20000L kullanılarak elde edildiği bildirilmiştir.

Ülkemizde son yıllarda enzim modifiye süt ürünleri üretimine başlanmıştır. Erbay vd. (2017) tarafından; Türkiye’de üretimi gerçekleştirilen, piyasada ticari olarak bulunan ve endüstriyel katkı maddesi olarak da kullanılan tamamı hamur kıvamında sekiz farklı enzim modifiye peynir ve iki farklı enzim modifiye tereyağının temel kimyasal özellikleri, serbest yağ asidi bileşimi ve miktarları ile proteolitik – lipolitik olgunlaşma düzeyleri analiz edilmiştir. Enzim modifiye tereyağı örneklerindeki toplam serbest yağ asidi miktarları arasındaki farklılığın, örneklerin yağ içeriklerinin farklı olmasından (%18.25 ve %45.50) kaynaklandığı bildirilmiştir. Ancak toplam uçucu serbest yağ asidi değerlerindeki farklılık, hedeflenen lezzete ulaşmak için farklı lipolitik enzimlerin kullanılmış olması ile ilişkilendirilmiştir.

Enzim modifiye süt ürünleri, elde edildikleri hammaddeye göre oldukça konsantre bir lezzete sahiptir. Düşük konsantrasyonlarda bile yoğun lezzet verdikleri için; unlu mamullerde (ekmek, kek ve kurabiye karışımları), tahıl ürünlerinde,

şekerlemelerde (çikolata ürünleri), süt ürünlerinde (kahve beyazlatıcılar, peynir ve tereyağı) ve çeşitli diğer ürünlerde (çorbalar, patlamış mısır baharatları, soslar, salata sosları ve atıştırmalık yiyecekler) katkı maddesi olarak kullanımları mevcuttur (Regado vd., 2007; Kilara, 2011; Fraga vd., 2020; Kordi vd., 2022). Enzim modifiye süt ürünlerinin yiyecek ve içeceklerin lezzetini, dokusunu ve aromasını iyileştirmek için kullanımı günümüzde odak noktası olmuştur. Huang vd. (2020), Lipopan F (*Fusarium oxysporum* fungal lipaz) ile modifiye edilmiş süt yağının ekmek yapımı, kalitesi, sindirilebilirliği ve bayatlama üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Lipolize süt yağının kullanıldığı örneklerde kontrol grubuna göre, bayatlama süresinin geciktiği, hamur yapısının güçlendiği ve somun hacminin iyileştiği belirtilmiştir. Ayrıca in vitro sindirim ile ekmeklerin glisemik yükünün kontrol örneklerine göre önemli ölçüde daha düşük olduğu ortaya konmuştur. Çalışma, lipolize süt yağının potansiyel uygulamasını göstererek nihai ürünlerin kalitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açmadan, ekmek yapısını iyileştirmek ve düşük glisemik indeksli pişmiş yiyeceklerin hazırlanması için yeni ve pratik bir yöntem sunmuştur.

SONUÇ

Süt ürünlerinin özgün ve karakteristik lezzeti uzun olgunlaşma süreci sonunda meydana gelmektedir. Enzim modifiye süt ürünleri temelinde ise lipolitik enzimler kullanılarak olgunlaşma süreci kontrollü koşullar altında takip edilmektedir. Ülkemizde enzim modifiye süt ürünlerinin üretimine son birkaç yıl içerisinde başlanmıştır. Ancak çeşidinin de fazla olmasından dolayı daha çok peynir olgunlaşması ve lezzet oluşumunun hızlandırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Enzim modifiye kremaların ticari örnekleri birkaç tane olmakla birlikte oldukça sınırlıdır. Konu ile ilgili bilimsel literatürdeki çalışmaların sayısı da oldukça az olduğundan konu hakkındaki genel bilgi sınırlıdır. Krema lezzet katkıları ve enzim modifiye kremaların farklı ürünlerde kullanım olanakları hakkında yapılacak bilimsel çalışmalar, hem endüstriyel üretimin desteklenmesi ve çeşitlendirilmesine, hem de bilimsel literatürde var olan boşlukların doldurulmasına yardımcı olacaktır.

Hazırlanan bu derlemede lipazların özellikleri, etki mekanizmaları, süt teknolojisinde kullanım alanları, aroma oluşumundaki etkileri ve lezzet katkısı olarak üretilen enzim modifiye kremalar incelenmiştir. Literatürde bulunan enzim modifiye kremalar ile ürün çeşitliliğini arttırmaya dönük yapılabilecek yeni çalışmalara veri sağlanması amaçlanmıştır. Hem geleneksel krema lezzetlerinin bilimsel olarak tanımlanması (lezzeti karakterize eden bileşikler ve miktarları), hem de enzim modifikasyonları ile bu lezzetlerin elde edilmesi konularında ülkemizde yapılan akademik çalışmaların sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu nedenle kullanılabilecek farklı lipolitik enzimlerin birlikte uygulamaları, işlem koşullarının son ürün üzerindeki etkileri ve işlem optimizasyonuna dair çalışmaların detaylandırılması gerektiği düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarların bu derleme makale ile ilgili herhangi bir kişi veya kurumla çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKISI

Yazarlar makalenin hazırlanmasında eşit katkıda bulunmuşlardır.

KAYNAKÇA

- Alzahrani, F., Akanbi, T.O., Scarlett, C.J., Aryee, A.N.A. (2024). The use of immobilised enzymes for lipid and dairy processing and their waste products: A review of current. *Processes*, 12(4): 634, doi: 10.3390/pr12040634.
- Asif, M., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Tayyab, M., Khan, F.A., Al-Asmari, F., Rahim, M.A., Rocha, J.M., Korma, S.A., Esatbeyoglu, T. (2023). Effect of fat contents of buttermilk on fatty acid composition, lipolysis, vitamins and sensory properties of cheddar-type cheese. *Microbiology*, 14:1209509, doi:10.3389/fmicb.2023.1209509.
- Bolat, E.B., Erbay, Z. (2022). Enzim modifiye peynir ve üretim teknikleri. *Akademik Gıda*, 20(1): 94-102, doi:10.24323/akademik-gida.1097869.
- Borrelli, G.M., Trono, D. (2015). Recombinant lipases and phospholipases and their use as

- biocatalysts for industrial applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(9): 20774–20840, doi: 10.3390/ijms160920774.
- Capela, A.P., Lima Tribst, A.A., Duarte Augusto, P.E., Castro Leite Júnior B.R. (2022). Use of physical processes to maximize goat milk cream hydrolysis: Impact on structure and enzymatic hydrolysis. *Food Research International*, 156: 111343, doi:10.1016/j.foodres.2022.111343.
- Castro, F.F., Pinheiro, K.H. (2024). Esterases and their biotechnological potential in the food industry: a review. *Revista de Ciência de Alimentos e Gastronomia*, 1(2): 15-37.
- Chandra, P., Ranjan Singh, E., Arora, P.K. (2020). Microbial lipases and their industrial applications: a comprehensive review. *Microbial Cell Factories*, 19: 169-doi: 10.1186/s12934-020-01428-8.
- Chen, X., Wang, J., Stevenson, R.J., Ang, X., Peng, Y., Quek, S.Y. (2021). Lipase-catalyzed modification of milk fat: A promising way to alter flavour notes of goat milk products. *LWT - Food Science and Technology*, 145:111286, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111286.
- Erbay, Z., Baş, D., Kendirci, P., Çam, M., Kelebek, H., Salum, P., Selli, S. (2016). Lezzet katkısı olarak peynir ve enzim modifiye peynir tekniğinde güncel durum. *Akademik Gıda*, 14(2): 209-217.
- Erbay, Z., Salum, P., Gövce, G. (2017). Türkiye’de üretilen enzim modifiye süt ürünlerinin lipolitik ve proteolitik olgunlaşma düzeylerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(7): 919-925, doi:10.5505/pajes.2016.48830.
- Fahim, Y.A., El-Khawaga, A.M., Sallam, R.M., Elsayed, M.A., Ali Assar, M.F. (2024). A review on lipases: sources, assays, immobilization techniques on nanomaterials and applications, *BioNanoScience*, 14:1780–1797, doi:10.1007/s12668-024-01319-x.
- Fatima, S., Faryad, A., Ataa, A., Joyia, F.A., Parvaiz, A. (2020). Microbial lipase production: A deep insight into the recent advances of lipase production and purification techniques. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 68(3):445-458, doi:10.1002/bab.2019.
- Fraga, J.L., Penha, A.C.B., Silva, K.A., Amaral, P.F.F. (2020). Synergistic action of *Penicillium camemberti* and *Yarrowia lipolytica* lipases in milk fat hydrolysis. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, 1(50):47-53, doi: 10.18265/1517-03062015v1n50p47-53.
- Greicius, A., Baliutavicius, T., Lastauskiene, E., Gudiukaite, R. (2023). Application of milk permeate as an inducer for the production of microbial recombinant lipolytic enzymes. *Fermentation*, 9(1):27- doi:10.3390/fermentation9010027.
- Ha, J., Lindsay, R.C. (1993). Release of volatile branched-chain and other fatty acids from ruminant milk fats by various lipases. *Journal of Dairy Science*, 76: 677–690.
- Hosseini, J., Kaur, A., Minhas, K.S. (2009). Lipases in dairy industry: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 46(3): 181–189.
- Huang, Z., Brennan, C.S., Zheng, H., Mohan, M.S., Stipkovits, L.S., Liu, W., Kulasiri, D., Guan, W., Zhao, H., Liu, J. (2020). The effects of fungal lipase-treated milk lipids on bread making. *LWT - Food Science and Technology*, 128:109455, doi:10.1016/j.lwt.2020.109455.
- Karakus, M.S., Akgul, F.Y., Korkmaz, A., Atasoy, A.F. (2022). Evaluation of fatty acids, free fatty acids and textural properties of butter and sadeyag (anhydrous butter fat) produced from ovine and bovine cream and yoghurt. *International Dairy Journal*, 126:105229, doi:10.1016/j.idairyj.2021.105229.
- Kendirci, P., Salum, P., Bas, Deniz., Erbay, Z. (2020). Production of enzyme-modified cheese (EMC) with ripened white cheese flavour: II-effects of lipases. *Food and Bioproducts Processing*, 122: 230–244.
- Kıymacı, M.E., Simsek, D., Altanlar, N. (2022). Molecular identification and lipolytic activity of *Yarrowia lipolytica* isolated from yoghurt cream. *Journal of Faculty of Pharmacy of*

- Ankara University, 46(2): 450-457, doi: 10.33483/jfpau.1090889.
- Kilara, A. (2011). Enzymes exogenous to milk in dairy technology: Lipases. In Encyclopedia of Dairy Sciences, J.W. Fuquay, P.F. Fox, P.L.H. McSweeney (ed.), Academic Press, London UK: Elsevier, pp. 728–736.
- Kilcawley, K. (2006). *Enzyme Technology for the Dairy Industry*. In Food Biotechnology, K. Shetty, G. Paliyath, A. Pometto, R.E. Levin, (ed.), Chapter 2.20, Boca Raton: Taylor & Francis Group, CRC Press, pp. 1043-1069.
- Konkit, M., Kim, W. (2016). Activities of amylase, proteinase, and lipase enzymes from *Lactococcus chungangensis* and its application in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 99(7): 4999–5007.
- Kordi, M., Salami, R., Bolouri, P., Delangiz, N., Lajayer, B.A., Hullebusch, E.D.V. (2022). White biotechnology and the production of bio products. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 2:413–429, doi: 10.1007/s43393-022-00078-8.
- Koyuncu, M., Batur, S. (2023). The effects of modified atmosphere packaging on the quality properties of water buffalo milk's concentrated cream. *Molecules*, 28(03):1310, doi: 10.3390/molecules28031310.
- Kumar, A., Dhiman, S., Krishan, B., Samtiya, M., Kumari, A., Pathak, N., Kumari, A., Aluko, R.E., Dhewa, T. (2024). Microbial enzymes and major applications in the food industry: a concise review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6:85, doi: 10.1186/s43014-024-00261-5.
- Kurtovic, I., Marshall, S.N., Cleaver, H.L., Miller, M.R. (2016). The use of immobilised digestive lipase from Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) to generate flavour compounds in milk. *Food Chemistry*, 199:323-329, doi:10.1016/j.foodchem.2015.12.027.
- Law, B.A. (2010). *Enzymes in dairy product manufacture*. In: *Enzymes in Food Technology*, R.J. Whitehurst, M. van Oort (ed.), Second edition, West Sussex, UK: Wiley Blackwell, pp. 88–102.
- MacGibbon, A. K. H., Taylor, M. W. (2006). *Composition and Structure of Bovine Milk Lipids*. In: *Advanced Dairy Chemistry*, Fox P. F., McSweeney, P. L. H (3rd edition), Volume 2: Lipids, Springer, New York, pp. 1-42.
- Marwa, Y.H., Ali, S.G., Salman, K.H. (2024). Properties of extracellular lipase from isolated bacterial on bovine milk fats. *Archives of Agriculture Sciences Journal*, 7(2): 90–103.
- Melani, N.B., Tambourgi, E.B., Silveira, E. (2020). Lipases: From production to applications. *Separation & Purification Reviews*, 49(2): 143-158, doi:10.1080/15422119.2018.1564328.
- Messaoudi, A., Belguith, H., Gram, I., Hamida, J.B. (2010). Classification of EC 3.1.1.3 bacterial true lipases using phylogenetic analysis. *African Journal of Biotechnology*, 9(48): 8243-8247, doi: 10.5897/AJB10.721.
- Mir Khan, U., Selamoglu, Z. (2020). Use of enzymes in dairy industry: A review of current progress. *Archives of Razi Institute*, 75(1):131-136, doi: 10.22092/ARI.2019.126286.1341.
- Mohammadi, A., Jafari, S.M., Mahoonak, A.S., Ghorbani, M. (2021). Liposomal/Nanoliposomal Encapsulation of Food-Relevant Enzymes and Their Application in the Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 14:23–38, doi: 10.1007/s11947-020-02513-x.
- Moneeb, A.H.M., Hammam, A.R.A., Ahmed, A.K.A., Ahmed, M.E., Alsaleem, K.A. (2021). Effect of fat extraction methods on the fatty acids composition of bovine milk using gas chromatography. *Food Science & Nutrition*, 9:2936–2942, doi: 10.1002/fsn3.2252.
- Motoyama, M., Ando, M., Sasaki, K., Hamaguchi, H. (2010). Differentiation of Animal Fats from Different Origins: Use of Polymorphic Features Detected by Raman Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 64(11):1244-1250, doi: 10.1366/000370210793335070.
- Nyyssöola, A., Miettinen, H., Kontkanen, H., Lille, M., Partanen, R., Rokka, S., Jarvenpää, E., Lantto, R., Kruus, K. (2015). Treatment of milk

fat with sn-2 specific *Pseudozyma antarctica* lipase A for targeted hydrolysis of saturated medium and long-chain fatty acids. *International Dairy Journal*, 41, 16-22, doi:10.1016/j.idairyj.2014.09.003.

Omar, K.A., Gounga, M.E., Liu, R., Mlyuka, E., Wang, X. (2016). Effects of microbial lipases on hydrolyzed milk fat at different time intervals in flavour development and oxidative stability. *Journal of Food Science and Technology*, 53: 1035–1046, doi:10.1007/s13197-015-2158-8.

Özatay, Ş., Kaya, Ç. (2024). Endüstriyel süt ürünleri enzimlerinde güncel yaklaşımlar. *Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi*, 5(9): 15-24, e-ISSN: 2717-8285.

Regado, M.A., Cristovao, B.M., Moutinho, C.G., Balcao, V.M., Aires-Barros, R., Ferreira, J.P.M., Malcata, F.X. (2007). Flavour development via lipolysis of milkfats: changes in free fatty acid pool. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 961–968, doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01317.x.

Rivero-Pino, F., Padial-Dominguez, M., Guadix, E.M., Morales-Medina, R. (2020). Novozyme 435 and Lipozyme RM IM preferably esterify polyunsaturated fatty acids at the sn-2 position. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122: 2000115, doi: 10.1002/ejlt.202000115.

Saerens, K., Descamps, D., Dewettinck, K. (2008). Release of short chain fatty acids from cream lipids by commercial lipases and esterases. *Biotechnology Letters*, 30:311–315, doi: 10.1007/s10529-007-9541-0.

Santos, M.R., Hirata, D.B., Angelotti, J.A.F. (2022). Lipases: Sources of acquisition, ways of production, and recent applications. *Catalysis Research*, 2(2):35, doi:10.21926/cr.2202013.

Sert, D. (2022). Peyniraltı suyu ve yayıkaltından elde edilen kremalardan üretilen tereyağların nitelikleri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Süt Teknolojisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 96s.

Sibeijn, M., Wouters, J.A. (2009). In: *Production of Dairy Aromas and Flavors: New Directions*. Dairy-

Derived Ingredients: Food and Nutraceutical Uses. Corredig M. (ed.), Boca Raton, FL, USA, CRC Press, pp. 470- 481.

Soares, A.S., Castro Leite Junior, B.R., Lima Tribst, A.A., Duarte Augusto, P.E., Ramos, A.M. (2020). Effect of ultrasound on goat cream hydrolysis by lipase: Evaluation on enzyme, substrate and assisted reaction. *LWT - Food Science and Technology*, 130:109636, doi:10.1016/j.lwt.2020.109636.

Sowa, A.M., Kreuter, N., Sella, N., Albuquerque, W., Manhard, J., Siegl, A., Ghezellou, P., Li, B., Spengler, B., Weichhard, E., Rühl, M., Zorn, H., Gand, M. (2022). Replacement of Pregastric Lipases in Cheese Production: Identification and Heterologous Expression of a Lipase from *Pleurotus citrinopileatus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(9): 2998–3008, doi: 10.1021/acs.jafc.1c07160.

Sutay Kocabaş, D. (2021). *Gıda endüstrisinde enzimlerin rolü ve ilgili yasal düzenlemeler*. Gıda Biyoteknolojisi, Ögel, ZB. (ed.), 1. Baskı, Türkiye Klinikleri, Ankara, Türkiye, s. 29-38.

Sutay Kocabaş, D., Lyne, J., Ustunol, Z. (2022). Hydrolytic enzymes in the dairy industry: Applications, market and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 119: 467–475, doi: 10.1016/j.tifs.2021.12.013.

Tamura, H., Ueno, S., Naka, A., Zhao, H., Yonekura, L., Isogai, T., Wakui, R., Shiota M. (2021). Characterisation of aroma profile and evaluation of aroma quality in sweet cream butter. *International Dairy Journal*, 114, 104935, doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104935.

Tomasini, A., Bustillo, G., Lebeault, J.M. (1993). Fat lipolyzed with a commercial lipase for the production of blue cheese flavour. *International Dairy Journal*, 3(2):117-127, doi: 10.1016/0958-6946(93)90011-N.

Ulubaş, Ç. (2022). Enzim modifiye tereyağı (Emt) üretiminde üretim işlem koşullarının ve enzim tiplerinin belirlenmesi. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, Türkiye, 96s.

- Wang, B., Xu, S. (2009). Effects of different commercial lipases on the volatile profile of lipolysed milk fat. *Flavour and Fragrance Journal*, 24: 335–340, doi: 10.1002/ffj.1945
- Zhang, W., Wang, B., Ma, C., Pang, X., Lv, J. (2021a). A clarifying reagent and microplate-based method for the high-throughput analysis of lipase activity in milk. *European Food Research and Technology*, 247:2161–2169, doi:10.1007/s00217-021-03702-4.
- Zhang, X., Chen, L., Ai, N., Sun, B. (2021b). Lipase-catalyzed enhancement of milk flavor components in the application of modified skim milk products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 5:4256–4266, doi: 10.1007/s11694-021-01001-w.
- Zhang, X.M., Ai, N.S., Wang, J., Tong, L.J., Zheng, F.P., Sun, P.G. (2016). Lipase-catalyzed modification of the flavor profiles in recombined skim milk products by enriching the volatile components. *Journal of Dairy Science*, 99, 8665–8679, doi: 10.3168/jds.2015-10773.
- Zinjanab, M.S, Golmakani, M.T., Eskandari, M.H., Toh, M., Liu, S.Q. (2021). Natural flavor biosynthesis by lipase in fermented milk using in situ produced ethanol. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5): 1858-1868, doi:10.1007/s13197-020-04697-8.