

**KREMA SOĞUTMA SICAKLIĞININ VE ASİTLENDİRME
YÖNTEMİNİN TEREYAĞININ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Öner CEYLAN



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KREMA SOĞUTMA SICAKLIĞININ VE ASİTLENDİRME YÖNTEMİNİN
TEREYAĞININ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Öner CEYLAN

0000-0003-2615-6268

Doç. Dr. Tülay ÖZCAN

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Öner CEYLAN tarafından hazırlanan “Krema Soğutma Sıcaklığının ve Asitlendirme Yönteminin Tereyağının Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Tülay ÖZCAN

Başkan: Doç. Dr. Tülay ÖZCAN
0000-0002-0223-3807
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Doç. Dr. Lütfiye YILMAZ ERSAN
0000-0002-8482-5055
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ufuk EREN VAPUR
0000-0002-8272-0719
Nişantaşı Üniversitesi, Sanat ve Tasarım
Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları
Bölümü

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

21/10/2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21/10/2019

imza

Öner CEYLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KREMA SOĞUTMA SICAKLIĞININ VE ASİTLENDİRME YÖNTEMİNİN TEREYAĞININ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Öner CEYLAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Tülay ÖZCAN

Bu çalışmada, tereyağı üretiminde kullanılan hammadde kremanın kristalizasyon ve asidifikasyon özellikleri değiştirilerek ürünün fiziko-kimyasal, tekstürel ve duyuşal özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, çiğ süttten elde edilen krema 95°C’de 17 saniye pastörize edilerek, 6 ve 8°C’de ve farklı sürelerde (10 ve 15 saat) fiziksel olgunlaştırmaya bırakılmış ve daha sonra laktik asit permeatı ve doğal tereyağı kültürü (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* ve *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*) ilavesi ile farklı asitlendirme yöntemleri kullanılarak tereyağı üretilmiştir.

Tereyağı örneklerinde, nem, titrasyon asitliği, renk (L^* , a^* , b^* , ΔE^*), yağ asitleri profili, tekstürel olarak sıklık değeri ve duyuşal olarak görünüş, yapı ve tekstür, aroma yoğunluğu, renk, tat, duyuşal sertlik, sürülebilirlik, sarı renk yoğunluğu, diasetil varlığı özellikleri ile toplam kabul edilebilirlik değerleri belirlenmiştir. Ayrıca tereyağı üretimi sırasında elde edilen yayıkaltı sularının da kimyasal bileşimi saptanmıştır.

Araştırmada, krema soğutma sıcaklığı ve süresi ile asitlendirme yönteminin tereyağının fiziko-kimyasal ve teknolojik özelliklerini etkilediği ancak duyuşal özelliklerde belirgin farklılıklar yaratmadığı görülmüştür. Tereyağı örneklerinde palmitik asit, stearik asit ve miristik asit en baskın doymuş yağ asitleri olup, oleik asit, doymamış yağ asitleri içerisinde en yüksek değerlerde saptanmıştır. Tereyağı örneklerinin tekstürel özellikleri ve sertlik değeri geleneksel yöntemle üretilen kontrol örneğinde yüksek bulunmuştur. Bu değerler tüm örneklerde depolama boyunca artış göstermiştir.

Sonuç olarak, 6°C’de olgunlaştırılan kremadan tereyağı starter kültürü ilavesi ile üretilen üründe tereyağının karakteristik bileşenlerden olan diasetil miktarının yüksek olması ve 15 saat olgunlaştırılan kremadan üretilen tereyağı örneklerinin sertlik değerinin diğerleriyle karşılaştırıldığında daha düşük tespit edilmesi dolayısıyla, tereyağı üretiminde 6°C’de 15 saat olgunlaştırılan kremaya yayıklama sonrası yoğurma esnasında kültür ilavesi yönteminin kullanılmasının teknolojik olarak üretici ve tüketiciler açısından olumlu özellikler sağlayabileceği düşünülmüştür.

Anahtar kelimeler: Tereyağı, kristalizasyon, asitlendirme, kültür
2019, viii + 96 s.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CREAM COOLING TEMPERATURE AND ACIDIFICATION METHOD ON BUTTER PROPERTIES

Öner CEYLAN

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tülay OZCAN

In this study, the physico-chemical, textural and sensory properties of raw cream used in butter production were evaluated by modifying crystallization and acidification properties. For this purpose, the cream obtained from raw milk was pasteurized for 17 seconds at 95°C, allowed to physical ripening at 6 and 8°C for different periods (10 and 15 hours), and then butter was manufactured by using different acidification methods via addition of lactic acid permeat and natural butter culture (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* ve *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*).

In butter samples, moisture, titratable acidity, colour (L^* , a^* , b^* , ΔE^*), fatty acid profile, textural firmness value and sensorial (i.e. appearance, structure and texture, aroma density, colour, taste, hardness, spreadability, yellow colour density, presence of diacetyl and total acceptability values) were determined. In addition, the chemical composition of the buttermilk obtained during butter production was investigated.

In the study, it was observed that cream cooling temperature and time as well as acidification method effected the physico-chemical and technological properties of butter, however had no significant impact on sensory properties. In butter samples, palmitic acid, stearic acid and myristic acid were the predominant saturated fatty acids, whereas oleic acid content was the highest among the unsaturated fatty acids. Textural properties and hardness values of control butter manufactured by conventional method were higher than other samples. These values displayed an increase during storage for all samples.

Consequently, it could be concluded that since the amount of diacetyl, which is one of the characteristic components of butter, in the sample produced with the cream matured at 6°C and the addition of butter starter culture was higher and the hardness values of the butter samples manufactured from the cream matured for 15 hours was lower in comparison to other samples, the application of method of maturing cream at 6°C for 15 hours with addition of starter culture could provide a technologically positive impact for both producers and consumers.

Key words: Butter, crystallization, acidification, culture
2019, vii + 96 s.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Tülay ÖZCAN danışmanlığında tarafımda hazırlanmış, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunulmuştur. Çalışmada, soğutma sıcaklıkları ve asitlendirme yöntemleri farklılaştırılmış kremadan dokuz farklı çeşitte tereyağı üretilerek uygulanan farklı üretim metodlarının tereyağının teknolojik özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışma süresince bilgi, tecrübe ve tavsiyeleriyle bana yol gösteren, azmi, çalışkanlığı ve güçlü kişiliği ile bana rol model olan kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Tülay ÖZCAN'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve sevgili eşim Begüm CEYLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

ÖNER CEYLAN
21/10/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Tereyağı Üretiminde Süt Yağının Önemi	7
2.1.1. Trigliseritler (Triaçilgliseroller-TAG)	10
2.1.2. Yağ asitleri	11
2.1.3. Polar lipitler	16
2.1.4. Minör bileşenler	18
2.1.5. Süt yağı globül membranı (SYGM)	21
2.2. Tereyağının Özellikleri Üzerine Etkili Faktörler	23
2.2.1. Kristalizasyon	24
2.2.2. Faz inversiyonu (Yayıklama)	37
2.2.3. Yoğurma (Plastikleştirme, Malakse)	43
2.2.4. Fermantasyon ve kültür ilavesi	44
2.2.5. Depolama	46
3. MATERYAL VE YÖNTEM	48
3.1. Materyal	48
3.2. Yöntem	48
3.2.1. Deneme deseni	48
3.2.2. Tereyağı üretimi	50
3.2.3. Krema örneklerine uygulanan analizler	55
3.2.4. Tereyağı örneklerine uygulanan analizler	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	60
4.1. Tereyağı Örneklerinin Fiziko - Kimyasal Özellikleri	60
4.2. Tereyağı Örneklerinin Yağ Asitleri Bileşimi	64
4.3. Tereyağı Örneklerinin Tekstürel Özellikleri	70
4.4. Tereyağı Örneklerinin Duyusal Özellikleri	75
4.5. Tereyağı Üretiminden Arta Kalan Yayıklaltı Sularının Bileşimi	80
5. SONUÇ	81
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	96

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
dk	Dakika
dev/dk	Devir/Dakika
g	Gram
g/L	Gram/Litre
g/mL	Gram/Mililitre
kg	Kilogram
kPa	Kilopascal
L	Litre
CH ₂	Metilen
µg	Mikrogram
µL	Mikrolitre
µm	Mikrometre
mL	Mililitre
mm	Milimetre
Mg	Miligram
nm	Nanometre
KOH	Potasyum Hidroksit
rpm	Revolutions per Minute (Dakika Başına Devir)
h	Saat
°C	Santigrat Derece
sn-	Stereospesifik Numaralandırma
G'	Storage Modulus (Depolama Modülü)
v/v	Volume/Volume (Hacim/Hacim)
%	Yüzde Değer
w/w	Weight/Weight (Ağırlık/Ağırlık)
Kısaltmalar	Açıklama
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
DMA	Dynamic Mechanical Analysis (Dinamik Mekanik Analiz)
EC	European Commission (Avrupa Komisyonu)
FID	Flame Ionization Detector (Alev İyonizasyon Dedektörü)
GC	Gas Chromatography (Gaz Kromatografisi)
HDL	High Density Lipoprotein (Yüksek yoğunluklu lipoprotein)
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği)
KLA	Konjuge Linoleik Asit
LSD	Least Significant Difference (En Küçük Anlamlı Fark)
LCFA	Long Chain Fatty Acids (Uzun Zincirli Yağ Asitleri)
LDL	Low Density Lipoprotein (Düşük yoğunluklu lipoprotein)
MCFA	Medium Chain Fatty Acids (Orta Zincirli Yağ Asitleri)
MFG	Milk Fat Globule (Süt Yağı Globülü)
ns	Not Significant (Önemli Değil)

NIZO	Netherlands Dairy Research Institute (Hollanda Süt ve Süt Ürünleri Araştırma Enstitüsü)
PAS	Peynir Altı Suyu
QDA	Quantitative Descriptive Analysis (Kantitatif Tanımlama Analizi)
RT	Retention Time (Gecikme Zamanı)
SCFA	Short Chain Fatty Acids (Kısa Zincirli Yağ Asitleri)
SFC	Solid Fat Content (Katı Yağ İçeriği)
SYGM	Süt Yağı Globül Membranı
TRF	Toplam Renk Farklılığı
TAG	Triaçilgliserol
VLCFA	Very Long Chain Fatty Acids (Çok Uzun Zincirli Yağ Asitleri)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Süt yağı globülü ve membran özellikleri.....	8
Şekil 2.2. Triaçilgliserol molekülünün stereospesifik numaralandırma (sn-) kurallarını gösteren Fischer diyagramı.....	11
Şekil 2.3. Stereospesifik numaralandırma (sn-) kurallarını gösteren bir gliserofosfolipit Fischer diyagramı.....	17
Şekil 2.4. Süt yağı globül membranının şematik gösterimi	21
Şekil 2.5. Tereyağı üretim yöntemleri.....	23
Şekil 2.6. Süt yağı sistemlerinde tekstür, mikroyapı ve kristalizasyonu etkileyen faktörler	25
Şekil 2.7. Serbest enerji (ΔG) diyagramı	26
Şekil 2.8. Süt yağında yağ kristalleşmesinin gösterimi	28
Şekil 2.9. Birim hücrenin (a) ve alt hücrenin (b) fiziksel önemini gösteren katman gösterimi,.....	29
Şekil 2.10. Bir triaçilgliserol (TAG) kristal ağında mevcut yapısal seviyeler.....	30
Şekil 2.11. Serbest enerjiye karşılık gelen kristalizasyon ve soğutma hızına bağlı polimorfik oluşumun şematik gösterimi.....	31
Şekil 2.12. Oda sıcaklığında tereyağının mikroyapısı.....	39
Şekil 2.13. Fritz Eisenreich sistemine göre sürekli tereyağı üretimi.....	42
Şekil 3.1. Çiğ krema üretimi akış şeması.....	53
Şekil 3.2. Deneme desenine göre üretilen tereyağlarının üretim akış şeması.....	54
Şekil 3.3. Hunter sistemine göre L^* , a^* , b^* ve ΔE^* parametrelerinin renk skalası	56
Şekil 3.4. Tereyağı örneklerinde tekstür ölçümü (a) ve tereyağı ve margarin için karşılaştırmalı kesme kuvveti eğrisi (b).....	58
Şekil 4.1. Tereyağı örneklerinin ΔE değerleri.....	64
Şekil 4.2. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin asitlendirme yöntemine bağlı olarak değişimi.....	72
Şekil 4.3. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin soğutma sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	73
Şekil 4.4. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin soğutma sıcaklığı ve asitlendirme yöntemine bağlı olarak değişimi.....	73
Şekil 4.5. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin asitlendirme yöntemine ve kristalizasyon süresine bağlı olarak değişimi.....	74
Şekil 4.6. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin asitlendirme yöntemi, soğutma sıcaklığı ve kristalizasyon süresine bağlı olarak depolama boyunca değişimi.....	75
Şekil 4.7. Tereyağı örneklerinin duyu özelliklerinin asitlendirme yöntemi, soğutma sıcaklığı ve kristalizasyon süresine bağlı olarak değişimi.....	77
Şekil 4.8. Tereyağı örneklerinin diasetil varlığının asitlendirme yöntemi, soğutma sıcaklığı ve kristalizasyon süresine bağlı olarak değişimi.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Süt ve tuzlu tereyağının bileşimi (%).....	7
Çizelge 2.2. Sütteki ana lipit çeşitleri.....	10
Çizelge 2.3. Sığır süt yağındaki major yağ asitleri.....	12
Çizelge 2.4. Sığır sütünde bulunan polar lipit çeşitlerinin toplam polar lipitlere oranı...18	18
Çizelge 2.5. Süt ürünlerinde gram yağ başına kolesterol miktarları.....	19
Çizelge 3.1. Tereyağı üretiminde kullanılan kremanın bileşimi ve özellikleri.....	48
Çizelge 3.2. Tereyağı üretiminde kullanılan deneme deseni.....	49
Çizelge 3.3. Yağsız süt, yağsız süt tozu ve karışımın bileşimi.....	50
Çizelge 4.1. Tereyağı örneklerinin fiziko-kimyasal özelliklerine ait LSD testi sonuçları.....	61
Çizelge 4.2. Tereyağı örneklerinin yağ asidi bileşimi (g/100 g yağ, %).....	66
Çizelge 4.3. Karbon zinciri uzunluğuna göre tereyağı örneklerinin yağ asidi bileşimi (g/100 g yağ, %).....	69
Çizelge 4.4. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerine ait LSD testi sonuçları.....	72
Çizelge 4.5. Tereyağı örneklerinin duyu özelliklerine ait LSD testi sonuçları.....	79
Çizelge 4.6. Yayıkaltı suyu örneklerinin bileşimine ait LSD sonuçları.....	80

1. GİRİŞ

Tüketicilerin hayat beklentilerindeki değişmeler ve sağlıklı olma bilincinin gelişmesi beslenme alışkanlıklarına olan dikkati giderek arttırmaktadır. Süt ürünleri, fonksiyonel özellikleri ile daha sağlıklı bir yaşama ulaşmada etkinlik gösteren gıda bileşenlerini içererek beslenmede önemli yer tutmaktadır.

Süt ürünleri içerisinde tereyağı, süt, krema, ya da yoğurdun çeşitli şekillerde işlenmesi ile elde edilen, süt yağı içeriğince çok zengin ve aroması üstün bir süt ürünüdür. Türk Gıda Kodeksi Tereyağı, Diğer Süt Yağı Esaslı Sürülebilir Ürünler ve Sadeyağ Tebliği'ne göre (Tebliğ No: 2005/19) Tereyağı, "ağırlıkça en az %80, en fazla %90 oranında süt yağı, en fazla %2 oranında yağsız süt kuru maddesi ve en fazla %16 oranında su içeriğine sahip ürün" olarak tanımlanmaktadır (Anonim 2005).

Tereyağı geleneksel olarak süt yağının krema halinde separe edilerek ayrılması, pastörize edilmiş ve kültür ilave edilmiş kremanın kristalize edildikten sonra yayıklanması ve son olarak da yoğrulması ile elde edilmektedir. NIZO sistem sürekli tereyağı üretiminde ise tatlı krema kristalize edilerek yayıklanmakta ve son yoğurma aşamasından önce tereyağı içerisine laktik asit ve aroma maddeleri ya da starter kültür ilave edilerek tatlı kremadan kültürlü tereyağı üretilebilmektedir (Mortensen 2011). Geleneksel veya sürekli yöntem ile gerçekleştirilen tereyağı üretiminde ana adımlar aşığıdaki gibi özetlenebilmektedir (Fearon ve Golding 2008, Deosarkar ve ark. 2016):

- Sıvı sütün santrifüj seperatöre beslenerek tipik olarak %40 yağ içeriğine sahip kremanın hazırlanması
- Seçilen soğutma programı kullanarak süt yağının kristalleşmesini sağlamak için kremanın olgunlaştırılması
- Emülsiyon destabilizasyonu ve bir yağ/su krema emülsiyonundan su/yağ tereyağı emülsiyonuna fiziksel çalkalama (yayıklama) ile elde edilen faz inversiyonu

- Daha büyük granüller ve sonrasında tereyağını oluşturmak, nemi dağıtmak ve homojen bir tereyağı kütlesi şekillendirmek için tereyağı taneciklerinin fiziksel olarak işlenmesi.

Gelişmiş toplumlarda, son 30-40 yıldır özellikle yüksek yağ içeriğine, doymuş yağ asitlerine ve kolestorele sahip olan süt ürünlerinin kronik hastalıklar açısından riskli gıdalar olduğu düşünülmektedir. Obeziteye, vücut kütle artışına ve kalp hastalıklarına katkısı olduğu varsayılan doymuş yağ asitlerinin bir kısmını içerdiğinden süt yağı ile ilgili olarak beslenmede sınırlandırılması ile ilgili tenkitler bulunmaktadır. Oysa, 12 adet majör süt yağ asidi arasından sadece 3 doymuş yağ asidi, laurik, miristik ve palmitik asit plazmadaki toplam kolesterolün artışı ile ilişkili bulunmaktadır (German ve Dillard 2006).

Günümüz çalışmaları hayvansal yağların sağlık için önemine ilişkin birçok kanıt ortaya koymasına rağmen bilimsel dayanağı olmayan ve güncel olmayan bilgiler dolayısıyla tüketiciler çoğunlukla sütün ve süt yağı ürünlerinin olumsuz özellikleri olduğunu düşünmektedirler (MacRea ve ark. 2005). Oysa süt, esansiyel besin bileşenleri olan, makro ve mikro besin öğeleri için iyi bir kaynaktır. Süt ve süt ürünleri, özellikle kalsiyum ve fosfor başta olmak üzere süt yağı, protein, mineraller ve vitaminleri içermektedir. Süt yağı, trigliseritler (%97-98), fosfolipitler (%0,2-1,0), serbest steroller (%0,22-0,41: kolesterol, mumlar v.b), serbest yağ asitleri, β -karoten (provitamin A), yağda eriyen vitaminler (A, D, E, K), sfingomyelinler, farklı yağ asidi ve yağ asit türevlerini içermektedir. Süt yağı, su emülsiyonu içerisinde mikroskobik globüller halinde sütte bulunmaktadır. Esansiyel yağ asitleri, yağda eriyen vitaminler ve enerji için kaynak oluşturan süt yağı, sütün ve ürünlerinin görünüş, tat, lezzet özelliklerini ve dayanıklılığını etkilemektedir. Süt yağı %5 oranında doymuş yağ içermesine rağmen kronik hastalıklar için olumlu etkileri olan konjuge linoleik asit (KLA), sfingomiyelin, bütirik asit ve miristik asit içeriği ile sağlık açısından önemlidir (Miller ve ark. 2003).

KLA'nın kalp damar hastalıkları riskini önemli derecede azalttığı ve bunu plazma toplam kolesterol, trigliserit ve düşük dansiteli lipoproteinleri (LDL) düşürerek sağladığı bildirilmektedir (Benito ve ark. 2001). Ayrıca antioksidan özelliğe sahip

olduğu ve vücutta yağ dokusunu azaltıp, protein, mineral ve su birikimini arttırarak obeziteye karşı etkisi bulunduğu da belirtilmiştir (Cherian ve ark. 2002, Lee ve ark. 2006).

Sfingolipidlerin temel kaynağı süt ve süt ürünleridir. Sfingolipidler ve bunların metabolitleri, kanser inhibisyonu, antimikrobiyel ve immünomodülatör aktivitenin yanı sıra, kolesterol adsorpsiyonunun inhibisyonu gibi insan sağlığı üzerinde çok sayıda yararlı etkisi olan yüksek biyoaktiviteye sahiptirler (Schmelz 2000, Eckhardt ve ark. 2002, Possemiers ve ark. 2005).

Süt yağında bulunan butirik asit (C4:0) sadece geviş getiren hayvanların yağında bulunmaktadır. Bu yağ asidinin A, D, E vitaminleri ve konjuge linoleik asit ile birlikte hastalıklara karşı koruyucu bir bariyer oluşturması dolayısıyla önemli bir antikarsinojen olduğuna inanılmaktadır (Parodi 2004). Kaprilik ve kaprik asidin (C8:0 ve C10:0) antiviral, laurik asidin (C12:0) de antiviral, antibakteriyel ve antiplak aktiviteye sahip olduğu düşünölmektedir (Sun ve ark. 2002, Thormar ve Hilmarsson 2007). Oleik asit (C18:1), sütte en yüksek konsantrasyona sahip doymamış yağ asididir (≈ 8 g/L). Tekli doymamış oleik asidin sağlığa faydalı olduğu belirtilmektedir çünkü plazma kolesterolünü, LDL kolesterolünü ve triaçilgliserolleri azaltmaktadır. Ayrıca doymuş yağ asitlerinin cis-doymamış yağ asitleri ile değiştirilmesi de koroner damar hastalıkları riskini azaltmaktadır (Mensink ve ark. 2003).

Tereyağı gibi süt yağı bazlı ürünler, su kürecikleri (2,3 μm -10,6 μm), süt yağı globöllerini (2,5 μm) ve kısmen parçalanmış yağ globöllerinden oluşan sürekli faz içerisinde kristalize yağdan meydana gelen yağ içerisinde su emölsiyonlarıdır. Kremanın yayıklaması esnasında yağ globöl membranı bozulmakta ve bir faz değişimine uğramaktadır, globöller birleşerek ve sıvı yağ globöllerden sızarak sürekli fazı oluşurmaktadır. Bu sürekli faz sağlam ve kalıntıları ile birlikte hasar görmüş kristal yağ globöllu kümelerini içine almaktadır. Süt yağının ve tereyağının viskoelastik davranışları sürekli faz ile yağ kristallerinin oluşturduğu 3 boyutlu ağ yapısının ilişkisinin bir sonucudur. Yağ kristali ağları van der Waals kuvvetleri tarafından bir arada tutulmaktadır. Katılaşma derecesi, yani katı yağın sıvı yağa oranı tereyağı tekstürünün

birincil belirleyicisidir (van Dalen 2002, van Lent ve ark. 2008, Mortensen 2011, Rønholt ve ark. 2012a).

Tekstürel ve reolojik özellikler tereyağının tüketici tarafından beğenisinde oldukça önemli faktörlerdir. Ürünün reolojik özelliklerinin bilinmesi; i) tüketici beğenisine uygun gıdaların geliştirilmesi ve bunların özellikleri, ii) işleme esnasında ürün davranışının tespit edilerek üretim şartlarının belirlenmesi, iii) raf ömrünün hesaplanması, iv) depolama esnasındaki değişimin kontrol edilerek kalite kontrolün sağlanması ve v) gıdalarda yapı-tekstür/duyusal parametrelerin ilişkisinin açıklanması açısından etkili olmaktadır (Bobe ve ark. 2003, Foegeding 2007). Tereyağının duyusal değerlendirmesinde ise görünüm, mikro yapı, kıvam, koku ve lezzet özellikleri önemli parametreler olarak incelenmektedir (Couvreur ve ark. 2006).

Son yıllarda süt yağı bazlı ürünlerin tüketimi çoğalan nüfus ve tüketicilerin doğallığa yönelişi nedeniyle artış göstermektedir (Saulais ve Ruffieux 2012). Fonksiyonel beslenmede tereyağının da yer aldığı günümüzde yeni ürünler geliştirmek için ilk adım, sadece lezzet algısını ve sağlık özelliklerini değil, aynı zamanda teknolojik özellikleri olan sürülebilme yeteneği, sertlik ve ağızda meydana getirdiği his gibi ürünlerin temelini oluşturan reolojik özelliklerini ve işlevselliğini de etkileyen yağın fiziksel özellikleri üzerine çalışmaları geliştirmek üzerine bir anlayışa sahip olmaktır (Marangoni ve ark. 2012a).

Kremanın kimyasal bileşimi ile birlikte son ürün eldesine kadar yapılan işlemlerin her biri tereyağının kimyasal ve tekstürel özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir. Tereyağı üretiminde, soğutma hızı, fiziksel uygulamalar ve üretim sırasındaki sıcaklık ile şekillenen yağ kristalizasyonu sonucunda ağ örgüsünün şekillenmesi ve mikro yapının değişimi son ürünün reolojik davranışını önemli oranda etkilemektedir. Sıcaklık, tereyağı içerisindeki sürekli fazın miktarını etkileyerek son ürünün reolojik özelliğini geliştirmektedir. Sürekli faz (sıvı yağ) miktarı yetersiz olduğunda yapı kırılgan bir hal alırken fazla miktarda olması sürülebilirliği arttırmaktadır (Wright ve ark. 2001, Perneti ve ark. 2007, Rønholt ve ark. 2013).

Kristallendirme, yayıklama ve yoğurma gibi üretim aşamaları kristal biçimi ile birlikte, aynı zamanda kristal oluşum sayısına ve boyutuna etki etmektedir. Bu etkilere bağlı olarak da ürün sertliği değişmektedir. Depolama süresince ise katı yağ içeriği ve kristal ağının dayanıklılığı artmaktadır (Martini ve Herrera 2008, Vithanage ve ark. 2009, Pothiraj 2012).

Tereyağında aranan en önemli tekstürel özellikler sertlik ve sürülebilirliktir. Tereyağının buzdolabı koşullarında bütünlüğünü koruyacak kadar sert olması ancak yine bu koşullarda sürülebilirlik özelliğinin yüksek olması istenmektedir. Arzu edilen bu özellikleri sağlamak için süt yağı kristallerinin oluşturacağı şekil ve büyüklük önem taşımaktadır. Özellikle süt yağının kristalizasyonu aşamasında kremanın yavaş ya da hızlı soğutulması (0,2 ve 5°C/dk), hızlı ya da yavaş karıştırılarak soğutulması (50-300 rpm) veya soğukta uzun süre bekletilmesi (fiziksel olgunlaştırma, 12-24 saat) oluşan kristal ve kristal ağ yapısını doğrudan etkilemekte ve bu da tekstürel/reolojik/duyusal özellikleri değiştirmektedir (Herrera ve Hartel 2000c).

Tereyağı tekstürüne doğrudan etkili başka bir özellik süt yağının globüler yapısının ne kadar korunduğudur. %97,5 oranında trigliseritlerden oluşan süt yağı süt içerisinde iken süt yağı membranı ile kaplanmış halde globüler bir yapıda bulunurken, süte ve daha sonra elde edilecek olan kremaya uygulanan fiziksel işlemler yağ globüllerine zarar vermekte ve globüllerin parçalanmasına yol açarak iç kısımda bulunan sıvı haldeki yağın açığa çıkmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla süt yağı globüler faz ve sürekli faz (sıvı faz) olarak adlandırılan iki faza ayrılmaktadır. Özellikle yayıklama aşamasında kullanılan yöntem bu fazların oranına doğrudan etkili olmaktadır. Yayıklama işleminde kesikli yöntem kullanılırsa globüler yapı daha fazla korunacağından sürülebilirlik özelliği fazla tereyağı elde edilecekken sürekli yayıklama yönteminde yağ globülleri önemli ölçüde zarar gördüğünden daha sert tereyağı elde edilmektedir. Yine soğukta depolama aşamasında yeniden bir kristalizasyon gerçekleşmiş olacağından yoğurma aşamasının uygulandığı sıcaklık ve etkinlik tereyağı tekstürünü değiştiren diğer bir önemli etken olarak ortaya çıkmaktadır (Bobe ve ark. 2003, Krause ve ark. 2008).

Bu çalışmada, krema soğutma sıcaklığının ve asitlendirme yönteminin tereyağının teknolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, çiğ sütten elde edilen krema 95°C'de 17 saniye pastörize edilerek ve ardından farklı çıkış sıcaklıklarıyla (6 ve 8°C) olgunlaştırma tanklarına alınarak farklı sürelerde (10 ve 15 saat) fiziksel olgunlaştırmaya bırakılmış daha sonra farklı asitlendirme yöntemleri (laktik asit permatı ve tereyağı kültürü (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* ve *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*) kullanılarak üretilen tereyağı rneklarının fiziko-kimyasal, tekstürel ve duyusal özellikleri belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tereyağı sürekli yağ fazı içerisinde disperse olmuş su fazı, kristal yağ ve yağ globüllerini içeren çok fazlı bir emülsiyon sistemi olarak tanımlanmaktadır (Wright ve ark. 2001, Rønholt ve ark. 2014).

Tereyağı, yağ içerisinde bir su (W/O) emülsiyonu olup genellikle ağırlıkça minimum %80 süt yağı ve maksimum %16 nem içeren, muhtemel en eski süt ürünlerinden biridir. Su içinde yağ (O/W) fazı süt ya da krema emülsiyonunun kararsızlaştırılmasının ardından süt yağının konsantrasyonu ile üretilmektedir (Wilbey 2009).

Tereyağı üretiminde, kremanın yayıklaması esnasında yağ globülü membranlarının zarar görmesi, globüllerin birleşmesi ve sıvı yağın sızarak sürekli fazı oluşturması sonucu bir faz değişimi gerçekleşmektedir. Bu sürekli sıvı yağ fazı, zarar görmüş ve bozulmamış yağ globülleri ile birlikte kristal kümelerini içermektedir (Wright ve ark. 2001, Rønholt ve ark. 2013). Yayıkaltının ortamdan alınması ve kalan yağ granüllerinin içerisindeki ve arasındaki suyun da malakse işlemlerle uzaklaştırılması ile süt yağı konsantre edilmekte ve tereyağı üretimi gerçekleştirilmektedir. Süt yağının yapısı ve bileşimi de üretilen tereyağının özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Çizelge 2.1'de süt ve tuzlu tereyağı bileşimi karşılaştırılmıştır (Atamer 2016).

Çizelge 2.1. Süt ve tuzlu tereyağının bileşimi (%)

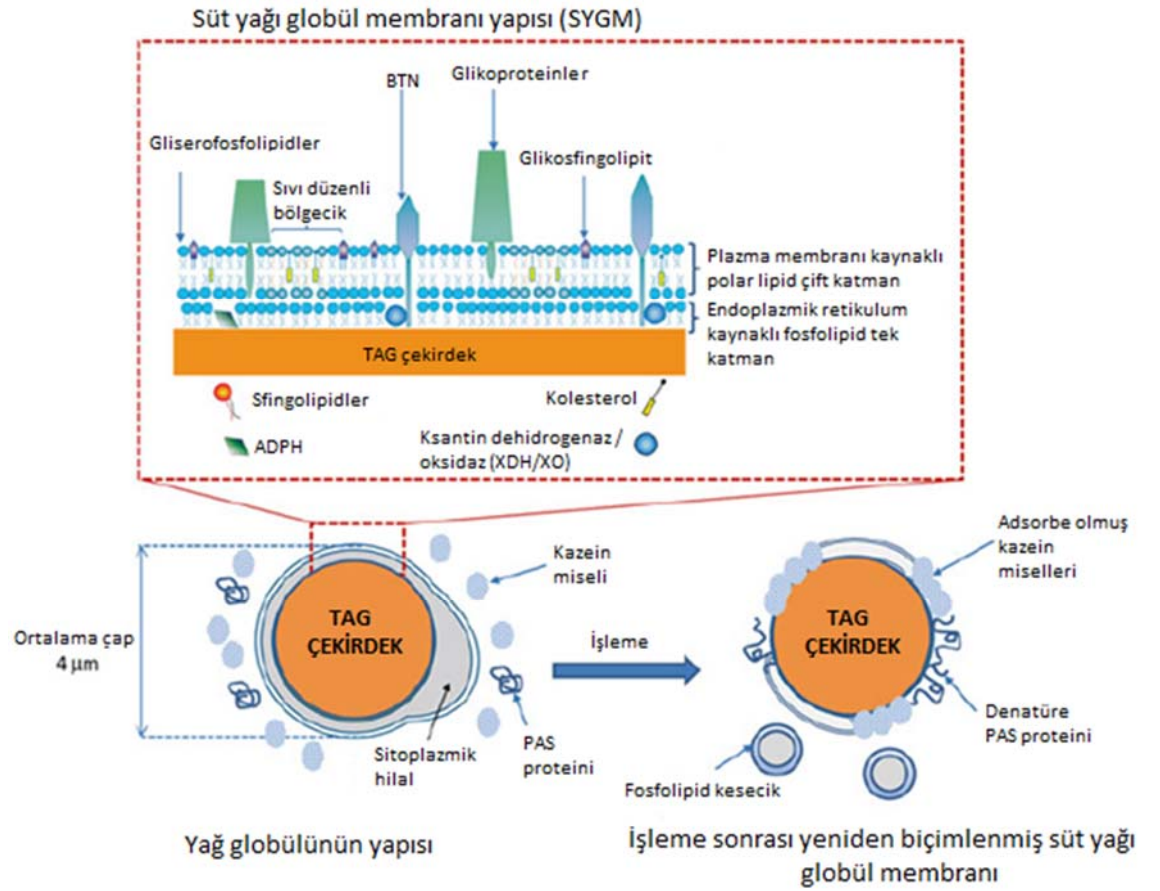
SÜT		TEREYAĞI	
Yağ	4,20	Yağ	82,10
Protein	3,40	Yağsız kurumadde	1,40
Laktoz	4,60	Mineral madde (NaCl)	0,90
Mineral madde	0,80	Su	15,60
Su	86,80		

2.1. Tereyağı Üretiminde Süt Yağının Önemi

Süt yağı, tereyağı, yoğurt, peynir ve dondurma gibi pek çok süt ürününün fiziksel işlevselliğini, tekstürünü, duyu özelliklerini ve besin profilini belirlemede ana unsurlardan birisi olarak ortaya çıkmaktadır (Truong ve ark. 2016).

Süt ürünlerinin mikro yapısı incelendiğinde süt yağının doğal globüller (homojenize olmamış süt ve krema), kompleks emülsiyonlar (homojenize süt ve krema), jel matriksi içerisinde membranı bozulmuş serbest yağ (peynir ve yoğurt), gazlı sistemlerde aglomera yağ (dondurma ve çırpılmış krema), sürekli ve serbest yağ fazı (tereyağı, sütlü çikolata) formlarına sahip olduğu görülmektedir (Truong ve ark. 2016).

Süt lipitleri, inek sütünde doğal olarak emülsifiye edilmiş globüllerin koloidal süspansiyonları içinde bulunmaktadır ve her bir globül, üç katmanlı bir globül zarı ile sarılmış bir triaçilgliserol (TAG) çekirdeğini içermektedir (Lopez ve ark. 2011). Sütteki doğal süt yağı globüllerinin (MFG) büyüklüğü, bileşimi, yapısı ve salgılanmasının kontrolü, meme bezlerinin hücresel regülasyon sistemi tarafından düzenlenmektedir (Şekil 2.1) (Heid ve Keenan 2005).



Şekil 2.1. Süt yağı globülü ve membran özellikleri

MFG'nin temel fizyolojik rolü emzirilen buzağıya beslenme (özellikle enerji) ve biyoaktif moleküller sağlamasıdır. Ortalaması 4 µm olan MFG'nin çapı, 0,1 - 15 µm arasında değişen geniş bir çeşitliliktedir (Michalski ve ark. 2001). Laktasyonun aşamalarına bağlı olarak, türler ve mevsimler arasındaki değişiklikler MFG'nin büyüklüğünü ve büyüklük dağılımını farklılaştırmakta ve bu değişim de sağım zamanlarının ve beslemenin düzenlenmesiyle modifiye edilebilmektedir (Wiking ve ark. 2004, 2006, Carroll ve ark. 2006, Hurtaud ve ark. 2010, Logan ve ark. 2014).

MFG'nün toplanması, gelişimi ve salgılanması memelilerin meme bezlerinin süt salgılayan hücrelerinde gerçekleşmektedir. TAG'lerin üretildiği yer olan endoplazmik retikulum membranlarında küçük hücre içi lipid damlacıkları (<0,5 µm) oluşmaktadır. Bu küçük damlacıklar, tek bir polar lipid ve protein tabakası ile kaplanmış bir TAG çekirdeğine sahip bulunmaktadır. Bu yapılar, endoplazmik retikulumdan hücre sıvısına göç ederek birleşmekte ve daha büyük damlacıkları oluşturmaktadırlar (Heid ve Keenan 2005). Bu sitoplazmik lipid damlacıklarının damlacık-damlacık birleşmesi ile oluşumunun, hücre sıvısı, birleşmeyi teşvik edici ajanlar ve gangliosidlerden meydana gelen kalsiyum ve protein kompleksleri tarafından yönetildiği varsayılmaktadır (Valivullah ve ark. 1988). Bununla birlikte, daha büyük damlacıklar oluşturmak için sitoplazmik lipid damlacıklarının birleşmesi de kolay olmamaktadır. Damlacık büyüklüğünün düzenlenişinin, mikro-lipit ve sitoplazmik lipid damlacıkları arasındaki yüzey tabakaları bileşimindeki farklılıkla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Daha sonrasında lipid damlacıkları, epitelyal hücreden serbest hale geçerek salgılandıkları apikal plazma zarına taşınmaktadırlar. Bu noktada lipid damlacıkları, iki tabakalı dış süt yağı globül membranını (SYGM) oluşturmak üzere plazma membranı ile aşamalı olarak kaplanmakta, böylece SYGM'nin son üç tabakalı yapısı oluşmaktadır (Heid ve Keenan 2005, Tzompa-Sosa ve ark. 2016).

Yoğun protein tabakası (10-50 nm kalınlığında) ve karmaşık moleküler organizasyonu ile SYGM, gerçek bir biyolojik zar olarak kabul edilmektedir (Keenan ve Mather 2006) (Şekil 2.1). SYGM, polar lipidler ile zenginleştirilmiştir ve ayrıca boyutsal, biyokimyasal ve yapısal farklılıklara sahip bulunmaktadır (Lopez 2011).

Süt lipitleri, büyük ölçüde triaçilgliserollerden oluşan diğer türlerin süt lipitlerine benzerdir; bununla birlikte, az miktarda diaçilgliseroller, monoaçilgliseroller, serbest yağ asitleri, fosfolipitler ve sterollerden oluşmaktadır. Bunlara ek olarak az miktarda yağda çözünen vitaminler, β -karoten ve yağda çözünen aroma bileşikleri de bulunmaktadır (Çizelge 2.2) (MacGibbon ve Taylor 2006). Süt lipitlerinde 400 den fazla farklı yağ asidi ve 200 farklı TAG türü tespit edilmiştir (Jensen 2002).

Çizelge 2.2. Sütteki ana lipit çeşitleri

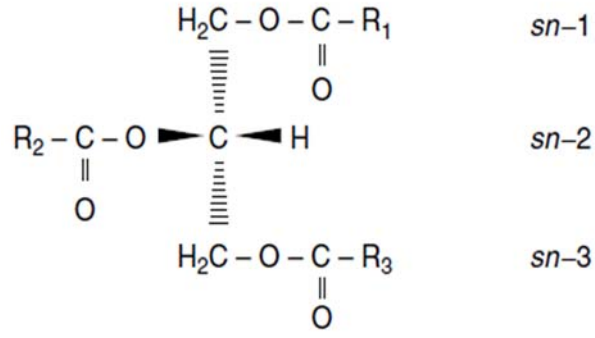
Lipit Sınıfı	Miktar (% , w/w)
Triaçilgliseroller	98.30
Diaçilgliseroller	0.30
Monoaçilgliseroller	0.03
Serbest yağ asitleri	0.10
Fosfolipitler	0.80
Steroller	0.30
Karotenoidler	İz miktarda
Yağda çözünen vitaminler	İz miktarda
Lezzet bileşenleri	İz miktarda

Süt lipitlerindeki yağ asitleri, zincir uzunluğu, doymuşluk derecesi, çift bağların konfigürasyonu ve konjugasyonundaki değişkenlere göre farklılık göstermektedir (Walstra ve ark. 1999, Kurdal ve ark. 2019).

2.1.1. Trigliseritler (Triaçilgliseroller-TAG)

Triaçilgliseroller, üç yağ asidi molekülü ile esterleşmiş bir gliserol omurgasından oluşan nispeten basit moleküllerdir (Şekil 2.2). Apolar moleküllerdir dolayısıyla suda çözünmezler. Birçok apolar molekül için çözücü fonksiyonu göstermektedirler (MacGibbon ve Taylor 2011).

Triaçilgliseroller yüksek oranda reaktif olmasalar da oda sıcaklığında hidrolitik ve oksidatif reaksiyonlara maruz kalabilmektedirler. Birincil bileşeni olması dolayısıyla süt yağının yoğunluk ve erime profiline doğrudan etkilidirler (MacGibbon ve Taylor 2006).



Şekil 2.2. Triaçilgliserol molekülünün stereospesifik numaralandırma (sn-) kurallarını gösteren Fischer diyagramı

Süt yağında, moleküler ağırlığı ve doymamışlık dereceleri oldukça değişkenlik gösteren birçok farklı triaçilgliserol bulunmaktadır. Bu karmaşık karışım, zincir uzunluğu 4-18 karbon arasında değişen çok sayıda ve çok çeşitli yağ asidinin trigliserol bileşeni olmasının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Yağ asitlerinin, triaçilgliserol molekülünün üç konumunda (sn-1, sn-2 ve sn-3 pozisyonları) dağılımı (Şekil 2.2) rastgele değildir. Bunun nedeni, meme bezindeki triaçilgliserollerin biyosentezinde yer alan mekanizmaların, yağ asitlerinin yerleştirilmesi üzerinde bir seçicilik göstermesidir. Bu seçiciliğe örnek olarak bütirik ve kaproik asit gibi kısa zincirli yağ asitlerinin çoğu zaman sn-3 nolu pozisyonda yer alması gösterilebilir. Bunun gibi seçicilik özelliklerinin bir sonucu olarak, ana triaçilgliseroller iki geniş yapısal tipten oluşmaktadır: üç uzun zincirli yağ asidi çeşitli kombinasyonları içerenler ve iki uzun zincirli ve bir kısa zincirli yağ asidi içerenler. (MacGibbon ve Taylor 2006).

2.1.2. Yağ asitleri

Süt yağı, çeşitli yapılara sahip çok sayıda yağ asidi çeşidi içermesi nedeniyle doğal olarak oluşan en karmaşık yağlardan birisi olarak kabul edilmektedir. Kromatografik ve spektroskopik tekniklerin kombinasyonu kullanılarak, süt yağında yaklaşık 400 farklı yağ asidi çeşidi olduğu belirlenmiştir. Bu asitlerin büyük çoğunluğunun oranı düşüktür (<%0,01) (MacGibbon ve Taylor 2006). Bununla birlikte, %1,0 konsantrasyonunda veya üstünde yaklaşık 16 yağ asidi bulunmaktadır. Toplam yağ asitlerinin %95'ini oluşturan bu yağ asitlerine “major” yağ asitleri denmektedir (MacGibbon ve Taylor 2011). Major yağ asitlerinin miktarları kapiler gaz kromatografisi (GC) ile

belirlenebilmektedir (IDF 2002). Süt yağındaki bu yağ asitlerinin yüzdeleri Çizelge 2.3'de gösterilmektedir (MacGibbon ve Taylor 2006).

Toplam yağ asitlerinin ağırlıkça %65-70'ini oluşturan ana doymuş yağ asitleri, uzunluğu 4-18 karbon atomu arasında değişen düz zincirli moleküllerdir. Temel doymamış yağ asidi oleik asittir (toplamanın yaklaşık %20'si). Süt yağının yağ asidi bileşimi, ineğin beslenme şekli ve laktasyon aşaması gibi faktörlerden etkilenmektedir. Sonuç olarak, yağ asitlerinin oranları, süt üretim dönemi boyunca oldukça belirgin bir şekilde değişmektedir (MacGibbon ve Taylor 2006).

Çizelge 2.3. Sığır süt yağındaki major yağ asitleri

	Yağ Asidi	Bileşim		
		Tipik		Aralık
		%(w/w)	%mol	%(w/w)
4:0	Bütirik	3,9	10,1	3,1-4,4
6:0	Kaproik	2,5	4,9	1,8-2,7
8:0	Kaprilik	1,5	2,4	1,0-1,7
10:0	Kaprik	3,2	4,3	2,2-3,8
12:0	Laurik	3,6	4,1	2,6-4,2
14:0	Miristik	11,1	11,1	9,1-11,9
14:1	Mitistoleik	0,8	0,8	0,5-1,1
15:0	-	1,2	1,1	0,9-1,4
16:0	Palmitik	27,9	24,9	23,6-31,4
16:1	Palmitoleik	1,5	1,4	1,4-2,0
18:0	Stearik	12,2	9,8	10,4-14,6
18:1 <i>cis</i>	Oleik	17,2	13,9	14,9-22,0
18:1 <i>trans</i>		3,9	3,2	
18:2	Linoleik	1,4	1,1	1,2-1,7
18:2	KLA	1,1	0,9	0,8-1,5
18:3	α -linolenik	1,0	0,8	0,9-1,2
	Minör asitler	6,0	5,1	4,8-7,5

Süt yağında bulunan yağ asitlerinin büyük bölümü süt yağının yaklaşık %98'ini oluşturan triaçilgliserollerin bileşiminde yer almaktadır. Geriye kalan kısım ise mono ve di-açilgliserollere ve fosfolipitlere esterlenmektedir ve süt yağında yaklaşık %0,1 oranında esterlenmemiş veya serbest yağ asitleri bulunmaktadır. Triaçilgliserollerin yağ asitleri, triaçilgliserol molekülünün moleküler ağırlığının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (%85-95). Ayrıca, doymamış yağ asitleri reaktif bölgeler olan çift bağları da içermektedir. Bu nedenle, yağ asitlerinin ve triaçilgliserollerin kimyasal ve

fiziksel özelliklerinin süt yağının özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi bulunmaktadır. Yağ asitleri, süt yağının erime özelliklerini ve yağ oksidasyonunun meydana gelme hızını etkilemektedir (MacGibbon ve Taylor 2006).

Major yağ asitleri zincir uzunluklarına göre sınıflandırılmaktadırlar. 4-6 karbonlu olanlar kısa zincirli, 8-14 karbonlu olanlar orta zincirli, 16-18 karbonlu olanlar ise uzun zincirli yağ asitleri olarak adlandırılmaktadır (MacGibbon ve Taylor 2006).

Meme bezlerinde sentezlenenler ve yemden gelenler olmak üzere sığır süt yağının yağ asitleri iki kaynaktan gelmektedir. Bu iki kaynaktan gelen yağ asitlerinin yapıları birbirinden farklı olmaktadır. Kısa ve orta zincirli yağ asitleri ile bir kısım 16:0 karbonlu yağ asitleri meme bezlerinde sentezlenirken bir kısım 16:0 karbonlu yağ asitleri ile uzun zincirli yağ asitleri plazma kaynaklıdır. Meme bezlerinde sentezlenen yağ asitleri süt yağı asitlerinin yaklaşık %45'ini oluşturmaktadır (Fox ve Kelly 2012, Kurdal ve ark. 2019).

Meme bezindeki yağ asitlerinin sentezi için asetat ve bir miktar β -hidroksibutirat kullanılmaktadır. Bu öncüler selülozun ve ilgili bileşenlerin rumen içindeki mikrobiyel fermentasyonundan elde edilmektedir. Meme bezine girdikten sonra, asetat asetil-CoA'ya aktive edilmektedir. Yağ asidi sentezi mekanizması esas olarak asetil-CoA'nın malonil-CoA'ya karboksilasyonunu içermektedir. Bu daha sonra adım adım zincir uzatma işleminde kullanılmaktadır. İkişer CH_2 grubu eklenerek kısa veya orta zincirli yağ asitleri üretilmektedir. Bunlar düz zincirli, çift karbon sayılı yağ asitleridir. Ancak, asetat yerine propiyonat, valerat veya izobütirat gibi bir öncü kullanılırsa, dallı zincirli veya tek sayılı karbon yağ asitleri sentezlenmektedir (Jenkins 1993, Hillbrick ve Augustin 2003).

Diğer yağ asitleri temel olarak diyet kaynağından gelmektedir, ancak bunlar yağ dokularından da salınabilen yağ asitlerini içermektedir. Diyet lipitleri büyük ölçüde, major yağ asitleri linolenik asit ve linoleik asit olan glikolipitler, fosfolipitler ve triaçilgliserollerden oluşmaktadır. Bu lipitler esterifiye olmamış yağ asitleri üretmek için rumende hidrolize edilmekte, daha sonra mikroorganizmalar tarafından kapsamlı

biyohidrojenasyona uğratılmaktadır (Jenkins 1993). Biyohidrojenasyona uğrayan yağ asitleri triaçilgliserollere esterlenmekte ve kan yoluyla meme bezlerine gelip burada parçalanmaktadır. Sonuçta diyet yoluyla uzun zincirli yağ asitleri meydana gelmektedir. Süt yağında önemli miktarlarda bulunan doymuş yağ asitleri, uzunluğu 4-18 karbon atomu arasında değişen dalsız hidrokarbon zincirlerine sahip moleküllerdir. Bu yağ asitleri, toplam yağ asitlerinin yaklaşık %65-70'ini oluşturmaktadır (MacGibbon ve Taylor 2006).

Uzun zincirli yağ asitlerinden farklı olarak, kısa zincirli ve orta zincirli yağ asitleri, esterleşmemiş olduğundan kan dolaşımına emilebilmekte ve karaciğerde hızla metabolize edilebilmektedir. Böylece, yeni doğan buzağının enerji metabolizmasına doğrudan ve hızlı bir katkıda bulunabilmektedirler. Ayrıca, kısa zincirli yağ asitlerinin ve kısmen orta zincirli yağ asitlerinin, triaçilgliserollerin erime noktasını düşürmesi süt yağının fizyolojik sıcaklıklarda sıvı halde tutulmasına yardımcı olmaktadır (MacGibbon ve Taylor 2006, Fox ve Kelly 2012).

Sığır süt yağının cis-monoenoik asit içeriği yaklaşık %18-24'tür (Çizelge 2.3). Oleik asit (9c-18:1), toplam cislerin yaklaşık %15-21'ini oluşturan başlıca cis-mono doymamış yağ asididir (MacGibbon ve Taylor 2006).

Süt yağında cis-polienoik asitler, rumen içerisinde meydana gelen biyohidrojenasyon reaksiyonları nedeniyle düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Bu asitler hemen hemen sadece linoleik asit (9c, 12c-18:2), yaklaşık %1,2-1,7 ve α -linolenik asit (9c, 12c, 15c-18:3), yaklaşık %0,9-1,2 (Çizelge 2.3) içermektedir. Bu iki yağ asidi esansiyel yağ asitleridir; vücutta sentezlenemezler ve diyet tarafından sağlanmaları gerekmektedir. α -linolenik asit oranı, ineğin diyetinden etkilenmektedir. Yapılan çalışmalar bu yağ asidinin konsantrasyonunun mera ile beslenen ineklerden elde edilen sütte ahırla beslenen ineklerden elde edilen süttten daha yüksek olduğunu göstermektedir (Lock ve Bauman 2003, Miller ve ark. 2003, Fox ve Kelly 2012).

Süt yağında 18 karbonlu trans yağ asitlerinin meydana gelmesinin sebebi rumende gerçekleşen biyohidrojenasyon işleminin tamamlanmamasıdır. Bu yağ asitlerinin önemi

sağlık üzerine olumsuz etki göstermelerinden gelmektedir. Klinik çalışmalar trans-oktadekanoik asidin cis izomerine göre LDL-kolesterolü (kötü kolesterol) artırdığını, HDL-kolesterolü (iyi kolesterol) ise azalttığını göstermiştir. Dolayısıyla LDL: HDL oranında istenmeyen bir durum ortaya çıkarmaktadır (Mensink ve Katan 1993).

Vakkenik asit en önemli trans izomeri olup toplam yağ asitleri içerisindeki oranı birçok Avrupa ülkesinde %3,3-4,4 arasında değişmektedir Yüksek değerler yaz aylarında merada otlanan ineklerden elde edilmiştir dolayısıyla yaz beslenmesinin rumendeki biyohidrojenasyonu azalttığı görülmektedir (Precht ve Molquentin 2000).

Her ne kadar süt yağındaki *trans*-18:1 seviyesi önemli olsa da, bazı margarinlerde bulunan seviyenin oldukça altındadır. Precht ve Molquentin (1997), bir ya da iki trans çift bağ içeren, süt yağındaki bir dizi trans-oktadekadienoik asidi tanımlamış ve ölçmüştür. Bu asitlerin çoğu küçük miktarlarda bulunmakta olup, ortalama konsantrasyonları %0,30'un üzerinde olan sadece şu asitlerdir: 11*t*, 15*c*-18:2 (%0,33) ve 9*c*, 11*t*-18:2 (%0,85). Bu trans-oktadekadienoik asitler önemli ölçüde değişiklik göstermektedir; örneğin, 9*c*, 11*t*-18:2, %0,25 ila %1,95 arasında değişmektedir. Trans-oktadekanoik asitlere benzer şekilde, mera beslemesi, karışık rasyonların beslenmesine kıyasla daha yüksek seviyelerde trans-oktadekadienoik asitler üretmektedir. 9*c*, 11*t*-18:2, sığır süt yağındaki konjuge linoleik asitlerin (KLA) başlıca izomeri olup, toplamın yaklaşık %80-90'ını oluşturduğu Parodi (1977) tarafından belirtilmiştir.

KLA terimi, konjüğe çift bağlara sahip (örneğin, 10*t*, 12*c*-18:2, 10*t*, 12*t*-18:2) oktadekadienoik asidin pozisyonel ve geometrik izomerlerinin bir karışımını belirtmektedir. Süt yağının KLA içeriği, ilişkili iki kaynaktan elde edilmektedir. İlk önce, 9*c*, 11*t*-18:2, rumen içindeki yağ asitlerinin biyohidrojenasyonunun bir ara ürünüdür. Ek olarak, 11*t*-18:1, 18:0 ile 9*c*-18:1'in dönüşümünü katalize eden stearoil-CoA desaturaz enzimi (SCD) ile meme bezinde 9*c*, 11*t*-18:2'ye dönüştürülebilmektedir (MacGibbon ve Taylor 2006).

İlk kez Ha ve ark. (1987), kıyılmış et içerisinde bulunan 9*c*, 11*t*-18:2'yi, anti-kanserojen bir madde olarak tanımlamıştır. Daha sonraki çalışmalarda, KLA'nın, karsinogenez,

ateroskleroz, diyabet ve immün uyarım tarafından indüklenen kilo kaybının inhibisyonuna ve yağsız vücut kütlesi yüzdesindeki artışa katkıda bulunduğu görülmüştür. Bu çalışmalar, diğer *trans* yağ asitlerinden farklı olarak çok sayıda olumlu etkisi dolayısıyla KLA'nın benzersiz olarak kabul edilebileceğini göstermiştir (MacGibbon ve Taylor 2006).

Cis-doymamış ve *trans*-doymamış yağ asitleri arasındaki önemli bir yapısal fark, çift bağın *cis* konfigürasyonda hidrokarbon zincirinde önemli bir kıvrım oluşturması ancak *trans* konfigürasyonunun sadece hafif bir bozulmaya neden olmasıdır. Bu fark, triaçilgliserollerin katılaşmış olduklarında kristal kümelerde toplanma şekli üzerinde büyük bir etkiye sahip bulunmaktadır. *Cis* doymamış yağ asitleri içeren triaçilgliseroller, *trans*-doymamış veya doymuş yağ asitleri içeren triaçilgliserollerden daha düşük bir istiflenme yoğunluğuna, dolayısıyla daha düşük erime noktalarına sahiptirler. Bu nedenle, *cis*-doymamış ve *trans*-doymamış yağ asitlerinin nispi seviyeleri, süt yağının erime özellikleri üzerinde önemli oranda etkili olmaktadır (MacGibbon ve Taylor 2006).

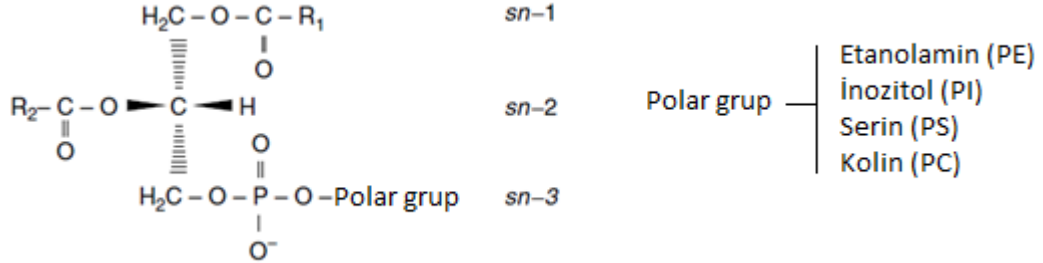
Minör doymuş yağ asitleri arasında tek numaralı ve dallanmış zincirli yağ asitleri bulunmaktadır. Mono metil dallanmış zincirli yağ asitlerinin toplam yağ asitlerine oranı %2,5'tir. Ek olarak süt yağında az miktarda hidroksi ve keto asit de bulunmaktadır (MacGibbon ve Taylor 2011).

2.1.3. Polar lipitler

Süt yağındaki fosfolipitlerin konsantrasyonu, toplamın %0,5-1,0'i arasındadır (Çizelge 2.2). Bu fosfolipitlerin yaklaşık %60-65'i, süt yağı globül membranı (SYGM) ile ilişkilidir. Kalan %35-40, SYGM'ına bağlı olmayıp, çözelti içindeki protein/ membran fragman materyali ile bağlantılı sulu fazda bulunmaktadır (Contarini ve Povolo 2013).

Süt yağı damlacıklarını saran SYGM, meme bezindeki salgı hücrelerinin apikal plazma zarından elde edilmektedir. SYGM, fosfolipitler ve glikolipitlerin yanı sıra protein, glikoprotein, enzimler, triaçilgliseroller ve minör bileşenlerden oluşmaktadır.

SYGM'deki fosfolipitlerin oranının %15-30 arasında değiştiği tahmin edilmektedir (MacGibbon ve Taylor 2006).



Şekil 2.3. Stereospesifik numaralandırma (sn-) kurallarını gösteren bir gliserofosfolipit Fischer diyagramı

Polar lipitler, toplam süt lipitlerinin çok küçük bir kısmını oluşturmalarına rağmen, hem hidrofilik hem de hidrofobik yapıları nedeniyle sütün su fazında süt yağı süspansiyonunun stabilize edilmesinden sorumludurlar ve nispeten yüksek miktarda süt yağının ve proteinin aynı çözeltide bir arada bulunmasını sağlarlar. Hidrofobik kısım uzun zincirli yağ asitleri iken hidrofilik kısım polar grup ve negatif yüklü fosfat grubunu oluşturmaktadır (Şekil 2.3) (MacGibbon ve Taylor 2006, Castro-Gómez ve ark. 2014).

Süt fosfolipitleri yapısal olarak önemlidir, çünkü emülsiyonları ve köpükleri stabilize edebilir, misel ve membranlar oluşturabilirler (Jensen ve Newberg 1995). Fosfolipitler ayrıca tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitlerini içermeleri dolayısıyla prooksidan olma yeteneğine sahiptirler. Buna ek olarak metal iyonlarını bağlayabilirler. Fosfatidiletanolamin bakırı güçlü bir şekilde bağlar dolayısıyla sütte bakır tarafından başlatılan oksidasyonda önemlidir (Deeth 1997, Hillbrick ve Augustin 2003, Contarini ve Povolito 2013).

Fosfatidilkolin, fosfatidiletanolamin ve sfingomyelin, sığır sütlerinde bulunan başlıca polar lipitlerdir (Çizelge 2.4). Sfingomyelin diğerlerinden farklı olarak seramid grubu içerse de benzer özellikleri dolayısıyla fosfolipit grubu içerisine alınmaktadır. Glikosidamitler (glikosfingolipidler), sfingomyelin içinde bulunan fosforilkolin grubu yerine seramidin 1. pozisyonunda eklenmiş bir veya daha fazla hekzoz şekeri ünitesine sahiptirler (MacGibbon ve Taylor 2006).

Çizelge 2.4. Sığır sütünde bulunan polar lipit çeşitlerinin toplam polar lipitlere oranı

	a (% <i>mol</i>)	b %(w/w)	c %(w/w)	d %(w/w)	e %(w/w)
Fosfotidiletanolamin	31,8	34,2	31,1	42,0	36,8
Fosfotidilinozitol	4,7	6,2	5,2	4,8	iz
Fosfotidilserin	3,1	2,8	8,5	6,7	iz
Fosfotidilkolin	34,5	25,4	26,4	19,2	32,2
Sfingomiyelin	25,2	23,6	28,7	17,9	29,6
Glukoseramid	iz	5,0	iz	2,7	iz
Laktoseramid	iz	2,9	iz	6,7	iz
Fosfolipidler (mg/10 ml süt)		2,28	2,51	2,9	2,42

^a Jensen ve Clark (1988) ^b Christie ve ark. (1987) ^c Bitman ve Wood (1990) ^d Rombault ve ark. (2005) ^e Fagan and Wijesundra (2004)

2.1.4. Minör bileşenler

Steroller süt yağının minör bileşenlerinden olup miktarları toplam yağın %0,3'ünü oluşturmaktadır. Başlıca bileşen toplamın %95'ten fazlasını oluşturan kolesterol olup bunun da %10'u esterleşmiş haldedir. Süt yağında az miktarda diğer steroller, yani kampesterol, stigmasterol ve β -sitosterol de tespit edilmiştir (Hillbrick ve Augustin 2003, Lock ve Bauman 2003).

Kolesterol, membranlarda lipid ve protein geçişlerini ve konformasyonlarını kontrol etmede rol oynayan önemli bir biyolojik bileşiktir. Aynı zamanda bazı hormonlar için bir öncüdür. Kolesterolün, arteroskleroz, kolesterol safra kesesi taşları ve bazı kalıtsal bozukluklar gibi insanları etkileyen bir takım hastalıklarla ilişkisi olduğu bilinmektedir (MacGibbon ve Taylor 2011). Süt ürünlerinde gram yağ başına kolesterol miktarı Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Süt yağındaki ana renk bileşeni, mevcut toplam karotenoidlerin yaklaşık %95'ini oluşturan β -karotendir. Bir dizi konjuge çift bağ içeren, yüksek oranda doymamış bir hidrokarbondur. Süt yağındaki β -karoten konsantrasyonu, 2,5-8,5 μ g/L yağ arasındaki seviyelerde değişkenlik göstermektedir. Karoten içeriği, beslenmeye ve inek cinsine bağlı bulunmaktadır. Jersey inekleri, Friesian ineklerine göre daha renkli süt yağı üretirken, saman diyeti ile beslenenler, merada beslenenlere göre daha renksiz süt yağı üretme eğilimindedir. Bu son bulgu, karotenoid pigmentlerin yeşil bitki materyalinde

bol miktarda bulunması nedeniyle şaşırtıcı değildir (Winkelman ve ark. 1999, Park 2009, MacGibbon ve Taylor 2011).

Çizelge 2.5. Süt ürünlerinde gram yağ başına kolesterol miktarları

	Yağ içeriği (% w/w)	Kolesterol (mg/g yağ)
Yağlı Süt	4,70	3,30
Krema	43,00	3,10
Yağsız Süt	0,06	44,00
Tereyağı	82,50	2,80
Yayıkaltı	1,30	8,50

Süt lipitlerinin önemli bir beslenme yönü, A, D, E ve K vitaminlerinin yağ fazında çözünmesinden kaynaklanmaktadır. Süt yağının önemli bir A vitamini kaynağı olduğu, ancak D ve K vitaminleri açısından zayıf bir kaynak olduğu düşünülmektedir (Lock ve Bauman 2003, Kurdal ve ark. 2019).

A Vitamini, embriyonik gelişim, büyüme ve görme gibi kritik biyolojik işlevlerde yer alan, yağda çözünen bir vitamindir. Retinol, retinal ve retinoik asit olmak üzere üç ana şekli vardır. Ek olarak, β -karoten vücutta bir dereceye kadar retinole dönüştürülebilir ve bu nedenle provitamin A olarak adlandırılmaktadır. Bu A vitamini bileşenlerinin biyolojik aktivitesi tüm trans retinollerde %100'den β -karoten'de %17'ye kadar değişmektedir. Trans retinoller süt yağındaki A vitamininin majör bileşenleridir. Ticari tereyağı örneklerinde 8,0-12,0 μ g/g yağ oranında bulunmaktadır (Buss ve ark. 1984, Miller ve ark. 2003, Kurdal ve ark. 2019).

E Vitamini, lipit peroksi radikallerinin etkili bir temizleyicisidir ve doymamış yağ asitlerinin lipid peroksidasyonuna karşı korunmasında etkilidir. E vitamini kimyası, E vitamini aktivitesi gösteren sekiz bileşik, dört tokoferol ve dört tokotrienol bulunduğu için oldukça karmaşıktır. Farklı bileşimleri için biyoaktivite değişmektedir. Biyoaktivitesi en yüksek bileşimi olan α -tokoferol ticari tereyağının 1 gramı başına 18-35 μ g aralığında bulunmaktadır. Bu yoğunluk düşük bir E vitamini biyoaktivitesine karşılık gelmektedir. D ve K vitaminleri de süt yağının gramı başına sırasıyla 0,01-0,02 ve 0,1-0,2 μ g arasındadır ve dolayısıyla konsantrasyonları ve vitamin etkileri çok düşük olmaktadır (Miller ve ark. 2003, Park 2009, Kurdal ve ark. 2019).

Süt yağı ve tereyağı lezzetinin kimyası, genel aroma ve tada katkıda bulunan çok sayıda bileşiği içerdiğinden oldukça karmaşıktır. Süt yağında yaklaşık 200 farklı uçucu bileşen tespit edilmiştir. Bununla birlikte, uçucu bileşiklerin çoğu, kendi lezzet eşiği seviyelerinin altındaki konsantrasyonlarda mevcuttur ve bu bileşiklerin, genel lezzet profiline ne ölçüde katkıda buldukları tam olarak bilinmemektedir. Süt yağının algılanan tadı, ayrı ayrı uçucu bileşiklerin konsantrasyonundaki bir değişikliklerle değiştirilebilir. Uçucu bileşiklerin konsantrasyonunu değiştirebilen temel faktör, ineğin beslenme rejimidir (Bendall 2001, Foegeding ve ark. 2010).

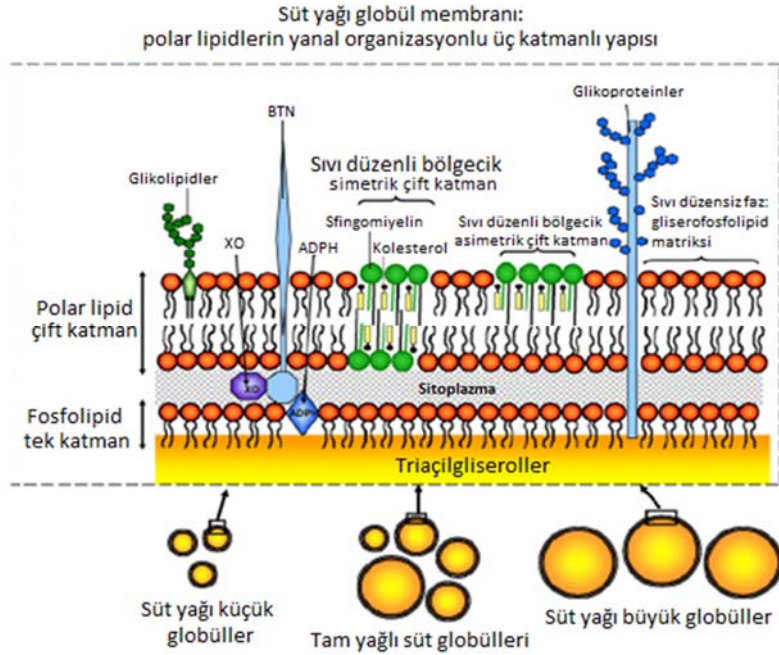
Genel tada önemli ölçüde katkı yaptığı düşünülen ana uçucu bileşik sınıfları, laktonlar, yağ asitleri, aldehitler ve metil ketonlardır. Süt yağında, triaçilgliserollere esterlenmiş çok az miktarda hidroksi asit vardır. Bunlar lezzetli γ -laktonların ve δ -laktonların öncüleri olarak işlev görmektedir. Üç laktonun, δ -oktalakton, δ -dekalakton ve δ -dodekalaktonun, süt yağında önemli lezzet bileşenleri olduğu bildirilmiştir (Mallia ve ark. 2007).

Alifatik aldehitler düşük konsantrasyonlarda tereyağına krema benzeri bir tat vermektedir. Bununla birlikte süt yağında meydana gelebilecek hafif bir oksidasyon sonucu konsantrasyonları istenmeyen okside tadın oluştuğu seviyelere çıkabilmektedir. Siek ve ark. (1969), 4:0 ve 6:0 gibi kısa zincirli yağ asitlerini ilk kez, süt yağının temel lezzet bileşenleri olarak tanımladılar. Bu yağ asitleri, çok düşük konsantrasyonlarda süt yağının genel lezzetine katkıda bulunurken, yüksek konsantrasyonlarda kaçınılmaz olarak lipolizin neden olduğu istenmeyen kokmuş lezzetlere yol açmaktadırlar.

Sağım sonrası sütte az miktarda di- ve monoaçil gliserol ile serbest yağ asitleri bulunmaktadır. Depolama esnasında süt içerisindeki triaçilgliseroller süt veya bakteriyel kaynaklı lipaz tarafından hidrolize uğrayabilmektedirler. Bu sebeple belirtilen bileşenlerin oranı önemli ölçüde artabilmektedir. Örneğin serbest yağ asitleri oranı %0,1-1'e yükselebilmektedir. Böyle bir artış lipaz tarafından serbest bırakılan kısa zincirli yağ asitlerinin neden olduğu ransid tat gelişimine neden olabilmektedir (MacGibbon ve Taylor 2011).

2.1.5. Süt yağı globül membranı (SYGM)

Süt yağı globül membranı (SYGM) iki farklı membranın birleşiminden oluşmaktadır. Granüllü endoplazmik retikulumda türetilen ilk membran, hücre içi lipid çekirdeği ile doğrudan temas halinde olan fosfolipidler ve proteinler içeren bir tek tabakadır (Vanderghem ve ark. 2011). İkinci membran, glikosile edilmiş ve glikosile edilmemiş proteinler, gliserofosfolipitler ve sfingolipidler, enzimler, kolesterol ve diğer minör bileşenleri içeren bir çift katmandır. İç membran ve iki tabaka arasında, proteinler bakımından zengin elektron yoğun bir kaplama bulunmaktadır (Şekil 2.4) (Rombaut ve ark. 2006, Lopez ve ark. 2008).



Şekil 2.4. Süt yağı globül membranının şematik gösterimi (Lopez ve ark. 2011)

Çift katlı membranın dış yüzeyinde bir bölümü proteinlere bir bölümü lipitlere bağlı bulunan büyük ölçüde karbonhidratlardan oluşan dördüncü bir katman bulunmaktadır. Süt bileşenleri ve diğer moleküller arasındaki etkileşimler esas olarak bu dış yüzeyde meydana gelmektedir (Vanderghem ve ark. 2011).

Glikoproteinlerdeki oligosakkaritlerin yapısal bileşimi, istenmeyen patojenleri yeni doğan yavruların gastrointestinal kanalından arındırmak için doğal koruma olarak

tasarlanmıştır (Wilson ve ark. 2008). Ancak bazı çalışmalar SYGM'nin sürekli bir membran olmadığını ve bazı membran materyallerinin salgı sırasında tahrip olduğunu dolayısıyla yağ globülünün bazı kısımlarında sadece iç membran kaldığını göstermektedir (Robenek ve ark 2006, Vanderghem ve ark. 2011)

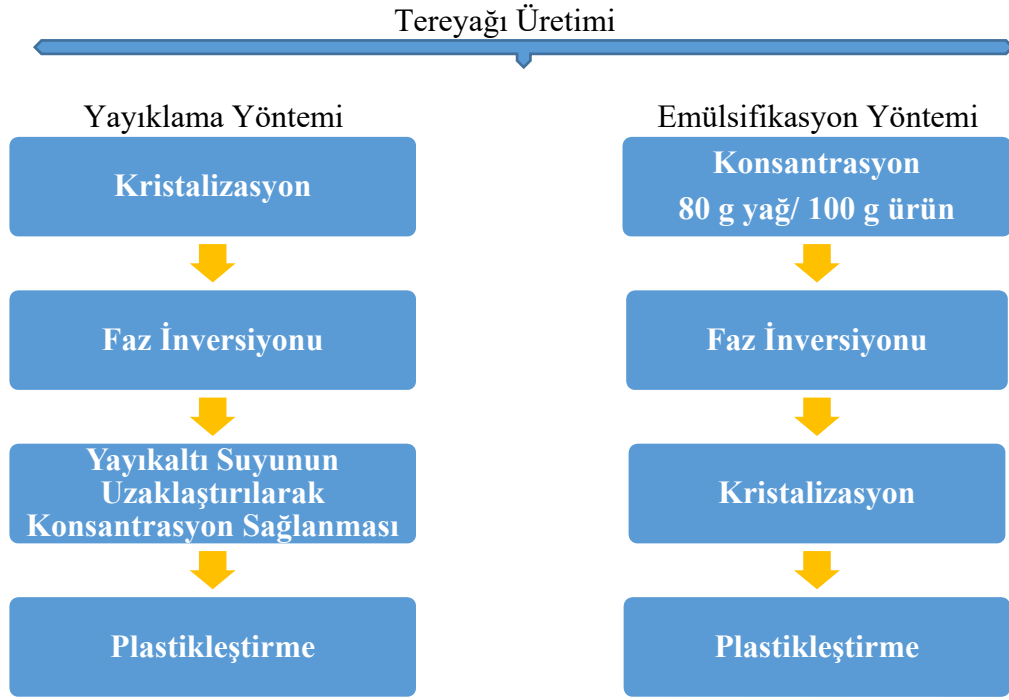
SYGM, karmaşık bir yapıya sahiptir. 10-50 nm kalınlığındadır ve fosfolipitler, sfingolipitler ve spesifik membran proteinlerini içermektedir (Şekil 2.4). Fosfolipitler ve proteinler, membranın kuru ağırlığının %90'ından fazlasını oluşturmaktadır (Singh 2006). Proteinlerin bazıları, ksantin oksidaz ve adipofilin gibi zarın ayrılmaz bir parçasıdır ve diğerleri, sırasıyla butirofilin ve glikosile edilmiş proteinleri içeren üç tabakalı zarın içine periferik veya gevşek şekilde bağlanmaktadır (Dewettinck ve ark. 2008, Lopez ve ark. 2008). Tripsin ve pronaz E ile yapılan son çalışmalar, butirofilinin SYGM'nin yanı sıra adipofilinin dışına yerleştirilebileceğini ve ksantin oksidazın da zar içinde ikili bir konuma sahip olabileceğini göstermektedir (Vanderghem ve ark. 2011). SYGM'nin literatürde bildirilen brüt bileşimi, izolasyon, saflaştırma ve analizinde kullanılan tekniklerin bir sonucu olarak farklılık göstermektedir (Evers 2004a, Keenan ve Mather 2006, Dewettinck ve ark. 2008).

Ayrıca, bileşim fizyolojik, kimyasal/enzimatik ve fiziksel/mekanik faktörler ile değiştirilebilmektedir (Evers, 2004b). Fiziksel ve mekanik faktörlere soğutma, kurutma, ayırma, çalkalama, ısıtma ve homojenizasyon örnek verilebilmektedir (Michalski ve Januel 2006, Dewettinck ve ark. 2008, Jiménez-Flores ve Brisson 2008, Lopez ve ark. 2008).

Fizyolojik faktörlere gelince, Lopez ve ark. (2008), düzenli bir diyet ve çoklu doymamış yağ asitleri açısından zengin bir diyet ile beslenen ineklerden elde edilen sütlerin fosfolipit yağ asitleri içeriği arasında büyük farklılıklar gözlemlemişlerdir. Çoklu doymamış yağ asitleri açısından zengin bir diyet, sütteki doymuş yağ asidi içeriğinde önemli bir düşüşe yol açmış bu da özellikle koroner kalp hastalığı riskleri olan kişiler için sütün fonksiyonel değerini arttırmıştır (Jensen 2002, Lopez ve ark. 2008).

2.2. Tereyağının Özellikleri Üzerine Etkili Faktörler

Tereyağı uzun yıllardan beri üretilen bir ürün olmasına rağmen üretim yöntemi bilimin ışığında teknolojinin gelişmesi ile son 100 yıl içerisinde sürekli gelişme göstermiştir. Bu nedenle tereyağı üretiminde uygulanan aşamalar son ürünün özellikleri üzerinde oldukça etkili olmaktadır.



Şekil 2.5. Tereyağı üretim yöntemleri

Tereyağı üretiminde yapının oluşumu için “Yayıklama Yöntemi” ve “Emülsifikasyon” yöntemi olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır. Yayıklama yönteminde, yağın kristalleşmesi krema içinde gerçekleştirilmekte, ardından krema su içinde yağ emülsiyonunun yağ içinde su emülsiyonuna dönüştürüldüğü güçlü mekanik işlemle faz inversiyonuna tabi tutulmaktadır. Daha sonra yağ içeriği yayıktaltının uzaklaştırılmasıyla konsantre edilmekte ve arta kalan tereyağı granülleri mekanik işlemle plastikleştirilmektedir. Emülsiyonlaştırma yönteminde ise, ilk üç alt işlem ters sırayla gerçekleştirilmektedir. İlk önce yağ emülsiyonu, son ürünün bileşimine karşılık gelen bir yağ içeriğine konsantre edilmekte, daha sonra bir faz inversiyonu gerçekleştirilerek,

ardından kristalleştirme uygulanmakta ve son olarak uyumlu bir yağ kütlesi oluşturularak plastikleştirilmektedir (Şekil 2.5) (Mortensen 2011).

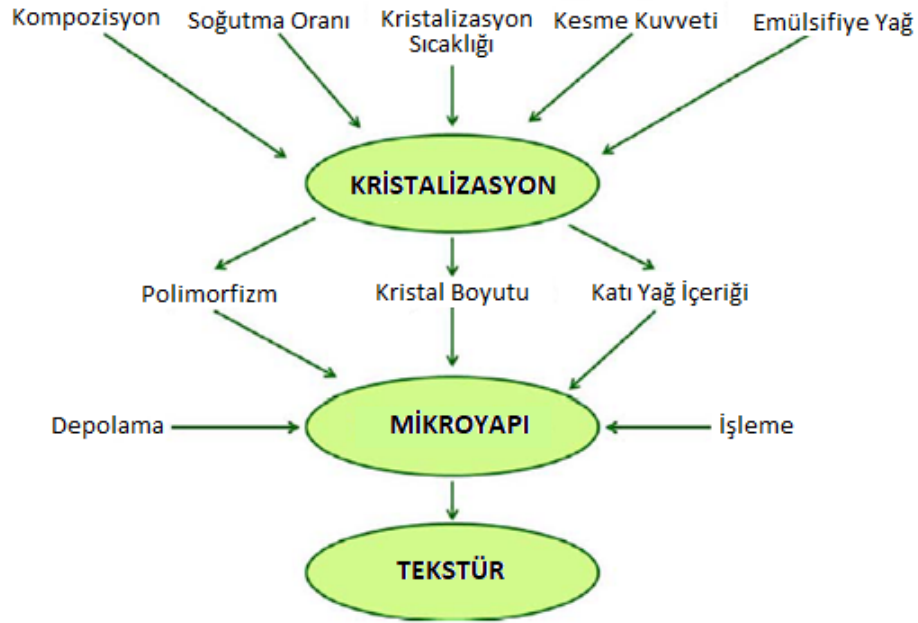
2.2.1. Kristalizasyon

Yağlı sistemlerde sıvı ve katı yağ arasındaki oran, tereyağı ve sürülebilir ürünlerin reolojik özellikleri için büyük önem taşımaktadır. Katı yağ kısmı olmadan süt yağı bazlı bir ürün tamamen sıvı halde bulunmaktadır. Sıvı yağ olmadan ise tekstür sert ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Süt yağı bazlı ürünlerin yapısındaki katı yağ kristalizasyon ile sağlanmaktadır. Kristalizasyon, bir sıvıda rastgele organize edilmiş moleküllerin bir araya gelerek kristal şeklinde sıralı üç boyutlu bir yapı oluşturduğu proses olarak tanımlanmaktadır ve dolayısıyla yağ bazlı ürünlerin reolojik özellikleri, yağ kristali yapısından, katılaşmasından ve dönüşüm davranışından etkilenmektedir (Davey ve Garside 2000, Mazzanti ve ark. 2004).

Yağ kristalleri, yağ kristalleri ağına (20-100 μm) bağlanmış nano ölçekli yapılar (150-350 nm uzunluğunda ve 10-60 nm arası kalınlığında) oluşturan trigliserit moleküllerinden oluşmaktadır (Acevedo ve Marangoni 2010). Süt yağında bulunanlar gibi doğal olarak meydana gelen trigliseritler de, gliserol molekülüne bağlı bulunan yağ asitlerinin genellikle farklı zincir uzunluğuna sahip olması ile trigliserit türevlerinin stereoizomerlerini üreten potansiyel olarak asimetric bir yapıda şekillenmektedir (Sato ve Ueno 2001).

Trigliseritler içindeki simetri derecesi ise serbest enerjiye, dolayısıyla kristalizasyon mekanizmasına bağlı bulunmaktadır. Yüksek yapısal simetriye sahip bir trigliserit, küresel olarak büyütülmüş uzun iğne benzeri kristallerle sonuçlanırken, daha düşük bir simetri derecesi eşkenar dörtgen (baklava) şeklindeki kristallerle ortaya çıkmaktadır (Hollander ve ark. 2003). Çok sayıda küçük kristalin baskın olduğu bir mikro yapının, az sayıda büyük kristalin baskın olduğu bir mikro yapıya kıyasla sertliği %20'ye kadar arttırdığı belirlenmiştir. Ancak tüketici bakış açısıyla, sertlikteki bu artış ağızda bırakılan farklı bir his, kırılganlık ve sürülebilirlik olarak ortaya çıkmaktadır (Fedotova ve Lencki 2010).

Süt yağı için, geniş triaçilgliserol aralığı, değişken zincir uzunluğu ve doygunluk derecesine bağlı olarak farklı polimorfik formlarla sonuçlanmaktadır. Bununla birlikte, kimyasal bileşim aynı olsa da, çok benzer iki süt yağı bazlı ürün, termal ve mekanik işleme bağlı olarak farklı kristal yapıya (polimorfizm) sahip olabilmektedir. Polimorfizm terimi, alifatik trigliserit zincirlerinin yatay istiflenme tipini tanımlamaktadır (Mazzanti ve ark. 2004). Yatay istiflenme, soğutma hızı, yayıklama sıcaklığı ve mekanik işlem gibi faktörler polimorfizmi etkilemektedir. Ayrıca, hammaddenin kalitesi ve özellikleri ile, ürün üretimi sırasında kullanılan parametreler de kristalizasyon işlemi için, dolayısıyla ürünün tekstürel ve duyuşal özellikleri için temel oluşturmaktadır (Şekil 2.6) (Herrera ve Hartel 2000a,b,c, Mazzanti ve ark. 2004, Marangoni ve Ollivon 2007, Buldo 2012).



Şekil 2.6. Süt yağı sistemlerinde tekstür, mikroyapı ve kristalizasyonu etkileyen faktörler

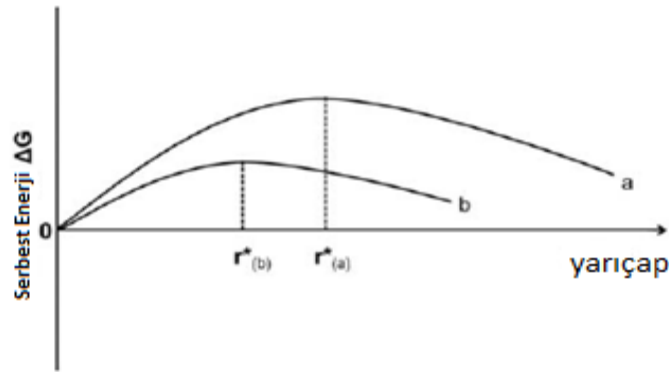
Kristalleşmeye yol açan adımlar çekirdeklenme ve kristal büyümesidir. Çekirdeklenme, sistemin aşırı soğutulmasıyla veya aşırı doymuş bir sistemde meydana gelmektedir (Davey ve Garside 2000).

Triaçilgliserol (TAG) kristal çekirdeği oluşumu

TAG’lerde üç çeşit çekirdeklenme meydana gelebilmektedir. Katı ara yüzler veya yabancı parçacıklar gibi katalitik safsızlıkların yokluğunda, yağ molekülleri yeterince süper-soğutulursa homojen bir çekirdeklenme meydana gelmekte, oysa katalizör safsızlıklar içeren sistemlerde heterojen çekirdeklenme meydana getirmekte ve homojen çekirdeklenmeden daha düşük süper soğutma gerektirmektedir (Lopez ve ark. 2001a,b, Fedotova ve Lencki 2010). Heterojen ve homojen çekirdeklenme mekanizmaları birincil çekirdeklenme olarak adlandırılmaktadır, oysa çekirdeklenme sistemdeki diğer kristallerin varlığında meydana gelirse, ikincil çekirdeklenme olarak tanımlanmaktadır (Walstra 1998). Sistemdeki serbest enerji değişimi ΔG negatif olduğunda çekirdeklenme tercih edilmektedir (Gibbs denklemi, Denklem 1 ve Şekil 2.7).

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Denklem 1})$$

ΔH ; sistemin entalpi değişimini, ΔT ; sıcaklık ve ΔS ; entropi değişimini göstermektedir. Entalpi’deki pozitif değişiklikler endotermik bir sürece (erime) karşılık gelirken, negatif değişiklikler ekzotermik bir işleme (kristalleşme) karşılık gelmektedir (Buldo 2012).



Şekil 2.7. Serbest enerji (ΔG) diyagramı

Şekil 2.7’de ΔG doymuşluk ve küme boyutunun (yarıçapı) bir fonksiyonu olarak değişir. Düşük doymuşluk (a) eğrisi ve yüksek doymuşluk (b) eğrisi ve kümenin kritik yarıçapının (r^*) değişimi gösterilmektedir (Davey ve Garside 2000).

Şekil 2.7’de, ΔG değeri, sıvı erime sıcaklığının altındayken sabit bir çekirdek oluşturmak için üstesinden gelinmesi gereken enerji bariyerini belirtmektedir. Bir çekirdeğin var olması ve dolayısıyla büyümesi için, büyüklüğü ΔG ’nin düşürüldüğü kritik bir yarıçapın (r^*) üzerinde olmalıdır (Şekil 2.7). ΔG ve r^* değeri, çekirdeklenmenin itici güçlerine bağlı bulunmaktadır. Örneğin doygunluk veya soğutma oranı arttırıldığında (Şekil 2.7’deki b eğrisi), ΔG ve r^* azalmaktadır (Davey ve Garside 2000).

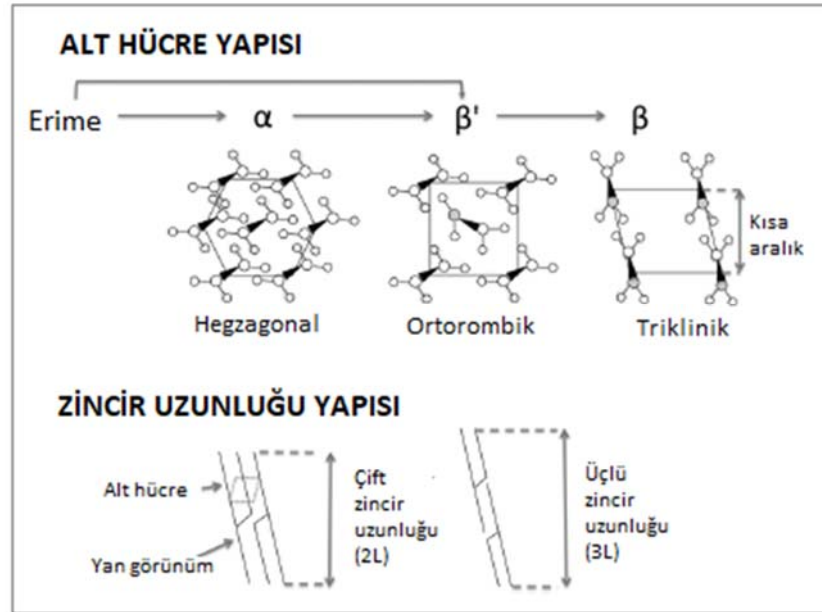
Kristal çekirdeklerin büyümesi, moleküllerin mevcut kristaller üzerine eklenmesiyle gerçekleşmektedir. Çekirdeklenme şekillenince, süper büyüme ve süper soğutma ile kristal büyümesi artmaktadır. Eriyik viskozitesinin arttırılmasıyla da, moleküllerin difüzyonu ve gizli ısının kütle transferi azaldığından kristallerin büyüme hızı azalmaktadır. Çekirdeklenme ve büyüme hızı olgularının her ikisi de başlangıç kristal boyutu dağılımını karakterize etmektedir. Yüksek çekirdeklenme oranlarında birçok küçük kristal oluşturulurken, bunun yerine düşük oranlarda birkaç büyük çekirdek oluşmaktadır (Campos ve ark. 2002). Daha fazla TAG kristalleştikçe, Brownian hareketi nedeniyle çarpışmaya başlamakta ve kristaller arasındaki etkileşimler büyüme hızının düşmesine neden olmaktadır (Himawan ve ark. 2006). Ağdaki kristaller van der Waals kuvvetleri tarafından bir arada tutulmaktadır. Sinterleme gibi kristalleşme sonrası işlemler, kristal ağlarında kristaller arasında güçlü katı köprüler oluşumu anlamına gelirken ve ikincil çekirdeklenme meydana gelebilmektedir (Walstra 1998). Bu da, sertlik ve kırılabilirlik gibi tekstürel özellikleri etkilemektedir (Buldo 2012).

Benzer şekil ve konfigürasyona sahip fakat farklı bileşimdeki moleküllerin varlığında ise karışık veya bileşik kristaller oluşmaktadır (Fredrick ve ark. 2011). Sıcaklık değişimi bazı TAG’lerin erimesine ve diğer TAG’lerin aynı anda kristalleşmesine neden olacağından bileşik kristaller bir erime aralığı ile karakterize edilmektedir (Fredrick ve ark. 2011). Bununla birlikte yüksek soğutma hızı, TAG’leri dengesiz bir kristal yapıya zorladığından bileşik kristallerin oluşumunu da teşvik etmektedir (Martini ve ark. 2002a).

Polimorfizm

Kristal polimorfizmi, katı TAG'lerin (Şekil 2.8) farklı kristal yapılarını oluşturma kabiliyetini belirtmektedir. Yağların çoğu α , β' ve β gibi üç tipik polimorfik formla karakterize edilmekle birlikte daha fazla polimorfik alt form da tanımlanmıştır. Polimorfik formların yerleşim özellikleri Şekil 2.8'de belirtilmiştir. Polimorfik formlar, zikzak hidrokarbon zincirinin enine kesit paketlenme (istiflenme) modlarını karakterize eden kristal alt hücre yapısına göre sınıflandırılmaktadır. Süt yağında 3 ana kristal polimorfu, artan stabilite sırasına göre α , β' ve β olarak gösterilmiştir (Lopez ve ark. 2002a, Mazzanti ve ark. 2004).

α -formu, asil zincirlerinin bir eğim açısı oluşturmadığı altıgen bir alt hücre yapısına (H), β' - ortorombik bir dikey alt hücre yapısına ($O\perp$), β - ise paralel zincir oryantasyonlu bir triklinik alt hücre yapısına (T //) karşılık gelmektedir (Himawan ve ark. 2006) (Şekil 2.8).



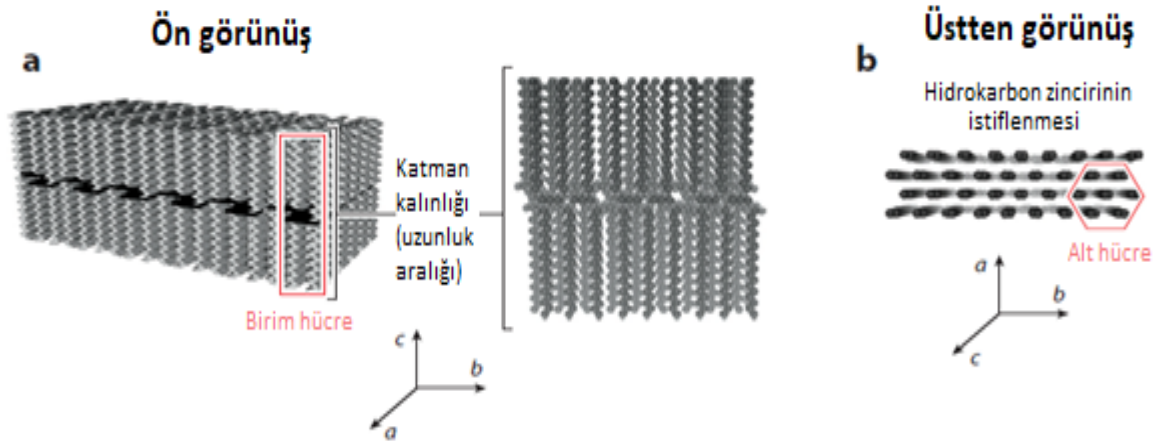
Şekil 2.8. Süt yağında yağ kristalleşmesinin gösterimi

α kristalleri (altıgen alt hücre yapısı) doğrudan eriyikten oluşurken, β' kristalleri (ortorombik alt hücre) ya α kristallerinin yeniden kristalleşmesi yoluyla veya doğrudan eriyikten oluşmaktadır. β kristalleri (triclinic subcell) öncelikle β' kristallerinden

yeniden kristalleşme yoluyla oluşur. Yağ kristallerinin zincir uzunluğu yapısı, yağın kimyasal özelliklerine bağlı olarak çift veya üçlü düzendedir (Rønholt ve ark. 2012b) (Şekil 2.8).

α -formunda karbon zincirleri halen düzensizdir, salınım veya dönme yeteneğine sahiptir. β ' formunda karbon zincirlerinin belirli bir düzeni bulunmaktadır. β -formunda ise karbon zincirleri paralel duruma gelmiştir (Atamer 2016).

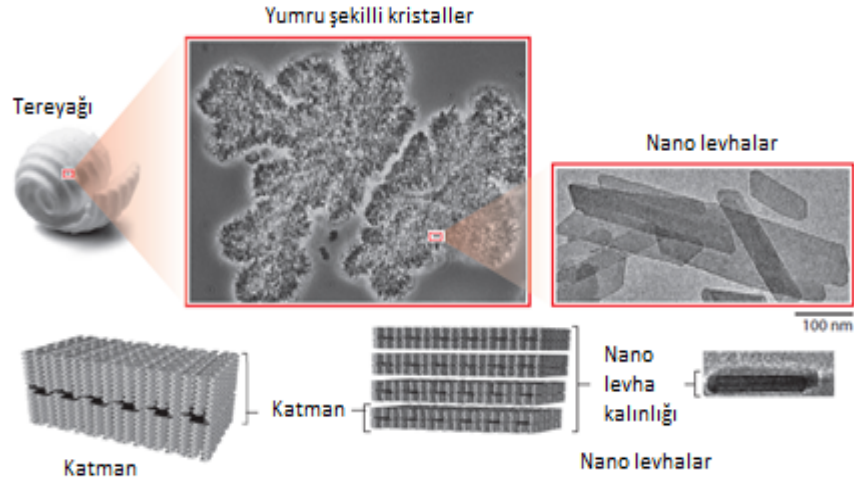
Polimorfların yoğunluğu, stabilitesi ve erime noktası α 'dan β 'ya yükselmektedir. α -formu en az stabil form olup ısı ile β ' veya β formlarına dönüşebilmektedir. β ' formu ise metastabildir, tereyağı ve margarinler için en uygun kristal morfolojisi olup istenen tekstürel özellikleri sağlayan kristal ağı nedeniyle tercih edilmektedir. β -formu en kararlı yapıdır, büyük ve plaka benzeri kristallerle karakterize edilirken şekerleme ürünleri için arzu edilmektedir ancak tereyağı ve margarinde zayıf kristal ağı ve kırılğan bir yapıya neden olmaktadır (Sato ve Ueno 2011, Rønholt ve ark. 2012a, 2013, 2014).



Şekil 2.9. Birim hücrenin (a) ve alt hücrenin (b) fiziksel önemini gösteren katman gösterimi (Marangoni ve ark. 2012b)

TAG moleküllerinin asil zincirinin lamel (katman) yapılarında (Şekil 2.9, Şekil 2.10) boyuna istiflenmesine (kalınlığı veya aralığı) dayanılarak, iki konfigürasyon oluşturulabilir: 2L (çift istifleme) ve 3L (üçlü istifleme) (Şekil 2.8). 2L, TAG'nin sn-2 pozisyonundaki asil zinciri sn-1 veya sn-3 pozisyonundaki asil zincirinin yanında iken,

3L konfigürasyonlarında sn-2 pozisyonundaki asil zinciri yalnız, sn-1 ve sn-3 pozisyonlarındaki asil zincirleri yan yana istiflenmiştir (Şekil 2.8) (Himawan ve ark. 2006). Burada lamellerin kalınlığı TAG'ın uzunluğuna ve zincir eksenine ile bazal lamel düzlemi arasındaki eğim açısına bağlı bulunmaktadır (Rønholt ve ark. 2012a).



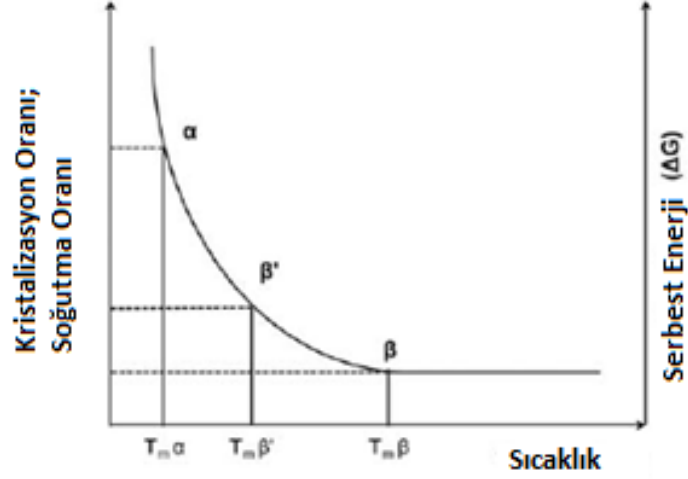
Şekil 2.10. Bir triaçilgliserol (TAG) kristal ağında mevcut yapısal seviyeler

Kristal birim, nano levhalar ve TAG katmanlarının yığılıklarından oluşan birkaç nanometre aralığında boyutları olan bir levhadır. Orta ölçekte (birkaç mikrometre), üç boyutlu bir ağ oluşturan kendi kendine birleşen yumru şekilli kristaller gözlenebilir (Şekil 2.10) (Marangoni ve ark. 2012b).

Hem polimorfizm hem de kristallerin lamel istiflenmesi, x-ışını kırınım modellerinin sırasıyla kısa ve uzun aralıklarının ölçülmesiyle tanımlanabilmektedir. Küçük açılı saçılma (SAXS; uzun aralık), TAG moleküllerinin kalınlığını tanımlarken, geniş açılı saçılma (WAXS; kısa aralık) alt hücre yapısı veya zincir arası mesafe hakkında bilgi vermektedir (Buldo 2012).

Enantiotropik ve monotropik olmak üzere iki tür polimorfizm oluşum süreci bulunmaktadır. Enantiotropik polimorfizm, geri dönüşümlü bir işlemdir ve her polimorfik formun termodinamik olarak stabil formda bulunduğu belirli bir sıcaklık ve basınç aralığında olduğunu göstermektedir (Aquilano ve Sgualdino 2001). Monotropik

polimorfizm, bir polimorfik formun her zaman en stabil olduğu ve çevreleyen parametreleri değiştirerek (sıcaklık, basınç) oluşan geri dönüşümsüz bir işlemdir (Aquilano ve Sgualdino 2001). Monotropik polimorfizmde, en stabil kristalli modifikasyonlar yeterli zaman verildiğinde sırasıyla α 'dan β' ne sonra β 'ya oluşmaktadır (Himawan ve ark. 2006, Sato ve Ueno 2011).



Şekil 2.11. Serbest enerjiye karşılık gelen kristalizasyon ve soğutma hızına bağlı polimorfik oluşumun şematik gösterimi

Şekil 2.11'de T_m erime sıcaklığını göstermektedir. Kristalleşme hızı α 'dan β 'ye düşmektedir ve her polimorfik form da optimal soğutma oranı uygulanarak elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, her polimorfik formun soğutma hızını tahmin etmek kolay değildir, çünkü daha fazla polimorfik formun eşzamanlı kristalleşmesi meydana gelebilmektedir (Sato ve Ueno 2011).

Süt yağı, krema ve sütte su içerisinde yağ emülsiyonu olarak, (sade yağ AMF/anhydrous milk fat) AMF'de ise süt yağı globülü ve suyun ortamdan uzaklaştırılması ile %99,8 oranında TAG'lerden meydana geldiğinden kristalizasyon işlemi birbirinden farklı biçimde şekillenmektedir. Süt yağı kristalizasyonunu hem emülsiyon hem de yığın formunda karakterize etmek için birçok çalışma yapılmıştır. Süt yağında tanımlanan kristal polimorfizmleri ayrıntılı olarak şunlardır: γ , α , β' ve β , ayrıca β' formunun alt formları daha önceden de belirtildiği gibi yakın zamanda tanımlanmıştır (Lopez ve ark. 2000, 2001a,b).

Ten Grotenhuis ve ark. (1999) farklı soğutma hızlarının AMF'nin kristalleşmesi üzerindeki etkilerini çalışmışlardır. Soğutma hızının $-20^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'dan $0,5^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'ya düşürülmesiyle kristalleşme sıcaklığı -15°C 'den 20°C 'ye yükselmiştir. Daha yüksek bir kristalleşme sıcaklığı ve yavaş bir soğutma hızı daha kararlı bir kristal polimorfizmine yol açmıştır. $-20^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'lık bir soğutma hızında γ -formu oluşmaktadır, oysa $0,5^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'lık bir soğutma hızında β' formu oluşmaktadır. Bu aşırı uçlar arasındaki soğutma hızında, anılan polimorfik formlar genellikle bir arada bulunurken, izotermal koşullar altında, farklı bir senaryo şekillendiği gözlemlenmiştir.

Lopez ve ark. (2002a), AMF'yi 60°C 'den 4°C 'ye soğuttuktan sonra, AMF ve kremanın kristalleşmesini 4°C 'lik izotermal koşulda çalışmışlardır. Krema ve AMF arasındaki farklılığın, AMF'nin en stabil kristal forma daha hızlı bir polimorfik dönüşüm geçirmesinden kaynaklandığını gözlemlemişlerdir. Ten Grotenhuis ve ark. (1999)'nın aksine, AMF'de 4°C 'de 30 dakika izotermal kristalleşmeden sonra β - kristal oluşumunu gözlemlemişlerdir. Kremada ise β -formu 135 saatlik izotermal kristalizasyondan sonra β' alt formları ve az miktarda α -formu ile birlikte ortaya çıkmıştır ve emülsifiye sistemlerde polimorfik evrimin değiştiği belirtilmiştir (Lopez ve ark. 2002a).

Daha önceki çalışmalarda farklı deney koşullarında benzer sonuçlar saptanmıştır. Krema ve AMF'nin -8°C 'ye soğutulmasıyla, 2L ve 3L lamel istiflenme ve α -formu her iki örnekte de gözlenmiştir. Örnekleri $2^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ hız ile -8°C 'den 50°C 'ye ısıtmak suretiyle, 3L lamel istifleme formu AMF ve krema için sırasıyla 11°C 'de ve 13°C 'de kaybolmuştur. Bu sıcaklıklarda, sadece 2L lamel istiflenme tanımlanmıştır. β' formu, krema ile kıyaslandığında AMF için düşük sıcaklıklarda oluşmaktadır ($2,4^{\circ}\text{C}$ - 5°C). Bu iki form hem AMF hem de 17°C 'ye kadar krema için bir arada bulunmaktadır (Lopez ve ark. 2000, Lopez ve ark. 2001b).

Soğutma hızını AMF ve krema için sırasıyla $0,1^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ve $0,15^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'ya düşürerek, Lopez ve ark. (2001a,c) krema ve AMF'de farklı polimorf kristalizasyonları gözlemlemişlerdir. AMF'nin 50°C 'den -15°C 'ye soğutulmasıyla, ilk çekirdeklenme 24°C 'de meydana gelmekte, 2L istiflenmeye ve β' polimorfik form oluşmaktadır. Kremada, benzer bir soğutma işlemi sırasında, başlangıçtaki kristalleşme sıcaklığı,

AMF'den daha düşük bir sıcaklıkta, 20°C'de gerçekleşmektedir. Ayrıca çekirdeklenme α formunda oluşmakta ve daha sonra β' formu şekillenmektedir. Krema ve AMF kristalizasyonu arasındaki bu farklılıklar, yağ küreciklerinin içindeki çekirdeklenme bölgelerinin eksikliği ile açıklanmaktadır. Soğutma hızı, stabil formun çekirdeklenmesine yol açmak için yeterince yavaş değildir (Şekil 2.11) (Lopez ve ark. 2001a).

Son zamanlarda yapılan bir çalışmada Fredrick ve ark. (2011), 25°C/dk ile 5°C'ye soğutma uygulayarak AMF ile kremayı karşılaştırmışlar ve ikisinde de meydana gelen kristalleşme mekanizmasının aynı olduğunu gözlemlemişlerdir. Her iki örnekte de ilk olarak α -formu oluşmuş ve daha sonra β' -formunun oluşumu artmıştır.

Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, soğutma hızı son ürün kristal polimorfizmi için temel faktördür. Ayrıca, AMF düşük serbest enerji miktarı nedeniyle daha kararlı bir polimorfik formda kristalleşmektedir. Genel olarak, zaman ve sıcaklıktan bağımsız olarak, emülsiyonlardaki kristaller, yığın yağdaki süt yağı kristallerine kıyasla daha az organize bir yapıya sahip olarak daha küçüktür (Lopez ve ark. 2001a,b). Her ne kadar yığın yağda veya emülsiyonda meydana gelen süt yağı kristalizasyon mekanizmaları arasında farklılıklar bildirilmiş olsa da, polimorfik kristal formları ve nihai kristalize edilmiş ürünlerin fiziksel özelliklerinin benzer olduğu da saptanmıştır (Lopez ve ark. 2001a,b, Fedotova ve Lencki 2010).

Süt yağının kristalizasyonunu etkileyen faktörler

Soğutma hızı, çalkalama/yayıklama hızı ve kristalleşme sıcaklığı gibi işleme koşulları süt yağı kristallerinin oluşumunu, morfolojisini ve boyut dağılımını dolayısıyla tereyağı ve tereyağı karışımlarının mikro yapısını ve tekstürünü etkilemektedir.

Soğutma hızı

Genel olarak, yavaş soğutma hızlarında, geniş boyut dağılımına sahip büyük kristaller oluşmakta iken yüksek soğutma hızlarında birçok küçük ve dengesiz kristal

şekillenmektedir (Herrera ve Hartel 2000a, Campos ve ark. 2002, Martini ve ark. 2002a, Wiking ve ark. 2009a).

Hızlı bir oranda ($10^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) soğutulmuş olan AMF, $250\ \mu\text{m}^2$ 'nin altındaki alanlarla kristaller oluştururken, yavaş bir soğutma hızı ($0,1^{\circ}\text{C}/\text{dk}$), $50\text{-}950\ \mu\text{m}^2$ arasında bir kristal alanı aralığına neden olmaktadır (Wiking ve ark. 2009a). Hızlı soğutma yapılan örneklerde katı yağ içeriği (SFC) oranının da yükseldiği görülmüştür (Herrera ve Hartel, 2000a, Campos ve ark. 2002, Kaufmann ve ark. 2012a). Hızlı soğutma, kristal yapısına farklı TAG'ların dahil edilmesine yol açmakta ve α -formunun oluşumunu teşvik etmektedir (Campos ve ark. 2002). Aksine, yavaş bir soğutma oranında, TAG'ler β' gibi daha stabil bir kristalde bir araya gelme zamanına sahip olmaktadır (Campos ve ark. 2002, Wiking ve ark. 2009a). Bununla birlikte, yavaş soğutulmuş emülsiyonlar için kristal büyümesinde bir gecikme olduğu saptanmıştır (Tippetts ve Martini 2009).

Hızlı soğutma sırasında oluşan birçok küçük homojen kristal nedeniyle, kristal-kristal etkileşimlerinin sayısı da aynı şekilde artmaktadır (Heertje ve ark. 1988). Üretimden sonraki ilk 24 saat içerisinde, hızlı soğutulmuş kremadan üretilmiş sürülebilir süt yağı (Heertje ve ark. 1988), tereyağı (Rønholt ve ark. 2012a,b) ve sade süt yağı (Campos ve ark. 2002, Wiking ve ark. 2009a, Kaufmann ve ark. 2012a) ürünlerinin yavaş soğutulmuş kremadan üretilmiş olanlara göre daha sert olduğu belirlenmiştir.

Karıştırma

Mekanik karıştırma uygulaması, süt yağının kristalleşmesini etkileyen faktörlerdendir. Karıştırma hızının artırılmasıyla, daha fazla ve daha küçük başlangıç kristalleri oluşmaktadır (Herrera ve Hartel 2000a,b, Martini ve ark. 2002b, Kaufmann ve ark. 2012b).

Karıştırma sırasında havanın dahil edilmesi de çekirdeklenme aşamasını kolaylaştırmaktadır (Herrera ve Hartel 2000a). Karıştırma kuvvetleri ayrıca, parçaları çekirdeklenme bölgeleri olarak işlev görebilecek ve ikincil çekirdeklenmeye elverişli olabilecek ve nispeten daha yüksek miktarda kristalle sonuçlanan, önceden

oluşturulmuş kristalleri de kırabilmekte bu da tekstürü etkileyebilmektedir (Kloek ve ark. 2005).

Herrera ve Hartel (2000b,c) süt yağı karışımlarında soğutma hızı, karıştırma hızı, kristalizasyon sıcaklığı ve depolama zamanının etkileri üzerine çalışmışlardır. Örnekler 60°C'den, 25, 27,5 veya 30°C'lik bir kristallendirme sıcaklığı, 5,5 veya 0,2°C/dk soğutma hızında 50 veya 300 rpm'de karıştırılarak soğutulmuş ve dynamic mechanical analysis (DMA) ile analiz edilmiştir. SFC hızlı soğutulmuş örnekler için daha yüksek olmasına rağmen (Herrera ve Hartel 2000b) yavaş soğutulmuş örneklerde stress ile deformasyon arasındaki oran olan depolama modülünün (G', Storage Modulus) daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Reolojik değişimin, muhtemelen hızlı karıştırma ile birleştirilen hızlı soğutmanın sıvı faz ile ayrılan birçok küçük kristalin oluşumuna yol açtığı ve yavaş soğuma ile oluşan düzensiz şekilli kristallerin daha yoğun bir yağ kristal ağı oluşturduğu farklı mikro yapıların bir sonucu olarak gerçekleştiği düşünülmüştür. Kayma hızı 50'den 100 devir/dakikaya yükseltildiğinde, elastik (G') ve kompleks modülüs (complex modulus) sert bir düşüş gözlenirken, 100 ila 200 devir/dakika'da modüllerde azalmanın daha küçük olduğu ortaya çıkmıştır. Bu etki, yüksek soğutma oranlarında daha belirgin olarak şekillenmiştir (Herrera ve Hartel 2000c).

Olgunlaştırma

Kremanın kristalleşmesi ayrıca fiziksel olgunlaşma (physical ripening) olarak da adlandırılan olgunlaşma (maturation) ile gerçekleşmektedir. Olgunlaşma, yağ globülü içinde meydana gelen kristalleşmeyi ifade ederken, süt yağının yüksek ve düşük erime noktalı kısımlarını ayırmak veya karıştırmak ile kontrol edilmekte, dolayısıyla bu da kristal mikro yapısını ve reolojik davranışını etkilemektedir (Rønholt ve ark. 2012a, Deosarkar ve ark. 2016).

Krema 48 saat boyunca 5°C'de olgunlaştırıldığında, yavaş ve hızlı soğutmanın mikro yapı ve reolojik özellikler üzerindeki etkisi azalmaktadır. Muhtemelen bu duruma tüm kristallerin kritik bir boyuta ulaşması yol açmaktadır. Dolayısıyla bu tür olgunlaştırılmış

kremadan üretilen tereyağı krema soğutma oranından bağımsız olarak aynı G' özelliğine sahip olacaktır. Polimorfizm incelendiğinde ise, 5°C'de olgunlaştırma, ilksel α - ve β' -kristallerinin, ilksel β' kristallere geçişine neden olmaktadır. Bununla birlikte, α -kristalinin dengesiz doğası nedeniyle, böyle bir geçiş, nihai olgunlaşmadan bağımsız olarak, depolamanın ilk 24 saati içerisinde gerçekleşerek tereyağının özelliklerini etkilemektedir (Rønholt ve ark. 2012a,b).

Diğer bir olgunlaştırma türü ise, kremanın ilk önce bir sıcaklıkta tutulduğu, daha sonra sıcaklığın artırıldığı ve yayıklamadan önce tekrar düşürüldüğü ılık-soğuk-ılık yöntemidir. Bu tekniğin prensibi, süper soğuma (super-cooling) üzerine birçok kristal çekirdek oluşturulmasıdır. Krema 2. adımda ısıtıldığında ise, yağ asitlerinin bir kısmı ergiyecek ve 3. adımda yapılan soğutma ile tekrar kristalleşecektir. Bu şekilde, üretilen tereyağı, krema soğutulduktan sonra doğrudan veya soğuk-ılık programı uygulanmış bir kremadan üretilen tereyağına kıyasla daha yüksek miktarda sıvı yağ içerecek ve sertliği %25 oranında azalacaktır (Schäffer ve ark. 2000, Deosarkar ve ark. 2016, Atamer 2016).

Minör bileşenler

Fosfolipitler ve diasilgliseritler gibi minör bileşenler, TAG'lerin kristalleşme davranışları üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler. Genel olarak, diasilgliseritler ve fosfolipitler, kristaller üzerine adsorbe edildiğinden kristal büyümesini geciktirmektedir (Wright ve ark. 2000, Vanhoutte ve ark. 2002a,b, Wiking ve ark. 2009b). Fosfolipitlerin tereyağına eklenmesi, küresel boyutu (Fedotova ve Lencki 2008) ve ürünün sertliğini arttırmakta, ayrıca daha stabil bir forma polimorfik geçişi kolaylaştırmaktadır (Fedotova ve Lencki 2010). Bununla birlikte, minör yağ bileşenleri, sistemin termal davranışı ve SFC seviyesi gibi termodinamik özelliklerini değiştirmemektedir (Wright ve ark. 2000, Fedotova ve Lencki 2010).

Süt yağı globül büyüklüğü

Birkaç çalışma, damlacık büyüklüğünün krema ve/veya süt emülsiyonlarının termal, kristal ve mikroyapısal özellikleri üzerine etkisini bildirmiştir (Lopez ve ark. 2002b, Bugeat ve ark. 2011, Truong ve ark. 2014, Truong ve ark. 2015). Ancak, globül büyüklüğü, kristalleşme davranışı ve tereyağının işlenebilirliği/kalitesi arasındaki ilişki hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Başka bir yönden, soğutulmuş, yeniden düzenlenmiş kremanın yüksek derecede karıştırılmasını içeren patentli bir işlem ile homojen ve ince bir kristal yapısı içeren daha sürülebilir ve yumuşak tereyağı elde edilmesini sağlayan bir mikro yapı sağlanabileceği rapor edilmiştir (Gnanasambandam ve Bedi 2012). Bu, tipik olarak ince yapılar halinde kristalleşen, mikron altı büyüklüğündeki globüllerin kullanımının, yüksek oranda yayılabilir tereyağı üretmek için faydalı olabileceğini göstermektedir. Ek olarak, Rønholt ve ark. (2012b), küçük veya kalıntı durumundaki yağ küreciklerinin varlığının, tereyağının sürekli yağ fazında daha fazla temas noktası sağladığını ve bunun yağ kürecikleri olmayan bir kristal ağ ile karşılaştırıldığında daha güçlü ve daha az kırılabilir bir kristal ağı ile sonuçlandığını belirtmişlerdir. Bu nedenle, son üründe hem kristalleşmeyi hem de yapı gelişimini dolaylı olarak kontrol etmenin bir aracı olarak yağ küresi büyüklüğünü manipüle ederek tereyağın stabilitesini, dokusunu ve yayılabilirliğini daha da geliştirmek mümkün olabilmektedir. Böyle bir yaklaşımın uygulanabilirliğini araştırmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Truong ve ark. 2016).

2.2.2. Faz inversiyonu (Yayıklama)

Yayıklama, kremanın su içinde yağ emülsiyonundan yağ içinde su emülsiyonuna dönüştürülmek yoluyla faz inversiyonuna tabi tutulduğu, kremanın fiziksel ve/veya biyolojik olgunlaştırılmasından sonraki aşamadır. Yayıklama esnasında, krema yayıklama silindirinde tereyağı taneciklerine ve yayıkaltına ayrılmakta, yayıkaltının uzaklaştırılması ile de arda kalan tereyağı tanelerinin işlenmesi ile son ürün elde edilmektedir (Shi 2015, Atamer 2016).

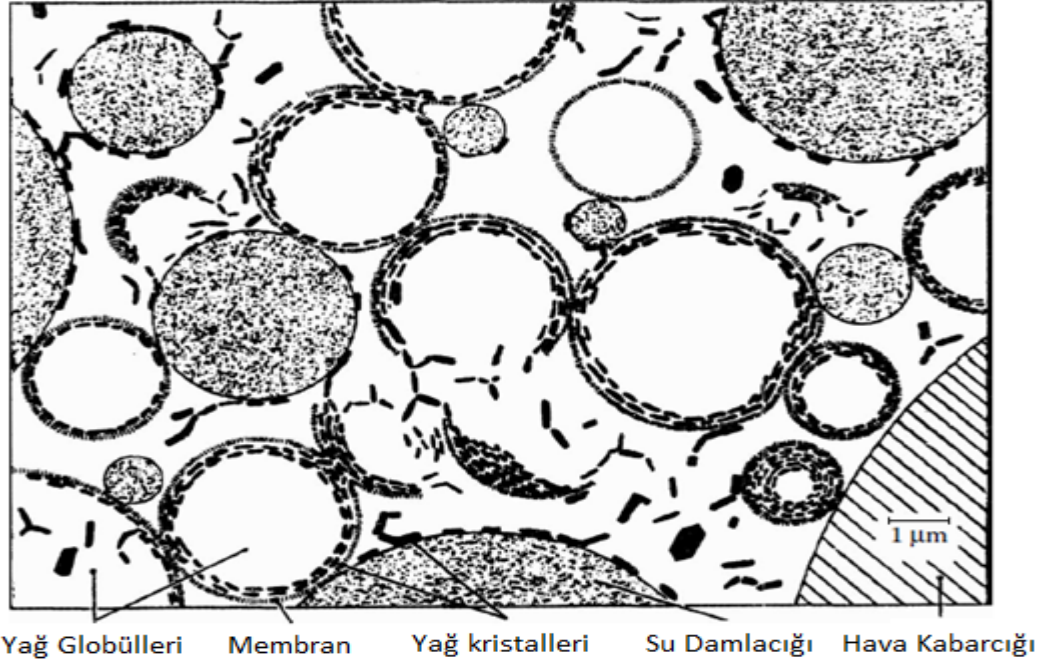
Geleneksel tereyağı, su damlacıklarının, kristalize yağın ve sınırlı bir ölçüde hava hücrelerinin sıvı yağ içerisinde dağıldığı "yağ içerisinde su" (w/o) emülsiyonunun plastikleştirilmiş bir dispersiyonu olarak tanımlanır. Süt veya krema su içinde yağ (o/w) emülsiyonları olduğu için, faz inversiyonu tereyağı için herhangi bir üretim sisteminin bir parçası olmalıdır (Frede 2002).

Süt veya kremada yayıklama işlemi sürekli olarak yeni hava-su ara yüzünün oluşmasına neden olmakta, yağ ise bu ara yüzün üzerine yayılmaktadır. Yağ tamamen sıvıysa, yağla kaplı hava kabarcıklarının artması, yağın parçalanmasına neden olmaktadır. Bu yüzden ılık süt veya krema yayıklanırsa daha küçük yağ globülleri elde edilmektedir. Globüller katı yağ içeriyorsa, hava kabarcıklarına bağlanabilmektedir, dolayısıyla tereyağına işlenecek kremadaki yağ globülleri kristalize yağ içermek zorundadır. Yayıklama işlemi genellikle 10-12°C aralığında gerçekleştirilmektedir (Mortensen 2011).

Kısmi birleşme (partial coalescence), tereyağı, dondurma ve çırpılmış krema gibi birçok süt ürününün üretimi için temel bir olgudur. Kısmi birleşme, emülsiyondaki bir globülün kristallerinin diğer bir globülü delip bağlamasıyla oluşmaktadır. Bu, parçacıklar arasındaki mesafe azaldığında ve temas açısı 90°'ye yakın olduğunda meydana gelmektedir. Böylece su içerisinde yağ emülsiyonu dengesiz hale gelirken yağ içerisinde su emülsiyonu stabilize olmaktadır (Johansson ve ark. 1995). Dolayısıyla yağ kürecikleri orijinal şekillerinin bir kısmını koruduğu ancak yarı-katı bir bağlantı ile bağlandığı için bu işlem kısmi birleşme olarak adlandırılmaktadır. Yarı katı bağlantı, globüllerin orijinal şeklini korumaktadır ve globülün birleşmesine neden olmamaktadır. Kısmi birleşme devam ettikçe, toplanmış yağ küreciklerinden yapılmış bir kristal ağ oluşmakta ve çevresindeki sıvı yağ ile ıslanmaktadır (Boode ve ark. 1993). Bu sistemde, temas açısı 90° 'nin üzerindedir ve emülsiyonun stabilizasyon etkisi engellenerek bir faz inversiyonuna yol açılmaktadır.

Kısmi birleşme, katı yağ kristallerinin etkileşimlerinden kaynaklanan direnç ile durdurulmaktadır. Genel olarak, kısmi birleşmenin derecesi ve oranı, tereyağı, dondurma veya kremşanti gibi ürünlerin dokusal özelliklerini belirlemektedir. Ek olarak ürünün sertleşmesi süresince kısmi birleşme erimiş TAG'lerin yeniden

kristalleştirilmesine yol açarak ürünün bütünleşmesini sağlamaktadır (Drelon ve ark. 2006, Gravier ve ark. 2006).



Şekil 2.12. Oda sıcaklığında tereyağının mikroyapısı

Şekil 2.12’de kısmi birleşme sonucu globüler yapısını kaybetmeden birleşen globüller gösterilmiştir. Sıvı yağ beyaz renk ile temsil edilmiştir ayrıca membran kalınlığı yaklaşık on kat büyütülmüştür (Mulder ve Walstra 1974).

Gıda sistemlerinde, kısmi birleşme genellikle yayıklama ile başlamaktadır, bu işlem yağ kürecikleri arasındaki mesafeyi azaltmakta ve bu nedenle de yağ küreciklerinin çarpışması daha olası hale geçmektedir. Yayıklama işleminin temel prensibi krema içerisine hava karıştırarak köpük oluşturmaktır. Eş zamanlı olarak bir kısım yağ globül membranı zarar görmekte ve sıvı yağ hasar gören bu globüllerden dışarı sızmaktadır (Mortensen 2011). Yayıklama işlemi sırasında meydana gelen hava kabarcıklarının sürekli oluşumu ve kırılması, esas olarak yüzey aracılı mekanizma tarafından kısmi birleşmeyi tetiklemektedir (Hotrum 2004). Hava yüzey alanı azaldıkça (hava kabarcıkları birleştiğinden), bağlı yağ globülleri birbirine yaklaşmakta; hava kabarcığı yüzeyine yayılan sıvı yağ, kolayca globüllerden granüller oluşturmasına neden olmaktadır. Sıvı yağ, hava kabarcıklarının stabilitesini azaltmakta, dolayısıyla

ömürlerinin kısa olmasına neden olmaktadır. Granüllerin daha fazla toplanması, sıvı yağın sürekli faz olduğu bir faz inversiyonunun gerçekleştiği tereyağı tanelerini oluşturmaktadır. Tereyağı tanelerinin yayıkaltının aktarılması ile konsantre hale getirilmesi ve yoğurulması ile aşırı nem uzaklaşmakta ve nem damlacıklarının boyutu azaltılmaktadır. Bu şekilde tereyağı elde edilmektedir (Shi 2015, Atamer 2016, Deosarkar ve ark. 2016).

Yayıklama süresi, krema soğutma hızından önemli ölçüde etkilenmektedir, hızlı soğutulmuş krema, yavaş soğumaya kıyasla daha uzun yayıklama süresine sahip olmaktadır (Rønholt ve ark. 2012b). Bu eğilimin, süt yağı globül zarına nüfuz eden aşındırıcı maddeler olarak çalışan, yavaş soğutma ile oluşan büyük kristallerin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Kristal boyutundaki bir artış, süt yağı globül membranlarının yırtılma derecesini arttırmakta, böylece faz inversiyonunu kolaylaştırmaktadır (Rønholt ve ark. 2012b).

Yayıklama işlemini etkileyen başka bir faktör de süt yağı globülü büyüklüğüdür. Küçük yağ globüllerine (3,49 μm ; haddeden çekilmiş keten tohumu ile modifiye edilmiş yem ile beslenen ineklerden elde edilen) sahip kremanın büyük yağ globüllerine (4,18 μm ; çalkalama süresi 54,5 dakika), sahip kremaya göre daha hızlı (45 dakika) yayıklandığı bildirilmiştir (Hurtaud ve ark. 2010). Buna karşılık, balık unu ile modifiye edilmiş yem ile beslenen ineklerden salgılanan küçük globüller (1,8 μm), kontrol süttten elde edilen kremadan (2,3 μm) daha uzun yayıklama sürelerine neden olmuştur (Avramis ve ark. 2003). Bununla birlikte, bu çalışmaların yorumlanması ve karşılaştırılması, aynı zamanda farklı inek diyetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan ve aynı zamanda yayıklama süresini de etkileyebilecek olan süt yağı bileşimindeki değişikliklerle karmaşıklaşmaktadır (Truong ve ark. 2016).

Kremadan tereyağı oluşumunda yağın toplanma yüzdesi ya da yayıklama verimliliği, tereyağı üretiminde önemli bir faktördür. Yayıklama verimliliğinin homojenize krema ile verimsiz olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, mikrofiltrasyon ile hazırlanan farklı boyut sınıfları içeren kremaların yayıklama verimliliği karşılaştırıldığında yayıklanma kabiliyetlerinin hem küçük (2 μm altında) hem de büyük (2 μm üzerinde) yağ globülleri

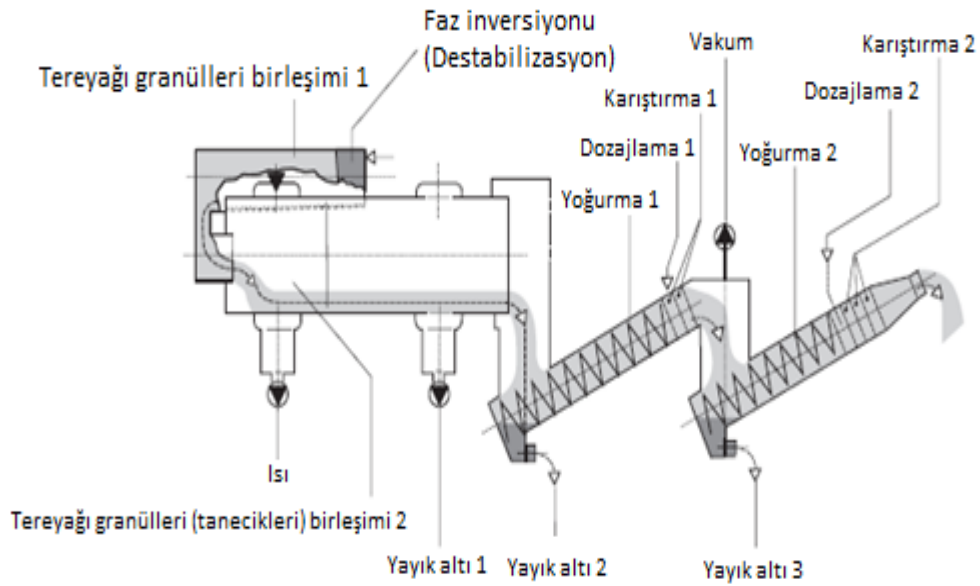
fraksiyonları için benzer olduğu görülmüştür (Gouedranche ve ark. 2000, Walstra ve ark. 2006).

Diğer çalışmalar, krema içindeki küçük yağ küreciklerinin yayıklama sırasında daha fazla yağ kaybından sorumlu olabileceğini göstermiştir. Bu görüş küçük MFG'nin matris içerisinde daha stabil olmasından ve matrise daha az gömülmesinden kaynaklanmaktadır. Yayıkaltı suyu (fosfolipid bakımından zengin, süt benzeri yayıklama ürünü olan yan ürün) içindeki yağ içeriği yayıklanmadan önceki kremada bulunan daha büyük yağ globülleri (4,18 μm) ile karşılaştırıldığında daha küçük globüllerin (3,49 μm) üç kat daha fazla (%17,6) olduğu belirtilmiştir. Daha küçük MFG, hidrofilik MFGM'nin daha yüksek oranda olması nedeniyle daha yüksek su tutulmasına sebep olduğundan son ürünün daha yüksek nem içeriğine sahip olmasına yol açmaktadır. Doymamış yağ asitlerinin kremada zenginleştirilmesi de tereyağında daha yüksek oranda neme neden olmaktadır (Michalski ve ark. 2004b, Hurtaud ve ark. 2010, Gouedranche ve ark. 2000).

Tereyağı üretiminde yayıklama geleneksel ve sürekli yöntem olarak iki şekilde yapılmaktadır. Geleneksel yöntemde yayık ekipmanı paslanmaz çelikten üretilmiş silindir veya tek ya da çift konik tambur biçiminde bir tanktan oluşmaktadır. Tereyağı üretimi için hazırlanan krema yayığa transfer edilmekte ve yayıklama işlemi tamburun yüksek hızda döndürülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Kremanın tereyağı tanecikleri ve yayıkaltına dönüşümü yağ oranına, yayığın doldurulma oranına ve yayıklama sıcaklığına bağlı olarak 30 dakika ile 60 dakika arasında değişmektedir (Mortensen 2011). Faz inversiyonu tamamlandıktan sonra yayıkaltı uzaklaştırılmakta, yıkama ile yayıklama esnasında ısınan kitle soğutulmakta ve tereyağı tanecikleri yoğurularak kalan yayıkaltının da uzaklaştırılmasıyla homojen yapıda ambalajlanmaya hazır son ürün elde edilmektedir (Atamer 2016).

Günümüzde geleneksel yöntemin yerini 1950'lerde Fritz ve Eisenreich'in geliştirdiği sürekli tereyağı üretim teknolojisi almıştır. Sürekli yöntemin aşamaları, geleneksel yöntemdeki sırayla aynı sırada gerçekleşmektedir. Krema, yayıklama silindirine beslenmekte, silindirde bulunan hızlı dönen çırpıcılar vasıtasıyla (yaklaşık 1000 rpm)

tereyağı tanecikleri oluşması sadece birkaç saniye sürmektedir (Frede 2002). Yayıkalı ve tereyağı tanecikleri bir sonraki bölümde ayrılmakta, tanecikler helezonlar vasıtasıyla aktararak delikli plakalardan ve konik kanaldan geçirilmekte böylece hem yoğurulmakta hem de kalan yayıkaltının uzaklaştırılması sağlanmaktadır. İkinci yoğurma aşamasına geçilmeden önce vakum yapılabilen ve tatlı krema işleniyorsa laktik asit veya kültür konsantratu enjeksiyonu uygulanabilen isteğe bağlı olarak ta tuz dozajlanabilen bir bölüm bulunmaktadır. Burada, birinci yoğurma aşaması sonunda delikli plakalardan çıkan tereyağının yüzey alanı artmaktadır. Dolayısıyla 20 kPa basınç ile tereyağı hava oranı %7-8 (v/v) seviyesinden %0,5-1,0 seviyesine düşürülebilmektedir. İkinci yoğurma aşamasında ise su dozajlanabilmekte ve son ürünün nem içeriği ayarlanabilmektedir. İkinci yoğurma sonrası tereyağı paketlemeye hazır hale gelmektedir (Şekil 2.13) (Frede ve Buchheim 1994, Mortensen 2011, Atamer 2016).



Şekil 2.13. Fritz Eisenreich sistemine göre sürekli tereyağı üretimi

Sürekli sistemle üretilen tereyağı geleneksel sistemde üretilene göre daha sert bir tekstüre sahip olmaktadır. Bu kısmen üretim sırasında yağ globüllerinin yapısal bütünlüğü üzerindeki farklı etkilerden kaynaklanmaktadır. Tereyağı geleneksel yöntemle üretildiğinde, yayıklamadan sonra, yağ fazının nispeten yüksek bir kısmı (%2-46) globüllerde kalabilmektedir. Bununla birlikte, sürekli sistem ile üretim boyunca,

küresel yapı tamamen tahrip olmuş ve tüm yağlar serbest yağ olarak bulunmaktadır. Ayrıca geleneksel ve sürekli sistem tereyağları arasındaki farklılıklar, özellikle katı ve katı kristal morfolojilerinin kristallik derecesindeki farklılıklara bağlanmaktadır. Geleneksel olarak yapılan tereyağı, yağ kristalize olduktan sonra mekanik olarak işlenirken, sürekli işlemden, mekanik işlemlerin çoğu kristalizasyondan önce gerçekleşmektedir. Krema soğutma sırasında mekanik çalkalama, ikincil çekirdeklenmeyi artırarak kristal boyutunu etkilemekte ve kristallerin topaklanmasını ve birbirine kenetlenmesini engellemektedir. Bu, herhangi bir katı yağ içeriğinde daha ayrı kristaller ve daha az katı yağ oluşturmaktadır (Deosarkar ve ark. 2016).

2.2.3. Yoğurma (Plastikleştirme, Malakse)

Yoğurma sırasında tereyağı her ikisi de kesme kuvvetinin uygulanmasına yol açan üretim ekipmanı boyunca taşınma ve dönel bir hız ile meydana getirilen karıştırma işlemlerine tabi tutulmaktadır. Bu işlemler ile kristal ağ içerisindeki geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz bağlar kırılmaktadır ve sertlik orijinal değerinin dörtte biri oranında azalmaktadır. Yoğurma işlemiyle yapı oluşumu durdurulduğundan yoğurulan süt yağı bazlı ürünler hiç yoğurulmayan veya az yoğurulan ürünlere göre daha granüler bir yapıya sahip olabilmektedir. Tereyağı tanecikleri yoğurma esnasında sıkıştırıldığından içerisinde kalan yayıkaltının çoğu üründen dışarı atılmaktadır (Marangoni ve McGauley 2003, Mortensen 2011).

Tereyağı tanecikleri helezonlar vasıtasıyla taşınırken yoğurma bölümlerinin sonunda bulunan delikli plakalardan geçmeye zorlanmaktadır. Eğer dozajlanmışsa laktik asit konsantrasyonunun ve aroma bileşenlerinin veya salamuranın tekdüze bir şekilde tereyağı içerisinde dağılması da sağlanmaktadır. Malakse işlemiyle yağ globül membranlarının tahrip olması dolayısıyla sıvı yağ globül dışına çıkmaktadır. Sürekli fazdaki sıvı yağ artışı tereyağının sürülebilme özelliğini geliştirmektedir (Atamer 2016).

Malakse işleminin süresinin uzunluğu, tereyağında homojen bir doku sağlamak için etkili olmaktadır. Çok düşük yoğunlukta malakse işlemi, üründe gevşek bir yapıya ve serbest neme, yüksek yoğunlukta malakse ise yağlı ve yapışkan kıvama neden

olmaktadır. Çalışma sıcaklığının düşük tutulması da oldukça (14-16°C) önemlidir, çünkü bu sıcaklık sürekli yağ fazının boyutunu ve bileşimini ve böylece üç boyutlu kristal ağın derecesini belirlemektedir. Bu esnada, çalışma sıcaklığı, iki çalışma bölümünün dış cidarında soğutulmuş su dolaştırılarak kontrol edilmektedir (Mortensen 2011).

2.2.4. Fermantasyon ve kültür ilavesi

Tereyağı üretiminde krema “kültürlü krema tereyağı” elde etmek için, kültürlenmemiş kremadan yapılan "tatlı krema" tereyağının aksine laktik asit ve aroma oluşturan mikroorganizmaların ilavesi ile fermente edilebilmektedir (Frede 2002). Biyolojik olgunlaştırma olarak da tanımlanan bu işlem zorunlu bir uygulama olmayıp tereyağına özgün tat-aroma bileşiklerinin oluşumu için uygulanabilmektedir zira krema her asitlik düzeyinde yayıklanabilme özelliğine sahiptir (Atamer 2016).

Tatlı kremadan yapılan tereyağının lezzeti hafif ve kremesi iken tereyağı kültürü ilave edilmiş tereyağının lezzeti çiftlik tereyağı gibi daha yoğundur. Kültürlenmiş tereyağının aroması *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* ve *cremoris*, *Lc. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* ve *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* içeren bakteriyel starter kültürlerinden kaynaklanmaktadır *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* ve *cremoris* laktik asit üretirken, *Lc. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* ve *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* sitrik asit fermentasyonu ile diasetil oluşturmaktadır (Frede 2002).

Starter kültürler ticari laboratuvarlardan konsantre, dondurulmuş ya da dondurularak kurutulmuş olarak temin edilebilmektedir. Kültür ilaveli tereyağı üretimi yapan işletmeler ticari kültürleri işletme kültürü hazırlamak için kullanmaktadırlar. İşletme kültürü depolama tankı içerisine kültürlenme sıcaklığına ve uygun olan fermentasyon süresine bağlı olarak inoküle edilmektedir. Genellikle 20°C’ta olan kremaya %5’i oranında inokülasyon yapılmaktadır. pH değeri 5,20’ye geldiğinde krema 16°C’a soğutulmakta böylelikle laktik asit üreten bakterilerin gelişimi yavaşlatılırken aroma üreten bakterilerin gelişimi hızlandırılmaktadır. Olgunlaşmanın tamamlanması sonrası krema yayıklama sıcaklığına soğutulmaktadır (Mortensen 2011).

Biyolojik olgunlaştırmanın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Faz inversiyonu sonucu kullanım alanı sınırlı olan kültürlü yayıkaltı elde edilmektedir. Tereyağı konsistensini ayarlamak için uygulanabilecek soğutma prosedürü kültürlenme prosesi yüzünden engellenmektedir. Büyük ölçekli üretim için uygun değildir. Yüksek asitlikte lesitin hidrolizasyonu sonucu “balıgımsı tat” bozukluğuna yol açan trimetilamin oluşabilmektedir. Ayrıca asitlik artışına paralel olarak oksidatif stabilite azalmaktadır. Avantajlı yönleri ise özgün tat ve aroma sağlaması, içeriğindeki laktik asit ve tuzlarının *Ps. frangi*, *Ps. fluorescens* ve *Ps. putrefaciens* ve *Achromobacter* suşlarını inhibe edebilmesi dolayısıyla iyi bir bakteriyolojik dayanım sağlaması ve olgunlaştırma sırasında meydana gelen asitlik gelişimi ile yağ globüllerinin elektrik yüklerini nötrlemesi ve serum fazının viskozitesinin düşmesi dolayısıyla tatlı kremalara göre daha düşük sıcaklıkta ve daha kısa sürede yayıklamaya imkan vermesi gösterilebilir. Ek olarak olgunlaştırılmış kremada yayıkaltı ile kaybedilen yağ oranı daha düşük olmaktadır (Mortensen 2011, Atamer 2016).

Tatlı tereyağının ve kültürlü tereyağının üstün özelliklerini birleştiren Netherlands Dairy Research Institute (NIZO) tarafından geliştirilen üçüncü bir metot daha bulunmaktadır. NIZO yönteminde tatlı krema yayıklanmakta, tatlı yayıkaltı ortamdan uzaklaştırılmakta ve yoğurma aşamasında veya öncesinde laktik asit konsantrasyonunun ve starter kültürün direkt olarak ilavesi ile pH değeri düşürülerek tatlı kremadan kültürlü tereyağı üretimi yapılabilmektedir (Frede 2002).

Laktik asit permeatının hazırlanmasında laktoz içeriği azaltılmış pastörize peynir altı suyu ya da sadece süt bileşenlerine benzer komponentleri içeren bir substrat kullanılmaktadır. Ortama $\leq 4,5$ pH’da asit geliştirme yeteneğine sahip (örneğin: *Lactobacillus helveticus*) laktik asit bakterisi inoküle edilmekte, inkübasyon sonrası, kültür ultrafiltre edilerek protein ve laktik asit bakterileri ortamdan uzaklaştırılmakta, evaporasyonla permeatın laktik asit konsantrasyonu %11-12’ye, ortam pH’sı 3,0’a ayarlanmaktadır. Aroma gelişimi için ise yağsız süt ortamında geliştirilen *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* ve *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* laktik asit permeatına karıştırılmaktadır (Atamer 2016).

2.2.5. Depolama

Buzdolabı koşullarında depolanan tereyağında ikincil bir kristalizasyon (post-kristalizasyon) meydana gelmektedir. Sertleştirme (setting) olarak da bilinen ikincil kristalizasyon depolama süresince sürekli ve globüler faz içerisinde bulunan sıvı yağın kristalizasyonundan kaynaklanmaktadır. Yağ kristal ağ yapısını biçimlendirmesi ve/veya geliştirmesi nedeniyle sürekli fazda gerçekleşen ikincil kristalizasyonun reolojik özellikler üzerine etkisi belirgindir (Rønholt ve ark. 2013).

Soğuk depoda bekletme fiziksel olgunlaştırma (kristalizasyon) sonucu elde edilen kristal ağ yapısına ek olarak yeni kristal yapı oluşturmaktadır. Dolayısıyla kristal faz düzeyi arttırılarak tereyağı giderek sertleşmektedir. Sertleşme ilk 30-60 dakika içerisinde çok hızlı ilerlerken 1-24 saat arasında değişim son derece yavaştır. Bu uygulama tereyağının görünüşü ve sıklığı açısından çok önemli olmaktadır (Atamer 2016).

Çeşitli depolama koşullarına maruz kalan ürünlerin reolojik davranışı hakkındaki bilgiler 3 ana sebepten dolayı endüstriyel olarak önemlidir: (1) Depolama sırasındaki reolojik davranış, ürünlerin raf ömrü için çok önemlidir (Martini ve Herrera 2008, Pothiraj ve ark. 2012, Rønholt ve ark. 2012b, Saadi ve ark. 2012). (2) Depolama sırasında dalgalanan sıcaklığının etkisi, ürünlerin tüketici tarafından kabulü ve ürünlerin tüketiciye ulaştırılması açısından etkili olmaktadır. Bir ürünün, süpermarkete ve ayrıca tüketicinin evine taşınması sırasında stabil olması gerekmektedir. Tüketim aşamasında, ürünün buzdolabının içine ve dışına alınmasına rağmen arzu edilen reolojik davranışı sürdürmesi gerekmektedir (Martini ve Herrera 2008, Pothiraj ve ark. 2012, Rønholt ve ark. 2012a). (3) Depolama sıcaklığının reolojik davranış üzerindeki etkisi, farklı ürünlerin reolojik davranışını değiştirmek için endüstriyel olarak kullanılabilir (Garcia-Macais ve ark. 2011, 2012). Reolojik değişikliklere ek olarak, süt yağı bazlı ürünlerin depolanması kimyasal oksidasyona, artan mikrobiyal aktiviteye ve renk değişikliklerine de (Kaur ve ark. 2011) neden olabilmektedir.

Doymamış yağ asitlerinin doymuş olanlara göre daha az simetrik olmasına benzer şekilde süt yağı bazlı ürünlerin içindeki doymuş ve doymamış trigliseritlerin oranı moleküler simetriyi etkilemektedir. Sonuç olarak, doymuş ve doymamış trigliseritler arasındaki oran, kristallerin boyutu hızlandırdığından ya da geciktirdiğinden depolama sırasında kristalleşme hızını etkilemektedir. Doymamış trigliseritlerin miktarının arttırılması, depolama sırasında β' kristalinden β kristallerine geçişi uzatmaktadır, böylece büyük, asimetrik küresel olmayan kristallerin oluşumu önlenmektedir. Daha düşük bir moleküler simetri derecesi ise, asimetrik kristallerin oluşumunu kolaylaştırmaktadır, bu nedenle ürünlerin mikroyapı ve reolojik özelliklerini etkilemektedir (Herrera ve Hartel 2000c, Hollander ve ark. 2003, Marangoni ve Ollivon 2007, Wiking ve ark. 2009a).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan tereyağı örneklerinin üretimi Tat Gıda A.Ş. Sek Süt İşletmesinde (Mustafakemalpaşa, Bursa) gerçekleştirilmiştir. Tereyağı üretiminde kullanılan kremanın bileşimi ve özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Tereyağı üretiminde kullanılan aroma maddesi (Flavorole Starter Distillate) ve laktik asit permeatı (Flavorole Laktik Asit Permeate) Maysa Gıda San. ve Tic. A. Ş. (İstanbul, Türkiye) firmasından temin edilmiştir.

Starter kültür olarak kullanılan *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* ve *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* içeren tereyağı kültürü (Probat 322) DuPont Danisco (Kopenhag, Danimarka) firmasından temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Tereyağı üretiminde kullanılan kremanın bileşimi ve özellikleri

Bileşen	Miktar
Yağ (%)	37,92
Laktoz (%)	2,44
Protein (%)	1,43
Kurumadde (%)	43,56
pH	6,71
Serbest Yağ Asitliği (mg KOH/g yağ)	1,20

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme deseni

Çalışmada tereyağı örnekleri Çizelge 3.2’ de verilen deneme desenine göre üretilmiştir. Depolamanın 1. günü ve 6. ayında fiziko-kimyasal analizler, 1.gün, 1.ay, 3. ay ve 6. ayda tekstürel ve duyu analizler gerçekleştirilirken, son üründe üretim sonrası yağ

asitleri bileşimi saptanmıştır. Ayrıca tereyağı üretiminden sonra arta kalan yayıkaltı sularının da bileşimi belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Tereyağı üretiminde kullanılan deneme deseni

Örnek Kodu	Krema		Depolama Süresi (gün)
	Soğutma/Kristalizasyon Sıcaklığı (°C) ve Süresi (saat)	Asitlendirme Yöntemi ve Olgunlaştırma	
K (Kontrol)	10°C – 3 h	Geleneksel yöntemle (continuous) üretim ve starter kültür ile olgunlaştırma	1-30-90-180
TK6/10	6°C – 10 h	İşletme kültürü enjeksiyonu/ 6°C'ye soğutma/10 saat olgunlaştırma	1-30-90-180
TK6/15	6°C – 15 h	İşletme kültürü enjeksiyonu/ 6°C'ye soğutma/15 saat olgunlaştırma	1-30-90-180
TL6/10	6°C – 10 h	Laktik asit permeatı enjeksiyonu/6°C'ye soğutma/10 saat olgunlaştırma	1-30-90-180
TL6/15	6°C – 15 h	Laktik asit permeatı enjeksiyonu/6°C'ye soğutma/15 saat olgunlaştırma	1-30-90-180
TK8/10	8°C – 10 h	İşletme kültürü enjeksiyonu/ 8°C'ye soğutma/10 saat olgunlaştırma	1-30-90-180
TK8/15	8°C – 15 h	İşletme kültürü enjeksiyonu/ 8°C'ye soğutma/15 saat olgunlaştırma	1-30-90-180
TL8/10	8°C – 10 h	Laktik asit permeatı enjeksiyonu/8°C'ye soğutma/10 saat olgunlaştırma	1-30-90-180
TL8/15	8°C – 15 h	Laktik asit permeatı enjeksiyonu/8°C'ye soğutma/15 saat olgunlaştırma	1-30-90-180

3.2.2. Tereyağı üretimi

Çiğ krema üretimi: Tereyağı üretimi için gerekli olan krema Tat Gıda A.Ş. Sek Süt işletmesinden tedarik edilmiştir. Kremanın elde edileceği çiğ sütler işletmenin süt temin ettiği yörelerin karışımı olarak çiğ süt tanklarında depolanmış ve +4-6°C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

İşletme, pastörize süt ihtiyacına göre kremayı otomatik pastörizasyon sistemleriyle bir yan ürün olarak elde etmektedir. Pastörize edilecek süt otomatik pastörizasyon sisteminin plakalı eşanjör bölümüne beslenerek ön ısıtma ile sıcaklık 55-58°C'ye yükseltilmiş ve bu sıcaklıkta deaerasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Deaerasyondan sonra GEA marka seperatör ile krema %60 yağ içeriğinde sürekli sistemde çekilirken su ilavesi ile yağ oranı %37,92 düşürülmüş ve 10-12°C'ye soğutulmuştur. Bu yöntemle elde edilen krema 18 saat boyunca çiğ krema tankında 11°C'de stoklanmıştır.

Pastörize krema üretimi: Çiğ krema tanklarında bulunan krema APV marka 5 ton/saat kapasiteli krema pastörizatörü ile 95°C'de 17 saniye ısıtma işlemine tabi tutularak pastörize edilmiştir. Pastörize krema farklı sıcaklıklara soğutulurken (6°C, 8°C, 24°C) proses tanklarına alınmıştır.

İşletme Kültürü Üretimi: İşletme kültürü üretimi için gerekli olan yağsız süt ve yağsız süt tozu Tat Gıda A.Ş. Sek Süt (Mustafakemalpaşa, Bursa) işletmesinden temin edilmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Yağsız süt, yağsız süt tozu ve karışımın bileşimi

Bileşen	Yağsız Süt	Süt tozu	Karışım (Süt tozu+Yağsız Süt)
Yağ (%)	0,03	-	0,03
Laktoz (%)	2,44	-	-
Protein (%)	1,43	-	-
Kurumadde (%)	8,85	96	13,50
pH	6,60	-	6,55

Kültür hazırlama sırasında, işletmede bulunan kültür hazırlama ünitesinde öncelikli olarak 95°C su ile sanitasyon gerçekleştirilmiştir. Bu üniteye önce yağsız süt alınmış,

yağsız süt içerisine yağsız süt tozu topaklanma olmaması için paslanmaz bir blender yardımıyla hızla karıştırılarak azar azar ilave edilmiş ve kurumadde (%13,50) ayarlanmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra karışımın sıcaklığı 24°C'ye getirilmiştir. 40 kg toplam karışım kütlesine 4 g Danisco Probat 322 kültür (%0,01) ilave edilmiştir ve inkübasyona bırakılmıştır. Karışımın pH değeri inkübasyon süresince takip edilmiş ve pH değeri 4,70 olduğunda +4°C'ye soğutulmuştur.

Kontrol grubu üretimi: Pastörize krema 5 nolu proses tankına 24°C sıcaklığa düşürülerek transfer edilmiştir. Transfer işlemi esnasında tank karıştırıcısı 17 dev/dk hızla çalıştırılmıştır. Transfer işlemi devam ederken %0,01 (5 adet Danisco Probat 322) starter kültür tank içerisine ilave edilmiştir. Karıştırıcı durdurularak krema olgunlaştırmaya bırakılmıştır. 8 saat sonra asitlendirmesi tamamlanan krema 5.20 pH değerine ulaştığında, tank karıştırıcısı ve tank cidarında dolaşan soğuk su aktif hale getirilerek soğutulmaya başlanmıştır. 3 saat soğutulan krema 10°C sıcaklığa geldiğinde soğutma işlemi tamamlanmıştır. Soğutma sonunda kremanın pH değeri 4,90 olmuştur. 3 saat bu sıcaklıkta bekletilen krema Simon Freres marka sürekli yayığa 1044 kg/saat hızla beslenmiş ve 850 rpm fan hızı ile yayıklanması gerçekleştirilmiştir. Yayıklanma aşamasından sonra oluşan tereyağı granülleri 76 ve 47 rpm hızla çalışan helezonlar arasında yoğurma işlemine tabi tutulmuştur. İki yoğurma işlemi arasında -0,20 bar vakum uygulanmıştır. Üretilen tereyağı yayığın çıkışından 13°C olarak tereyağı arabasına alınmıştır. Tereyağı arabası paketleme bölümüne transfer edilmiştir. Paketleme bölümünde Benhill marka ambalajlama makinesi ile 250 g ağırlığında alüminyum folyo bazlı ambalaj materyali ile sarılarak ambalajlanmış ve +4°C soğuk hava deposuna taşınmıştır. Burada raf ömrü sonuna kadar 6 ay (180 gün) saklanmıştır.

Krema soğutma sıcaklığı ve asitlendirme yöntemleri farklılaştırılmış tereyağı grupları üretimi:

TK8/10 ve TL8/10 üretimi: Pastörize krema 1 nolu proses tankına 8°C sıcaklığa düşürülerek transfer edilmiştir. Transfer işlemi esnasında tank karıştırıcısı 17 dev/dk hızla çalıştırılmıştır. Karıştırıcı durdurularak krema kristalizasyona bırakılmıştır. 10 saat bu sıcaklıkta saklandıktan ve kristalizasyona bırakıldıktan sonra krema 30 dakikada

karıştırıcı açılarak tank cidarında dolaşan sıcak su ile 10°C'ye ısıtılmıştır. 3 saat bu sıcaklıkta bekletilerek kristalizasyon işlemi tamamlanmıştır ve yayıklama işlemine geçilmiştir. Krema yayığa 3000-3100 kg/saat hızla beslenerek 1200-1300 rpm fan hızıyla yayıklanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşan tereyağı granülleri 76 ve 47 rpm hızla çalışan helezonlar ile yoğurulmuştur. İlk yoğurma işlemi sonrası tereyağı içerisine TK8/10 grubu için hazırlanan işletme kültürü 6 kg/1 ton tereyağı oranında (%0,033), TL8/10 grubuna ise Maysa firmasından temin edilen tereyağı kültür distilatı 1 kg/1 ton tereyağı (%0,010) ve laktik asit permeatı 5 kg/1 ton (%0,05) tereyağı oranında enjekte edilmiştir. Enjeksiyon işleminden sonra (-0,80) – (-0,85) bar vakum uygulanmıştır. Üretilen tereyağı yayığın çıkışından 13-14°C olarak tereyağı arabasına alınmıştır. Tereyağı paketleme bölümünde kontrol grubu ile aynı koşullarda ambalajlanarak +4°C'de raf ömrü sonuna kadar 6 ay depolanmıştır.

TK6/10 ve TL6/10 üretimi: Pastörize krema 6°C'ye soğutularak 2 nolu proses tankına alınmıştır. Krema bu sıcaklıkta 10 saat boyunca kristalizasyona bırakılmıştır. TK8/10 ve TL8/10 gruplarına uygulanan işlemler aynı şekilde bu gruplara da uygulanmıştır.

TK8/15 ve TL8/15 üretimi: Pastörize krema 8°C'ye soğutularak 3 nolu proses tankına alınmıştır. Krema bu sıcaklıkta 15 saat boyunca kristalize edilmiştir. Kristalizasyon sonrası TK8/10 ve TL8/10 gruplarına uygulanan işlemler tekrar edilerek tereyağı üretimi yapılmıştır.

TK6/15 ve TL6/15 üretimi: Pastörize krema 6°C sıcaklığa soğutularak 4 nolu proses tankına alınmıştır. Bu sıcaklıkta 15 saat kristalizasyon sağlanmıştır. 15 saat sonunda krema TK8/10 ve TL8/10 gruplarına uygulanan işlemlerden geçirilerek tereyağı üretimi tamamlanmıştır.

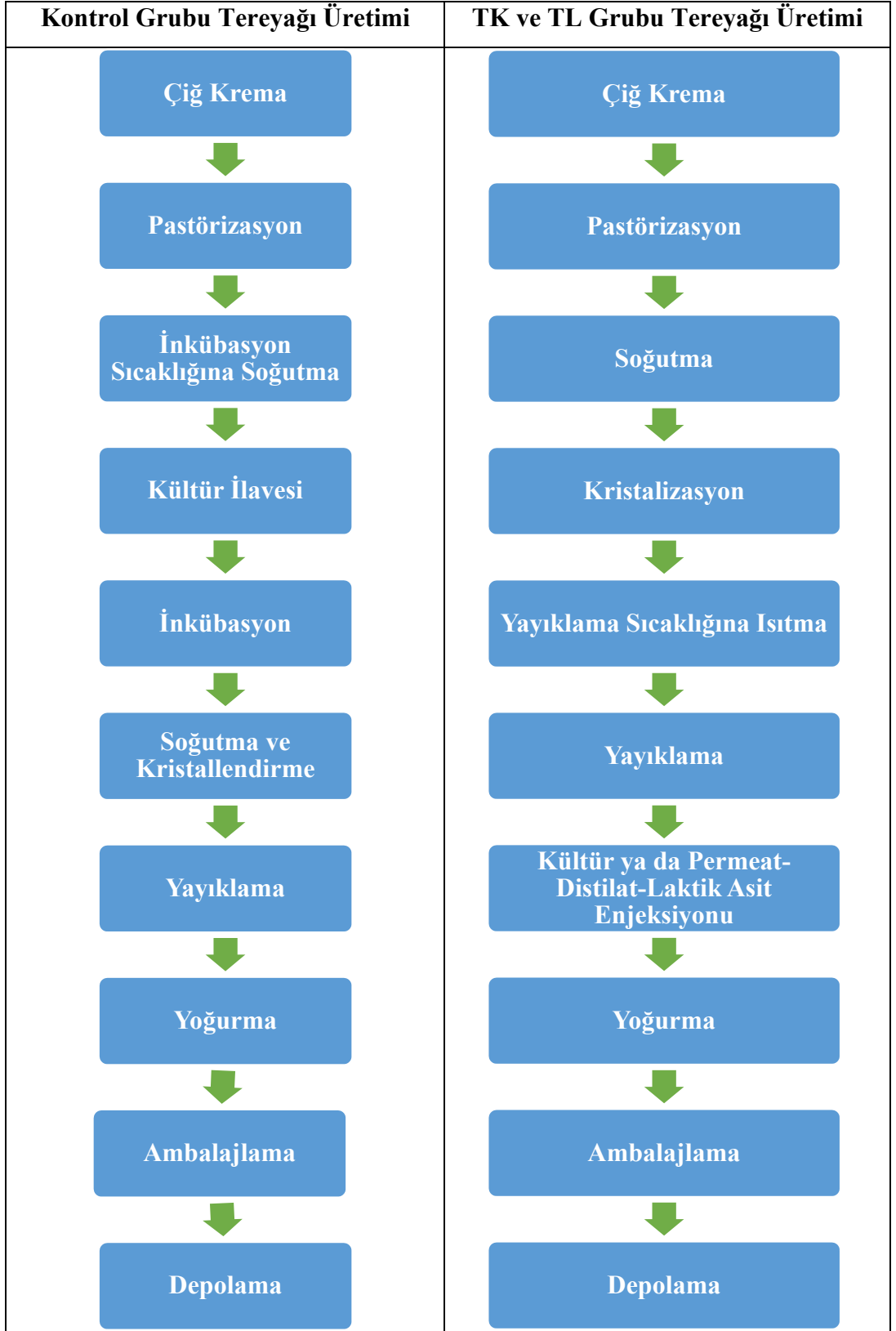
Yukarıda anlatılan işlemler ile krema soğutma sıcaklığı ve asitlendirme yöntemleri değiştirilerek 9 farklı tereyağı üretimi tamamlanmıştır. Kontrol grubu geleneksel yöntem ile asitlendirilirken, TK grupları yayıklanan tatlı kremaya işletmede hazırlanan kültürün, TL grupları ise yine yayıklanan tatlı kremaya tereyağı kültür distilatının ve laktik asit permeatının enjeksiyonu ile asitlendirilmiştir. Soğutma ve de soğukta

bekletme sıcaklıkları değiştirilerek kremanın kristalizasyonu farklılaştırılmaya çalışılmıştır.

Şekil 3.1’de çiğ krema üretimi akış şeması ve Şekil 3.2’de deneme desenine göre üretilen tereyağlarının üretim akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.1. Çiğ krema üretimi akış şeması



Şekil 3.2. Deneme desenine göre üretilen tereyağlarının üretim akış şeması

3.2.3. Krema örneklerine uygulanan analizler

Tereyağı üretiminde kullanılan hammadde kremada yağ (%) ve kurumadde (%) miktarı Couvreur ve ark. (2006), laktoz (%) ve protein (%) miktarı Kurdal ve ark. (2019), pH değeri Park ve ark. (2014), serbest yağ asitliği ise (mg KOH/gram yağ, oleik asit cinsinden) Park ve ark. (2014)'e göre yapılmıştır.

3.2.4. Tereyağı örneklerine uygulanan analizler

Nem/Kurumadde tayini

Önceden kurutma dolabında 102°C'de 1 saat tutularak kurutulan ve desikatörde bekletilerek soğutulan kurutma kaplarına, homojen hale getirilmiş tereyağı örneğinden yaklaşık 3-5 g tartılmış, 102°C'de sabit ağırlık elde edilinceye kadar kurutulması sonucunda kurumadde oranı gravimetrik olarak belirlenmiş ve %nem oranı hesaplanmıştır (Couvreur ve ark. 2006).

Titrasyon asitliği

5-10 g tereyağı örneği, üzerine 10 mL saf su ve %1'lik fenolftalein indikatöründen (%95'lik alkolde %1'lik çözeltisi) 0,5 mL ilave edildikten sonra 0,1 N NaOH ile 30 saniye sabit açık pembe renk alıncaya dek titre edilmiş ve asitlik (%) hesaplanmıştır (Park ve ark. 2014).

Renk tayini

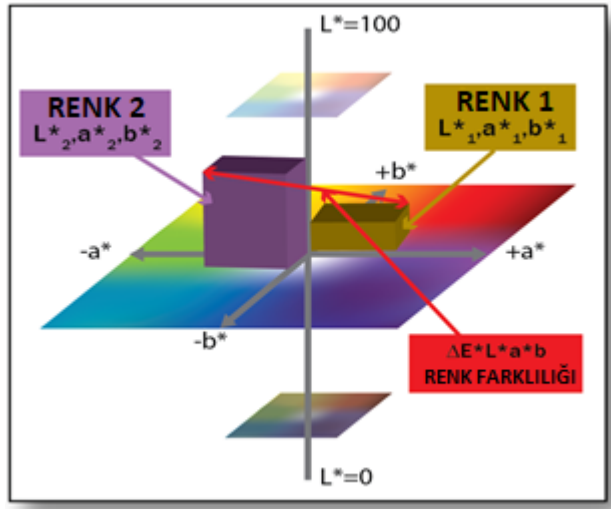
Tereyağı örneklerinin renk (L^* , a^* , b^*) analizi, Minolta kromometresinde (Konica Minolta Co., Ltd., Osaka, Japonya) kalibrasyonu yapıldıktan sonra 19°C'de gerçekleştirilmiştir. L^* , a^* ve b^* değerlerini elde etmek için CIELab renk skalasında, L^* parametresi 0 ila 100 arasındaki değerlerde (parlaklık) siyahtan beyaza; a^* eksenini kırmızıdan (+ a^*) yeşile (- a^*) ve b^* eksenini sarıdan (+ b^*) maviye (- b^*) kadar olan değişim izlenmiştir. L^* açısı aynı zamanda renk değişimini de ifade etmektedir. Bu

açının daralması rengin kırmızı rene yaklaştığını (a^*), genişlemesi ise sarı rene (b^*) yaklaştığını göstermektedir (Şekil 3.3).

Renk ölçüm cihazında belirlenen renk değerlerinden toplam renk farklılığı renk metodunun boyutunu gösteren tek bir sayısal değer olan toplam renk farklılığı (TRF), ΔE^* olarak ifade edilmiş ve aşağıdaki eşitlikte belirtilmiştir. Burada Δ , farklılığı göstermektedir ve E harfi, Almanca hissetme anlamına gelen Empfindung kelimesinin baş harfidir (Krause ve ark. 2008).

$$\text{TRF } (\Delta E^*) = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Eşitlikte; ΔE^* : Isıl işlem sonrasında örneklerde meydana gelen toplam renk farklılığını, ΔL^* : Siyah-beyaz renk değişimini, Δa^* : Kırmızı-yeşil renk değişimini, Δb^* : Sarı-mavi renk değişimini ifade etmektedir.



Şekil 3.3. Hunter sistemine göre L^* , a^* , b^* ve ΔE^* parametrelerinin renk skalası

Yağ asitleri profili tayini

Krema ve tereyağı örnekleri analiz edilinceye kadar -20°C 'de bekletilmiştir. Ozcan ve ark (2016)'nın belirttiği yönteme göre tereyağı örneklerinden ekstrakte edilen süt yağının metil esterleri IUPAC (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği) soğuk

esterleşme yöntemi (Commission Regulation (EC) No 796/2002 of 6 May 2002) ile hazırlanmıştır. Yağ asitleri kompozisyonu Agilent 6890N serisi Gaz Kromatografi (Hewlett-Packard Co., Avondale, PA, USA) cihazı ile belirlenmiştir. GC analiz koşulları aşağıda verilmiştir.

Dedektör: Alev İyonizasyon Dedektörü (FID)

Taşıyıcı Gaz: Hidrojen (akış hızı 40 mL/dk)

Kolon: Kapiler Kolon (Agilent DB23 column; 60 m, 0.25 mm i.d, J &W Scientific Co., Folsom, CA, USA)

Enjekte Edilen Örnek Miktarı: 1 µL

Enjeksiyon Bloğu Sıcaklığı: 270°C

Dedektör Sıcaklığı: 280°C

Fırın Sıcaklığı: 130°C

Sıcaklık Programı: Başlangıç sıcaklığı 130°C'dir. Bu sıcaklıktan sonra 6.5°C/dk. ile 170°C'ye çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 1 dak. tutulmuştur. Sonra sıcaklık 215°C'ye 2.15°C/dak gradient ile çıkarılmıştır. 12 dak. bekletmenin sonunda 230°C'ye yükseltilecek sıcaklık bu koşullarda 3 dak. tutulmuştur.

Yağ asidi metil ester piklerinin geliş zamanları (RT) standart yağ asidi metil esterleri ile karşılaştırılarak miktarları % alandan hesaplanmıştır.

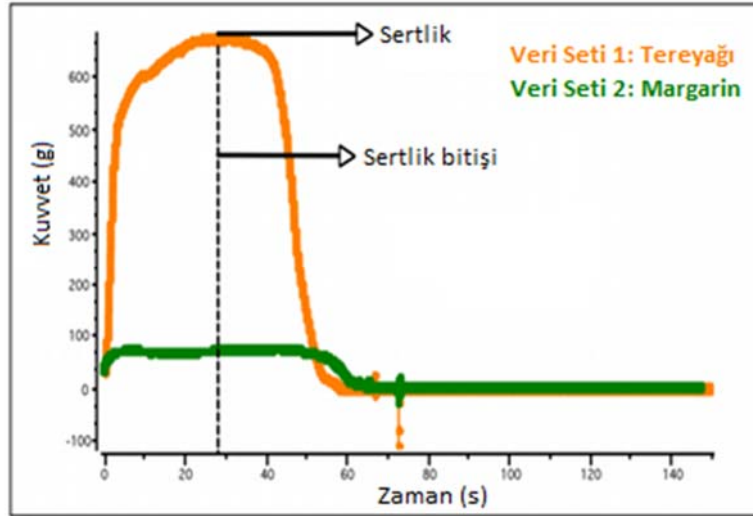
Enstrümental tekstür analizi

Tereyağı örneklerinin tekstürel özellikleri Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde bulunan, Texture Analyser TA-XT Plus cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Orijinal ambalajlarında +4°C'de muhafaza edilmiş tereyağı örnekleri 5cm x 3cm boyutlarında kesilerek 20°C'de analiz edilmiştir. Analizde baskılama işlemi 1 mm.s⁻¹ crosshead hızında gerçekleştirilmiş, analiz "Butter Cutter" probun tereyağı örneğine daldırılıp 23 mm derinliğe ulaşması ile sağlanmıştır. Tekstür profil analiz tekniğine göre elde edilen kuvvet-zaman grafiklerinden tereyağı örneklerinin tekstürel özellikleri hakkında bilgi veren parametrenin hesaplanması Texture Analyser TA-XT Plus'ın yazılımı doğrultusunda yapılmıştır. Tereyağı

örneklerinde tekstürel özellik firmness/sıklık (proben örnek içerisine penetresyonu sırasında oluşturduğu pik kuvveti) parametresi ile ifade edilmiştir (Şekil 3.4) (Rønholt ve ark. 2014).



(a)



(b)

Şekil 3.4. Tereyağı örneklerinde tekstür ölçümü (a) ve tereyağı ve margarin için karşılaştırmalı kesme kuvveti eğrisi (b)

Duyusal analizler

Tereyağı örneklerine ait duyu özelliklerinin belirlenmesinde Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü lisans üstü öğrencileri ve öğretim üyeleri arasından seçilmiş 22

ve 45 yaşları arasındaki 8-10 panelist tarafından örnekler değerlendirilmiştir. Duyusal tanımlayıcı profil testi (Kantitatif Tanımlama Analizi, QDA) Krause ve ark. (2008)' nın belirttiği metoda göre modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Panelistler süt ürünleri ve tereyağı konusunda duyusal test bilgi ve deneyimlerine göre önceden seçilmiştir. Analiz öncesinde 24 saat soğuk koşullarda bekletilmiş ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) örnekler 19°C 'de rastgele sayılarla üç basamaklı kodlarla tanımlanan orijinal ambalajlarında panel odasında değerlendirilmiştir. Belirlenen parametreler olarak, "Görünüş", "Yapı ve Tekstür", "Aroma Yoğunluğu", "Renk" "Tat", "Duyusal Sertlik", "Sürülebilirlik" "Sarı Renk Yoğunluğu" ve "Diasetil Varlığı" özellikleri ile "Toplam Kabul Edilebilirlik" ve bazı tipik aroma özelliklerinin duyusal tanımlayıcı profil testi (QDA) ile değerlendirilmesi 5 tam puan üzerinden gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirmede; 5: kabul edilen en yüksek değer; 1: kabul edilen en düşük değer olarak verilmiştir (5: mükemmel/çok beğendim, 4: iyi/orta derecede beğendim, 3: normal/idare eder/ne beğendim, ne beğenmedim, 2: biraz zayıf/orta derecede beğenmedim, 1: zayıf/kesinlikle beğenmedim). Ayrıca panelistler tereyağı örneklerinin kalite özellikleri ile ilgili yabancı aroma ve yapı dışı unsurlar ile ilgili de ayrıntıları derecelendirme tablosunda belirtmişlerdir.

3.2.5. Yayıkaltı suyu örneklerine uygulanan analizler

Tereyağı üretiminden arta kalan yayıkaltı örneklerinde yağ (%), kurumadde (%) miktarı ve pH değerleri Kurdal ve ark. (2019)' a göre yapılmıştır.

3.2.6. İstatistiksel analizler

Tereyağı örneklerinde Minitab İstatistik Programı kullanılarak iki faktörlü (tereyağı çeşidi ve depolama süresi) deneme desenine göre ANOVA istatistiksel yöntemi uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel olarak önemli görülen farklılıklar "Fischer Çoklu Karşılaştırma Testi" kullanılarak $p < 0.01$ ve $p < 0.05$ düzeyinde karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Tereyağı Örneklerinin Fiziko - Kimyasal Özellikleri

Tereyağının bileşimi, tekstürü ve fonksiyonel özellikleri birçok faktörden etkilenmekle birlikte, tereyağının fiziksel ve teknolojik özelliklerinin önemli derecede üretim yöntemine bağlı olduğu bilinmektedir (Rønholt ve ark. 2013).

Tereyağı örneklerine ait titrasyon asitliği (%) değerleri, nem (%) oranları ve renk değerleri (L^* , a^* , b^* ve ΔE^*) Çizelge 4.1'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde, tereyağı örneklerinin titrasyon asitliği ($p<0,05$) ve nem oranları ($p<0,01$) arasındaki farklılık tereyağı çeşidi ve depolama süresine bağlı olarak istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Tereyağı örneklerinin titrasyon asitliği (%) oranlarına ait LSD testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek titrasyon asitliği oranı (%0,225) geleneksel yöntemle ve önceden fermente edilerek üretilen kontrol örneğinde bulunmuştur. Bu örneği, 15 saat olgunlaştırılan TL6/15 (%0,195) ve TK8/15 (%0,194) takip ederken TL8/10 (%0,207) tereyağı örneği de bu gruba girmiştir. Örnekler arasında oluşan bu farklılıkta, krema soğutma sıcaklığı ve süresi ile asitlendirme yönteminin etkili olduğu görülmüştür ($p<0,05$).

Tereyağı genellikle uzun süre depolanabilen bir süt ürünüdür, bu nedenle, üretici ve tüketiciler açısından soğutulmuş ya da dondurulmuş ürünün raf ömrü önemli olmaktadır. Tereyağının raf ömrü analizleri fiziko-kimyasal analizler açısından üretim sonu (1. gün) ve depolama sonunda (6. ay) gerçekleştirilmiştir. Tereyağı örneklerinin titrasyon asitliği oranlarının depolama süresine ait LSD testi sonuçları incelendiğinde titrasyon asitliği depolama boyunca artmıştır ($p<0,01$) (Çizelge 4.1).

Tereyağında depolama boyunca sıcaklık, nem ve yağ asitlerindeki değişime bağlı olarak asitlik değişebilmektedir. Lipoliz sonucunda serbest hale geçen yağ asitleri asitlik derecesini etkilediği gibi sahip oldukları tat ve aroma özellikleri ile tereyağının duyuşal

Çizelge 4.1. Tereyağı örneklerinin fiziko-kimyasal özelliklerine ait LSD testi sonuçları

Tereyağı Çeşidi	Titrasyon Asitliği (%)	Nem (%)	Renk			ΔE^*
			L^*	a^*	b^*	
K	0,225 ^a	17,27 ^{ab}	78,88 ^a	-4,04 ^c	39,05 ^{abc}	-
TK6/10	0,188 ^b	16,20 ^{bc}	80,19 ^a	-3,96 ^b	38,02 ^{abc}	1,67 ^c
TK6/15	0,186 ^b	16,07 ^{bc}	79,33 ^a	-3,96 ^b	40,17 ^{abc}	1,21 ^c
TL6/10	0,186 ^b	15,80 ^c	79,91 ^a	-3,75 ^{ab}	36,24 ^c	3,01 ^b
TL6/15	0,195 ^{ab}	16,17 ^{bc}	78,97 ^a	-3,83 ^{ab}	39,63 ^{abc}	0,62 ^d
TK8/10	0,186 ^b	16,07 ^{bc}	79,11 ^a	-3,49 ^a	44,14 ^a	5,12 ^a
TK8/15	0,194 ^{ab}	18,04 ^a	80,64 ^a	-3,86 ^{ab}	37,66 ^{bc}	2,25 ^{bc}
TL8/10	0,207 ^{ab}	16,13 ^{bc}	79,38 ^a	-3,74 ^{ab}	42,78 ^{ab}	3,78 ^b
TL8/15	0,191 ^b	17,56 ^a	80,52 ^a	-3,88 ^{ab}	36,74 ^{bc}	2,84 ^{bc}
Depolama 1.gün	0,1200 ^b	16,50 ^a	88,28 ^a	-4,56 ^b	47,72 ^a	-
6.ay	0,2706 ^a	16,68 ^a	71,03 ^b	-3,11 ^a	31,04 ^b	11,25
ANOVA^a Örnek (Ö)	*	**	ns	**	**	**
Depolama Süresi (D)	**	ns	**	**	**	**

^aP- değerleri: (*) P<0.05; (**) P<0.01; ns, önemsiz. Farklı harf taşıyan ortalamalar birbirinden farklıdır.

K: Geleneksel yöntem ile yapılan kontrol tereyağı, TK6/10: 6°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TK6/15: 6°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TL6/10: 6°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TL6/15: 6°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TK8/10: 8°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TK8/15: 8°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TL8/10: 8°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TL8/15 8°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı

özelliklerini de değiştirebilmektedir. Ayrıca ortam pH'sı, oluşan ya da ilave edilen laktik asit ve karbonil bileşenlerinin varlığının da tereyağının özelliklerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır (Lopez ve ark. 2005, Fernandes ve ark. 2007, Park ve ark. 2014).

Nem ve kurumadde oranı tereyağının özelliklerini etkilemektedir. Örneğin, yüksek kurumadde içeriğinde nispeten büyük kristaller ($> 5 \mu\text{m}$) içeren tereyağı, küçük kristaller içerenlere göre daha sert, daha kırılğan ve taneli yapı göstermektedir. Düşük kurumadde içeriğinde ise, büyük kristaller, küçük kristaller kadar sıvı yağ ile birleşmemekte ve ürün yağlı hale gelmektedir. Bu arada, oldukça konsantre kremaların faz inversiyonundan üretilen tereyağı, zayıf su dispersiyonu ile aşırı derecede sert bir yapı meydana getirmektedir. Bununla birlikte yayıkaltı suyunu santrifüj yolu ile ayırmak da tereyağında taneli ve yağlı bir görünüşe sebep olmaktadır (Mortensen 2011, Pothiraj ve ark. 2012).

Tereyağı örneklerinin nem oranlarına ait LSD testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek nem oranı TK8/15 (%18,04) ve TL8/15 (%17,56) örneğinde saptanmıştır ($p<0,01$). Tereyağı örneklerinde nem oranları depolama boyunca değişmemiştir ($p>0,01$).

Tereyağının sertliği ve sürülebilirliği, esas olarak, içerdiği kurumadde ve katı yağ oranından etkilenmektedir. Katı yağ içeriğinin artması sertlikte bir artışa ve sürülebilirlikte bir azalmaya neden olmaktadır. Burada triaçilgliserol de etkilidir ve triaçilgliserollerin erime sıcaklıkları da kimyasal bileşimlerine ve yapılarına bağlı olmaktadır. Örneğin, süt yağı $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında erime sıcaklığına sahip potansiyel olarak binlerce farklı triaçilgliserol türü içermektedir (Bobe ve ark. 2003, Chen ve ark. 2004, Rønholt ve ark. 2014).

Gıdaların rengi, tüketicilerin lezzet algılarını etkileyen en önemli duyuşal parametrelerden biri olarak bilinmektedir. Rengin yanı sıra, gıdaların yüzey parlaklığı da tüketicilerin ürünleri algılayıp kabul etmesinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Yüzeyin parlaklığı, gıdanın yüzeyinden ışığın yansımalarının bir ölçüsüdür ve yüzeyin

esas olarak parlak veya mat olup olmadığını göstermektedir. Bu yansıma, topoloji ve heterojenite gibi yüzey özelliklerine bağlı bulunmaktadır (Solymosi ve ark. 2015).

Renk analizinde tereyağı örneklerinin, beyazlık/siyahlık (L^*), kırmızılık/yeşillik (a^*), sarılık/mavilik (b^*) değerleri ve toplam renk farklılığı (ΔE^*) belirlenmiştir. Tereyağı örneklerine ait L^* , a^* , b^* ve ΔE^* değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

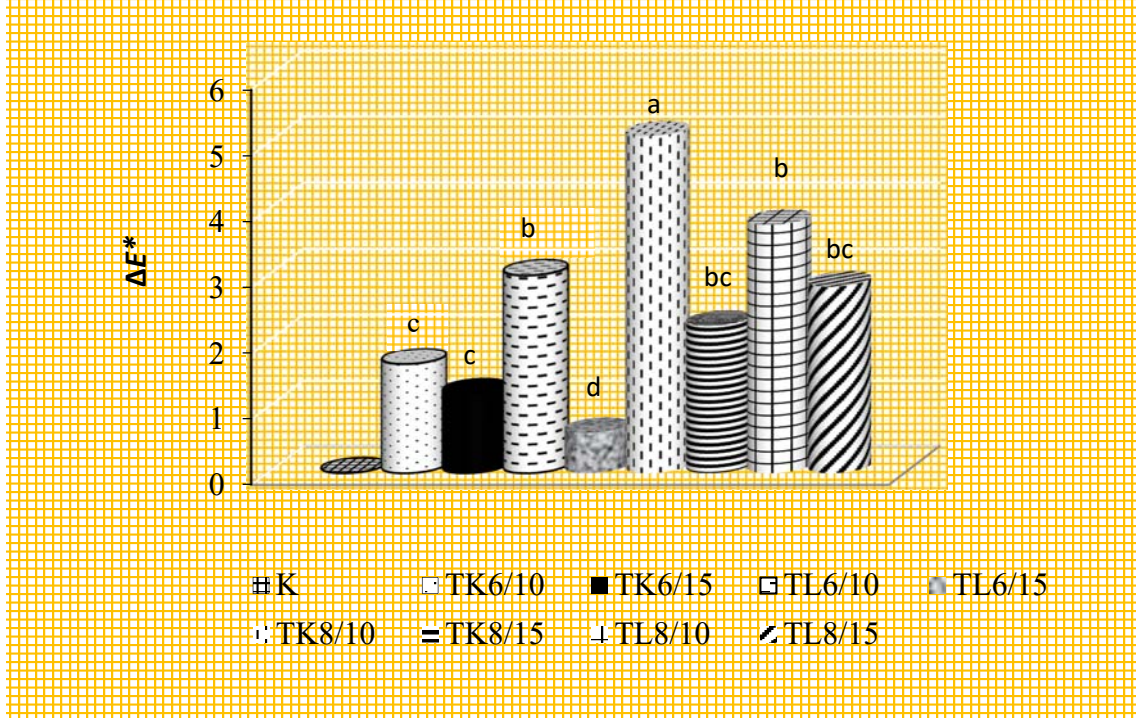
Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde, tereyağı örneklerinin L değerleri arasındaki farklılık tereyağı çeşidine bağlı olarak istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0,01$) ve depolama süresine bağlı olarak önemli ($p<0,01$), a^* , b^* ve ΔE^* değerleri ise çeşit ve depolama açısından istatistiki olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Tereyağı örneklerinin renk (L^* , a^* , b^* ve ΔE^*) değerlerine ait LSD testi sonuçları incelendiğinde L^* değerlerinde belirgin bir farklılık görülmemiştir. L^* değeri, rengin açık ya da koyuluğunu ve parlaklığını göstermektedir. Tereyağı örneklerinde L^* değerleri ya da parlaklık depolama sonuna doğru azalmıştır (Çizelge 4.1). Rønholt ve ark. (2013, 2014) kırılmanın sürekli fazdaki yağ kristallerinin hacim fraksiyonunun artması ile arttığını, yağ küreciklerinin miktarının artması ile de azaldığını bildirmişlerdir.

a^* değeri kırmızı ve b^* değeri de sarı rengin yoğunluğunu ifade etmektedir. Tereyağı örneklerinde en yüksek a^* ve b^* değerleri TK8/10 örneğinde bulunsa da genel anlamda belirtilen renk özellikleri örneklerde birbirine yakın bulunmuştur. Depolama süresi a^* ve b^* değerleri üzerinde etkili olmuştur (Çizelge 4.1, $p<0,01$).

Renk değişiminin sayısal değer olarak ifadesi olan ve renk farklılığı olarak tanımlanan en yüksek ΔE^* (Delta E) değeri ise 5,12 ile TK8/10 örneğinde bulunmuştur (Şekil 4.1).

McClements (2005), renk yoğunluğunun genellikle, emülsiyonlardaki damlacık konsantrasyonu arttığında renk yoğunluğundaki azalmayı açıklayan parlaklıkla ters orantılı olduğunu belirtmiştir.



Şekil 4.1. Tereyağı örneklerinin ΔE^* değerleri

4.2. Tereyağı Örneklerinin Yağ Asitleri Bileşimi

Süt yağı önemli bir besin ve enerji kaynağıdır ve sütün yağ asidi bileşimi ürünlerinin tekstürünü ve tadını etkilemektedir. Genel olarak, süt yağı %66 doymuş yağ asidi, %30 tekli doymamış yağ asidi ve %4 çoklu doymamış yağ asidi içermektedir (Lock ve ark. 2003, Park 2009).

Tereyağı örneklerinin yağ asidi bileşimi Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Süt yağında en çok bulunan doymuş yağ asitlerinden palmitik ve stearik asit insan enerji metabolizması ve normal büyüme ve gelişme için oldukça önemlidir (Park ve Haenlein 2013, Ozcan ve ark. 2016). Tereyağı örneklerinde tespit edilen en baskın doymuş yağ asitleri (C₄-C₁₈) palmitik asit (%25,90-30,18), stearik asit (%11,14-11,98) ve miristik asit (%8,39-10,74)'dir.

Birden fazla çift bağa sahip doymamış yağ asitleri, fonksiyonel özellikleri ve sağlık üzerine olumlu etkileri nedeni ile insan beslenmesinde temel bileşenlerdir. Sütteki başlıca doymamış yağ asidi olan oleik asit (C₁₈:1, n-9), enerji kaynağı olarak ve vücut

yağ rezervlerinde kullanılmaktadır. Beyin dokusu yapısında, özellikle miyelinde yer alan ve kardiyovasküler açıdan nispeten nötr olan çok uzun zincirli yağ asitlerinin öncülerinden biridir. Oleik asit gibi tekli doymamış yağ asitleri tüketiminin, kandaki düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) (kötü kolesterol) oranını azaltmada faydalı olduğu belirtilmektedir (Couvreux ve ark. 2006, Ozcan ve ark. 2016).

Tereyağı örneklerinin oleik asit içeriği, doymamış yağ asitleri içerisinde en yüksek değerlerde olup (%23,24-28,80) arasında saptanmıştır (Çizelge 4.2).

Vücut gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan esansiyel yağ asitlerinden linoleik asit (C18:2) tereyağında %2,71-2,44 oranlarında bulunmuştur.

Herzallah ve ark. (2005) tereyağının soğuk sıcaklıklarda depolanmasının yağ asitleri profilinde önemsiz değişikliklere neden olduğunu belirtmiştir. Bu sebeple bu araştırmada yağ asitleri profili son üründe belirlenmiştir.

Sütteki yağ asitleri, laktasyon, genetik, mevsim ve beslenmeye bağlı olarak değişebilmektedir. Ek olarak, ısıl işlem, starter kültür, olgunlaşma süresi ve sıcaklığı ve ayrıca depolama sıcaklığı gibi süt işleme koşulları da farklı süt ürünlerinin yağ asidi bileşimini etkilemektedir (Baer ve ark. 2001, Chilliard ve ark. 2001, Ledoux ve ark. 2005).

Yağ asitleri, zincir uzunluklarına göre kısa (C4 ile C6), orta (C8 ile C14), uzun (C16 ile C18) ve çok uzun zincirli yağ asitleri (19 karbondan daha uzun) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. İnsan sağlığına olumlu ve terapötik etkileri nedeniyle, uzun zincirli yağ asitleri (LCFA) açısından zengin ve bu yağ asitleriyle zenginleştirilmiş süt ürünlerine olan ilgi de giderek artmaktadır (Bobe ve ark 2003, Lock ve Baumann 2003).

Tereyağı örneklerinin bileşiminde bulunan yağ asitlerinin karbon zincirinin uzunluğuna bağlı olarak yağ asitlerinin sınıflandırılması Çizelge 4.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Tereyağı örneklerinin yağ asidi bileşimi (g/100 g yağ, %)

Örnek	Krema	Kontrol	TK6/10	TK6/15	TL6/10	TL6/15	TK8/10	TK8/15	TL8/10	TL8/15
SCFA										
(C 4:0) Butyric asit (%)	1,53	2,16	2,00	1,84	1,55	2,04	2,01	1,99	1,88	2,04
(C 6:0) Caproic asit (%)	1,28	1,50	1,50	1,39	1,33	1,40	1,57	2,07	0,47	1,46
MCFA										
(C 8:0) Caprylic asit (%)	0,78	0,98	0,97	0,93	1,60	0,97	0,96	0,93	0,94	0,98
(C 10:0) Capric asit (%)	2,07	2,33	2,34	2,27	1,85	2,36	2,32	2,21	2,30	2,37
(C 11:0) Undecanoic asit (%)	Non	0,14	0,04	0,03	Non	0,05	0,07	0,19	0,04	Non
(C 12:0) Lauric asit (%)	2,69	2,89	2,89	2,83	2,26	2,92	2,87	2,71	2,87	2,94
(C 13:0) Tridecanoic asit (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
(C 14:0) Myristic asit (%)	10,04	10,59	10,58	10,51	8,39	10,71	10,54	9,93	10,47	10,74
(C 14:1) Myristoleic asit (%)	0,82	0,91	0,91	0,91	0,74	0,92	0,92	0,87	0,92	0,92
(C 15:0) Pentadecanoic asit (%)	1,03	1,05	1,05	1,05	0,86	1,06	1,05	1,00	1,04	1,07
(C 15:1) cis-10-Pentadecanoic asit (%)	Non	0,34	0,34	0,34	0,27	0,27	0,34	0,32	0,34	0,34
LCFA										
(C 16:0) Palmitic asit (%)	28,54	30,08	29,89	30,13	25,9	30,18	29,93	28,47	29,59	30,11
(C 16:1) Palmitoleic asit (%)	1,30	1,47	1,46	1,47	1,13	1,47	1,46	1,38	1,44	1,47
(C 17:0) Heptadecanoic asit(%)	Non	0,64	0,64	0,64	0,49	0,64	0,64	0,59	0,63	0,64
(C 17:1) cis-10-Heptadecanoic asit (%)	Non	0,26	0,26	0,26	0,33	0,27	0,26	0,25	0,26	0,26
(C 18:0) Stearic asit (%)	13,44	11,67	11,84	11,98	11,14	11,71	11,64	11,62	11,54	11,75
(C 18:1) Oleic asit (%)	22,38	27,92	28,8	28,36	23,24	28,52	28,14	26,73	27,86	27,95
(C 18:1 trans) Elaidic asit (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
(C 18:2) Linoleic asit (%)	2,44	2,62	2,64	2,67	2,62	2,62	2,62	2,54	2,71	2,60
(C 18:2 trans) Linolelaidic asit (%)	Non	0,12	0,19	Non	0,91	Non	0,23	0,12	0,08	0,15
(C 18:3) Linolenic asit (%)	0,29	0,27	0,27	0,28	0,31	0,27	0,27	0,22	0,29	0,27
(C 18:3n3) Alfa Linolenic asit (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
(C 18:3n6) Gamma Linolenic asit (%)	Non	0,06	Non	0,07	Non	Non	0,08	0,05	0,07	0,07

Çizelge 4.2. Tereyağı Örneklerinin yağ asidi bileşimi (g/100 g yağ, %) (devam)

VLCFA										
(C 20:0) Arachidic asit (%)	0,44	0,21	0,21	0,21	0,27	0,21	0,20	0,23	0,21	0,21
(C 20:1) cis-11-eicosenoic asit (%)	1,59	0,34	0,21	0,30	0,69	0,20	0,36	1,05	0,55	0,29
(C 20:2) cis-11,14 eicosadienoic asit (%)	0,41	0,17	0,17	0,17	Non	Non	0,18	0,07	0,18	0,18
(C 20:3) cis-8,11,14 eicosatrienoic asit (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
(C 20:3n3) cis-11,14,17 eicosatrienoic asit (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
(C 20:4n-6) Arachidonic asit (%)	Non	0,06	Non	Non	0,39	Non	Non	0,12	Non	Non
(C20:5n-3) cis-5,8,11,14,17 eicosapentaenoic asit (EPA) (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
(C 21:0) Heneicosanoic asit (%)	0,31	0,11	Non	0,11	Non	0,11	0,11	0,19	0,11	0,1
(C 22:0) Behenic asit (%)	0,46	0,07	Non	0,09	Non	0,08	0,12	0,19	0,09	0,1
(C 22:1n-9) Erusic asit (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
(C 22:2) cis-13,16 docosadienoic asit (%)	Non	Non	Non	0,03	0,54	Non	Non	0,23	Non	Non
(C 22:6n-3) cis-4,7,10,13,16,19 docosahexaenoic asit (DHA) (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
(C 23:0) Tricosanoic asit (%)	1,11	1,00	0,63	1,00	1,16	0,59	1,09	1,64	1,98	0,88
(C 24:0) Lignoseric asit (%)	Non	Non	Non	0,03	Non	0,13	Non	0,07	0,14	0,06
(C 24:1n-9) Nervonic asit (%)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Omega 3 (EPA + DHA)	0,29	0,27	0,27	0,27	0,31	0,27	0,27	0,22	0,28	0,27
Omega 6 (EPA + DHA)	2,86	2,85	2,81	2,92	2,89	2,62	2,87	2,78	2,79	2,85
Serbest Yağ Asitliği (Oleik Asit Cinsinden) (%)	1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-

K: Geleneksel yöntem ile yapılan kontrol tereyağı, TK6/10: 6°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TK6/15: 6°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TL6/10: 6°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TL6/15: 6°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TK8/10: 8°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TK8/15: 8°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TL8/10: 8°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TL8/15 8°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı

Çizelge 4.3'te belirtildiği gibi, tereyağı örneklerinde toplam kısa zincirli yağ asidi oranları (SCFA) %2,35-4,05, orta zincirli yağ asidi oranları (MCFA) %15,97-19,35 arasında değişmiştir. Minimum ve maksimum uzun zincirli yağ asitleri (LCFA) %66,07-75,99 ve çok uzun zincirli yağ asitleri ise (VLCFA) %4,21-7,47 olarak saptanmıştır.

Lipoliz, süt yağının enzimatik olarak hidrolizasyonudur. Diğer bir deyişle, sütün trigliseritlerinin lipaz enzimi ile gliserin ve serbest yağ asitlerine parçalanmasıdır (Collins ve ark. 2003). Serbest yağ asitlerinin başlıca kaynağı süt yağının lipolizi olsa da serbest yağ asitlerinin oluşumu sadece yağın hidrolizi ile sınırlı değildir. Laktoz metabolizmasının metabolik ürünleri, amino asit deaminasyonu ve lipit oksidasyonu da serbest yağ asitleri toplamına katkıda bulunmaktadır (Hillbrick ve Augustin 2003, Nogueira ve ark. 2005).

Yağ asidi kompozisyonu tereyağının teknolojik özelliklerini etkilemektedir. Doymamış yağ asitleri yönünden zengin diyetler ile beslenen süt ineklerinden elde edilen sütlerden elde edilen ürünlerin tekstürel ve duyusal özelliklerinin sütün yağ asitleri profilinden etkilendiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, yüksek oranda doymamış yağ asidi bileşimine sahip süt ürünlerinde yağ sızması olabileceği de belirtilmiştir (Chen ve ark. 2004, Moran ve Rajah 2012).

Doğrudan depolama koşullarının etkisi altında kalan lipit yağ asitleri bileşiminin, katı yağ içeriği, polimorfizm ve yağ kristal ağının mikro yapısını etkileyeceği belirtilmiştir. Bu da sonuç olarak yağın fiziksel özellikleri, ürünün tekstürü ve duyusal algısını değiştirebilmektedir (Krause ve ark. 2008, Rønholt ve ark. 2012b).

Çalışmalar, tereyağında tekstür ve sürülebilirlik özelliğinin yağın bileşimindeki doymamış yağ asitlerinin (UFA) yüzde oranı ile pozitif korelasyon gösterdiğini belirtmektedir (Hillbrick and Augustin, 2003).

Çizelge 4.3. Karbon zinciri uzunluğuna göre tereyağı örneklerinin yağ asidi bileşimi (g/100 g yağ, %)*

Yağ Asidi ^a	Krema	Kontrol	TK6/10	TK6/15	TL6/10	TL6/15	TK8/10	TK8/15	TL8/10	TL8/15	P-değeri ^a
SCFA	2,81 ^h	3,66 ^b	3,50 ^d	3,22 ^f	2,88 ^g	3,44 ^e	3,58 ^c	4,05 ^a	2,35 ⁱ	3,50 ^d	**
MCFA	17,43 ^h	19,23 ^b	19,12 ^c	18,87 ^f	15,97 ⁱ	19,26 ^b	19,07 ^d	18,15 ^g	18,92 ^e	19,35 ^a	**
LCFA	68,38 ^h	75,11 ^e	75,99 ^a	75,85 ^b	66,07 ⁱ	75,68 ^c	75,27 ^d	71,97 ^g	74,47 ^f	75,27 ^d	**
VLCFA	7,47 ^a	5,08 ^d	4,30 ^f	5,12 ^d	6,25 ^{bc}	4,21 ^g	5,15 ^d	6,19 ^c	6,32 ^b	4,94 ^e	**

^aP- değerleri: (*) P<0.05; (**) P<0.01; ns, önemsiz. Farklı harf taşıyan ortalamalar birbirinden farklıdır.

*Kısa zincirli yağ asitleri (SCFA, C4:0 to C6:0); Orta zincirli yağ asitleri (MCFA; C8:0 to C15:1); Uzun zincirli yağ asitleri (LCFA; C16:0 to C18:3); Çok uzun zincirli yağ asitleri (VLCFA, 19 karbon dan fazla)

K: Geleneksel yöntem ile yapılan kontrol tereyağı, TK6/10: 6°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TK6/15: 6°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TL6/10: 6°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TL6/15: 6°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TK8/10: 8°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TK8/15: 8°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TL8/10: 8°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TL8/15 8°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı

4.3. Tereyağı Örneklerinin Tekstürel Özellikleri

Üretim parametrelerinin standardizasyonu ve ürün kalitesinin belirlenmesi açısından gıdaların tekstürel özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Gıdalarda tekstür, gıdanın sahip olduğu mikro yapı bileşenleri ile bu bileşenlerin birbiriyle olan ilişkisinden etkilenmektedir (Foegeding 2007, Ozcan ve Baysal 2018).

Tekstür özellikleri, belirli doku özelliklerini değerlendirmek için eğitilmiş panelistler tarafından duyu analizi teknikleriyle en doğru şekilde ölçülmektedir (Foegeding 2007, Foegeding ve ark. 2010). Ancak son yıllarda, birçok ürün için reolojik ölçümler ile duyu algısı arasında yakın ilişki olduğu bildirilmiş ve ağızda çiğnemeyi taklit eden alternatif enstrümental yöntemlerin kullanımı son yıllarda giderek artmaya başlamıştır (de Wijk ve ark. 2011, Stokes ve ark. 2013).

Yağda su emülsiyonlarının kristalizasyonu genel olarak, emülsiyonun bileşimi, sıcaklık uygulaması ve yağın dağılım durumundan etkilenen karmaşık bir süreçtir. Lipitlerin polimorfizm göstermesi, yağ kristallerinin karmaşıklığına ve oldukça heterojen olan iki veya daha fazla fazdan oluşan sistemin reolojik davranışlarına katkıda bulunmaktadır (Lopez ve ark. 2002a, 2005).

Tereyağ ve margarinin mikro yapısı karşılaştırıldığında, margarin sürekli bir yağ kristali içinde veya yağ kristali ile kümeleşen bir ağ oluştururken, tereyağın diğer matriks bileşeni maddelerle etkileşime girmeyen veya sınırlı bir etkileşime sahip olan yağ kürecikleri içeren çok daha fazla sürekli olmayan bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu yapısal özellikler de tereyağın sertlik, sürülebilirlik, ağız hissi, emülsiyon stabilitesi gibi fonksiyonel özelliklerine katkıda bulunmaktadır (Wright ve ark. 2000, Bobe ve ark. 2003, Rønholt ve ark. 2012a,b).

Bununla birlikte, sistemin elastikiyeti, yapıya yüksek deformasyon sağlayan yağ küreciklerinin varlığından büyük ölçüde etkilenmektedir. Sürekli faz sistemlerinde (margarin), sistemde yağ kürecikleri olan veya olmayan bir kristal ağı varlığı sistemin

sertliğine güçlü bir şekilde katkıda bulunurken, bu sistemler düşük yapı deformasyonu ile karakterize edilmektedirler (Fearon 2011, Rønholt ve ark. 2013).

Sertlik ve sürülebilirlik, tüketiciler tarafından tereyağında algılanan en önemli özelliklerdir ve bu özellikler tekstür profil analizi (large deformation testing) ve reolojik (small deformation testing) tekniklerle belirlenebilmektedir (Labuza 2000, Wright ve ark. 2001)

Denemeyi oluşturan tereyağı örneklerinin tekstür değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde, tereyağı örneklerinin tekstürel değerleri arasındaki farklılık tereyağı çeşidi ve depolama süresine bağlı olarak istatistiksel bakımdan $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Tereyağı örneklerinde en yüksek sıklık/sertlik değeri geleneksel yöntemle üretilen kontrol (1568,00 g) örneğinde bulunmuştur. Bu örneği TL6/10 ve TL8/10 örneği izlemiştir. 15 saat olgunlaştırılan TK6/15, TL6/15 ve TK8/15 örnekleri ise daha yumuşak olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Tereyağı örneklerine ait tekstürel farklılıkların asitlendirme yöntemi, kristallizasyon sıcaklığı ve süresi, kristal topakları, kürecikler ve ağ oluşumu gibi maksimum stres faktörlerine bağlı olarak çeşitli spesifik etkileşimlerden etkilendiği söylenebilir (Şekil 4.2., 4.3., 4.4., 4.5).

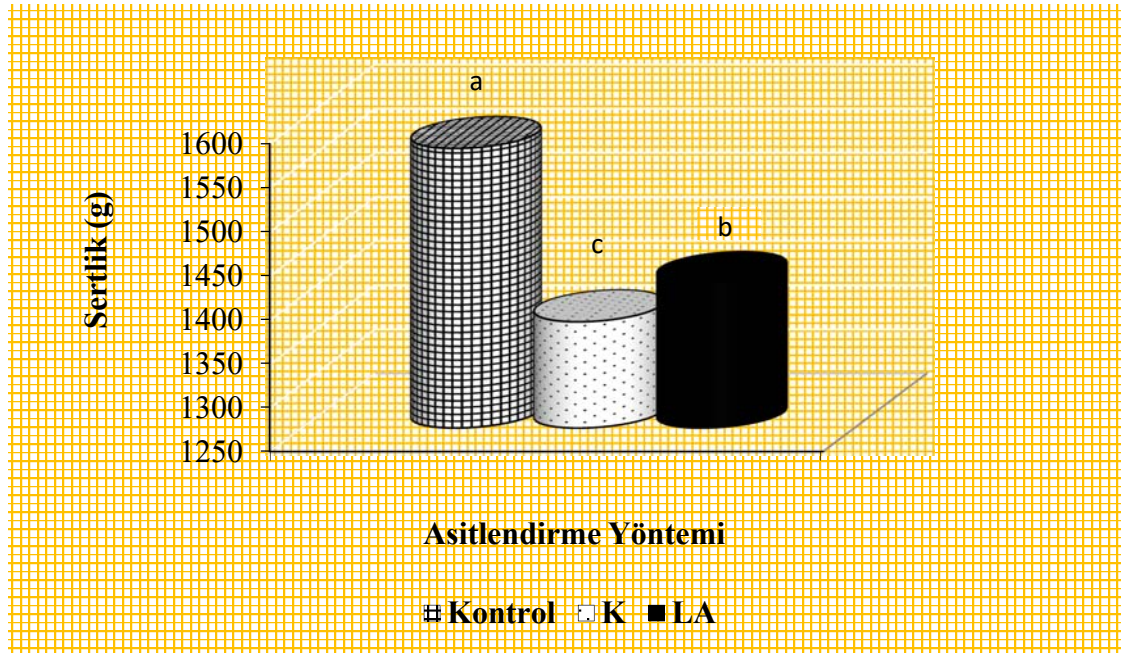
Fox ve Kelly (2012) tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin ve fiziksel stabilitesinin, sistemde süt yağı kürecikleri içinde ve dışında meydana gelen süt yağının kristalleşmesinden etkilendiğini belirtmiştir.

Geleneksel yöntemle ve kültür ilavesinden sonra ön fermantasyonla üretilen kontrol örneğinin sertliği soğutma sıcaklığı ve kristalizasyon sıcaklığından bağımsız olarak yüksek olarak bulunmuştur (Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5).

Çizelge 4.4. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerine ait LSD testi sonuçları

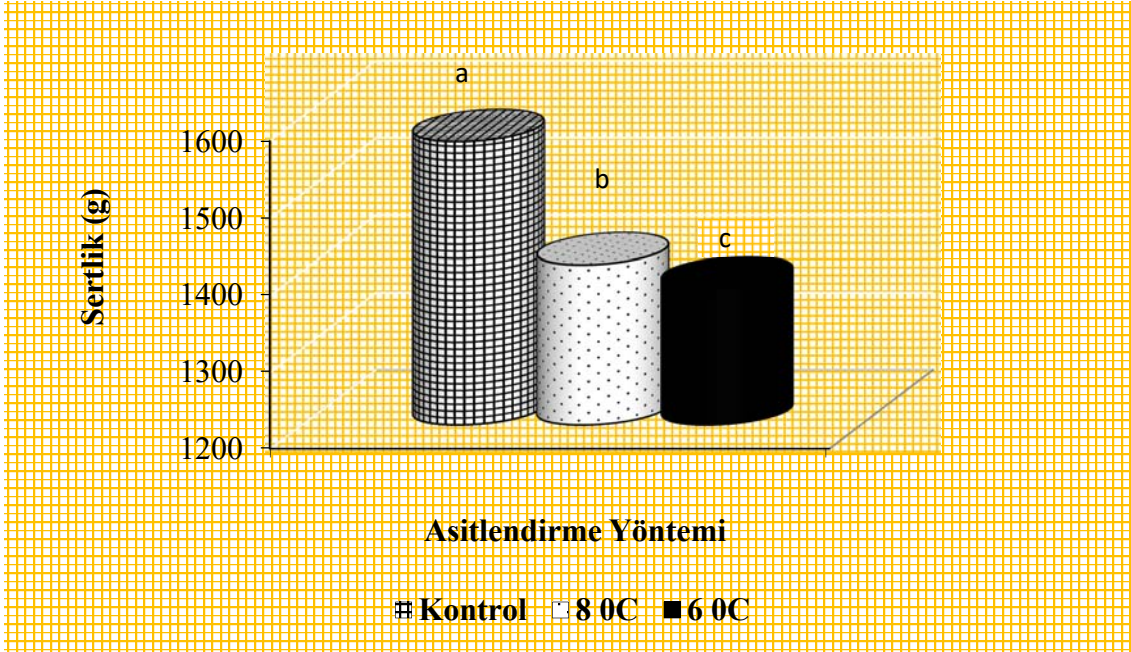
Tereyağı Çeşidi	Sertlik (g)
K	1568,00 ^a
TK6/10	1431,29 ^c
TK6/15	1273,42 ^e
TL6/10	1497,03 ^b
TL6/15	1310,21 ^{de}
TK8/10	1463,27 ^{bc}
TK8/15	1318,31 ^{de}
TL8/10	1501,20 ^b
TL8/15	1351,50 ^d
Depolama	
1.gün	1437,48 ^b
1. ay	1244,22 ^c
3. ay	1502,39 ^a
6.ay	1466,67 ^{ab}
ANOVA^a	
Örnek (Ö)	**
Depolama Süresi (D)	**

^aP- değerleri: *P<0.05; **P<0.01; (ns) önemsiz. Farklı harf taşıyan ortalamalar birbirinden farklıdır.

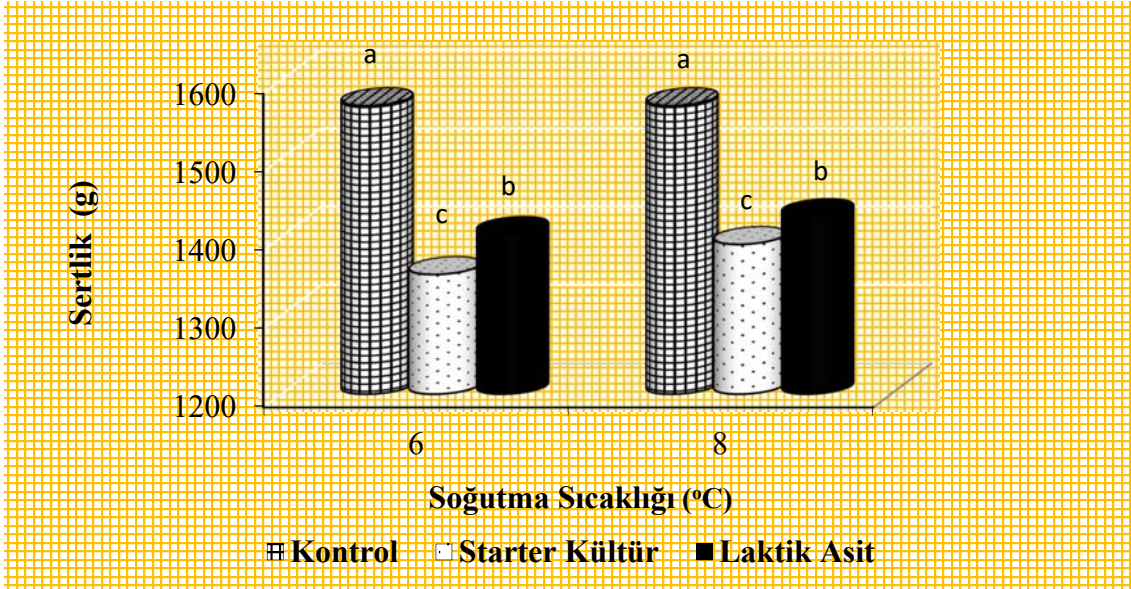


Şekil 4.2. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin asitlendirme yöntemine bağlı olarak değişimi

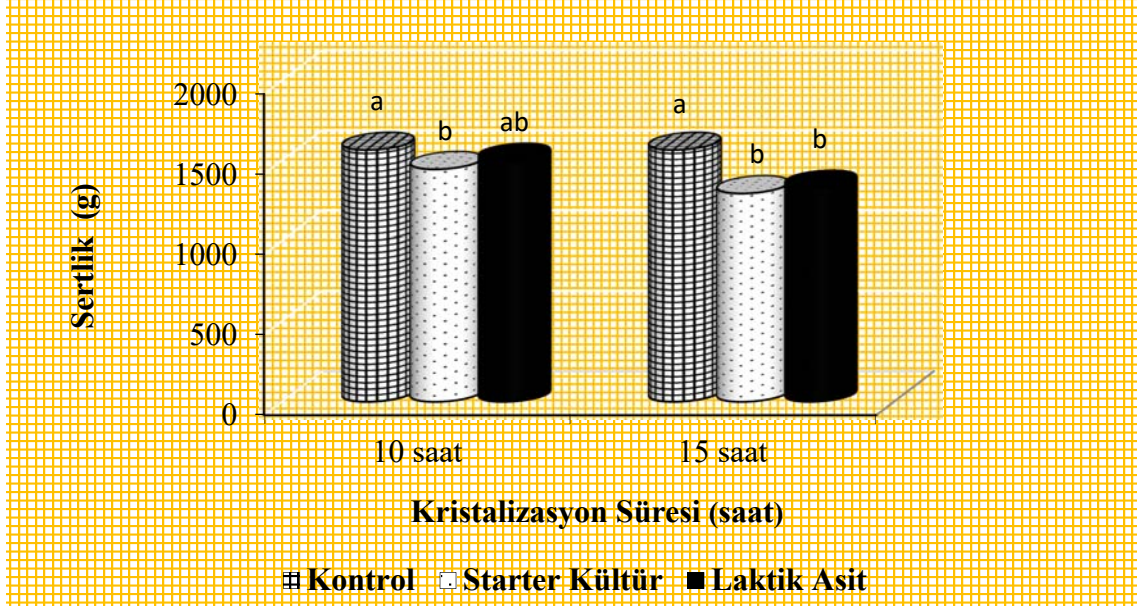
Çalışmada, 6°C’de kristalize edilerek fiziksel olarak olgunlaştırılan tereyağı örnekleri daha yumuşak olarak saptanmıştır (Şekil 4.3). 15 saat olgunlaştırılan tereyağı örnekleri de daha yumuşak olarak belirlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.3. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin soğutma sıcaklığına bağlı olarak değişimi



Şekil 4.4. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin soğutma sıcaklığı ve asitlendirme yöntemine bağlı olarak değişimi



Şekil 4.5. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin asitlendirme yöntemine ve kristalizasyon süresine bağlı olarak değişimi

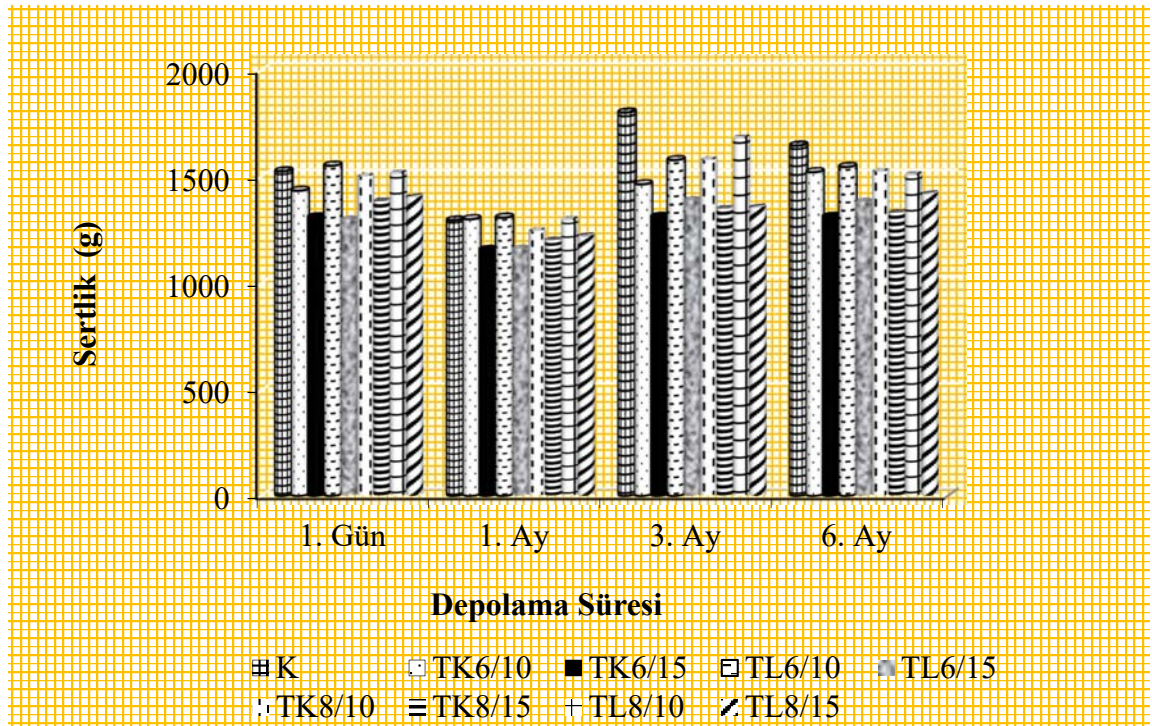
Pothiraj ve ark (2012) tereyağı benzeri ürünlerin tekstürünün katı yağ içeriğine, kristal ağna, kristal sayısına, boyutlarına, morfolojisine ve polimorfizmine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bir yağ kristal ağının mikro yapısı öncelikli olarak kristalizasyon mekanizmasına, dolayısıyla soğutma hızına, kristalleşme sıcaklığına, emülsifiye edilmiş yağın varlığına ve asidifikasyona bağlıdır. Genel olarak, mikro yapı özellikleri katı/sıvı oranından etkilenmektedir. Bununla birlikte aynı katı /sıvı seviyesinde dahi mikro yapı, kristallerin ve kristal kümelerinin boyutuna ve aralarındaki bağların miktarına ve türüne bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir (Herrera ve Hartel 2000a,b, Vithanage ve ark. 2009).

Bununla birlikte sürekli bir kristal ağı yoksa veya kristaller ve kristal kümeleri aralarında zayıf bağlantılar oluşturuyorsa bu sistem yağ bazlı ürünün mekanik özelliklerine katkıda bulunmamaktadır (Herrera ve Hartel 2000a, Tang ve Marangoni 2007, Marangoni ve Tang 2008).

Glibowski ve ark.(2008), en fazla dış yapışkanlık ve daha az iç yapışkanlık gösteren ürünün yüksek yağ içeriğine sahip, daha az dış yapışkanlık ve fazla iç yapışkanlığa sahip ürünün en düşük yağ içeriğe sahip olarak bir sürülebilme özelliği gösterdiğini

belirtmiştir. Tüm örnekler, tiksotropik ve shear-thinning davranışı sergilerken, sürülebilirlik ve sertlik arasında yüksek bir korelasyon bulunmuştur.

Tereyağı örneklerinin sıklık/sertlik değerlerinin depolama süresine ait LSD testi sonuçları incelendiğinde ise depolama boyunca değerlerin artış gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.4, Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Tereyağı örneklerinin tekstürel özelliklerinin asitlendirme yöntemi, soğutma sıcaklığı ve kristalizasyon süresine bağlı olarak depolama boyunca değişimi

Tereyağında sürülebilme yeteneğinin, tereyağı kurumadde içeriğindeki azalma ve süt yağı globül membranının daha fazla su tutmasının bir sonucu olarak süt yağı globülünün büyüklüğünün azalması ile geliştiği de Goudédranche ve Bedi (2000) ve Michalski ve ark. (2002) tarafından belirtilmiştir.

4.4. Tereyağı Örneklerinin Duyusal Özellikleri

Tereyağı örneklerinin duyusal özelliklerine ait LSD testi sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Tereyağı çeşitleri arasındaki farklılığın görünüş özellikleri ($p<0,05$) ve diasetil varlığı ($p<0,01$) açısından istatistiksel bakımdan önemli olduğu belirlenirken

diğer duyuşal özellikler de belirgin farklılıklar ortaya çıkmamıştır ($p>0,01$). Tereyağı örneklerinin görünüş özellikleri açısından K, TK6/10, TK6/15, TL6/10, TL6/15 ve TK8/15 örnekleri daha çok beğenilirken genel olarak sonuçlar benzer bulunmuştur (Çizelge 4.5, Şekil 4.7).

Diasetil varlığı genel olarak bakteriyel fermentasyona bağılı olarak kültür ilave edilen tereyağı örneklerinde daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.5, Şekil 4.8).

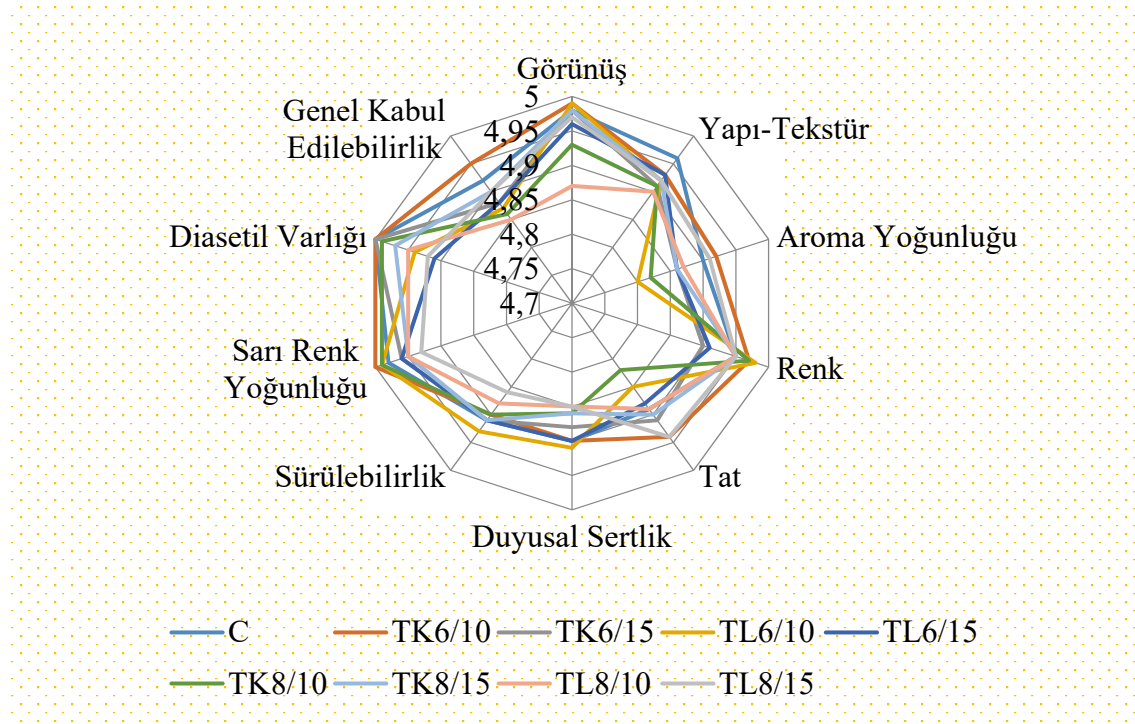
Gıda emülsiyonlarının görünümü, konsantrasyonlarına ve boyutlarına bağılı olarak yağ damlacıklarından saçılan ışıktan etkilenmektedir. Emülsiyon esaslı gıda ürünlerinin aromasının belirlenmesinde ise "tekstür" ve "ağızda bıraktığı his" gibi algılar önemli bir rol oynamaktadır (Smith ve Margolskee 2001). Kremamsı yapı, yoğunluk, pürüzsüzlük, incelik, kalınlık, nemlilik, sıklık/sertlik ve burukluk gıda emülsiyonlarının temel duyuşal tanımlayıcıları olarak belirtilmiştir (Chen ve Eaton 2012, Laikoja ve ark. 2017).

Genel kabul edilebilirlik özellikleri bakımından tüm tereyağı örnekleri aynı derecede beğenilmiştir ($p>0,01$) (Çizelge 4.5).

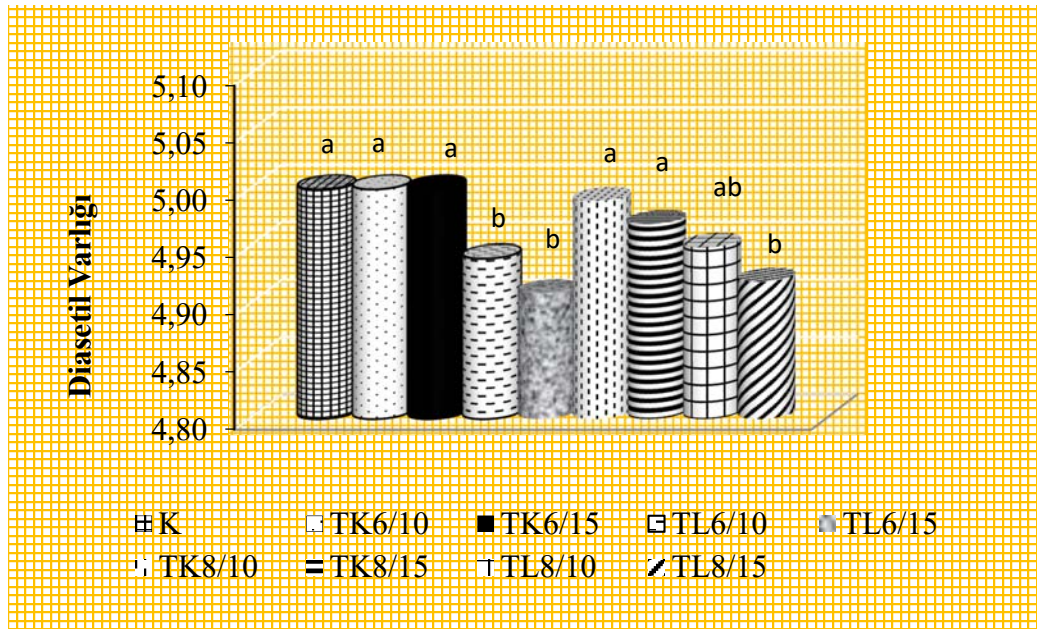
Gıda matrisinde, serbest yağ asitleri, yüksek oranda aromatik katabolik son ürünleri üreten ileri reaksiyonlarda, özellikle metil ketonlar, laktonlar ve esterlerin (meyvemsi kusurdan sorumludur) oluşumunda substrat olarak görev yapmaktadır. Trigliseritlerin hidrolizasyonu sonucu oluşan serbest yağ asitlerinden küçük moleküllu olanlar tat-aromaya katkıda bulunurken, yüksek moleküllu yağ asitlerinin tatsız-kokusuz olması nedeniyle tat ve aroma üzerine herhangi bir etkileri bulunmamaktadır (Collins ve ark. 2003, Krause ve ark. 2008).

Tatlı krema tereyağlarında serbest yağ asitlerinin düzeyi ransid tat oluşmadan ürünün depolanacağı süreyi belirlemektedir. Ransid tattan kısa zincirli yağ asitleri (C4–C10) sorumludur. Serbest yağ asitlerinin özelliğine ve miktarına bağılı olarak ransid tat ile aroma bozuklukları meydana gelebilmektedir. Ancak, kültür ilave edilmiş krema tereyağlarının karakteristik laktik aromasından dolayı bu tereyağlarında daha yüksek

düzyeyde serbest yağ asitlerinin tolere edilebildiği belirtilmiştir (Fearon 2011, Laikoja ve ark. 2017).



şekil 4.7. Tereyağı örneklerinin duysal özelliklerinin asitlendirme yöntemi, soğutma sıcaklığı ve kristalizasyon süresine bağlı olarak değişimi



şekil 4.8. Tereyağı örneklerinin diasetil varlığının asitlendirme yöntemi, soğutma sıcaklığı ve kristalizasyon süresine bağlı olarak değişimi

Genel olarak, ürünlerin son doku algısı insan duyuşal değerlendirmesine dayanmaktadır. Tereyağı tamamen farklı bir mikro yapı özelliği göstermektedir ve süreksiz bir yağ küresi yapısı bulunmaktadır. Bu, orijinal kremadaki birçok süt yağı globülünün çalkalama/yayıklama işlemleri sırasında durumunu devam ettirdiğini ifade etmektedir (Rønholt ve ark. 2014, Laikoja ve ark. 2017).

Depolama süresi görünüş hariç tüm duyuşal özelliklerde önemli derecede etkili olmuştur ($p < 0,05$ ve $p < 0,01$). Tereyağı örneklerinin genel kabul edilebilirlik değerlerinin depolama süresine ait LSD testi sonuçları incelendiğinde en yüksek toplam kabul edilebilirlik değeri 3. ayda (4,96), en düşük genel kabul edilebilirlik değeri ise 4,83 ile depolama sonu olan 6. ayda saptanmıştır (Çizelge 4.5, Şekil 4.7).

Çizelge 4.5. Tereyağı örneklerinin duyu özelliklerine ait LSD testi sonuçları

Tereyağı Çeşidi	Görünüş	Yapı ve Tekstür	Aroma Yoğunluğu	Renk	Tat	Duyusal Sertlik	Sürülebilirlik	Sarı Renk Yoğunluğu	Diasetil Varlığı	Genel Kabul Edilebilirlik
K	4,98 ^a	4,96 ^a	4,90 ^a	4,95 ^a	4,89 ^a	4,90 ^a	4,91 ^a	4,98 ^a	5,00 ^a	4,92 ^a
TK6/10	4,99 ^a	4,93 ^a	4,92 ^a	4,97 ^a	4,94 ^a	4,90 ^a	4,90 ^a	5,00 ^a	5,00 ^a	4,95 ^a
TK6/15	4,98 ^a	4,91 ^a	4,86 ^a	4,90 ^a	4,91 ^a	4,88 ^a	4,91 ^a	4,96 ^a	5,00 ^a	4,88 ^a
TL6/10	4,99 ^a	4,92 ^a	4,80 ^a	4,98 ^a	4,85 ^a	4,91 ^a	4,93 ^a	4,99 ^a	4,94 ^{ab}	4,87 ^a
TL6/15	4,96 ^a	4,93 ^a	4,86 ^a	4,91 ^a	4,88 ^a	4,90 ^a	4,91 ^a	4,96 ^a	4,91 ^b	4,88 ^a
TK8/10	4,93 ^{ab}	4,91 ^a	4,82 ^a	4,97 ^a	4,82 ^a	4,86 ^a	4,90 ^a	4,99 ^a	4,99 ^a	4,86 ^a
TK8/15	4,98 ^a	4,92 ^a	4,86 ^a	4,95 ^a	4,90 ^a	4,86 ^a	4,91 ^a	4,95 ^a	4,97 ^{ab}	4,90 ^a
TL8/10	4,87 ^b	4,90 ^a	4,87 ^a	4,95 ^a	4,89 ^a	4,85 ^a	4,88 ^a	4,95 ^a	4,95 ^{ab}	4,85 ^a
TL8/15	4,97 ^a	4,92 ^a	4,91 ^a	4,95 ^a	4,94 ^a	4,85 ^a	4,86 ^a	4,93 ^a	4,92 ^b	4,90 ^a
Depolama										
1.gün	4,95 ^a	4,88 ^b	4,81 ^b	4,92 ^b	4,84 ^b	4,82 ^b	4,90 ^{ab}	4,98 ^a	4,98 ^a	4,86 ^{bc}
1. ay	4,97 ^a	4,95 ^a	4,87 ^{ab}	4,98 ^a	4,91 ^{ab}	4,88 ^{ab}	4,89 ^{ab}	4,99 ^a	4,98 ^a	4,91 ^{ab}
3. ay	4,98 ^a	4,94 ^a	4,94 ^a	4,97 ^a	4,95 ^a	4,95 ^a	4,96 ^a	4,97 ^a	4,95 ^b	4,96 ^a
6. ay	4,95 ^a	4,92 ^{ab}	4,85 ^{ab}	4,91 ^b	4,85 ^b	4,85 ^b	4,86 ^b	4,93 ^b	4,94 ^b	4,83 ^c
ANOVA^a										
Örnek (Ö)	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
Depolama Süresi (D)	ns	*	**	**	**	**	**	**	**	**

^aP- değerleri: (*) P<0.05 (**) P<0.01 (ns) önemsiz. Farklı harf taşıyan ortalamalar birbirinden farklıdır.

K: Geleneksel yöntem ile yapılan kontrol tereyağı, TK6/10: 6°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TK6/15: 6°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TL6/10: 6°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TL6/15: 6°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TK8/10: 8°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TK8/15: 8°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan kültür ilaveli tereyağı, TL8/10: 8°C'de 10 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı, TL8/15 8°C'de 15 h olgunlaştırılan kremadan yapılan laktik asit ilaveli tereyağı

4.5. Tereyağı Üretiminden Arta Kalan Yayıkaltı Sularının Bileşimi

Tereyağı üretiminde yayıklama sırasında tereyağı ve yayıkaltı olarak emülsiyon ve sıvı olmak üzere iki faz oluşmaktadır. Yayıkaltı suyu kremadaki suda çözünen bileşenlerin büyük bir kısmını ve yüksek miktarda süt yağ globül membranı (SYGM) içeriğiyle fonksiyonel bir değer taşımaktadır (Gille 2011, Conway ve ark. 2014).

Yayıkaltı sularının bileşimine ait LSD testi sonuçları Çizelge 4.6'de verilmiştir. Yayıkaltı suları arasındaki farklılığın örnekler açısından istatistiksel bakımdan önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0,01$). Yayıkaltı suyu örnekleri kurumadde açısından değerlendirildiğinde en yüksek kurumadde (%) TK8/15 ve TL8/15 örneklerinde, yağ (%) TK6/15 ve TL6/15 örneğinde belirlenmiştir. Üretim koşulları pH üzerinde çok fazla etkili olmazken klasik yöntemle ön kültürleme ve fermantasyon ile ve ayrıca sonradan kültür ilavesinin yapıldığı kısa bir fermantasyonun gerçekleştiği tereyağı örneklerinden elde edilen yayıkaltılarında pH da farklılık ortaya çıkmış en düşük pH kontrol örneğinde bulunmuştur (Çizelge 4.6.)

Çizelge 4.6. Yayıkaltı suyu örneklerinin bileşimine ait LSD sonuçları

Yayıkaltı Suyu	Kurumadde (%)	Yağ (%)	pH
Kontrol	5,43 ^e	0,73 ^b	4,75 ^b
TK6/10	7,15 ^d	0,64 ^e	6,70 ^a
TK6/15	7,42 ^b	0,76 ^a	6,73 ^a
TL6/10	7,18 ^{cd}	0,63 ^e	6,70 ^a
TL6/15	7,38 ^b	0,76 ^a	6,70 ^a
TK8/10	7,21 ^c	0,70 ^c	6,72 ^a
TK8/15	7,47 ^a	0,74 ^{ab}	6,70 ^a
TL8/10	7,17 ^{cd}	0,68 ^d	6,72 ^a
TL8/15	7,48 ^a	0,73 ^b	6,70 ^a
P-değeri^a	**	**	**

^aP- değerleri: (*) $P<0.05$ (**) $P<0.01$ (ns) önemsiz. Farklı harf taşıyan ortalamalar birbirinden farklıdır.

5. SONUÇ

Süt yağı; beslenme, tekstür, tat ile aroma oluşumu ve ekonomik yönüyle süt ve süt ürünlerinde büyük önem taşımaktadır. Tekstür, tereyağının tüketici beğenisini ve teknolojik özelliklerini belirleyen en önemli kalite özelliğidir. Tereyağı hammaddesi kremanın bileşimi ve işleme yöntemi son ürünün tekstürünü belirleyen başlıca faktörlerden birisidir.

Bu çalışmada, tereyağı üretiminde kullanılan hammadde kremanın kristalizasyon ve asidifikasyon özellikleri değiştirilerek ürünün fiziko-kimyasal, tekstürel ve duyuşal özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, çiğ süttten elde edilen krema 95°C'de 17 saniye pastörize edilerek ve ardından 6 ve 8°C'deki çıkış sıcaklıklarıyla olgunlaştırma tanklarına alınarak farklı sürelerde (10 ve 15 saat) fiziksel olgunlaştırmaya bırakılmış ve daha sonra laktik asit permatı ve doğal tereyağı kültürü (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* ve *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*) ilavesi ile farklı asitlendirme yöntemleri kullanılarak tereyağı üretilmiştir.

Burada iki farklı krema çıkış sıcaklığı seçilmesinin amacı başlangıç sıcaklığının kristalizasyona etkisinin, farklı bekleme/depolama süreleri kullanılmasının amacı ise zamanın fiziksel olgunlaştırmaya ve dolayısıyla tereyağı tekstürüne ne derece etkili olduğunun belirlenmesidir. Farklı asitlendirme yönteminin kullanılması ise, asitlendirme materyalinin tereyağının işlenmesi ve depolanması sırasındaki reolojik ve duyuşal özellikler üzerine etkisinin araştırılmasını amaçlanmaktadır. Bunlara ek olarak bir de kontrol örneği olarak kremanın önceden kültüre edilip fermentasyonu ile elde edilen geleneksel sürekli yöntemle tereyağı üretimi gerçekleştirilmiş olup NIZO sistemle üretilen tereyağının geleneksel yöntemle üretilen yağdan fiziko-kimyasal, tekstürel ve duyuşal olarak farklılaştığı noktaların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma sonucunda şu verilere ulaşılmıştır:

- Tereyağı örneklerinin titrasyon asitliği oranları incelendiğinde, en yüksek titrasyon asitliği (%0,225) geleneksel yöntemle üretilen kontrol örneğinde bulunmuştur. Bu

örneği, 15 saat olgunlaştırılan TL6/15 (%0,195), TK8/15 (%0,194) ve TL8/10 (%0,207) tereyağı örneği takip etmiş, titrasyon asitliği depolama boyunca artmıştır.

- Tereyağı örneklelerinde en yüksek nem oranı TK8/15 (%18,04) ve TL8/15 (%17,56) örneğinde saptanmıştır. Tereyağı örneklelerinde nem oranları depolama boyunca değişmemiştir.

- Tereyağı örneklelerinde L^* değerleri ya da parlaklık depolama sonuna doğru azalmıştır. Ancak, tereyağı örneklelerinin L^* değerlerinde belirgin bir farklılık görölmemiştir.

- Tereyağı örneklelerinde en yüksek a^* ve b^* değerleri TK8/10 örneğinde bulunurken genel anlamda belirtilen renk özellikleri örneklelerde birbirine yakın olarak saptanmıştır. Depolama süresi a^* ve b^* değerleri üzerinde önemli bir değişiklik yaratmamıştır.

- Renk farklılığı olarak tanımlanan en yüksek ΔE^* değeri TK8/10 örneğinde bulunmuştur.

- Tereyağı örneklelerinde palmitik asit (%25,90-30,18), stearik asit (%11,14-11,98) ve miristik asit (%8,39-10,74) en baskın doymuş yağ asitleri olarak tespit edilmiştir.

- Tereyağı örneklelerinin oleik asit içeriği, doymamış yağ asitleri içerisinde en yüksek değerlerde olup %23,24- 28,80 arasında saptanmıştır.

- Tereyağı örneklelerinde toplam kısa zincirli yağ asidi oranları (SCFA) %2,35-4,05, orta zincirli yağ asidi oranları (MCFA) %15,97-19,35 arasında, minimum ve maksimum uzun zincirli yağ asitleri (LCFA) %66,07-75,99 ve çok uzun zincirli yağ asitleri ise (VLCFA) %4,21-6,32 olarak belirlenmiştir.

- Tereyağı örneklelerinde en yüksek sıklık/sertlik değeri geleneksel yöntemle üretilen kontrol (1568,00 g) örneğinde ve daha sonra TL6/10 ve TL8/10 örneklelerinde bulunmuştur. 15 saat olgunlaştırılan TK6/15, TL6/15 ve TK8/15 örnekleleri daha yumuşak olarak belirlenmiştir. Tereyağı örneklelerinin tekstürel özellikleri, soğutma

sıcaklığı ve asitlendirme yöntemi ile asitlendirme yöntemine ve kristalizasyon süresine bağlı olarak incelendiğinde sertlik değeri yine geleneksel yöntemle üretilen kontrol örneğinde yüksek bulunmuştur. Bu değerler tüm örneklerde depolama boyunca artış göstermiştir.

- Tereyağı örneklerinin duysal özellikleri incelendiğinde genel kabul edilebilirlik özellikleri bakımından tüm tereyağı örnekleri aynı derecede beğenilmiştir. Depolama süresi görünüş hariç tüm duysal özelliklerde önemli farklılık yaratmamıştır. Diasetil varlığı 6°C’de kristalizasyon uygulanan örneklerde daha çok beğenilmiştir.

- Tereyağı üretiminden arta kalan yayıkaltı sularının bileşimi en yüksek kurumadde (%) TK8/15 ve TL8/15 örneklerinde, yağ (%) TK6/15 ve TL6/15 örneklerinde belirlenmiştir. Üretim koşullarına göre, starter kültür ve laktik asit ilave edilerek üretilen tereyağlarından elde edilen yayıkaltılarında pH da farklılık ortaya çıkmış, en düşük pH kontrol örneğinde bulunmuştur.

- Kremanın kristalizasyonu ve tereyağının bileşiminde bulunan kristal network ya da ağı, yağ fazı içerisinde dağılmış olan su damlacıklarının fiziksel stabilizasyonu ile ürünün stabilitesi ve mikro yapısı üzerinde etkili olmaktadır. Tereyağı üretiminde kremaya uygulanan işlemlerin esas amacının tüketici beğenisini arttırmaya yönelik olduğu göz önüne alınırsa, sonuçlar arasında belirgin bir fark olmamasına rağmen 6°C’de olgunlaştırılan kremadan ve tereyağı kültürü enjeksiyonu ile üretilen üründe tereyağının karakteristik tadını oluşturan en önemli bileşenlerden olan diasetil miktarının diğerlerine kıyasla yüksek olması ve 15 saat olgunlaştırılan kremadan üretilen ürünlerin sertlik değerinin diğerleriyle karşılaştırıldığında daha düşük tespit edilmesi dolayısıyla, tereyağı üretiminde 6°C’de 15 saat olgunlaştırılan kremadan kültür ilavesi ile üretilen yöntemin kullanılması üretici açısından avantaj sağlayabilir.

Tereyağının reolojik davranışı tek bir özellik ile değil birçok parametrenin etkileşimi ile ortaya çıkmaktadır. Kristallendirme, yayıklama ve yoğurma gibi üretim aşamaları kristal biçimi ile birlikte kristal oluşum sayısına ve boyutuna da etki etmektedir. Bu

faktörlere bağı olarak da ürünün sertliğı ve duysal özellikleri değışmektedir. Depolama süresince ise katı yağ içeriğı ve kristal ağının dayanıklılığı da artmaktadır.

Sonuç olarak, istenilen tüketim özelliklerine uygun tereyağı tekstürünün elde edilmesi, işlenecek kremanın özelliklerine bağı olarak uygulanacak işleme yöntemleri ile mümkün olmaktadır. Ancak bu sonuçların reolojik ölçümler ile desteklenmesi, kristal oluşumunun görüntülenmesi, SEM mikrografları ile belirlenen bu mikro yapı analizleri ile dinamik reolojik ölçümlerin korelasyonunun incelenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, farklı sıcaklık ve süre normlarının araştırılması, raf ömrünü uzatmak ve duysal özelliklerin depolama boyunca daha da geliştirilmesini sağlamak için farklı üretim modifikasyonlarının denenmesi gerektiğı de düşünölmektedir.

Son yıllarda yaşam kalitesinin artırılması amacıyla tüketicilerin gıda tüketme alışkanlıklarında değışimlerin olduğı görölmektedir. Diyetle alınan yağ miktarı ile şişmanlık, kalp ve damar rahatsızlıkları, yüksek tansiyon ve diğerkronik hastalıklar arasında bir ilişki olduğı herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Ancak, süt yağının, sütün ve süt ürünlerinin en değıerli bileşenlerinden biri olduğı unutulmamalıdır. Yüksek kalorili bir beslenme sonucu oluşan plazma kolesterol düzeyindeki artış, sağlıklı ve dengeli bir tüketim alışkanlığı ile önlenebilmektedir. Bu nedenle, tereyağı gibi süt yağı ve kolesterol içeren hayvansal besinlerin sınırlı tüketimine ilişkin öneriler serum kolesterol düzeyleri yüksek, kalp-damar hastalıklarına yatkın bireyler için geçerli ve yararlı olabilir.

Sağlıklı beslenme ve hayvansal besin tüketimini olumsuz yönde etkileyeceğı de düşünöldüğünde bu önerileri tüm toplumu kapsayacak şekilde genelleştirmekten sakınılmalıdır. Şunu da unutmamak gerekir ki yağlar; enerji açısından zengin bileşenler olmalarının yanısıra esansiyel yağ asitlerini de içermektedirler. Bu nedenle süt yağı içeriğini beslenmede azaltmak yerine toplam kalori miktarını azaltmak yeterli ve dengeli bir beslenme açısından önemli bir yaklaşımdır.

KAYNAKLAR

- Acevedo, N., Marangoni, A.G. 2010.** Toward nanoscale engineering of triacylglycerol crystal networks. *Crystal Growth & Design*, 10(8): 3334–3339.
- Anonim, 2005.** Türk Gıda Kodeksi Tereyağı, Diğer Süt Yağı Esaslı Sürülebilir Ürünler ve Sadeyağ Tebliği, T. C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tebliğ No: 2005/19, Ankara
- Aquilano, D., Sgualdino, G. 2001.** Fundamental aspects of equilibrium and crystallization kinetics: Crystallization processes in fats and lipid systems, Ed.: Sato, K., Garti, N., Marcel Dekker, New York, pp. 1-51.
- Atamer, M. 2016.** Tereyağı Teknolojisi. Sidas Medya Ltd. Şti., İzmir, 183 s.
- Baer, R. J., Ryali, J. D., Schingoethe, J. 2001.** Composition and properties of milk and butter from cows fed fish oil. *Journal of Dairy Science*, 84: 345-353.
- Bendall, J. G. 2001.** Aroma compounds of fresh milk from New Zealand cows fed different diets. *J. Agric. Food. Chem.*, 49(10): 4825–4832.
- Benito, P., Nelson, G. J., Kelley, D. S., Bartolini, G., Schmidt, P. S., Simon, V. 2001.** The effects of conjugated linoleic acid on plasma lipoproteins and tissue fatty acid composition in humans. *Lipids*, 36(3): 229-236.
- Bitman, J., Wood, D. L. 1990.** Changes in milk phospholipids during lactation. *J. Dairy Sci.*, 73(5): 1208–1216.
- Bobe, G., Hammond, E. G., Freeman, A. E., Lindberg, G. L., Beitz, D. C. 2003.** Texture of butter from cows with different milk fatty acid compositions. *Journal of Dairy Science*, 86(10): 3122-3127.
- Boode, K., Walstra, P. de Groot-Mostert, A. E. A. 1993.** Partial coalescence in oil-in-water emulsions 2. Influence of the properties of the fat. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 81: 139-151.
- Bugeat, S., Briard-Bion, V., Perez, J., Pradel, P., Martin, B., Lesieur, S., Bourgaux, C., Ollivon, M., Lopez, C., 2011.** Enrichment in unsaturated fatty acids and emulsion droplet size affect the crystallization behaviour of milk triacylglycerols upon storage at 4 degrees. *C. Food Res Int.*, 44(5): 1314–1330.
- Buldo, P. 2012.** Crystallization of fat in and outside milk fat Globules - Effect of processing and storage conditions. *PhD Thesis*, Department of Food Science Faculty of Science and Technology, Aarhus University, Denmark, 90s.
- Buss, D. H., Jackson, P. A., Scuffam, D. 1984.** Composition of butters on sale in Britain. *J. Dairy. Res.*, 51(4): 637–641.
- Campos, R., Narine, S. S., Marangoni, A. G. 2002.** Effect of cooling rate on the structure and mechanical properties of milk fat and lard. *Food Research International*, 35(10): 971-981.
- Carroll, S. M., DePeters, E. J., Taylor, S. J., Rosenberg, M., Perez-Monti, H., Capps, V. 2006.** Milk composition of Holstein, Jersey, and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Anim Feed Sci Technol.*, 131(3–4):451–473.
- Castro-Gómez M. P., Rodriguez-Alcalá, L. M., Calvo, M. V., Romero, J., Mendiola, J. A., Ibañez, E., Fontecha, J. 2014.** Total milk fat extraction and quantification of polar and neutral lipids of cow, goat, and ewe milk by using a pressurized liquid system and chromatographic techniques. *Journal of Dairy Science*, 97(11): 6719-6728.
- Cherian, G., Georger, M. P., Ahn, D. U. 2002.** Dietary conjugated linoleic acid with fish oil alter yolk n-3 and trans fatty acid content and volatile compounds in raw, cooked and irradiated eggs. *Poultry Science*, 81(10): 1571-1577.

- Chen, S., Bobe, G., Zimmerman, S., Hammond, E. G., Luhman, C. M., Boylston, T. D., Freeman, A. E., Beitz, D. C. 2004.** Physical and sensory properties of dairy products from cows with various milk fatty acid compositions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11): 3422-3428.
- Chen, J. S., Eaton, L. 2012.** Multimodal mechanisms of food creaminess sensation. *Food and Function*, 3(12): 1265-1270.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M. 2001.** Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livestock Production Science*, 70(1-2): 31-48.
- Christie, W. W., Noble, R. C., Davies, C. 1987.** Phospholipids in milk and dairy products. *J. Soc. Dairy Technol.*, 40(1): 10-12.
- Collins Y. F., McSweeney, P. L. H., Wilkinson, M. G. 2003.** Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: a review of current knowledge. *International Dairy Journal*, 13(11): 841-866.
- Contarini, G., Povolò, M. 2013.** Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(2): 2808-2831.
- Conway, V., Couture, P., Gauthier, S. V., Pouliot, Y. 2014.** Buttermilk: Much more than a source of milk phospholipids. *Journal of Animal Frontiers*, 4(2): 44-51.
- Couvreur, S., Hurtaud, C., Lopez, C., Delaby, L., Peyraud, J. L. 2006.** The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition and butter properties. *Journal of Dairy Science*, 89(6): 1956-1969.
- Davey, R. J., Garside, J. 2000.** From molecules to crystallizers: an introduction to crystallization. 1st edition, Oxford Univ. Press, 96 pp.
- Deeth, H. C. 1997.** The role of the phospholipids in the stability of milk fat globules. *Australian Journal of Dairy Technology*, 52 (1) 44-46.
- Deosarkar, S. S., Khedkar, C. D., Kalyankar, S. D. 2016.** Butter: Manufacture. Encyclopedia of Food and Health, Ed.: Cabellero, B., Finglas, P. M., Toldrá, F., Oxford: Academic Press, London, pp: 529-534.
- Dewettinck, K., Rombaut, R., Thienpont, N., Le, T. T., Messens, K., Van Camp, J. 2008.** Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane material. *International Dairy Journal*, 18(5): 436-457.
- de Wijk, R.A., Janssen, A.M., Prinz, J.F. 2011.** Oral movements and the perception of semi-solid foods. *Physiology and Behavior*, 104(3): 423-428.
- Drelon, N., Gravier, E., Daheron, L., Boisserie, L., Omari, A., Leal-Calderon, F. 2006.** Influence of tempering on the mechanical properties of whipped dairy creams. *International Dairy Journal*, 16(12): 1454-1463.
- Eckhardt, E. R. M., Wang, D. Q. H., Donovan, J. M., Carey, M. C. 2002.** Dietary SM suppresses intestinal cholesterol absorption by decreasing thermodynamic activity of cholesterol monomers. *Gastroenterology* 122(4): 948-956.
- Evers, J. M. 2004a.** The milkfat globule membrane--compositional and structural changes post secretion by the mammary secretory cell. *International Dairy Journal* 14(8): 661-674.
- Evers, J. M. 2004b.** The milkfat globule membrane--methodologies for measuring milkfat globule (membrane) damage. *International Dairy Journal*, 14(9): 747-760.

- Fagan, P., Wijesundera, C. 2004.** Liquid chromatographic analysis of milk phospholipids with on-line pre-concentration. *J. Chrom. A*, 1054(1-2): 241–249.
- Fearon A. M., Golding, M. 2008.** Butter and Spreads: Manufacture and Quality Assurance: Dairy Processing & Quality Assurance, Ed.: Chandan R. C., Kilara, A., Shah, N. P., Wiley-Blackwell, Iowa, USA, pp. 253-308.
- Fearon, A. M. 2011.** Butter and butter products: Dairy ingredients for food processing, Ed.: Chandan, R. C., Kilara, A., Blackwell Publishing, Iowa, USA, pp. 199-223.
- Fedotova, Y., Lencki, R. W. 2008.** The Effect of Phospholipids on Milk fat Crystallization Behavior. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(3): 205-212.
- Fedotova, Y., Lencki R. W. 2010.** The effect of phospholipids on butter physical and sensory properties. *J Am Oil Chem Soc.*, 87(1): 75–82.
- Fernandes, S. A. A., Ramos, de L. S., Ramos, E. M., Veras, D. V. S., Pinheiro, F. R., Lage Neto, S., Requião, L. A., Amui, T.S., Carneiro, J. C. S. 2007.** Sensory evaluation of buffalo Butter. *Italian Journal of Animal Science*, 6(2): 1140-1142.
- Foegeding, E. A. 2007.** Rheology and sensory texture of biopolymer gels. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 12(4-5): 242-250.
- Foegeding, E. A., Cakir, E., Koc, H. 2010.** Using dairy ingredients to alter texture of foods: Implications based on oral processing considerations. *International Dairy Journal*, 20(9): 562-570.
- Fox, P. F., Kelly, A. L. 2012.** Chemistry and biochemistry of milk constituents: Food biochemistry and food processing, Ed.: Simpson, B.K., Nollet, L. M. L., Toldra, F., Benjakul, S., Paliyath, G., Hui Y.H., Wiley & Sons, pp. 442-463.
- Frede, E., Buchheim, W. 1994.** Buttermaking and the churning of blended fat emulsions. *International Journal of Dairy Technology*, 47(1): 17-27.
- Frede, E. 2002.** Butter: *Encyclopedia of dairy sciences* (First Edition Vol.1), Ed.: Fuquay, J. W., Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Oxford: Academic, pp. 220–227.
- Fredrick, E., Van de Walle, D., Walstra, P., Zijtveld, J. H., Fischer, S., Van der Meeren, P., Dewettinck, K. 2011.** Isothermal crystallization behaviour of milk fat in bulk and emulsified state. *International Dairy Journal*, 21(9): 685-695.
- Garcia-Macias, P., Gordin, M. H., Frazier, R. A., Smith, K., Gambelli, L. 2011.** Performance of palm-based fat blends with a low-saturated fat content in puff pastry. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.*, 113(12): 1474–1480.
- Garcia-Macias, P., Gordin, M. H., Frazier, R. A., Smith, K., Gambelli, L. 2012.** Effect of TAG composition on performance of low-saturated shortenings in puff pastry. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.*, 114(7): 741–747.
- German, J. B., Dillard, C. J. 2006.** Composition, structure and absorption of milk lipids: a source of energy, fat-soluble nutrients and bioactive molecules. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 46(1): 57–92
- Gille, D. 2011.** The health aspects of Butter milk components. A review. Agroscope Liebefeld-Posieux Research Station ALP. No.540: 1-22, Berne.
- Glibowski, P., Zarzycki, P., Krzepakowska, M. 2008.** The rheological and instrumental textural properties of selected table fats. *International Journal of Food Properties*, 11(3): 678-686.
- Gnanasambandam, R., Bedi, A. 2012.** Composition and methods for soft butter. US Patent.
- Goudéranche, H., Fauquant, J., Maubois. J. L. 2000.** Fractionation of globular milk fat by membrane microfiltration. *Lait*, 80(1): 93-98.

- Gravier, E., Drelon, N., Boisserie, L., Omari, A., Leal-Calderon, F. 2006.** Consolidation of foams deriving from emulsions by temperature cycling ("tempering"). *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 282-283:360-368.
- Ha, Y. L., Grimm, N. K., Pariza, M. W. 1987.** Anticarcinogens from fried ground beef: heat altered derivatives of linoleic acid. *Carcinogenesis*, 8, 1881–1887.
- Heertje, I., Bendenburg, J., Cornelissen, J. M., Juriaanse, A. C. 1988.** The effect of processing on some microstructural characteristics of fat spreads. *Journal of Food Structure*, 7(2): 189–93.
- Heid, H. W., Keenan, T. W. 2005.** Intracellular origin and secretion of milk fat globules. *European Journal of Cell Biology*, 84(2–3): 245–258.
- Herrera, M. L., Hartel, R. W. 2000a.** Effect of processing conditions on physical properties of a milk fat model system: microstructure. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(11): 1197-1205.
- Herrera, M. L., Hartel, R. W. 2000b.** Effect of processing conditions on physical properties of a milk fat model system: Rheology. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(11): 1189-1196.
- Herrera, M. L., Hartel, R. W. 2000c.** Effect of processing conditions on physical properties of a milk fat model system: microstructure. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(11): 1197–1205.
- Herzallah, S. M., Humeid, M. A., Al-Ismail, K. M. 2005.** Effect of heating and processing methods of milk and dairy products on conjugated linoleic acid and trans fatty Acid isomer content. *Journal of Dairy Science*, 88(4): 1301-1310.
- Hillbrick, G., Augustin, M. A. 2003.** Milkfat characteristics and functionality: Opportunities for improvement. *Australian Journal of Dairy Technology*, 57(1): 45-51.
- Himawan, C., Starov, V. M., Stapley, A. G. F. 2006.** Thermodynamic and kinetic aspects of fat crystallization. *Advances in Colloid and Interface Science*, 122(1-3): 3-33.
- Hollander, F. F. A., Boerrigter, S. X. M., van de Streek, J., Bennema, P., Meekes, H., Yano, J., Sato, K. 2003.** Comparing the morphology of β -n.n.n with β' -n.n+2.n and β'' -n.n.n-2. *J Phys Chem B*, 107: 5680–5689.
- Hotrum, N. E. 2004.** Emulsion Droplet Spreading at Air/Water Interfaces: Mechanisms and Relevance to the Whipping of Cream. *Ph.D. Thesis*, Wageningen University, The Netherlands, 125s.
- Hurtaud, C., Faucon, F., Couvreur, S., Peyraud, J. L. 2010.** Linear relationship between increasing amounts of extruded linseed in dairy cow diet and milk fatty acid composition and butter properties. *J Dairy Sci.* 93(4): 1429–43.
- IDF 2002.** Milk fat – determination of the fatty acid composition by gas-liquid chromatography. Standard 184 (ISO 15885), International Dairy Federation, Brussels.
- Jenkins, T. C. 1993.** Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.*, 76(12): 3851–3863.
- Jensen, R. G., Clark, R. W. 1988.** Lipid composition and properties: Fundamentals of Dairy Chemistry, Ed.: Wong, N. P., Jenness, R., Keeney, M., Marth, E. H., Van Nostrand, New York, USA, pp. 171–213.
- Jensen, R. G., Newberg, D. S. 1995.** Milk Lipids B. Bovine milk lipids. In, Handbook of Milk Composition, Ed.: Jensen, R. G., Academic Press, San Diego, CA, pp. 543–575
- Jensen, R. G. 2002.** The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. *J. Dairy Sci.*, 85(2): 295–350.
- Jiménez-Flores, R., Brisson, G. 2008.** The milk fat globule membrane as an ingredient: why, how, when? *Dairy Science & Technology*, 88(1): 5-18.

- Johansson, D., Bergenståhl, B., Lundgren, E. 1995.** Wetting of fat crystals by triglyceride oil and water. 1. The effect of additives. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(8): 921-931.
- Kaufmann, N., Andersen, U., Wiking, L. 2012a.** The effect of cooling rate and rapeseed oil addition on the melting behaviour, texture and microstructure of anhydrous milk fat. *International Dairy Journal*, 25(2): 73-79.
- Kaufmann, N., De Graef, V., Dewettinck, K., Wiking, L. 2012b.** Shear-induced Crystal Structure Formation in Milk Fat and Blends with Rapeseed Oil. *Food Biophysics*, 7(4): 308-316.
- Kaur, D., Wani, A. A., Singh, D. P., Sogi, D. S. 2011.** Shelf life enhancement of butter, ice-cream and mayonnaise by addition of lycopene. *International Journal of Food Properties*, 14(6): 1217–1231.
- Keenan, T. W., Mather, I. H. 2006.** Intracellular Origin of Milk Fat Globules and the Nature of the Milk Fat Globule Membrane: *Advanced Dairy Chemistry: Lipids*, Ed.: Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Springer, New York, USA, pp. 137-171.
- Kloek, W., van Vliet, T., Walstra, P. 2005.** Mechanical properties of fat dispersions prepared in a mechanical crystallizer. *Journal of Texture Studies*, 36(5-6): 544–568.
- Krause, A. J., Miracle R. E., Sanders, T. H., Dean L. L., Drake M. A. 2008.** The effect of refrigerated and frozen storage on butter flavor and texture. *Journal of Dairy Science*, 91(2): 455-465.
- Kurdal, E., Özcan, T., Yılmaz, L. 2019.** Süt Teknolojisi. U. Ü. Ders Notu, No: 99, Bursa, 262 s.
- Labuza, T. P. 2000.** The search for shelf life, *Food Testing Analysis*. Blackwell, Oxford, pp. 32-48.
- Laikoja, K., Teder, L., Jõudu, I. 2017.** Assessment of chemical and sensory quality of unsalted and salted sweet cream butter during storage at different temperatures and time. *Journal of Agricultural Science*, 28(2): 76-81.
- Ledoux, M., Chardigny, J. M., Darbois, M., Soustre, Y., Sebedio, J. L., Laloux, L. 2005.** Fatty acid composition of French butters, with special emphasis on conjugated linoleic acid (CLA) isomers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(5): 409-425.
- Lee, S. W., Chouinard, Y., Van, B.N. 2006.** Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 19(6): 799-805.
- Lock, A. L., Bauman D. E. 2003.** Dairy products and milk fatty acids as functional food components. *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference*, 159-173.
- Logan A., Auldist, M., Greenwood, J., Day, L. 2014.** Natural variation of bovine milk fat globule size within a herd. *J Dairy Sci*. 97(7): 4072–4082.
- Lopez, C., Lesieur, P., Keller, G., Ollivon, M. 2000.** Thermal and Structural Behavior of Milk Fat: 1. Unstable Species of Cream. *Journal of Colloid and Interface Science*, 229(1): 62-71.
- Lopez, C., Lesieur, F., Bourgaux, P., Keller, G., Ollivon, M. 2001a.** Thermal and structural behavior of milk fat. 2. Crystalline Forms Obtained by Slow Cooling of Cream. *Journal of Colloid and Interface Science*, 240(1): 150-161.
- Lopez, C., Lavigne, F., Lesieur, P., Bourgaux, C., Ollivon, M. 2001b.** Thermal and structural behavior of milk fat. 1. Unstable species of anhydrous milk fat. *Journal of Dairy Science*, 84(4): 756-766.

- Lopez, C., Lavigne, F., Lesieur, P., Keller, G., Ollivon, M. 2001c.** Thermal and structural behavior of anhydrous milk fat. 2. Crystalline Forms Obtained by Slow Cooling. *Journal of Dairy Science*, 84(11): 2402-2412.
- Lopez, C., Bourgaux, C., Lesieur, P., Ollivon, M. 2002a.** Crystalline structures formed in cream and anhydrous milk fat at 4°C. *Lait*. 82(3): 317-335.
- Lopez, C., Bourgaux, C., Lesieur, P., Bernadou, S., Keller, G., Ollivon, M. 2002b.** Thermal and structural behavior of milk fat - 3. Influence of cooling rate and droplet size on cream crystallization. *J Colloid Interface Sci.*, 254(1): 64–78.
- Lopez, C., Lesieur, P., Bourgaux, C., Ollivon, M. 2005.** Thermal and structural behavior of anhydrous milk fat. 3. Influence of cooling rate. *Journal of Dairy Science*, 88(2): 511-526.
- Lopez, C., Briard-Bion, V., Menard, O., Rousseau, F., Pradel, P., Besle, J.M. 2008.** Phospholipid, Sphingolipid, and Fatty Acid Compositions of the Milk Fat Globule Membrane are Modified by Diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(13): 5226-5236.
- Lopez, C., 2011.** Milk fat globules enveloped by their biological membrane: unique colloidal assemblies with a specific composition and structure. *Curr Opin Colloid Interface Sci.* 16(5): 391–404.
- Lopez, C., Briard-Bion, V., Menard, O., Beaucher, E., Rousseau, F., Fauquant, J., Leconte, N., Robert, B. 2011.** Fat globules selected from whole milk according to their size: different compositions and structure of the biomembrane, revealing sphingomyelin-rich domains. *Food Chem.* 125(2): 355–368.
- MacGibbon, A. K. H., Taylor, M. W. 2006.** Composition and Structure of Bovine Milk Lipids: Advanced dairy chemistry, Volume 2: Lipids, third edition. Ed.: Fox P. F., McSweeney, P. L. H., Springer, New York, pp. 1-42.
- MacGibbon, A. K. H., Taylor, M. W. 2011.** Milk lipids: Encyclopedia of dairy sciences (2nd ed., Vol.3.). Ed.: Fuquay, J. W., Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Oxford: Academic, pp. 649–697.
- MacRae, J., O'Reilly, L., Morgan, P. 2005.** Desirable characteristics of animal products from a human health perspectives. *Livestock Prod. Sci.* 94(1-2): 95–103.
- Mallia, S., Escher, F., Schlichtherle-Cerny, H. 2007.** Aroma-active compounds of butter: A review. *European Food Research and Technology.* 226(3): 315-325.
- Marangoni, A. G., McGauley, S. E. 2003.** The relationship between crystallization behavior and structure in cocoa butter. *Cryst Growth Des* 3(1): 95–108.
- Marangoni, A. G., Ollivon, M. 2007** Fractal character of triglyceride spherulites is a consequence of nucleation kinetics, *Chemical Physics Letters*, 442(4–6): 360-364.
- Marangoni, A. G., Tang, D. M. 2008.** Modeling the rheological properties of fats: A perspective and recent advances. *Food Biophysics*, 3(2): 113-119.
- Marangoni, A. G., Acevedo, N., Maleky, F., Co, E., Peyronel, F., Mazzanti, G., Quinn, B., Pink, D. 2012a.** Structure and functionality of edible fats. *Soft Matter* 8(5): 1275–1300.
- Marangoni, A. G., Narine, S. S., Acevedo, N., Tang, D. 2012b.** Nanostructure and Microstructure of Fats: Structure and Properties of Fat Crystal Networks, Second Edition, Ed.: Marangoni, A. G., Wesdorp, L. H., CRC Press, Boca Raton, USA, pp.173-232
- Martini, S., Herrera, M. L., Hartel, R.W. 2002a.** Effect of cooling rate on crystallization behavior of milk fat fraction/sunflower oil blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(11): 1055-1062.

- Martini, S., Herrera, M., Hartel, R. 2002b.** Effect of processing conditions on microstructure of milk fat fraction/sunflower oil blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(11): 1063–1068.
- Martini, S., Herrera, M. L. 2008.** Physical properties of shortenings with low-trans fatty acids as affected by emulsifiers and storage conditions. *Eur J Lipid Sci Technol* 110(2): 172–182.
- Mazzanti, G., Guthrie, S. E., Sirota, E. B., Marangoni, A. G., Idziak, S. H. J. 2004.** Effect of minor components and temperature profiles on polymorphism in milk fat *Crystal Growth & Design*, 4 (6): 1303-1309.
- McClements, D. 2005.** Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques, Boca Raton, FL: CRC Press, 690s.
- Mensink, R. P., Katan, M. B. 1993.** Trans monounsaturated fatty acid in nutrition and their impact on serum lipoprotein levels. *Prog. Lipid Res.*, 32: 111–122.
- Mensink R. P., Zock P. L., Kester A. D., Atan M. B. 2003.** Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ration of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *Am.J.Clin.Nutr.* 77(5): 1146–1155.
- Michalski, M. C., Briard, V., Michel, F. 2001.** Optical parameters of milk fat globules for laser light scattering measurements. *Lait*. 81(6): 787–796.
- Michalski, M. C., Cariou, R., Michel, F., Garnier, C. 2002.** Native vs. damaged milk fat globules: Membrane properties affect the viscoelasticity of milk gels. *Journal of Dairy Science*, 85(10): 2451-2461.
- Michalski M. C., Ollivon, M., Briard, V., Leconte, N., Lopez C. 2004.** Native fat globules of different sizes selected from raw milk: thermal and structural behavior. *Chem Phys Lipids*. 132(2): 247–261.
- Michalski, M. C., Januel, C. 2006.** Does homogenization affect the human health properties of cow's milk? *Trends in Food Science & Technology*, 17(8): 423-437.
- Miller, Á., Stanton, C., Murphy, J., Devery, R. 2003.** Conjugated linoleic acid (CLA)-enriched milk fat inhibits growth and modulates CLA-responsive biomarkers in MCF-7 and SW480 human cancer cell lines. *British Journal of Nutrition*, 90(5): 877-885.
- Moran, D. P. J., Rajah, K. K. 2012.** Fats in Food Products. Springer Science & Business. 415 p.
- Mortensen, B. K. 2011.** Butter and other milk fat products: *Encyclopedia of dairy sciences* (2nd ed., Vol. 1), Ed.: Fuquay, J. W., Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Oxford: Academic, pp. 492-499.
- Mulder, H., Walstra, P. 1974.** The milk fat globule: emulsion science as applied to milk products and comparable foods. Technical Communication, Commonwealth Bureau of Dairy Science and Technology, 296s.
- Nogueria, M. C., L., Lubachevsky, G., Rankin, S. A. 2005.** A study of volatile composition of Minas cheese. *LWT*, 38(5): 555-563.
- Ozcan, T., Akpınar-Bayizit, A., Yılmaz-Ersan, L., Cetin, K., Delikanli, B. 2016.** Evaluation of Fatty Acid Profile of Trabzon Butter. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 7(3): 190-194.
- Ozcan, T., Baysal, S., 2018.** Textural attributes of white cheeses: correlation with instrumental and sensory measurements. International Symposium on Food Rheology and Texture, 19-21 October, İstanbul, Turkey, 158-163.

- Park, Y. W. 2009.** Bioactive components in milk and dairy products. *Wiley-Blackwell*, Iowa, USA, p. 426.
- Park, Y. W., Haenlein, G. F. W. 2013.** Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health, John Wiley & Sons, p. 728.
- Park, J. M., Shin J. H., Bak, D. J., Kim, N. K., Lim, K. S., Yang, C. Y., Kim. J. M. 2014.** Determination of shelf life for butter and cheese products in actual and accelerated conditions. *Korean Journal of Food Science Annual*, 34 (2): 245-251.
- Parodi, P. W. 1977.** Conjugated octadecadienoic acids of milk fat. *J. Dairy Sci.*, 60:1150–1153.
- Parodi, P. W. 2004.** Milk in human nutrition. *Austral.J.Dairy Technol.* 59(1): 3–59
- Pernetti, M., van Malassen, K. F., Flöter, E., Bot, A. 2007.** Structuring of edible oils by alternatives to crystalline fat. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 12(4-5): 221–31.
- Pothiraj, C. 2012.** Methodology assessment on melting and texture properties of spread during ageing and impact of sample size on the representativeness of the results. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 3(10): 137-144.
- Possemiers, S., Van Camp, J., Bolca, S., Verstraete, W. 2005.** Characterization of the bactericidal effect of dietary sphingosine and its activity under intestinal conditions. *Internat.J.Food Microbiol.* 105(1): 59–70.
- Precht, D., Molkentin, J. 1997.** Trans-geometrical and positional isomers of linoleic acid including conjugated linoleic acid (CLA) in German milk and vegetable fats. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 99(9): 319–326.
- Precht, D., Molkentin, J. 2000.** Trans unsaturated fatty acids in bovine milk fat and dairy products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(10): 635–639.
- Robenek, H., Hofnagel, O., Buers, I. 2006.** Butyrophilin controls milk fat globule secretion. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 103(27): 10385-10390.
- Rombault, R., Camp, J. V., Dewettinck, K. 2005.** Analysis of phospho- and sphingolipids in dairy products by a new HPLC method. *Journal of Dairy Science*, 88(2): 482–488.
- Rombault, R., Camp, J. V., Dewettinck, K. 2006.** Phospho- and sphingolipid distribution during processing of milk, butter and whey. *International Journal of Food Science & Technology* 41(4): 435-443.
- Rønholt, S., Kirkensgaard, J. J. K., Pedersen, T. B., Mortensen, K., Knudsen, J. C. 2012a.** Polymorphism, microstructure and rheology of butter: effects of cream heat treatment. *Food Chemistry*, 135(3): 1730-1739.
- Rønholt, S., Kirkensgaard, J. J. K., Mortensen, K., Knudsen, J. C. 2012b.** Effect of cream cooling rate and water content on butter microstructure during four weeks of storage. *Food Hydrocolloid*, 34: 169-176.
- Rønholt, S., Mortensen, K., Knudsen, J. C. 2013.** The effective factors on the structure of butter and other milk fat-based products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5): 468-482.
- Rønholt, S., Kirkensgaard J. J. K., Mortensen, K., Knudsen, J. C. 2014.** Effect of cream cooling rate and water content on butter microstructure during four weeks of storage. *Food Hydrocolloids*, 34: 169-176.
- Saadi, S., Ariffin, A. A., Ghazali, H. M., Abdulkarim, M. S. , Boo, H. C., Miskander, M. S. 2012.** Crystallisation regime of w/o emulsion [e.g. multipurpose margarine] models during storage. *Food Chemistry*, 133(4): 1485–1493.

- Sato, K., Ueno, S. 2001.** Molecular interactions and phase behavior of polymorphic fats: Crystallization processes in fats and lipid systems. Ed.: Garti, N., Sato, K., Marcel Dekker, New York, pp. 177-209.
- Sato, K., Ueno, S. 2011.** Crystallization, transformation and microstructures of polymorphic fats in colloidal dispersion states. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 16(5): 384-390.
- Saulais, L., Ruffieux, B. 2012.** A field experiment to design healthier foods: consumer valuation of butter production processes. *Food Quality and Preference*, 26(2): 178–87.
- Schäffer, B., Szakály, S., Lőrinczy, D., Belágy, J. 2000.** Structure of butter. IV. Effect of modification of cream ripening and fatty acid composition on the consistency of butter. *Milchwissenschaft* 55(3): 132–135.
- Schmelz, E. M. 2000.** Dietary sphingomyelin and other sphingolipids in health and disease. *Nutrition Bulletin*, 25(2): 135-139.
- Shi, J. 2015.** Standardisation of cultured Butter processing for smallscale production. Massey University, Albany, New Zealand
- Siek, T. J., Albin, J. A., Sather, L. A., Lindsay, R. C. 1969.** Taste thresholds of butter volatiles in deodourized butter oil medium. *Journal of Food Science*, 34(3): 265–267.
- Singh, H. 2006.** The milk fat globule membrane--A biophysical system for food applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 11(2-3): 154-163.
- Smith, D. V., Margolskee, R. F. 2001.** Making sense of taste. *Scientific American*, 284(3): 32-39.
- Solymosi, K., Latruffe, N., Morant-Manceau, A., Schoefs, B. 2015.** Food colour additives of natural origin: Colour additives for foods and beverages, Ed.: Scotte, M. J., Woodhead Publishing, Cambridge, UK, pp. 4-34.
- Stokes, J. R., Michael, W., Boehm, S., Baier, K. 2013.** Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18(4): 349-359.
- Sun, C. Q., O'Connor C. J., Robertson A. M. 2002:** The antimicrobial properties of milk fat after partial hydrolysis by calf pregastric lipase. *Cheico-Biological Interactions*, 140(2): 185–198.
- Tang, D., Marangoni, A. G. 2007.** Modeling the rheological properties and structure of colloidal fat crystal networks. *Trends in Food Science and Technology*, 18(9): 474-483.
- ten Grotenhuis, E., van Aken, G. A., van Malssen, K. F., Schenk, H. 1999.** Polymorphism of milk fat studied by differential scanning calorimetry and real-time X-ray powder diffraction. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(9): 1031-1039.
- Thormar, H., Hilmarsson, H. 2007.** The role of microbicidal lipids in host defense against pathogens and their potential as therapeutic agents. *Chemistry and Physics of Lipids*, 150(1): 1–11.
- Tippetts, M., Martini, S. 2009.** Effect of cooling rate on lipid crystallization in oil-in water emulsions. *Food Research International*, 42(7): 847-855.
- Truong, T., Bansal, N., Sharma, R., Palmer, M., Bhandari, B. 2014.** Effects of emulsion droplet sizes on the crystallisation of milk fat. *Food Chemistry*, 145: 725–35.
- Truong, T., Morgan, G. P., Bansal, N., Palmer, M., Bhandari, B. 2015.** Crystal structures and morphologies of fractionated milk fat in nanoemulsions. *Food Chemistry*, 171: 157–67.

- Truong, T., Palmer, M., Bansal, N., Bhandari, B. 2016.** Effect of Milk Fat Globule Size on the Physical Functionality of Dairy Products, SpringerBriefs in Food, Health, and Nutrition, p. 70.
- Tzompa-Sosa, A. D., Ramel, R. P., van Valenberg, H. J. F., van Aken G. A. 2016** Formation of β Polymorphs in Milk Fats with Large Differences in Triacylglycerol Profiles. *J Agric Food Chem.*, 64(20): 4152–4157.
- Valivullah HM, Bevan DR, Peat A, Keenan TW. 1988** Milk lipid globules - control of their size distribution. *PNAS*, 85(23): 8775–8779
- Vanderghem, C., Francis, F., Danthine, S. 2011.** Study on the susceptibility of the bovine milk fat globule membrane proteins to enzymatic hydrolysis and organization of some of the proteins. *International Dairy Journal*, 21(5): 312-318.
- Vanhoutte, B., Dewettinck, K., Foubert, I., Vanlerberghe, B., Huyghebaert, A. 2002a.** The effect of phospholipids and water on the isothermal crystallisation of milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(8): 490–495.
- Vanhoutte, B., Foubert, I., Duplacie, F., Huyghebaert, A., Dewettinck, K. 2002b.** Effect of phospholipids on isothermal crystallisation and fractionation of milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(11): 738-744.
- van Dalen, G. 2002.** Determination of the water droplet size distribution of fat spreads using confocal laser scanning microscopy. *Journal of Microscopy*, 208(2): 116–33.
- van Lent, K., Vanlerberghe, B., van Oostveldt, P., Thas, O., van der Meeren, P. 2008.** Determination of water droplet size distribution in butter: pulsed field gradient NMR in comparison with confocal laser scanning microscopy. *International Dairy Journal*, 18(1): 12–22.
- Vithanage, C. R., Grimson, M. J., Smith, B. G. 2009.** The effect of temperature on the rheology of butter, a spreadable blend and spreads. *Journal of Texture Studies*, 40(3): 346-369.
- Walstra, P. 1998.** Secondary nucleation in triglyceride crystallization. *Progress in Colloid and Polymer Science*, 108(4): 4-8.
- Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellama, A., Van Boekel, M. A. J. S. 1999.** Dairy technology: principles of milk properties and processes. Marcel Dekker, New York, p. 170.
- Walstra, P., Wouters, J. T. M., Geurts, T. J. 2006.** Dairy science and technology. 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, p. 808.
- Wiking, L., Stagsted, J., Lennart, B., Nielsen, J. H. 2004.** Milk fat globule size is affected by fat production in dairy cows. *International Dairy Journal*. 14(10): 909–13.
- Wiking, L., Nielsen, J. H., Bavius, A. K., Edvardsson, A., Svennersten-Sjaunja, K. 2006.** Impact of milking frequencies on the level of free fatty acids in milk, fat globule size, and fatty acid composition. *Journal of Dairy Science*, 89(3): 1004–1009.
- Wiking, L., De Graef, V., Rasmussen, M., Dewettinck, K. 2009a.** Relations between crystallisation mechanisms and microstructure of milk fat. *International Dairy Journal*, 19(8): 424-430.
- Wiking, L., Fredrick, E., Dewettinck, K. 2009b.** Phospholipids delay crystallisation of milk fat. *Milchwissenschaft*, 4: 376-379.
- Wilbey, R. A. 2009.** Butter: Dairy Fats and Related Products,. Ed.: Tamime, A. Y., Dairy Science and Technology Consultant Ayr, UK. pp. 86-106.
- Wilson, N. L., Robinson, L. J., Donnet, A., Bovetto, L., Packer, N. H., Karlsson, N. G. 2008.** Glycoproteomics of Milk: Differences in Sugar Epitopes on Human and Bovine Milk Fat Globule Membranes. *Journal of Proteome Research*, 7(9): 3687-3696.

- Winkelman, A. M., Johnson, D. L., MacGibbon, A. K. H. 1999.** Estimation of heritabilities and correlations associated with milk color and traits. *Journal of Dairy Science*, 82(1): 215–224.
- Wright, A., Hartel, R., Narine, S., Marangoni, A. 2000.** The effect of minor components on milk fat crystallization. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(5): 463-475.
- Wright, A. J., Scanlon, M. G., Hartel, R. W., Marangoni, A. G. 2001.** Rheological properties of milkfat and butter. *Journal of Food Science*, 66(8): 1056-1071.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ÖNER CEYLAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Mustafakemalpaşa / 18.02.1985

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Sedat Karan Anadolu Lisesi
(1998-2003)

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi
(2004-2011)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi
(2015-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Tat Gıda A.Ş. Sek Süt İşletmesi
(03.2013-01.2018)
Gıda Mühendisi
MBH Gıda San. Ve Tic. A. Ş.
(01.2018-..)
Gıda Mühendisi

İletişim (e-posta) : nrcyln@gmail.com

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Öner CEYLAN
Tez Adı	KREMA SOĞUTMA SICAKLIĞININ VE ASİTLENDİRME YÖNTEMİNİN TEREYAĞININ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
Enstitü	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Türü	Yüksek Lisans Tezi
Tez Danışman(lar)ı	Doç. Dr. Tülay ÖZCAN
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Bursa Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 21/10/2019

İmza :

