

Stearin ve Olein CBS Bazlı Çikolatalarda Partikül Boyut Dağılımının Kalite ve  
Fat Bloom Üzerine Etkileri

Melih ERDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS**

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2024

The Effect of Particle Size Distribution on Fat Bloom and Quality in Stearine and Olein  
Based Chocolates

Melih ERDOĞAN

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Food Engineering

June 2024

Stearin ve Olein CBS Bazlı Çikolatalarda Partikül Boyut Dağılımının Kalite ve Fat Bloom Üzerine Etkileri

Melih ERDOĞAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Nevzat Konar  
Temmuz 2024

## ONAY

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Melih ERDOĞAN**'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Stearin ve Olein CBS Bazlı Çikolatalarda Partikül Boyut Dağılımının Kalite ve Fat Bloom Üzerine Etkileri” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nevzat KONAR

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Muhammed İrfan AKSU

Üye: Prof. Dr. Nevzat KONAR

Üye: Doç. Dr. İlyas ATALAR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. ....

Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Nevzat KONAR danışmanlığında hazırlamış olduğum “Stearin ve Olein CBS Bazlı Çikolatalarda Partikül Boyut Dağılımının Kalite ve Fat Bloom Üzerine Etkileri” başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

11/07/2024

Melih Erdoğan

İmza

## ÖZET

Bu çalışmada, kakao yağı ikameleri (CBS) olarak hidrojenize palm kernel olein (HPKO) ve stearin (HPKS) içeren sütlü kokolin örnekleri, ball-mill sistemi ile farklı ortalama partikül boyutu (D90) değerlerine (20.0, 25.0, 30.0, 35.0 ve 40.0 µm) sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. HPKS örneklerinde HPKO örneklerine göre daha düşük nem miktarları belirlenmiştir ( $p<0.05$ ), ancak her iki ürün grubu için de ortalama partikül boyutu ile nem miktarı arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Örneklerin su aktivitesi değerleri 0.250-0.262 arasında değişmiştir. Kokolin örneklerinin sertlik değerleri (4239.3-5691.4 g) penetrasyon tekniği ile ölçülmüştür. HPKO örneklerinde ortalama partikül boyutuna bağlı sertlikte önemli bir değişim gözlenmezken, HPKS örneklerinde partikül boyutunun artışı ile sertlik artmıştır ( $P<0.05$ ). Palm yağı türü ve partikül boyutunun renk özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş,  $L^*$  (32.93-35.48),  $a^*$  (8.43-8.81),  $b^*$  (10.33-11.13), kroma (13.31-14.23) ve hue açısı (50.77-51.58) değerleri belirlenmiştir. HPKS örneklerinde partikül boyutu artışı ile  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri artmıştır. Örneklerin duyu özellikleri (renk, parlaklık, sertlik, kırıntılanma, pürüzsüzlük, muhluluk, lezzet, ağızda erime) çikolata teknolojisi uzmanları tarafından değerlendirilmiştir. HPKS ve HPKO örneklerinde pürüzsüzlük ve lezzet dışında önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Bu iki özelliğe, partikül boyutunun artışı ile beğeni azalmıştır ( $P<0.05$ ). 20°C ve 30°C'lik sıcaklık döngüleri ve %45 bağıl nemde 6 saatlik sürelerle 99 kez uygulanarak hızlandırılmış raf ömrü (ASL) çalışması yapılmıştır. ASL sonunda su aktivitesi değerinin 0.400'den düşük olduğu belirlenmiştir. Depolama sürecinde HPKO ve HPKS örneklerinde sertlik artmış, ancak son aşamalarda düşüş göstermiştir. Bu değişim, depolama sırasında nem miktarındaki artışa bağlanmıştır. Hızlandırılmış raf ömrü sırasında renk ölçümleri ve beyazlık indeksi (WI) değerleri belirlenmiştir. HPKS örneklerinde  $\Delta E$  değeri 2'den düşük kalırken, HPKO örneklerinde partikül boyutunun 30.0 µm'nin altında olduğu durumlarda bu değer 3.0'ün üzerine çıkmıştır. 30.0 µm'nin üzerindeki HPKO örnekleri daha stabil renk değişimi göstermiştir. HPKS örnekleri 30.6-33.1, HPKO örnekleri ise 36.4-38.2 WI değerlerine sahip olmuştur. HPKS örneklerinin daha düşük WI değerleri, yüksek SFC oranı ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, HPKS'nin kalite ve stabilite açısından avantajlı olduğu, ancak duyu özellikler dışında partikül büyüklüğü etkilerinin ihmal edilebileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çikolata; Kokolin; Partikül Büyüklüğü; Raf Ömrü

## SUMMARY

In this study, milk chocolate samples containing commonly used cocoa butter substitutes (CBS), hydrogenated palm kernel olein (HPKO), and stearin (HPKS) were prepared using a ball-mill system to achieve different average particle sizes (D90) of 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, and 40.0  $\mu\text{m}$ . HPKS samples showed lower moisture levels than HPKO samples ( $p < 0.05$ ), although no significant relationship between average particle size and moisture content was found for either group. Water activity values ranged narrowly between 0.250 and 0.262. Hardness values (4239.3-5691.4 g) were measured using the penetration technique. HPKO samples did not show significant changes in hardness with particle size, while HPKS samples showed increased hardness with larger particle sizes ( $P < 0.05$ ). The study also examined the effects of palm oil type and average particle size on color properties, determining  $L^*$  (32.93-35.48),  $a^*$  (8.43-8.81),  $b^*$  (10.33-11.13), chroma (13.31-14.23), and hue angle (50.77-51.58) values. HPKS samples showed increases in  $a^*$  and  $b^*$  values with larger particle sizes. Sensory attributes (color, brightness, initial bite hardness, crumbliness, smoothness, waxiness, flavor, melt-in-mouth) were evaluated by chocolate technology experts. No significant differences were found for attributes other than smoothness and flavor, which decreased in preference with increasing particle size for both HPKS and HPKO samples ( $P < 0.05$ ). An accelerated shelf life (ASL) study was conducted with 99 cycles of temperature changes (20°C and 30°C) at 45% relative humidity for 6-hour intervals. Water activity values remained below 0.400 at the end of ASL. During storage, hardness initially increased but decreased in the later stages due to increased moisture levels. Color measurements and whiteness index (WI) values were recorded during ASL. HPKS samples maintained a  $\Delta E$  value below 2, while HPKO samples exceeded 3 when particle size was below 30.0  $\mu\text{m}$ . HPKO samples with particle sizes above 30.0  $\mu\text{m}$  showed more stable color changes. WI values ranged from 30.6 to 33.1 for HPKS samples and from 36.4 to 38.2 for HPKO samples, with HPKS samples having lower WI values due to their higher SFC ratio. The study concluded that HPKS has advantages in quality and stability, while particle size effects are generally negligible outside of sensory properties.

**Keywords:** Chocolate; Compound Chocolate; Particle Size; Shelf Life

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın araştırma konusunun belirlenmesinde, uygulanmasında ve tezimin hazırlık aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikirleri ile her zaman yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Nevzat KONAR'a

Deneysel çalışmalarım boyunca katkılarından dolayı başta Doç. Dr. İlyas ATALAR olmak üzere Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üye ve elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmamda ihtiyaç duyduğum her türlü yardım ve desteği sağlayan, kıymetli görüşleri ile yol gösterip her alanda deneyim kazanmamı sağlayan Tayaş Gıda Yönetim Kurulu Üyesi Sn. Emre TAYCI'ya, Tayaş Gıda Ar-Ge Müdürü Derya GENÇ POLAT'a, Tayaş Gıda Ar-Ge Ürün Yöneticisi Ebru KELLEÇİ SARIKAYA'ya

Çalışma süresince laboratuvarında yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Sinem ŞENER, Dr. Başak GÜRBÜZ TÜZEN, Ataman YILDIRIM, Merve KILIÇ, Figen AYDÖNER ve Nadiye IŞIK olmak üzere Tayaş Gıda Ar-Ge birimine teşekkürlerimi borç bilirim.

Tüm tez çalışmam boyunca maddi manevi destekleri, sevgileri ve sabırları ile yanımda olan sevgili eşim Perihan SALT ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	vi
<b>SUMMARY</b> .....	vii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	viii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1.GİRİŞ ve AMAÇ</b> .....	1
<b>2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	5
2.1 Kakao ve Kakao Teknolojisi .....	6
2.2 Çikolata ve Çikolata Teknolojisi.....	9
2.2.1 Çikolata Bileşenleri .....	11
2.3 Çikolata Teknolojisi .....	17
2.3.1 Karıştırma.....	17
2.3.2 Ön-İnceltme ve İnceltme .....	17
2.3.3 Konçlama .....	18
2.3.4 Temperleme.....	19
2.3.5 Kalıplama ve Soğutma .....	20
2.4 Çikolata Temel Kalite Özellikleri .....	21
2.4.1 Tekstür.....	21
2.4.2 Akış Davranışı.....	22
2.4.1 Erime Davranışı.....	22
2.5 Kakao Yağı Alternatifleri.....	23
2.5.1 Kakao Yağı Eşdeğerleri .....	23
2.5.2 Kakao Yağı Benzerleri .....	25
2.5.3 Kakao Yağı Muadilleri.....	27
2.6 Gıdalarda Raf Ömrü .....	28
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	31
3.1 Materyal .....	31
3.2 Araştırma Tasarımı.....	31
3.3 Örnek Hazırlama .....	32
3.4 Nem Tayini.....	33

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.5 Lazer Difraksiyon Partikül Boyut Ölçümü .....	33
3.6 Su Aktivitesi Analizi .....	33
3.7 Renk Analizi.....	33
3.8 Tekstür Analizi.....	34
3.8 Kül Tayini .....	34
3.9 Duyusal Analiz.....	35
3.10 Hızlandırılmış Raf Ömrü Analizi .....	36
3.10 İstatistiksel Analiz.....	36
<b>4.BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	<b>37</b>
4.1. Partikül Boyutunun Fiziko-Kimyasal Özelliklere Etkisi.....	37
4.2 Partikül Boyutunun Sertlik Üzerine Etkisi.....	39
4.3 Partikül Boyutunun Renk Üzerine Etkisi.....	40
4.4 Partikül Boyutu ve Duyusal Özellikler .....	43
4.5 Hızlandırılmış Raf Ömrü.....	44
4.5.1 Nem Miktarı .....	44
4.5.2 Su Aktivitesi.....	48
4.5.3 Sertlik .....	50
4.5.4 Renk Değişimi ve Beyazlık İndeksi .....	53
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	<b>58</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b> .....	<b>60</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Nem Miktarlarının Süreye Bağlı Değişimi.....	38
4.2. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Nem Miktarlarının Süreye Bağlı Değişimi.....	39
4.3. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Sertlik Miktarlarının Süreye Bağlı Değişimi....	43



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Siyah, sütlü ve beyaz çikolataların bileşim oranları.....	11
2.2. Dolgu çikolata ve pralin çikolatalarının özellikleri.....	12
3.1. Örnek bileşimi.....	33
4.1. Farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip örneklerin fiziko-kimyasal özellikleri.....	38
4.2. Farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip tekstür ve akış özellikleri.....	40
4.3. Farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip örneklerin fiziko-kimyasal özellikleri.....	42
4.4. Farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip örneklerin duyuşal özellikleri.....	44
4.5. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Nem Miktarları.....	45
4.6. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Nem Miktarları.....	46
4.7. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Su Aktivitesi Değerleri.....	49
4.8. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Su Aktivitesi Değerleri.....	49
4.9. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Sertlik Değerleri.....	50
4.10. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Sertlik Değerleri.....	51
4.11. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Renk Değişimi ( $\Delta E$ ) Değerleri.....	54
4.12. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Renk Değişimi ( $\Delta E$ ) Değerleri.....	54
4.13. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Beyazlık İndeksi Değerleri.....	57
4.14. Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Beyazlık İndeksi Değerleri.....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
°	Derece
°C	Santigrad Derece
a*	Kırmızılık/Yeşillik Değeri
b*	Mavilik/Sarılık Değeri
L*	Parlaklık/Beyazlık Değeri
%	Yüzde
<	Küçüktür
>	Büyüktür
β	Beta
μm	Mikrometre
<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
3D	Üç Boyutlu
3D-LSCM	Lazer Taramalı Konfokal Mikroskopi-Laser Scanning Confocal Microscopy
ASL	Hızlandırılmış Raf Ömrü-Accelerated Shelf Life
CB	Kakao Yağı-Cocoa Butter
CBA	Kakao Yağı Alternatifleri-Cocoa Butter Alternatives
CBE,CBEXs	Kakao Yağı Eşdeğerleri-Cocoa Butter Equivalents
CBI	Kakao Yağı İyileştiricileri-Cocoa Butter Improvers
CBR	Kakao Yağı İkameleri-Cocoa Butter Replacer
CBS	Kakao Yağı Yerini Tutan Yağlar-Cocoa Butter Subtitutes
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi-American Food and Drug Administration
HPKO	Hidrojenize Olein Palm Çekirdek Yağı-Hydrogenized Palm Kernel Olein
HPKS	Hidrojenize Stearin Palm Çekirdek Yağı- Hydrogenized Palm Kernel Stearin
PGPR	Poligliserol Polirisinolat
PK	Palm Çekirdeği-Palm Kernel
PKO	Olein Palm Çekirdeği-Palm Kernel Olein
PKS	Stearin Palm Çekirdeği-Palm Kernel Stearin
POP	Palmitik-Oleik-Palmitik
POSt	Palmitik-Oleik-Stearik
RH	Bağıl Nem-Relative Humidity
SFC	Katı Yağ İçeriği-Solid Fat Content
StOSt	Stearik-Oleik-Stearik
TGA	Triaçilgliserol
WI	Beyazlık İndeksi-Whiteness Index

## 1.GİRİŞ ve AMAÇ

Kakao yağı çikolatada başlıca yağ fazı bileşeni olarak son ürünün sertlik, tekstür, duyuşsal özellikleri ve erime davranışını belirler (Watanabe vd., 2021). Özgün aroma profili, erime davranışı ve kristalizasyon özellikleri, kakao yağının çeşitli gıdalarda yaygın olarak kullanımının nedenlerindedir (Zhang vd., 2020). Ancak iklim değişikliği başta olmak üzere çeşitli çevresel koşullar, pest saldırıları ve hastalıklar bu bitkinin yetiştiriciliğini ve verimini olumsuz etkilemektedir. Bir başka sorun da düşük kakao yağı verimliliğidir. Düşük kakao üretimi ve verimliliğine rağmen yüksek küresel talep kakao yağı maliyetinin ve fiyatlarının artmasına neden olur (Watanabe vd., 2021). Ayrıca bölgeler arasındaki kakao çekirdeği yağ oranı farklılığı, tedarik ve maliyet sorunlarına neden olmaktadır (Querishi vd., 2020). Bir diğer önemli faktör ise çikolata ana bileşeni olan kakao yağının yüksek pazar talebi ve kısıtlı arz nedenleri ile yüksek maliyetidir (Biswas vd., 2017). Bu verimlilik ve maliyet sorunları üreticiler için alternatif hammadde arayışlarının önemini arttırmaktadır (Zhang vd., 2020; Biswas vd., 2017). Bu sorunlar ile mücadelede kullanılan başlıca yaklaşım ise kakao yağının daha düşük maliyetli ve daha stabil olan alternatif bitkisel yağlar ile ikame edilmesidir (Querishi vd., 2020).

Kakao yağını (CB) ikame eden ve farklı bitkisel kaynaklardan üretilen yağlar, genel olarak kakao yağı alternatifleri (CBA) olarak tanımlanır. Çeşitli faktörler nedeni ile azalan CB arzı, CBA taleplerinde önemli artışa neden olmuştur (Jin vd., 2021). CB alternatifleri üç veya beş grup altında kategorize edilmektedir; cocoa butter equivalents (CBE; laurik yağ veya yağ karışımları içermeyen), cocoa butter improvers (CBI), cocoa butter replacers (CBR), cocoa butter substitutes (CBS) (Jin vd., 2021; Querishi vd., 2020; Watanabe vd., 2021). CBS, temperleme uygulanması gerekmemesi ve triaçilgliserol (TAG) profili nedeni ile iyi bir kakao yağı alternatifidir. Bu kakao yağı alternatifi genellikle laurik asit içeren modifiye yağlardan üretilir (Zhan vd., 2020). Farklı bitkisel kaynaklardan elde edilen yağların modifikasyonu sonucu CBS geliştirilmesine yönelik araştırmalar bulunmaktadır (Biswas vd., 2017). Ancak sert laurik yağlardan biri olan CBS genel olarak palm kernel (PK) ve hindistan cevizi yağından elde edilen fraksiyonlanmış, hidrojenize veya interesterifiye yağlardır (Querishi vd., 2020). Palm kernel stearin ve olein, yaygın olarak kullanılan compound chocolate (kokolin) CBS'leridir. Çalışmamızda da farklı katı yağ oranlarına sahip olan CBS'ler olarak bunlar kullanılmıştır. Çünkü bu yağların kullanımı ile temperleme ihtiyacı olmayan, kalıptan kolayca çıkan, uygun ve

yeterli sertliğe sahip, keskin erime özelliğinde, bloom stabilitesi göreceli olarak yüksek ürünler üretilebilir (Asghar vd., 2017). CBS fiziksel özellikleri kakao yağına benzer, ancak kimyasal özellikleri oldukça farklıdır. Bu farklılığın başlıca nedeni ise TGA profilidir (Abdul Halim vd., 2019). Ancak bu farklılık aynı zamanda CBS'ler ile CB arasındaki uyumsuzluğun da başlıca nedenidir (Jin vd., 2019).

Çoğu ülke 5 g'dan daha fazla CBA'nın 100 g çikolatada kullanılmasına izin vermektedir. Ancak bu durumda ürün "compound chocolate" olarak etiketlenmelidir (Biswas vd., 2017). Bu ürün ülkemizde yaygın olarak üretilen ve kokolin olarak tanımlanan ürün ile benzerdir. Bu çalışmada CBS ile hazırlanan kokolin örnekleri kullanılmıştır.

Genellikle karıştırma ile elde edilen yağlar, istenilen fiziksel özelliklere sahip gıdalar elde etmek için gıda endüstrisinde kullanılır (Shin vd., 2019). Örneğin PK olein (PKO) ve CB kokolin kaplama için, bitkisel yağ ve PK stearin (PKS) ise margarin veya sürülebilir ürünlerin üretimi için karıştırılır (Shin vd., 2019). Kakao yağının CBS ile ikamesi ürün maliyetini azaltır (Norazlina vd., 2021). Bazı kakao yağı alternatifleri, CB ile farklı oranlarda karıştırılarak bir arada kullanılabilir. Ancak CBS'ler ile CB arasındaki uyumluluk sınırlıdır (Querishi vd., 2020). Örneğin CB ve CBE ile PKO arasında ötektik etkileşim olup, PKO'da önemli yumuşama belirlenmiştir (Williams vd., 1997). Bu nedenle genel olarak CBS'in yağ fazının tamamını oluşturduğu kokolin üretilir. Ayrıca palm kernel CBS'i, oksidatif stabilite ve fat bloom avantajları bulunmaktadır. Daha önceki çalışmalarda CBS ile hazırlanan çikolatalarda fat bloom gelişim hızının daha yavaş olduğu belirlenmiştir (Abdul Halim vd., 2019). Farklı amaçlarla kakao yağı içeren çikolatalarda yürütülmüş çok sayıda olmakla birlikte CBS ile üretilen kokolin çalışma sayısı sınırlıdır.

Çikolata teknolojisinde proses ve kalite kontrol parametreleri arasında partikül büyüklüğü önem taşır. Ön-inceleme ve inceltme işlemleri, çikolata akışkan fazını oluşturan kakao yağının belirli bir bölümü ile diğer katıların bir arada bulunduğu kitlenin partikül boyutunun azaltılması amacıyla uygulanır. Ancak meydana gelen sadece bir boyut küçültme işlemi olmayıp, aynı zamanda diğer mekanik etkileşimler ile kimyasal etkileşimler bu proseste gerçekleşir. Eş zamanlı olarak partikül boyutunun küçülmesi, bu etkileşimlerinde artmasına neden olur. Çünkü partiküllerin sayıları ve yüzey alanları artar.

Bir yandan agregatlar oluşurken diğer yandan partikül hareketliliği azalır. Bu agregatların arasındaki boşluklar kakao yağı ile dolar. Oluşan büyük boşlukları dolduran kakao yağı, kitlenin akış davranışını da etkiler (Glicerina vd., 2015). İnceltme prosesinin, katıların partikül boyutları, bu partiküllerin topografik özellikleri ve sayıları üzerinde olan etkileri, son ürün kalite ve stabilitesi için dikkate alınmalıdır. İnceltme, partikül-partikül etkileşimleri, sürekli fazın bu partikülleri kaplamaları, partiküllerin paketlenme davranışları, özellikle ara-yüzeyde oluşabilecek boşluklar, çatlaklar ve porların boyut, homojenlik ve dağılımları için önemlidir. Tüm bu özellik, davranışlar ve etkileşimler ise farklı stabiliteye sahip çikolata elde edilmesine neden olur. Bu nedenle çalışmamızda farklı partikül boyutuna sahip kokolin örneklerinin stabilite davranışları belirlenmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca çikolata yüzey özellikleri ve topografisinin partikül-partikül, yağ-yağ ve partikül-yağ interaksiyonlarından etkilendiği belirtilebilir. Partikül-partikül etkileşimlerinde önemli bir mekanizma polar bileşenler arasındaki hidrojen bağları olup yağ-yağ etkileşimlerinde ise Van Der Waals kuvvetleri önemlidir. Özellikle Van Der Waals kuvvetleri ve su köprüleri başta olmak üzere interaksiyonlar, partiküller arası mesafeyi etkiler. Bu özellikte meydana gelen değişim ise yine kalite ve stabiliteyi etkileyebilir (Shen vd., 2023). Kokolin bileşimine bağlı olarak yüzeyde meydana gelen partikül-partikül etkileşimleri değişimleri, mikroyapıyı ve yüzey hidrofilitasını de etkilemesi olasıdır. Bu durum ise fat bloom eğiliminde değişimlere neden olabilir.

Şeker partiküllerinin morfolojik düzensizlikleri, boyutları, aglomerasyon eğilimleri ve yağ fazı nükleasyonu üzerindeki etkileri, kokolin fat bloom stabilitesi için dikkate alınmalıdır. Örneğin, Shen vd. (2023), çikolata üretiminde kullanılan sakkaroz partikül boyutunun (D90) azalmasının partiküller arası interaksiyonu arttırdığını, görsel bloomu geliştirdiğini tespit etmişlerdir. Ancak farklı CBS'ler ile hazırlanmış örneklerde benzer çalışmalar bulunmamaktadır.

CBS ile hazırlanan ürünlerde temperleme işlemi uygulanmasa da, yağ fazı kristalizasyonu kritik bir süreçtir. Özellikle ara yüzeyde bulunan şeker partiküllerinin yüzeyleri, kakao yağında olduğu gibi (Svanberg vd., 2011a; Svanberg vd., 2011b) CBS kristalizasyonu sırasında ilave nükleasyon bölgeleri olarak görev üstlenebilir. Bu durumda partiküllerin morfolojik özellikleri, sayısı ve yüzey alanlarının kristalizasyon

için hem temperleme hem de daha sonra gerçekleşen soğutma ve depolama aşamalarındaki kristalizasyonun önemlidir. Kristalizasyon ile birlikte katı yağ içeriği (SFC) de artış gösterir. Ancak sertlik bu özellikten öte kristal mikroyapıya ve partikül büyüklük dağılımına bağlı olarak değişir (Nighingale vd., 2011). Daha küçük partikül boyutlarına sahip olan çikolata, daha yüksek sertlik özelliğine sahiptir (Afoakwa vd., 2009). Ayrıca çikolata mikroyapısında meydana gelen değişimler, tekstür özelliklerinde değişimlere neden olur. Örneğin, yağın yüzeye migrasyon ile taşınması sonrası daha kaba bir tekstüre sahip olan ürün oluşur (Zhao ve James, 2019). Ayrıca diğer bileşenler ile yağ fazı arasındaki mikroyapıyı etkileyen etkileşimleri, çikolata sertliğini etkiler. Peynir altı suyu partiküllerinin sütlü çikolata örneklerinin kristal yapısı üzerindeki plastikleştirici etkisi sonucu sertliğin azaldığı belirlenmiştir (Lapcikova vd., 2022). Çikolata ve kokolin katılarının partikül boyutları, yağla kaplanmaları, katıların yüzeyindeki yağ miktarları ile partikül-partikül etkileşimleri gibi çeşitli faktörler, çikolata akış davranışını da etkiler (Toker vd., 2019; Toker vd., 2023). Bu nedenle çalışmamızda farklı CBS'ler (PKO ve PKS) kullanılarak hazırlanan ve ortalama partikül boyutunun kokolin örneklerinin genel kalite özellikleri yanı sıra hızlandırılmış raf ömrü koşulları altında fat bloom gelişimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çikolata teknolojisi kompleks bir üretim sürecine sahip olup, ürün kalitesi ve stabilitesi üzerinde birçok faktör etkilidir. Stabilitate için ise öne çıkan fat bloom davranış ve eğilimidir (Afoakwa, 2010; Becket, 2017). Dolayısıyla çikolata ve türevi ürünlerle ilişkili çeşitli çalışmalar, fat bloom davranışının belirlenmesi, bu problemin ortaya çıkışı ve kinetiği üzerinde etkili olan faktörler, bileşim ve proses ile fat bloom arasındaki interaksyonlara yönelmiştir. Çalışmamızda da yaygın bir çikolata türevi olan kokolin için yağ fazının türü ile ürün ortalama partikül boyutunun fat bloom davranışları ile ilişkisi ele alınmıştır.

Çikolata ve türevi ürünlerin temel bileşenlerinden biri olan yağ fazı belirli koşullar altında kristalizasyona uğrar. Bu kristalizasyonun kontrolsüz veya uygun olmayan koşullarda gerçekleşmesi ise fat bloom oluşumunun başlıca nedenleri arasında yer alır. Fat bloom yağ kristallerinin çikolata yüzeyinde istenmeyen yapıda kristalleşmesi ve beyaz lekelerin oluşması olarak tanımlanabilir. Yağın kristalizasyon davranışı üzerinde çikolata partikül boyutu önemli bir etki yaratabilir (Konar vd., 2022a).

Çikolata partikül boyutu, ürünün tekstür, lezzet ve akış davranışı üzerinde belirleyici bir faktördür (Toker vd., 2024). İdeal partikül boyutu, çikolatanın ağızda erime davranışını, lezzetin homojen dağılımını ve tekstürel sertliği doğrudan etkiler. Bu bağlamda, çikolata partikül boyutu üzerindeki değişimlerin, ürün kalitesini nasıl etkilediğini anlamak ve bu sonuçları fat bloom eğilimini de göz önünde tutarak değerlendirmek önemlidir.

Çikolata teknolojisinde kalite kontrol süreçleri, analitik metotların doğru bir şekilde uygulanmasını gerektirir. Renk özellikleri, tekstür yapıları, nem miktarı, kül miktarı ve su aktivitesi gibi parametreler, çikolatanın kalitesini değerlendirmek için kullanılan önemli analitik ölçümlerdir (Gunes vd., 2022). Bu metotlar, çikolata üretimi ve depolanma süreçlerindeki değişimlerini izlemek ve fat bloom gelişimi üzerindeki etkilerini analitik olarak belirlemek gerekmektedir.

Bu kuramsal yaklaşımların bir arada değerlendirilmesi, çikolata endüstrisindeki profesyonellerin ve araştırmacıların ürün kalitesini artırmak ve sorunlara etkili çözümler bulmak adına daha bilinçli bir şekilde hareket etmelerine yardımcı olabilir. Bu çalışma ile

çikolata üretimindeki pratik uygulamalara daha fazla ışık tutarak, endüstriyel uygulamalara katkıda bulunulması da amaçlanmıştır.

## 2.1 Kakao ve Kakao Teknolojisi

'Kakao' adını, doğrudan Maya ve Aztek dillerindeki karşılığında almıştır. Çikolata, Güney Amerika yerli kakao ağacının meyvesine ait olan kakao çekirdeklerinden elde edilir. *Theobroma cacao*'nun dört ana varyetesi bulunmaktadır; dünya kakao üretiminin yaklaşık %5'ini oluşturan Criollo; daha yaygın olan, daha küçük, düz ve mor çekirdeklere sahip Forastero; Ekvador'da yetiştirilen lezzetli Nacional; Criollo ve Forastero'nun daha dayanıklı bir melezi olan ve lezzetli çekirdek olarak kabul edilen Trinitario (Fowler, 1999). Forastero çoğunlukla Brezilya ve Batı Afrika'da yetiştirilir. Trinitario ise Orta ve Güney Amerika'da bölgesinde yaygın olarak kültüre alınmıştır (Afoakwa, 2014).

Kakao çekirdeklerinin kullanımını en az 1400 yıl öncesine dayanmaktadır (Rossner, 1997). Meksika bölgesinde yaşayan Aztekler, kakao yetiştirmekteydiler. Ayrıca, Aztekler ve İnkalar, çikolata çekirdeklerini ticarete para olarak kullanmışlardır. Aynı zamanda kakao çekirdeklerini kavurarak ve öğütürerek hazırladıkları, su ile ezilerek yapılan ve vanilya, baharat veya bal gibi diğer malzemelerin eklenmesiyle hazırlanan, "chocolatl" adını verdikleri bir içecek üretmişlerdir. İspanyol kaşif Hernan Cortes, kakao çekirdeklerini bir içecek ve tarım ürünü olarak İspanya'ya götürmüştür. Ancak İspanyollar sadece kakao çekirdeklerini Avrupa'ya götürmekle kalmamış, aynı zamanda 17. yüzyılda ekimini gerçekleştirmişlerdir. Böylece birçok Batı Afrika ülkesinin gelecekteki ekonomik temelleri atılmıştır. Günümüzde Batı Afrika dünya kakao üretiminin %70'ten fazlasını üretmektedir (Awua, 2002; Amoye, 2006; International Cocoa Organisation, ICCO, 2008).

Kakao ürünleri sömürgeciler tarafından çikolata içeceğinin Avrupa'da tanıtıldığı dönemlerde pahalı olduğundan başlangıçta sadece yüksek sosyal sınıflar tarafından tüketilmiş, ancak on yedinci yüzyılda çikolata tüketimi Avrupa'da yaygınlaşmıştır (Minifie, 1989). 18. yüzyılda çikolata tüketimi giderek yaygınlaştıkça, İspanyol tekeline dayalı kakao üretimi beklentileri karşılamaması sebebiyle İtalyanlar, Hollandalılar ve Portekizliler tarafından plantasyonlar kurulmaya başlanmıştır. Bu dönemde, çikolata hala sıvı formda tüketilmiş ve genellikle suda veya sütte çözülebilecek köpüklü bir çikolata

içeceği yapmak için sıkıştırılmış bloklar halinde satılmıştır. Bu çikolata bloklarının seri üretimi de 18. yüzyılda başlamıştır. İlk çikolata fabrikası olan Fry ailesi tarafından 1728 yılında hidrolik ekipmanlar kullanarak kakao çekirdekleri öğütülmeye başlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ilk çikolata fabrikası ise Boston dışında Dr. James Baker tarafından kurulmuştur. 1778 yılında Fransız Doret, kakao çekirdeklerini öğütmek için ilk otomatik makineyi yapmıştır. Kakao ve çikolata üretimi, 1828'de Coenraad Van Houten tarafından kakao yağını kakao çekirdeğinden ayırmayı başaran bir kakao presinin icat etmiş ve bu icat ile elde edilen yağsız kakao tozu, su ve diğer sıvılarla daha kolay çözünebilmiştir. 1848'de kakao likörüne kakao yağı ve şeker eklenerek üretilen ilk gerçek " çikolata" tüketicilere arz edilmiştir (Afoakwa, 2010; Dhoedt, 2008).

Henri Nestle tarafından süt tozu icat edilerek çikolata bileşiminde kullanılmış ve 1876'da ilk sütlü çikolata üretilmiştir. Bu gelişmeler, 1880'de Rudolphe Lindt tarafından icat edilen 'konçlama makinesi' ile devam etmiştir. Bu gelişme, kaliteli çikolata ile ilişkilendirdiğimiz lezzetli tat ve kremamsı dokuyu kazandırmıştır. Ancak, o tarihlerde çikolata hala çok özel bir üründür. Çikolatanın ana iki bileşeni olan kakao ve şekerin fiyatı 1900 yılına kadar önemli ölçüde düşmediği için, çikolata orta sınıfın erişimine ancak o bu tarihlerden sonra ulaşabilmiştir. 1930'lar ve 1940'lar, birçok Avrupa ve Amerikan şirketi tarafından araştırma ve geliştirme yoluyla hızlı üretim teknolojileri ve yeni pazarlama teknikleriyle yeni ve daha ucuz hammadde tedarikleri ve daha verimli üretim süreçlerinin ortaya çıkmasıyla, çikolata geniş halk kitlelerine ulaşılabilir hale gelmiştir (Beckett, 2000).

Forastero, dayanıklılığı ve kolay yetiştirilebilirliği ile bilinen bir kakao ağacı türüdür. Meyveleri kalın ve sert kabuklu olup, belirgin bir aromaya sahiptir. Forastero türünden elde edilen kakao genellikle "dökme kakao" olarak adlandırılır, zira bu tür, çikolatanın karakteristik ve tanınmış kokusunu sağlar. Bu özelliklerinden dolayı, Forastero kakaosu, çikolata üretiminde yaygın olarak kullanılır ve genellikle kakao karışımlarının yaklaşık %80'ini oluşturur. Trinitario, Criollo ve Forastero'nun melezlenmesiyle ortaya çıkan bir kakao ağacı türüdür. Bu tür, her iki ebeveyninin özelliklerini taşır: Hem keskin hem de rafine bir aromaya sahip olup, aynı zamanda yetiştirilmesi diğer türlere göre daha kolaydır (Afaakwa, 2014). Trinitario, kakao çeşitliliğini artırmak ve üretim verimliliğini iyileştirmek için önemli bir rol oynamaktadır. (Toxopeus, 1985).

Afrika'nın Fildişi Sahili gibi birçok ülkesinde, kakao meyvelerinin toplanması için belirlenen başlıca hasat zamanı Ekim'den Mart'a kadar sürerken, ikincil hasat sezonu ise Mayıs'tan Ağustos'a kadar devam eder. Her yıl gerçekleştirilen iki ya da üç hasat döneminde, olgunlaşmış meyveler toplanır ve tam anlamıyla olgunlaşmaları için birkaç gün boyunca özel olarak tasarlanmış sandıklarda muhafaza edilir. Bu süreç, meyvelerin içerisindeki kakao çekirdeklerinin lezzet ve koku profilinin gelişimine katkıda bulunur. Kakao kabukları hasat edildikten sonra çekirdeklerin çıkarma işlemi gerçekleştirilir. Çekirdekler ve posa birleştirilerek fermantasyon sürecine tabi tutulur. İlk aşamada, çekirdeklerin çevresindeki posa, renk ve aroma oluşumu için fermantasyona alınır (Afaokwa, 2014). Bu süreçte, posanın içindeki şekerin mayalar tarafından alkol ve karbondioksit'e dönüştürülmesi gerçekleşir. Daha sonra, bakteriler alkolü laktik aside okside eder ve daha aerobik bir ortam oluştuğunda asetik asit üretilir. Bu süreçle birlikte ısı üretilir ve ilk 24 saat içinde sıcaklık artar. Posa kırıldığında ve dışarı çıktığında, fermantasyon süreci tamamlanana kadar starter kültür aktivitesi devam eder. Kakao fermantasyonunda bulunan mayalar genellikle toprak, ağaç kabuğu gibi doğal ortamlardan gelir. En yaygın maya türleri arasında *Saccharomyces spp.* bulunur (özellikle *S. cerevisiae*, *Candida krusei*, *Kloeckera apiculata*, *Pichia fermentans*, *Hansenula anomola* ve *Schizosaccharomyces pombe*). Mayalar fermantasyon sırasında hızla çoğalmakta ve kurutma ve depolama aşamalarında da canlılıklarını sürdürebilmektedir. Depolanmış çekirdeklerde  $10^7$  adet/g'ya kadar maya bulunabilir. Fermantasyondan sonra kakao çekirdekleri kurutulur (Beckett, 2017).

Fermantasyon sürecini bitiren kakao çekirdekleri, güneş altında kurutulmaya bırakılır ve bu sırada çekirdeklerin sıcaklığının  $40^{\circ}\text{C}$ – $60^{\circ}\text{C}$  aralığını aşmamasına özen gösterilir. Nem oranı %7'nin altına inene kadar kurutma işlemi sürdürülür ki bu genellikle 5 ila 7 gün sürer. Kurutma süreci, mikrobiyal aktiviteyi azaltmanın yanı sıra, çekirdeklerde esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmesine de olanak tanır. Bu reaksiyonlar, kakao çekirdeklerinin renk ve lezzet profilinin gelişimine katkıda bulunur (Macrea vd., 1993).

Kakao çekirdekleri, toz, taş, kum, odun parçaları, metal ve cam gibi yabancı maddelerden arındırılır. Bu süreçte; eleme, mıknatıs kullanımı, titreşim ve hava üfleme teknikleri kullanılır. Temizlenmiş çekirdekler, boyutlarına göre sınıflandırılır ve böylece daha sonraki işlemler için hazır hale getirilir. Bu aşamalar, kakao çekirdeklerinin

kalitesini artırır ve sonraki işlem basamakları için ideal bir başlangıç noktası oluşturur (Anonim, 1993).

Kavurma süreci, kakao çekirdekleri üzerinde uygulandığı gibi, kabukları soyulmuş kakao tanecikleri (nib) ya da kakao likörü üzerinde de gerçekleştirilebilir. Bu işlem, nihai aroma oluşumunu destekler, mikrobiyal kaliteyi iyileştirir (bakteri, maya ve küf miktarını azaltır) ve nem oranını düşürerek öğütme sürecini daha verimli hale getirir. Kavurma esnasında, kakao bileşenlerinde önemli değişiklikler oluşur; örneğin, biyasetilin oluşumu lezzeti ve aromayı artırır. Kavurma derecesi, işlem sürecine, kullanılan ekipmana, nib türüne ve elde edilmek istenen ürün özelliklerine göre 95.0-145.0°C arasında değişkenlik gösterir. Kavurma tamamlandığında, çekirdeklerin kabukları rahatlıkla ayrıştırılabilir bir duruma gelir (Afoakwa, 2014).

Kakao çekirdeklerinin kabuklarından ayrılmasının ardından, özel olarak tasarlanmış çift taşlı değirmenlerde öğütme işlemine tabi tutulurlar. Öğütme esnasında, sürtünme ve uygulanan ısı sebebiyle sıcaklık 40°C 'nin üzerine çıkar. Bu ısı, niblerde bulunan katı haldeki kakao yağının erimesini sağlar. Öğütüldükten sonra elde edilen kakao kütlesi, kakao likörü olarak adlandırılır ve bu likör, preslenerek kakao yağı ve kakao tozu olarak ayrıştırılır. Kakao likörü, doğrudan çikolata yapımında kullanılabilir gibi, kalıplanarak çikolata üreticilerine satışa da sunulabilmektedir. (Hui, 1991; Bernard, 1989)

## 2.2 Çikolata ve Çikolata Teknolojisi

"Türk Gıda Kodeksi Çikolata ve Çikolata Ürünleri Tebliği'nde belirtildiği üzere, çikolata; kakao ürünleri, şeker veya tatlandırıcılar, gerektiğinde süt yağı dışındaki hayvansal yağlar haricindeki diğer gıda bileşenleri ve süt veya süt ürünleri ile Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliğinde izin verilen katkı ve/veya aroma maddelerinin eklenmesiyle teknik uygunluğa göre hazırlanan bir üründür" (Anonim, 2017). Şekerleme ürünü olarak çikolatalar, bitter, süt, beyaz, dolgulu ve pralin gibi beş farklı gruba ayrılırlar. Bitter, sütlü ve beyaz çikolataların içinde bulunması gereken kakao kuru maddesi miktarı, kakao kuru maddesindeki kakao yağı oranı, yağsız kakao oranı, süt kuru maddesi miktarı, süt kuru maddesindeki süt yağı oranı, süt yağı ve kakao yağı toplamı ve kakao yağı oranları Çizelge 2.1'de özetlenmiştir. Dolgulu çikolata ve pralin için ise özet bilgiler Çizelge 2.2'de yer almaktadır (Anonim, 2017).

**Çizelge 2.1** Siyah, sütlü ve beyaz çikolataların bileşim oranları (Anonim, 2001)

Çikolata	Kakao kuru madde (%)	Kakao kuru maddesindeki kakao yağı (%)	Kakao kuru maddesindeki yağsız kakao kuru maddesi (%)	Süt kuru maddesi (%)	Süt kuru maddesindeki süt yağı (%)	Süt yağı ve kakao yağı toplamı (%)	Bileşimindeki kakao yağı yüzdesi (%)
Bitter çikolata	%35	%18	%14	nd	nd	nd	nd
Sütlü çikolata	%25	nd	%2.5	%14	%3.5	%25	nd
Beyaz çikolata	nd	nd	nd	%14	%3.5	nd	%20

nd: Belirtilmemiş, % oranları kütlecedir (m/m).

**Çizelge 2.2** Dolgu çikolata ve pralin çikolatalarının özellikleri (Anonim, 2016)

Çikolata tipi	Çikolata özellikleri
Dolgulu çikolata	Dış kısmı toplam ürün ağırlığının en az %25'ini içeren, bitter çikolata, sütlü çikolata, bol sütlü çikolata ve beyaz çikolatalardan birinden oluşan dolgulu çikolata
Pralin	Toplam ürün ağırlığının %25'i bitter çikolata, sütlü çikolata, bol sütlü çikolata, beyaz çikolataların kombinasyonundan, karışımından veya herhangi birinden yada dolgulu çikolatadan oluşan bir lokma büyüklüğündeki çikolata

### 2.2.1 Çikolata Bileşenleri

Çikolata, şeker, kakao (ve türüne bağlı olarak süt yağı ve katıları) gibi ince katı parçacıkların yağ ile birlikte oluşturduğu yarı katı bir süspansiyondur. Kakao katıları, *Theobroma cacao* meyvesinden elde edilir. Dünyada üretimi en yaygın olan küçük, düz ve mor renkteki kakao çekirdeklerinden oluşan Forastero varyetesidir. Nadiren üretilen bir diğer varyete ise Criollo'dur. Trinitario olarak adlandırılan varyete ise Criollo ve Forastero'nun hastalıklara dayanıklı hibritidir (Awua, 2002). Forastero, özellikle Batı Afrika ve Brezilya'da yetiştirilir. Yüksek kaliteli ve aromatik kakao olarak bilinen Criollo ise büyük ölçüde Orta ve Güney Amerika'da yetiştirilir. Batı Afrika dünya kakao üretiminin yaklaşık %70'ini üretmektedir (ICCO, 2008).

Çikolatanın karakteristik özellikleri arasında bulunan ağız hissini ve erime davranışını etkileyen özelliklerinin başında TAG ve yağ asiti profili bulunmaktadır. Kakao yağı TAG'larında en çok karşılaşılan yağ asitleri stearik (%34), palmitik (%27) ve oleik (%34) asitlerdir. Çikolata, oda sıcaklığında katı bir yapıya sahip olsa da, tüketim sırasında oral boşlukta (37°C) erime özelliği gösterir ve kakao yağı ve süt yağı içindeki katı parçacıklar pürüzsüz bir süspansiyonu oluşturur. Ağız epitel hücreleri de pürüzsüzlük derecelerine duyarlıdır. Yüksek yağ ve şeker içeriğine rağmen, çikolata tüketimi özellikle epikateşin, kateşin ve özellikle prosiyanidinler gibi flavonoidler dahil olmak üzere polifenollerini içermesi nedeniyle insan beslenmesine olumlu katkıda bulunur. Beyaz çikolatalar, bu polifenollerini içeren kakao katılarının yokluğu nedeniyle sütlü ve bitter çikolatalardan farklılık gösterir. Ayrıca beyaz çikolata raf ömrü, diğer çikolata çeşitlerine göre daha kısadır (Beckett, 2000; Whitefield, 2005). Çikolata, potasyum, magnezyum, bakır ve demir mineralleri içerir (Holland vd., 1991). Çikolatanın duyu özelliklerindeki

farklılıklar, farklı kakao türlerinin kullanımına, bileşen oranlarındaki değişikliklere, süt tozu yerine süt kırıntısının kullanımına, konçlama tekniklerine ve diğer bazı proses yöntemlerine bağlıdır (Jackson, 1999).

### 2.2.1.1 Kakao

Kakao tozu, kakao yağı çıkarıldığında geride kalan kavrulmuş kakao çekirdeği katılarından üretilir. Presleme kakao yağının tamamını çıkarmadığından, parçacıklar ince bir kakao yağı tabakası ile kaplanmış halde kalır. Kakao tozunun toplam yağ içeriği %8 ila %26 (m/m) arasında değişir. Bu katı parçacıklar çikolatanın tadının temelini oluşturur (McGee, 2004; Wolfe ve Shazzie, 2005).

Endüstride “Dutch işlemi” olarak da adlandırılan alkali muamelesi veya alkalizasyon, genelde potasyum ve sodyum karbonat kullanılarak yapılır. Fazla alkali varsa, tartarik asit ile nötralize edilebilir. Alkali uygulaması, kakaonun bazı kimyasal bileşenlerini değiştirerek, daha koyu bir renge ve hatta su içinde daha iyi çözünürlüğe kavuşmasını sağlar. Bu işlemle birlikte, kakaonun rengi ve aroması da değişikliğe uğrar. Alkalizasyon işlemi görmemiş kakao çekirdeklerinin pH değeri 5,2 ile 5,6 arasındayken, alkalizasyon sonrası pH, elde edilen renge bağlı olarak 6 ile 8 arasında değişebilir: pH yükseldikçe renk daha koyu hale gelir. Çoğu ülkede, alkali miktarı yasal düzenlemelerle sınırlıdır ve 100 kısım kakao başına izin verilen maksimum alkali miktarı 2,5 ila 3 kısım potasyum karbonat ya da eşdeğer miktardadır (Demirci vd., 2024). Kakao likörü olarak da bilinen kakao kitlesi, çikolata üretiminde önemli bir bileşendir. Kakao çekirdeğinin öğütülmesiyle yapılır. Bu madde hem çikolataya karakteristik tadını veren kakao katılarını hem de tekstür, akış, erime davranışlarını düzenleyen kakao yağını içerir (Afoakwa, 2010).

Kakao yağı, *Theobroma cacao* L. ağacının meyvesi olan kakaonun tohumlarından çıkarılan, palmitik ve stearik asit gibi doymuş yağ asitleri içerdiği için oda sıcaklığında katı formda bulunan özgün bir bitkisel yağdır. (Cisse & Yemişçioğlu, 2019). Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ise kakao yağını, *Theobroma cacao* veya yakın türlerinden kavurma işleminde önce ya da kavurma işlemini takiben elde edilen yağ olarak tanımlamıştır (Minifie, 1989). Kakao yağı gıda endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanılan önemli ve pahalı bir hammaddedir (Konar vd., 2023). Kakao yağının önemi bu yağın bileşimindeki özgünlük ve ürünlere kazandırdığı önemli fiziksel özelliklerden ileri

gelmektedir. Kakao yağının oluşturduğu kristal yapı ve ağı çok özel bir bileşime sahiptir ve bileşiminde yer aldığı ürüne parlaklık, snap, ağza alındığında hızla erime gibi kakaolu ürünlerde arzu edilen özellikleri sağlar (Rasouli Pirozuian, 2020).

Kakao yağı TAG'larının bazıları 1,3 pozisyonunda doymuş yağ asitlerine ve 2 pozisyonunda oleik aside sahiptir. Kakao yağındaki TAG'ın yaklaşık %90'ının simetrik TAG'lardan oluşması, bu yağın teknolojik özellikleri için önemli bir etkidir. Doğru koşullarda kristalize edilen kakao yağı 27-33 °C arasında erir. Oldukça dar bir aralıkta gerçekleşen, erime profilinin dikliği, lezzetin ortaya çıkmasında önemli bir etkidir (Afoakwa, 2014).

### 2.2.1.2 Şeker

Şeker, genel olarak çikolatada "sadece" tatlılığa katkıda bulunan inert bir bileşen olarak kabul edilir. Ancak, şeker içeriğindeki %1'lik değişimin maliyet ve diğer ekonomik değişkenler üzerinde büyük etkisi vardır. %5'lik bir değişimde ise büyük tat değişiklikleri belirgin hale gelir (Beckett, 1999). İnce kristalli sakaroz çikolata ürünlerinde %50'ye kadar kullanılmaktadır (Kruger, 1999). Süt katılarında laktoz, amorf bir formda daha düşük seviyelerde bulunur ve camsı halde bir miktar süt yağı tutar (Beckett, 2000). Bu da çikolatanın tadını ve akış özelliklerini etkiler. Laktoz, Maillard reaksiyonlarına katılarak esmerleşmeyi artırır (Kruger, 1999; Bolenz vd., 2006). Monosakkaritler, özellikle glukoz ve fruktoz, kurutulması zor olduğundan çikolatada nadiren kullanılır. Sonuç olarak, çikolatada bulunan ilave nem, şeker parçacıkları arasındaki etkileşimleri artırır ve viskoziteyi yükseltir. Dekstroz ve laktoz, sütlü çikolatadaki sakarozun yerini başarıyla alabilir (Muller, 2003; Bolenz vd., 2006).

### 2.2.1.3 Süt Orijinli Bileşenler

Çikolata bileşiminde yer alan süt orijinli bileşenler süt tozları (tam yağlı ve yağsız), peynialtı suyu tozu ve süt yağıdır. Süt tozu, sütün buharlaşarak yoğunlaştırılması sonucu elde edilen ve sütün kuru bileşenlerinin toz haline getirildiği bir süt ürünüdür. Hem yağsız hem de tam yağlı süttten üretilen süt tozları, püskürterek kurutma yöntemiyle işlenir (Konar vd., 2023). Püskürterek kurutma ile elde edilen tozdaki proteinlerin biyolojik yararlanımı, silindir kurutma yöntemiyle kurutulanlara göre daha fazladır. Modern süt tozu üretiminde uygulanan daha hafif ısıl işlemler, sütteki enzimlerin inaktive edilmemesi nedeniyle bazı sorunlara neden olabilir. Özellikle süt tozunda problem

oluşturan enzim lipazdır. Burada bahsedilen lipazın, sütün doğal lipazı olmayıp, depolama sırasında oluşan bakteriyel lipazlar olduğu anlaşılmalıdır. Sütün doğal lipazı nispeten kolayca inaktive edilirken, bakteriyel lipazlar ısıya işleme karşı daha dirençli olabilmektedir. Soğuk depolama koşulları, ısıya dayanıklı lipaz üreten mikroorganizmaların çoğalmasına zemin hazırlayabilir. Lipaz enzimi, yağ asitlerini gliserolden ayırarak serbest yağ asitleri, örneğin bütirik asit üretir. Eğer orjinal yağ süt yağı ise, düşük seviyelerde bu serbest yağ asitleri ‘tereyağımsı’ veya ‘kremisi’ bir lezzet oluşturur. Serbest yağ asidi miktarı arttıkça, tat giderek ‘peynirsi’ bir nitelik kazanır. Genellikle şekerleme üretiminde serbest bütirik asit, pişirme sırasında meydana gelen kayıplar nedeniyle önemli bir sorun teşkil etmez. Diğer serbest yağ asitleri ise farklı lezzet profillerine sahiptir (Minifie, 1998).

Peyniraltı suyu tozu ise, peynir üretiminin bir yan ürünü olarak ortaya çıkmıştır ve geleneksel olarak bazı şekerleme ürünlerinde kullanılan peynir altı suyu tozu formunda bulunur. Ancak, peynir altı suyunun şekerlemelerde geniş çapta kullanımı yaygın değildir. Bunun sebepleri tam olarak anlaşılmamış olsa da, peynir altı suyunun şekerlemelere kattığı tatlar her zaman tercih edilen tatlar değildir. Laktozun ana bileşen olması, kullanımını sınırlayan başka bir faktördür; diğer şeker türleriyle kıyaslandığında, laktozun çözünürlüğü düşüktür, fazla miktarda kullanıldığında metalik bir tat bırakabilir ve bazı bireyler tarafından diyetlerinde kabul edilemez. Yine de peynir altı suyunun daha geniş kullanımını mümkün kılmak adına yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Laktozun dekstroz ve galaktoz gibi monosakkaritlere dönüştürülmesi üzerine yapılan araştırmalar, bu şekerlerin laktoza göre daha yüksek çözünürlüğe sahip olduğunu ve indirgeyici şekerler olarak ek avantajlar sunduğunu göstermiştir (Edwards, 2018).

Süt yağı, sütlü çikolatanın kendine has tekstürü ve lezzeti için kritik bir bileşendir. Ayrıca, çikolatanın yüzeyinde oluşabilecek ve “fat bloom” olarak adlandırılan sorunun önlenmesine yardımcı olur. Çikolatanın sıvı formunda ne kadar çok yağ bulunursa, şekerleme teknolojisinde kullanımı sırasında ve tüketildiğinde o kadar rahat akar. Ancak, süt yağı maliyetli bir bileşen olduğundan, üreticilerin mevcut yağdan en verimli şekilde yararlanmaları önemlidir. Tereyağı, oda sıcaklığında neredeyse tamamen sıvı halde olduğundan, çikolatanın katı kalabilmesi için sınırlı miktarda eklenmelidir. İki farklı yağın karıştırılmasıyla oluşan ve genellikle beklenenden daha yumuşak olan bir karışım olan ötektik etkileşimler de dikkate alınmalıdır. Ancak, kakao yağından daha sert yağlar

kullanıldığında, bu yumuşaklık ağızdaki yağlı hissi azaltabilir. Fraksiyonel süt yağları, farklı erime noktalarına sahip fraksiyonların ayrılmasıyla elde edilir ve bazıları normal süt yağından daha sert bir çikolata yaparken, diğerleri çiçeklenmeyi daha etkili bir şekilde önleyebilir. Süt yağının büyük bir kısmı (%98) TAG'lerden oluşur. Kalan önemli bileşenler arasında fosfoliseritler (özellikle lesitin), diaçilgliseroller ve steroller bulunur. Süt yağının raf ömrü, enzimatik oksidasyon veya lipoliz nedeniyle sınırlıdır. Enzimler, yağ asitlerinin daha kısa zincirli serbest asitlere dönüşümünü hızlandırır ve bu asitler kötü bir tada sahip olabilir. Kakao yağı ile gerçekleşen benzer bir reaksiyon sonucu oluşan asitler genellikle tatsızdır ve çikolatanın kabul edilebilirliğini korur. Bozulmanın erken evrelerini belirlemek için peroksit sayısının ölçümü kullanılır. Süt yağının daha uzun süre muhafaza edilmesi için, oksijenle teması en aza indirmek önemlidir. Bazen ambalaj içindeki hava nitrojenle değiştirilir ve oksijen bariyerli ambalajlar tercih edilir. Soğuk depolama önerilir ve oksidasyon sürecinde katalizör işlevi gören bakır ve demir gibi elementlerden kaçınılmalıdır (Beckett, 2017; Konar, 2023; Lonchamp ve Hartel, 2004).

#### 2.2.1.4 Emülsifiyerler

Çikolata teknolojisinde en yaygın kullanılan emülsifiyer lesitindir. Lesitin dışında fosfatid asitlerin amonyum tuzları ile PGPR çikolata teknolojisinde kullanılan emülsifiyerler olarak öne çıkmaktadır (Beckett, 2009). Lesitin uzun yıllardır çikolata teknolojisinde yüzey aktif madde olarak kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan soya orijinli lesitin olmakla birlikte, ayçiçek tohumu, yerfıstığı ve mısır yağından elde edilenler de kullanılmaktadır (Afoakwa vd. 2007). Soya orijinli lesitin, çikolata üretimindeki en kullanışlı emülsifiyer olarak belirlenmiştir (Middendorf vd., 2015). Lesitinlerin fosfolipid kompozisyonları, hammadde üretim koşulları ve prosese bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Nyugen vd., 2014). Çikolata üretiminde yaygın kullanıma sahip olan soya lesitini, farklı fosfolipidlerin karışımını içermektedir (Shantz vd., 2003). Ancak lesitin yaygın olarak tek başına kullanılmayıp, bir diğer yüzey aktif madde olan PGPR (polyglycerol polyricinoleate) ile kombinasyonları tercih edilmektedir.

PGPR; kondanse castor yağı asitlerinin poligliserol ile kısmi esterifikasyonu sonucu elde edilen bir yüzey aktif maddedir (Schantz ve Rohm, 2005). PGPR, lesitine göre tamamen farklı bir mekanizma ile çikolata reolojisi üzerine etkili olduğu belirlenmiştir (Middendorf vd., 2015). Bu bileşenin plastik viskozite üzerindeki etkisinden çok, yield value değerinin değişimine neden olmasından ötürü tercih

edilmektedir. Örneğin, Afoakwa vd. (2007), %0,2 oranında PGPR ilavesi lesitine göre yield value değerini yarıya düşürebildiğini belirtmiştir (Afoakwa vd. 2007). Diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Rector 2000; Schantz ve Rohm 2005). PGPR, yield stress, lesitin ise viskozite özelliklerine yönelik olarak kullanılır (Schantz ve Rohm, 2005; Afoakwa, 2010; Roussett vd., 2002). Bu özelliklerin modifikasyonunun kaplama, kalıplama, hava kabarcıklarının oluşumunun engellenmesi gibi teknolojik avantajları da bulunmaktadır (Anonymous 1998; Rector 2000). Ayrıca, Wolf (2017), endüstriyel çikolata üretiminde plastik viskozitenin uygunluğu söz konusu iken yield değerinin çok yüksek olması halinde boyut küçültme prosesinin veya yield değeri üzerinde etkili olan emulsifier kullanım miktarının modifikasyonunu önermiştir. Dolayısı ile, ürün bileşimi ve proses parametrelerine göre PGPR kullanımı ve düzeyi farklılık gösterebilmektedir.

Emülsifiyerler çikolatanın diğer bileşenlerine göre çok daha düşük düzeylerde kullanılmaktadırlar. Ancak, kakao dispersiyonlarının mikroyapısal ve akış özelliklerini küçük oranlarda dahi güçlü bir şekilde etkilemektedirler. Bu etki partikül-partikül etkileşimini azaltmak, Van der Waals kuvvetlerinin modifikasyonu ve/veya partikül yüzey yüklerinin modifikasyonu ile gerçekleşmektedir (Glicerina ve Romani 2016). Lesitin miktarının 0.5 g/100 g'dan fazla kullanımında plastik viskozite düşmeye devam ederken, yield value değeri lesitin miktarı arttıkça arttığı belirlenmiştir (Hasenhuettl ve Hartel 2006; Rector 2000, Schantz ve Rohm 2005). Özellikle soya orijinli olmak üzere lesitin, 0.3-0.6 g/100 g düzeyinde çikolata akış özelliklerini düzenleyerek kakao yağı kullanım miktarının azaltılması sonucu maliyetin düşürülmesi amacı ile çikolata teknolojisinde yaygın olarak kullanıldığı ifade edilmekle birlikte (Schantz ve Rohm, 2005), endüstriyel uygulamalar ve önceki çalışmalar incelendiğinde, lesitin kullanımı için genel olarak üst seviye 0.5 g/100 g olarak belirtilebilir. Ancak, proses ve ürün tipine bağlı olarak bu düzey değişim gösterebilir. Örneğin reolojik ve mikroyapısal özellikler dikkate alındığında, ball-mill prosesi ile bitter çikolata üretiminde Saputro vd. (2019), 0.4 g/100 g düzeyinde lesitin kullanımını önermiştir. Stroppa vd. (2011), lesitin 0.1-0.3 g/100 g aralığında kullanıldığında yield stress üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu, 0.3-0.5 g/100 g aralığında ise plastik viskoziteyi düşürmeye devam ederken yield stress artışına neden olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca bu kullanım miktarlarının toplam emülsifiyer miktarı olarak dikkate alınması yararlı olacaktır. Millqvist-Fureby ve Smith (2007)

bileşime göre değişiklik göstermekle birlikte, genellikle yüzey aktif maddelerin 0.5 g/100 g düzeyinde eklenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Lesitin-PGPR kombinasyonun nasıl oluşturulması gerektiği konusunda sınırlı sayıda çalışma olup, genel olarak lesitin kullanım miktarı ve düzeyi ile bu kullanım ve düzey değişkenliğinin reolojik özellikler üzerindeki etkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Kısıtlı sayıdaki çalışmada, farklı kombinasyonlar önerilmiştir. PGPR kullanım avantajlarının, lesitin ile karışımın kullanılması sonucu arttırılması mümkün olup, lesitin:PGPR oranı için 70:30 (Schantz ve Rohm, 2005), 2:1 (Schuster, 1985), 3:1 (Höfs ve Taschke, 2002), 2.5:1 (Hassenhuettl ve Hartel, 1997) gibi farklı değerler belirten çalışmalar bulunmakta olup, bu çalışmalara genel olarak eriyik çikolata akış özellikleri esas alınarak belirlenmiştir.

## **2.3 Çikolata Teknolojisi**

### **2.3.1 Karıştırma**

Çikolata üretimi sırasında malzemelerin karıştırılması, sürekli veya kesikli mikserlerde zaman-sıcaklık kombinasyonları kullanılarak sabit bir formülasyon tutarlılığı elde etmek için uygulanan temel bir işlemdir. Kesikli karıştırma yönteminde, kakao kitlesi, şeker, kakao yağı, süt yağı ve süt tozu (ürün kategorisine bağlı olarak) içeren çikolata genellikle 40-50°C'de 12-15 dakika boyunca tamamen karıştırılır. Sürekli karıştırma genellikle büyük kapasiteli çikolata üreticileri tarafından kullanılır ve bilinen otomatik yoğurucular kullanılarak yapılır. Sürekli sistemlerde daha sert tekstür ve plastiksi kıvamda yapı elde edilir (Minifie, 1989; Beckett, 2000; Awua, 2002).

### **2.3.2 Ön-İnceltme ve İnceltme**

Çikolatada inceltme işlemi, modern çikolata tekstüründe hedeflenen pürüzsüz bir yapının elde edilmesinde önemlidir. Şeker ve kakao kitlesi karışımları (ve çikolatanın türüne bağlı olarak süt katıları) partikül boyutu 30 µm'den daha küçük olacak şekilde inceltir (Beckett, 1999, 2000). Son ürün partikül boyutu, reolojik ve duyu özellikleri önemli ölçüde etkiler. Yaygın kullanılan üç veya beş silindri incelticiler, sıcaklık kontrollü silindirlerin dikey bir dizisinden oluşur ve hidrolik basınçla bir arada tutulur. İnce bir çikolata filmi, giderek hızlanan silindirlere çekilir ve inceltici boyunca yukarı doğru hareket eder. Silindirler kesme etkisi ile katı partikülleri parçalar, yeni yüzeyleri

lipitle kaplayarak aktif hale getirir ve kakao bileşenlerinden uçucu aroma bileşiklerinin absorblanmasına katkıda bulunur (Awua, 2002).

### 2.3.3 Konçlama

Konçlama akışkan çikolata üretiminde son aşama olarak kabul edilebilir. Bu önemli süreç, viskozite, tekstür ve lezzetin gelişimine katkıda bulunur. Konçlama genellikle çikolatanın 50°C'nin üzerinde bir sıcaklıkta uzun süreli karıştırılması, yoğurulması ve havalandırılmasıyla gerçekleştirilir (Beckett, 2000).

Çikolata kalitesi kullanılan kakaonun kalitesi ile proses tarafından etkilenir (Braga vd., 2018). Başlıca çikolata proses basamaklarından birisi ise konçlamadır. Çikolata kitlesinin ısıtılırken veya belirli bir sıcaklıktayken karıştırma, yoğurma ve havalandırılması (Owusu vd., 2012; Beckett, 2000) işlemi olan konçlama yüksek sıcaklıklarda (>40°C) çikolata kitlesinin hedef kalite özelliklerine ulaşması için oldukça önemlidir. Konçlama, çikolata üretiminde son tat ve aromanın oluşması, viskozitenin gelişmesi ve çikolata kitlesinin uygun tekstüre ulaşması için proses içerisindeki önemli bir süreçtir. Konçlama sıcaklığındaki ve süresindeki değişimler viskozite, tekstürü ve aromayı etkileyebilmektedir (Bolenz vd., 2003; Torres-Moreno vd., 2012; Bolenz vd. 2005). Çikolata üretiminde kullanılan geleneksel konç, ekipman kabuk biçimine benzediği için, Latince kabuk anlamına gelen 'conche' kelimesinden türetilmiştir. Konçlamada çikolata hamuru dövülür, yoğurulur ve havalandırılır. İnce film evaporatörler istenmeyen uçucu bileşikleri ve suyu uzaklaştırmak için geliştirilmiştir. Bu işlem yoğurma ile eş zamanlı uygulanabilmektedir (Beckett, 2000).

Çikolata üretiminde son aşama olan temperleme ve soğutma aşamaları öncesinde uygulanan karıştırma, ön-inceltme, inceltme ve konçlama aşamalarının her biri, son ürün kalitesi üzerinde şiddetli modifikasyonlar ile sonuçlanır (Glicerina vd., 2013). Bu kalite parametrelerinden duyuşal (tekstür, erime özellikleri, akış davranışı, renk, aroma) özelliklerin özellikle dikkate alınması gerekir. Çünkü, çikolata, beslenme özelliklerinden çok haz almak amacıyla tüketilen bir gıda maddesi olduğu için, tüketici algı ve kabul düzeyini etkileyen özelliklerin ürün ve proses geliştirme çalışmalarında mutlaka göz önünde tutulması gerekmektedir (Bolenz vd., 2003). Konçlama ile ulaşılması gereken hedefler, bu işlemin modifikasyona uğratılması önünde başlıca kısıt olarak belirtilebilir. Çünkü aynı işlem sırasında aglomeratların parçalanması, partiküllerin yağ ile kaplanması,

viskozitenin düşürülmesi, istenmeyen uçucu maddelerin uzaklaştırılması ve son aromanın gelişimi gibi değişikliklerin meydana gelmesi hedeflenir (Jolly vd., 2003). Toker vd. (2019), bu hedeflere ulaşılması için konçlamanın üstlendiği fonksiyonları (i) kitlede bulunan suyun uzaklaşması, (ii) serbest asetik asit uzaklaşması, (iii) aroma gelişimi, (iv) homojen yapı elde edilmesi, (v) hedef tekstürel ve reolojik özelliklere ulaşılması olarak belirtmiştir.

### 2.3.4 Temperleme

Geleneksel ve mevcut çikolata teknolojisinde kakao yağının son üründe hedeflenen düzeylerde kristalizasyona uğraması, temperleme işlem basamağı ile gerçekleştirilen pre-kristalizasyon ile indüklenen kompleks bir süreçtir. Bu nedenle temperlemede, veya pre-kristalizasyonda, kakao yağı ve olası diğer orijinli yağların varlıkları göz önünde tutularak, termodinamik açıdan daha stabil polimorfik bir kakao yağını oluşturmak için kullanılır (Afoakwa vd., 2009a,b; Mohos, 2010). Bu amaç ile kakao yağının %1-3'lük bölümünün  $\beta_v$  polimorfunda kristalizasyona uğratılması (Rasouli Pirpouzian vd., 2020) ve soğutma ile de kristalizasyona uğrayan kakao yağı oranının  $>70$  düzeyine erişmesine yönelik prosesler uygulanmaktadır (Konar vd., 2017). Kristalizasyonun tamamlanması ise, depolama sürecinde  $\beta_v$  polimorfunda kristallerin oranının toplam kakao yağının kristalizasyonu ile tamamlanır (Mohos, 2010).

Temperleme işlemi; çikolatanın doğru (form  $\beta_v$ ) formdaki kristalleri üretmek için yeterli karıştırılması ile bir seri ısıtma ve soğutma adımlarından oluşur (Schenk ve Peschar, 2004). Bu işlemin amacı, çikolatayı oluşturan yağ süspansiyonunda yeterli sayıda ve homojen olarak dağılmış form  $\beta_v$  tohum kristallerini geliştirmektir. Konvansiyonel temperleme işleminin dört önemli aşaması bulunmaktadır. Bunlar; tam erime ( $50^\circ\text{C}$ ), kristalizasyon sıcaklığına soğutma ( $32^\circ\text{C}$ ), kristalizasyon ( $27^\circ\text{C}$ ) ve stabil olmayan kristallerin dönüşümüdür ( $29-31^\circ\text{C}$ ). Bu işlem akışkan çikolatanın farklı temperleme zonları boyunca pompalanması ile yürütülür (Bolliger vd., 1998).

Konvansiyonel temperleme işlemine alternatif olarak, kristalizasyon sürecinde nükleasyonun by-pass edilerek, stabil kristallerin çikolatada oluşması için eriyik çikolata kitlesine katı çikolata ve/veya kakao yağından elde edilen form V ve/veya form VI kristal çekirdeklerinin inokülasyonu sonucu gerçekleştirilebilir (Konar vd., 2017). Bu işlem "tohumlama", kristal çekirdekleri ise "tohum" olarak adlandırılmaktadır. Tohumlama

tekniki ilk olarak 1999 yılında uygulanmıştır (Windhab, 1999). Bu teknik, en stabil formdaki ve %0.05-1.00 (m/m) düzeylerindeki kakao yağı veya çikolata orijinli kristallerin, ön soğutma (32-34°C) gerçekleştirilmiş çikolataya ilave edilmesi ve homojen hale gelecek kadar karıştırılması ile çok sayıda kristal çekirdeğinin meydana gelmesi ile yürütülmektedir (Pirouzian vd., 2020).

### 2.3.5 Kalıplama ve Soğutma

Kalıplama ve soğutma, çikolata üretiminde önemli bir aşamadır. Çikolataların görünümünün parlak pürüzsüz, lezzetli olması ve çikolata kalıbından kolayca çıkması için soğutma işlemine ihtiyaç duyulur. Soğutma sisteminin işlevleri aşağıdadır;

- Çikolatayı kalıptan sorunsuzca çıkarabilmek için
- Spesifik ve gizli ısının ortadan kaldırılması

Kakao yağı ve bitkisel yağların kristalizasyon davranışları birbirinden farklıdır. Bu nedenle soğutma işlemi için farklı sıcaklıklar gerektirir. Kararlı kristallerin büyümesini desteklemek ve fat bloomu önlemek için temperlenmiş çikolatanın çok düşük olmayan sıcaklıklarda soğutmaya tabii tutulması gerekir (Beckett, 2009). Ayrıca çok hızlı soğutma, kararsız kristallerle birlikte yüzeyde gözenekler veya kılcal çatlaklar oluşturabilir. Çok yavaş soğutma ise bloom gelişimini teşvik edebilir. Soğutma tüneli içerisindeyken ürün üzerinde herhangi bir yoğuşma oluşmaması hayati önem taşımaktadır. Yoğuşma, şekerin önce yoğuşma olan bölgede çözünmesi ve ardından yeniden kristalizasyon nedeniyle bir yüzey kusuru olan sugar bloom gelişimine yol açabilir. Ekstrem yoğuşma durumlarında, çikolata yüzeyinde küf veya maya oluşumu gözlenebilir. Bu nedenlerle, soğutma tünellerindeki havanın nemi alınır. Örneğin 13°C'ye kadar soğutulan hava, bu sıcaklıkta su buharı (%100 RH) ile doyurulacaktır. Havanın nemini almak için, örneğin 1,5 °C'ye 'aşırı soğutulur ve ardından tekrar 13°C'ye ısıtılır. Bu hava daha sonra %45 bağıl neme sahiptir. Nem alma işlemi ek enerji kullanımını gerektirir ve bu nedenle işlemin optimize edilmesi önemlidir (Afoakwa, 2010). Temperleme ve soğutma süreçleri birbiriyle ilişkilidir ve iki aşamalı tek süreç olarak kabul edilir (Rasouli Pirouzian vd., 2020).

Viskozitesi ayarlanmış çikolataya şekil vermede kullanılan kalıplar yüksek kaliteli ve gıdaya uygun polikarbonat malzemeyle üretilmiş olmalıdır. Bu malzemeler, 275x135cm'lik standart kalıplardan 1 metrelik büyük çikolata kalıplarına kadar istenilen ölçülerde ve modellerde bulunmaktadır. Polikarbonat kalıp çikolataya parlaklık verir.

Çikolata kitlesindeki ısı transferi sürecinin doğru yönetilmesine katkıda bulunur ve soğutmadan kaynaklanan lekelenme ihtimalini düşürür. Transparan yapısı, soğutma süresinde gözlem imkânı sunduğundan kullanışlıdır. Kalıplar kullanılırken kesinlikle suyla temas etmemelidir (Afoakwa, 2010).

## 2.4 Çikolata Temel Kalite Özellikleri

### 2.4.1 Tekstür

Çikolata tekstürü, fiziksel özelliklerinin en kompleks olanıdır ve ürün tercihinde lezzetin yanı sıra en çok akla gelen özelliklerdendir. Geniş anlamda tekstür, gıda maddelerinin ağızdaki hissini, ısırma ve çiğneme sonucu fiziksel özelliklerine ilişkin edinilen izlenimi ifade eden, subjektif olarak deneyimlenen bir kalite parametresidir. Çikolatanın algılanmasında üç tekstürel duyuşsal özellik büyük önem taşımaktadır. Bunlar pürüzsüzlük, erime ve sertliktir. Pürüzsüzlük konusunda bazı araştırmacılar, çikolatayı 15 µm'nin altında inceltmenin anlamsız olduğunu, çünkü oral kavitedeki duyuşsal sinir uçlarının bu parçacık büyüklüğünün altındaki farklılıkları ayırt edemediğini bildirmektedir. Bu durumda fıstık ezmesine benzer istenmeyen bir tat ortaya çıkar. Urbanski (1992), optimum değerin 15 ila 50 µm arasında olduğunu ve bunun üzerinde ürünlerin kumlu olduğu hissedildiğini belirtir. Daha önceki çalışmalarda 30-35 µm parçacık boyutuna sahip çikolatanın kumsu yapıda olarak algılandığını ve bunun genel duyuşsal kalite üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur (Toker vd., 2019).

Tekstür aynı zamanda kakao yağının erimesiyle de ilişkilidir. Kakao yağı çikolatalara sadece bu ürüne özgü, olağanüstü farklı ağızda erime özelliği kazandırır. Kakao yağının kristal yapısı çikolatanın parlaklığını ve stabilitesini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda ağız sıcaklığında sert bir malzemedan akışkan forma geçişin algılanmasından da sorumludur (Beckett, 2009).

Sertlik çikolatanın duyuşsal değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Bitter çikolata sütlü çikolatalara göre daha fazla sertlik gösterir (Markov ve Tscheuschner, 1989). Çikolatada arzu edilen, ağızda kolayca eriyen ve ağızda pürüzsüz bir his bırakan ve parlak bir görünüme sahip, sağlam, katı bir üründür. Aşırı yumuşak veya sert, zayıf, yapışkan yüzey, ağızda kolay erimeme ve ağızda pütürlü bir his gibi kusurlar tekstür ile ilişkili problemlerdir. Çikolatanın ağızda bıraktığı his tüketicilerin coğrafi konumuna

bağlı olduğundan (Cidell & Alberts, 2006), değerlendirme ürünün geliştirildiği pazar bağlamında yapılmalıdır. Bitter çikolatada sertlik ve ağızda bıraktığı his partikül boyutu ve dağılımı, yağ ve lesitin içeriğinden de etkilenir (Tyle, 1993; Afoakwa vd., 2008); bu nedenle öğütme, inceltme ve konçlama işlemlerinin optimizasyonu ile çikolata tekstürünün kontrol edilmesi sağlanır. Temperleme parlaklık, snap, sertlik ve erime özelliklerinin merkezinde yer alır (Ley, 1988; Afoakwa vd., 2008; Beckett, 2009).

#### 2.4.2 Akış Davranışı

Çikolatanın viskozitesi çok önemlidir. Çok ince veya çok kalın çikolata, yanlış gramajda ve/veya ürünlerin şekilsiz olmasına yol açacaktır. Aynı zamanda tadı da etkiler. Bileşimi aynı fakat farklı viskozitelere sahip olarak elde edilen iki çikolata tüketildiğinde birbirinden oldukça farklı oldukları değerlendirilir. Ancak çikolata viskozite ölçümü oldukça karmaşıktır. Çünkü eriyik çikolata non-Newtonian akış davranışına sahiptir. Bu nedenle viskozitesi akma hızına bağlıdır. Hızlı hareket eden çikolata, bir şekerlemenin yanından aşağıya doğru yavaşça aktığı zamana göre çok daha incedir. İdeal olarak viskozite, kullanıldığı akış hızında ölçülmelidir. Ancak bu, kalıplama veya kaplama işlemleri boyunca büyük ölçüde değişim gösterebilir (Toker vd., 2023). Çikolata akış davranışını karakterize etmek için yield stres ve plastik viskozite değerleri kullanılır (Aeschlimann ve Beckett, 2000).

Çikolatanın yüksek viskoziteye sahip olmasının olası nedenleri arasında;

- Yüksek nem miktarı
- Düşük ortalama partikül boyutu
- Uygun olmayan veya yanlış konçlama işlemi
- Yetersiz yada yanlış emülgatör kullanımı

bulunur (Toker vd., 2023). Bunlardan herhangi biri meydana gelirse, üreticinin fazladan kakao yağı veya lesitin ekleyerek o partiyi değiştirmesi gerekir. Plastik viskoziteyi düzenlemek için lesitin, yield stress değerini düzenlemek için ise PGPR kullanımında yararlanır (Toker vd., 2024).

#### 2.4.1 Erime Davranışı

Çikolatanın erime davranışı çoğunlukla içerdiği yağ ve katı partiküllerin etkileşimiyle ilişkilidir. Kakao yağı, çikolatanın en önemli bileşenlerinden biridir ve erime davranışını büyük ölçüde etkiler. Standart insan vücut sıcaklığında (yaklaşık 37°C)

kakao yağı erimeye başlar ve bu durum, çikolatanın ağızda yiyecek sıcaklığında kolayca erimesine neden olur. Kakao yağı TAG'ları, belirli sıcaklık aralıklarında kristalize olabilir. Kristal oluşumu, çikolatanın erime davranışını etkileyen kritik bir faktördür. Bunun yanı sıra, çikolata içerisindeki yağların kristal yapısı, özellikle de  $\beta$ -V polimorf yapısındaki kristaller, çikolatanın erime noktasını ve erime davranışını belirler. İyi temperlenmiş bir çikolata, istenmeyen polimorfik yapıdaki kristallerin miktarının en az olmasını ve çikolatanın oda sıcaklığında dahi sert kalmasını sağlar (Rasouli Pirouzian vd. 2020)

Sonuç olarak, çikolatanın erime özellikleri, içerdiği kakao yağı, kristal yapı, katı partikül boyutu ve temperleme süreci gibi faktörlerin karmaşık etkileşimi sonucunda ortaya çıkar. Bu faktörler, çikolatanın erime özelliklerini belirleyen kritik unsurlardır ve aynı zamanda çikolatanın ağızda veya farklı ortamlarda nasıl algılandığını etkiler (Konar vd., 2023).

## 2.5 Kakao Yağı Alternatifleri

### 2.5.1 Kakao Yağı Eşdeğerleri

Kakao yağı eşdeğerleri (CBE), fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından kakao yağı ile tamamen aynı olan yağlara verilen isimdir. Aromatik özellikler açısından kakao yağından farklıdır ve kakao çekirdeği dışındaki hammaddelerden üretilirler. Laurik asit içermemelerinden dolayı non-laurik bitkisel yağlar olarak da adlandırılırlar. Bazı yağlardan bitkisel yağlarda hidrojenizasyon, interesterifikasyon ve fraksiyonlama gibi modifikasyon yöntemleri ile elde edilirler (Lipp ve Anklam, 1998; Minifie, 1989). CBE'ler, kakao yağı ile aynı yağ asitlerini ve simetrik tekli doymuş TAG'ları içerirler. Ayrıca çikolata formülasyonunda, her oranda kakao yağı ile karışabilme özelliğine sahiptirler (Lonchamp ve Hartel, 2004; Konar vd., 2023). CBE'lerin çikolatalarda kullanılmasının bazı avantajları vardır;

- CBE'ler, kakao yağından ucuz olduğundan daha ekonomik çikolata üretilir,
- Fat bloom kontrolüne katkıda bulunurlar

İlk kez 1950'lerde kakao yağının kimyasal yapısının aydınlatılması nedeniyle yapılan araştırmalar kakao yağının kendine özgü özel bir TAG yapısının olduğunu göstermiş ve çikolatada kakao yağı yerine kullanılacak yağ karışımlarının kakao yağında bulunan TAG'lere benzer yapıda olması gerektiğini ortaya koymuştur. Bitkisel yağların bazıları

kakao yağında bulunan TAG'lara benzer olup, bunlardan modifikasyon teknikleri ile özel yağ karışımlarının hazırlanması kakao yağına eşdeğer yağ eldesini mümkün kılmaktadır. CBE'lerin çikolata formülasyonunda başarıyla kullanılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- Kakao yağına benzer erime özelliği göstermelidir,
- Kakao yağına yakın yağ asidi ve TAG kompozisyonuna sahip olmalıdır.
- Kakao yağı ile sorunsuzca bir arada bulunabilmelidir.
- Kullanılan yağ, kakao yağı içeren çikolata ürünleriyle aynı proses koşullarında işlenmesine olanak vermelidir,
- Kakao yağına benzer şekilde, polimorfik yapıda kristalize olmalıdır.
- CBE'ler kullanılarak üretilen kakao bazlı ürünlerin görünümleri ve raf ömürleri kakao yağı ile üretilen ürünlerle benzer olmalıdır.
- Bu yağlar iyi bir aroma stabilitesine sahip olmalıdır (Beckett, 1999).

CBE'lerin kakao yağı destekleri (Cocoa Butter Extenders, CBEXs) ve kakao yağı geliştiricileri, (Cocoa Butter Improvers, CBIs) olmak üzere iki alt grubu bulunmaktadır. Kakao yağı destekleri, CBE'lere benzer bileşenlerden oluşmaktadır, fakat kakao yağı ile her oranda karışamazlar. Kakao yağının formülasyonunda yüksek oranda palm yağı orta fraksiyonu kullanılmaktadır (Spangenberg ve Dionisi, 2001). Kakao Yağı Geliştiricileri (Cocoa Butter Improvers, CBIs) ise CBE'lere benzer özellikler taşımalarına karşın içerdikleri katı TAG miktarı CBE'lerden yüksektir ve bu sebepten ötürü yumuşak kakao yağlarının geliştirilmesinde kullanılırlar (Konar vd., 2023). Her ne kadar kakao yağıyla aynı TAG bileşimine tek başına sahip başka bir doğal yağ bulunmasa da, aynı TAG'ları farklı oranlarda içeren bazı yağlar bulunmaktadır. Bu sebeple uygun yağ işleme teknikleri, kontrollü fraksiyonlama ve uygun TAG karışımlarının hazırlanması ile kakao yağına eşdeğer yağ üretmek mümkün olmaktadır. Örneğin, palm yağı POP içermektedir ve bu TAG diğer TAG'dan fraksiyonlanma ile ayrılabilir. "Shea" ve "Sal" yağları StOSt, "Illipe" yağı ise POSt TAG'larını içermektedir. Bu yağların uygun oranlarda karıştırılmaları ile CBE'ler elde edilebilir (Edwards, 2018).

Palm yağları *Elaeis guineensis* ağacının kırmızı meyvelerinden elde edilmektedir. Illipe Yağı ise Borneo tallow, Engkabang veya Tenkgawang tallow olarak da adlandırılan bitkiden elde edilir. Avrupa'da kullanılan ticari ismi ise Mowrah yağıdır. Çoğunlukla Borneo, Java, Malezya ve Filipinler'de yetişen bir ağacın yaklaşık % 45-70 oranında yağ içeren çekirdeklerinden elde edilir (Lipp ve Anklam, 1989; Nesaretnam ve bin Mohd Ali,

1992). Shea yağı ise karite yağı ve galam yağı dışında birçok yöresel isimle de adlandırılır. Elde edildiği *Butyrospermum parkii* ağaçları başlıca Batı Afrika, Fildişi Sahilleri ve Nijerya'da yetişir. Fraksiyonlu kristalizasyonla elde edilen shea stearin başlıca 2-oleoyldistearin'den oluşur ve CBE olarak kullanılır. Bir diğer CBE olarak sal yağı da çoğunlukla Hindistan'ın kuzeyi, batısı ve ortasında yetişen bir ağacın meyvesinden elde edilir. Bunun yanı sıra Borneo, Java, Malezya ve Filipinler'de de yetişir. Meyvenin olgunlaşma süresi ortalama yirmi beş yıldır ve taneler yaklaşık %14 yağ içerir (Shukla, 1990). Kukum yağı ise goa yağı olarak da isimlendirilir. Çekirdekler %40 oranında erime noktası 39-43°C olan sert ve kırılğan bir yağ içerirler (Jeyarani ve Reddy, 1999; Lipp ve Anklam, 1998).

### 2.5.2 Kakao Yağı Benzerleri

Kakao Yağı Benzerleri (Cocoa Butter Subtitutes; CBS), temperleme uygulanması gerekmemesi ve TAG profili nedeni ile iyi bir kakao yağı alternatifidir. Bu kakao yağı alternatifi genellikle laurik asit içeren modifiye yağlardan üretilir (Zhang vd., 2020). Farklı bitkisel kaynaklardan elde edilen yağların modifikasyonu sonucu CBS geliştirilmesine yönelik araştırmalara bulunmaktadır (Biswas vd., 2017). Ancak sert laurik yağlardan biri olan CBS genel olarak palm kernel oil (PKO) ve Hindistan cevizi yağından elde edilen fraksiyonlanmış, hidrojenize veya interesterifiye yağlardır (Querishi vd., 2020). Palm kernel stearin ve olein, yaygın olarak kullanılan kokolin CBS'leridir. Çünkü bu yağların kullanımı ile temperleme ihtiyacı olmayan, kalıptan kolayca çıkan, uygun ve yeterli sertliğe sahip, keskin erime özelliğinde, bloom stabilitesi yüksek ürünler üretilir (Asghar vd., 2017). CBS fiziksel özellikleri kakao yağına benzer, ancak kimyasal özellikleri oldukça farklıdır. Bu farklılığın başlıca nedeni ise TAG profilidir (Abdul Halim vd., 2019). Ancak bu farklılık aynı zamanda CBS'ler ile kakao yağı arasındaki uyumsuzluğun da başlıca nedenidir (Jin vd., 2019).

“Compound Chocolate” Türkçe karşılığı “Kokolin” olarak adlandırılır. Kakao yağının bir alternatifi olarak düşük maliyetli bitkisel yağlar içeren kakao ürünü olarak tanımlanmaktadır (Asghar vd., 2017). Genellikle karıştırma ile elde edilen yağlar, istenilen fiziksel özelliklere sahip gıdalar elde etmek için gıda endüstrisinde kullanılır (Shin vd., 2019). Örneğin PKO ve kakao yağı compound kaplama için, bitkisel yağ ve palm stearin ise margarin veya sürülebilir dediğimiz “spread” üretimi için karıştırılır

(Shin vd., 2019). Kakao yağının CBS ile ikamesi ürün maliyetini azaltır (Norazlina vd., 2021). Bazı kakao yağı alternatifleri, kakao yağı ile farklı oranlarda karıştırılarak bir arada kullanılabilir. Ancak CBS'ler ile CB arasındaki uyumluluk sınırlıdır (Querishi vd., 2020). Örneğin kakao yağı ve CBE ile PKO arasında ötektik etkileşim olup, PKO'da önemli yumuşama belirlenmiştir (Williams vd., 1997). Bu nedenle genel olarak CBS'in yağ fazının tamamını oluşturduğu kokolin üretilir. Ayrıca palm kernel CBS'i, oksidatif stabilite ve fat bloom avantajları bulunmaktadır. Daha önceki çalışmalarda CBS ile hazırlanan çikolatalarda fat bloom gelişim hızının daha yavaş olduğu belirlenmiştir (Abdul Halim vd., 2019). Farklı amaçlarla kakao yağı içeren çikolatalarda yürütülmüş çok sayıda olmakla birlikte CBS ile üretilen kokolin çalışma sayısı sınırlıdır. Ancak bu ürünlerin duyuşsal, tekstürel, akış davranışları yanı sıra proseslerinde önemli farklılıklar bulunmaktadır (Lim vd., 2021).

Ayrıca bitter kokolin ile yürütülen çalışma sayısı daha fazladır (Lim vd., 2021; Zhang vd., 2020). Ancak sütlü çikolata yaygın olarak tüketilen bir üründür. Bu nedenle konvansiyonel çikolataya alternatif olarak üretilen sütlü kokolin için proses ve bileşenlerin başlıca ürün karakteristik ve kalite özelliklerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Sütlü çikolata üretiminde kullanılan süt tozu ve susuz süt yağı, temperleme koşullarını etkiler ve "fat bloom" inhibitörü olarak davranırlar (Ewans vd., 2021). Ancak CBS bazlı ürünlerde etkileri farklıdır. Ayrıca bu bileşenlerin düzeylerinin maliyet üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Kokolinin düşük maliyetli bir çikolata alternatifi olması ve yağ fazını oluşturan CBS'lerin farklı maliyetlerinin bulunması, bu bileşenlerin kullanım oranlarının optimizasyonuna önem kazandırır.

CBS kullanımının başlıca avantajları;

- Oksidatif stabilite ve uzun raf ömrü,
- Tekstür olarak kakao yağına benzerlik,
- Sertlik ve kırılgnalık,
- Kakao yağındaki gibi temperlenmeye ihtiyaç bulunmaması.
- Düşük maliyet

olarak belirtilebilir. Başlıca dezavantajları ise aşağıdadır;

- Kakao yağı ile ötektik karışım oluştururlar. Eğer üretici çikolata ürettikten sonra bu tür bir kaplama ürünü üretecekse, tankın tamamını temizlemelidir. Bu sebeple, ayrı üretim hatlarının kullanılması tercih edilmelidir.

- Yağ neme maruz kaldığında, lipaz enzimiyle hidroliz tehlikesi ortaya çıkar ve bu şekilde serbest kalan laurik asit çok düşük konsantrasyonlarda bile saptanabilen keskin sabunsu bir tat oluşturur (Konar vd., 2023; Edwards, 2018; Minifie, 2008).

Bu çalışmada CBS türevler olan HPKS (Hidrojenize Palm Kernel Stearin) ve HPKO (Hidrojenize Palm Kernel Olein) yağları kullanılmıştır. Yağdaki olein miktarı arttıkça yağın yapısal olarak daha yumuşaktır. Aynı şekilde Stearin miktarı arttıkça yağ yapısı HPKO'ya göre daha serttir. HPKS yağlar 30°C sıcaklıkta %42 oranında hala katı halde iken, HPKO yağlar ise 30°C sıcaklıkta %26 oranında katı haldedir. Bu nedenle HPKS yağlar HPKO yağlara kıyasla yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi sebebiyle hava sıcaklığının yüksek olduğu bölgelerde tercih edilmektedir.

### 2.5.3 Kakao Yağı Muadilleri

Kakao yağı muadilleri (Cocoa Butter Replacer; CBR), TAG bileşimleri kakao yağından tamamen farklı olan, fakat yağ asidi bileşimi açısından kakao yağına benzerlik gösteren non-laurik yağlardır. Yalnızca düşük miktarlarda kakao yağı ile birlikte karıştırılabilir. Bu yağlar soya, pamuk tohumu, yer fıstığı, ayçiçeği ve mısırözü yağı gibi yağların hidrojenizasyonu ve fraksiyonlanması sonucu elde edilirler. Bu yağların hidrojenizasyonu yağın katı faz miktarını artıran proseslerle kontrollü olarak yapılır (Minifie, 1989; Shukla, 1990). CBR'ler, her ne kadar palmitik, stearik ve oleik asit içerse de bu yağ asitlerinin TAG içindeki dizilimi kakao yağına göre rastgeledir ve yapıları kakao yağından önemli ölçüde farklıdır. Ayrıca bu yağlar yüksek miktarda elaidik asit içerirler. Bu tür yağların TAG'larının zincir uzunlukları ve molekül ağırlıkları kakao yağına benzemektedir. Bu sebeple non-laurik CBR'lar kakao yağı ile %20- 25 oranında karışabilir. CBR'lar kullanılan çikolataların yapısında yapışkan bir tekstür gözlenmesi ve kalıplamada problem çıkarmasından dolayı genellikle kek, bisküvi ve unlu mamullerin kaplanmasında kullanılırlar (Minifie, 2008). Laurik olmayan CBR'lar kullanılarak üretilen kaplama materyallerinin proses koşulları çikolata üretiminin proses koşullarıyla aynıdır. Temperleme işlemine gerek duyulmamaktadır, kalıplama ve kaplama sıcaklığı 40-48°C arasında değişmektedir. Temperleme gerektirmeyen bu proses kalıplama ve depolama esnasında avantaj sağlayan düşük viskoziteli ürün oluşumuna da neden olmaktadır (Beckett, 1999).

## 2.6 Gıdalarda Raf Ömrü

Raf ömrünün en genel tanımı, bir ürünün üretim ve paketlemeden itibaren çevresel ve dağıtım koşulları altında kabul edilemez hale geldiği ilk noktaya kadar olan süre periyotudur. Bu genel tanımlama iki unsuru öne çıkartmaktadır; raf ömrü tanımlamasında hedef daima belirli bir sürenin (gün, hafta veya ay olarak) ifade edilmesidir ve aynı ürün için birbirinden farklı olan raf ömürlerinden bahsedebiliriz. Ayrıca raf ömrü ile tanımlananın o ürünün ticari yaşam süresi olduğu dikkate alınmalıdır. Ürünün “doğal yaşam süresi” ise ticari ömründen farklılıklar taşıyabilir. Genel olarak raf ömrü tanımlamasını birincil ve ikincil raf ömrü olarak sınıflandırabiliriz. Gıda maddesinin ambalajının açılıp belirli sürede kalite ve gıda güvenliği gerekliliklerini sağlamaya devam edebildiği süre ikincil raf ömrü olarak belirtebiliriz. Bu süre, gıda atıklarının ortaya çıkış miktar ve süresi ile doğrudan ilişkilidir (Konar, 2023).

Ürün ve ambalaj geliştirme çalışmalarında ise diğerleri ile ilişkili bir başka raf ömrü konsepti de önerilmektedir. Pazarlama ve lojistik esaslı hareket edildiğinde gerekli raf ömrü bir gıda maddesinin pazarda satış kabiliyetine sahip olduğu minimum süre olarak tanımlanabilir. Gerekli raf ömrü genel olarak ürün dağıtım ve satış noktalarına değin taşınımı için gerekli olan süre ile satış noktasında rafta yer aldığı sürenin toplamıdır. Eğer birincil raf ömrü süresi gerekli raf ömrü süresinden kısa ise ya daha iyi ambalajlama teknik ve materyallerinin kullanımı veya daha iyi/uygun satış koşullarının oluşturulması öncelikli olarak düşünülmelidir. Bir diğer çözüm ise dağıtım ve taşıma plan ve rotalarının gözden geçirilmesi ve raf ömrünü etkileyen koşulların idealleştirilmesi veya sürecin kısaltılması şeklinde katkı sunacak nitelikte iyileştirilmesidir (Lee vd., 2008; Nicoli ve Calligaris, 2018; Pergiovanni ve Libo, 2019). Ambalajlamaya yönelik raf ömrü odaklı çözümler ve iyileştirmeler için ise öncelikli olarak ilgili gıdaların ve kullanılan ambalajlama materyali ve/veya yönteminin oksijen, nem ve ışık hassasiyet, stabilite ve maruziyet yanıtları ile ilgili çalışmalar yürütülür.

Gıdalarda raf ömrü çalışmaları ve değerlendirmeleri farklı neden ve motivasyonlar ile gerçekleştirilebilmekte olup, bunlar arasında en yaygın olanı ticari raf ömrünün uzatılmasıdır. Dağıtım ve satış için daha uzun sürenin, ekonomik sürdürülebilirlik ve ticari kayıp ve atıklarının azaltılması, kaynakların daha etkin kullanımı ve çevresel sürdürülebilirliğe de katkısı dikkate alınmalıdır. Ayrıca mutlak göz

önünde tutulması gereken bir husus, raf ömrüne dair veri ve öngörülerin statik değil, dinamik nitelikte olduklarıdır. Örneğin gıda bileşiminde yapılan değişiklikler sonrası bunların gıdaların kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklere olan etkileri ve raf ömrü boyunca meydana gelebilecek değişimlerin öngörülmesi gerekir. Bu durum ise raf ömrü çalışmaları yürütülmesini gerekli kılar. Yine, üretim koşul ve parametreleri veya ekipmanlarında gıdaların stabilitesini arttırmaya yönelik modifikasyonlar genel olarak başlangıç kalite özellikleri ve ürün karakteristiklerini de etkiler. Bu etkilerin sonuçlarının da kabul edilebilir nitelikte olması gerekmektedir. Farklı ambalaj teknik ve materyallerinin kullanılması yada ambalaj iç ortamına kontrolü (örneğin modifiye atmosfer, vakum ambalajlama, aktif ambalajlama uygulamaları) gıdanın bozulması ile ilişkili çoğu parametre yanı sıra tüketim özellikleri ve ürün niteliklerini de değiştirebilir. Dolayısıyla raf ömrü belirleme ve geliştirme çalışmalarının kompleks çalışmalar olduğunu ifade etmek gerekmektedir (Konar, 2023).

Özellikle göreceli olarak uzun raf ömrüne sahip olan gıdalarda depolama, dağıtım ve satış koşullarının ekstrem şartları simüle edilecek şekilde düzenlenmesi sonucu gıda maddesinin bozulmasını hızlandıracak koşulları oluşturup raf ömrü çalışmalarının gerçekleştirilmesi “Hızlandırılmış Raf Ömrü Testleri” olarak adlandırılmaktadır. Hızlandırılmış raf ömrü çalışmalarında genel olarak ortam sıcaklık ve/veya bağıl nem düzeyleri bozulma sürecini hızlandırmak için değiştirilir. Bu testler sonucunda kinetik veriler elde edilir. Sıcaklık değişimi içeren hızlandırılmış raf ömrü koşullarında, ürün için normal muhafaza şartlarından 5.0-10.0°C üstü değerler kullanılarak çok ekstrem sıcaklık değerlerinin kullanımından kaçınılmalıdır (Phimolsiripol ve Suppakul, 2016).

Depolama sırasındaki testler, 6-8 depolama süresi noktasını içermeli, örnekleme ve izleme bu noktalarda gerçekleştirilmelidir. Ürünün kalite değişimleri, geçerli bozulma trendini temsil etmek için orijinalin %30-50’si düzeylerinde olmalıdır. Hızlandırılmış raf ömrü testlerinde bileşim faktörleri sabit tutulmalıdır. Mikrobiyolojik kriterler dışında kalite kayıpları ve tüketici kabul edilebilirliğini belirlemeye yönelik analizler gerçekleştirilir. Aynı test sürecinde farklı ambalajlama yöntem ve materyallerinin karşılaştırılması mümkündür. Bunların dışında özellikle bozulma sürecini hızlandıran sıcaklık, bağıl nem ve ışık gibi kinetik olarak aktif faktörler seçilir ve testlerde bunlara göre ortam koşulları oluşturulur. Test için koşullar (özellikle ortam koşulları ve test prosedürleri) belirlendikten sonra toplam olarak ne kadarlık bir süre ile teste tabi

tutulacağı ve hangi aralıklarla ilgili testlerin gerçekleştirileceği tespit edilir. Son aşamada ise bozulma prosesinin kinetik çalışması gerçekleştirilir. Ancak bozulma hızı çok hızlı veya çok yavaş ise örnekleme ve analiz frekansı değişikliğe uğratılabilir. Elde edilen veriler ile raf ömrü grafikleri oluşturularak istatistiksel değerlendirmeler sonucu normal depolama koşulları için öngörülen raf ömrü belirlenir (Hough, 2010).



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Stearin ve olein CBS bazlı çikolatalarda partikül boyut dağılımının kalite ve fat bloom üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada; sakaroz (Kayseri Şeker, Kayseri, Türkiye), stearin ve olein CBS bazlı yağ (Besler, Kerevitaş, İstanbul, Türkiye), demineralize peyniraltı suyu tozu (Enka, Konya, Türkiye), natural kakao tozu (JB Cocoa, Hollanda), alkalize kakao tozu (JB Cocoa, Hollanda), emülgatör ayçiçek lesitini (SF Organics, İstanbul, Türkiye), emülgatör poligliserol polirisinolat (Palsgaard, İstanbul, Türkiye), Vanilin (Mane, Fransa) kullanılmıştır.

#### 3.2 Araştırma Tasarımı

Bu çalışmada, farklı CBS (hidrojenize palm çekirdeği yağı olein ve stearin) bazlı sütlü kokolin ürünlerinin fat bloom stabilitesinin geliştirilmesi amacı partikül büyüklüklerinin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla örneklerin  $D_{90}$  değerleri esas alınmıştır. Ball mill tekniği ile hazırlanan örneklerde, diğer değişkenler sabit tutulmaktadır. Örneklerin CBS düzeyleri ve genel bileşimi ön çalışmalar ve endüstriyel üretim uygulamaları esas alınarak belirlenmiş olup, Çizelge 3.1'de yer almaktadır. Deneme planı, çikolata teknolojisinde yaygın partikül büyüklüğü kullanım oranları esas alınarak belirlenmiştir. Bu amaçla her iki çikolata türü için 20, 25, 30, 35 ve 40  $\mu\text{m}$  ( $D_{90}$ ) arasında örnekler hazırlanmıştır. Her bir çikolata türü için en az 5 adet deneme gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme üretimi, Tayaş Gıda Ar-Ge Merkezinde bulunan pilot çikolata sistemindeki ball-mill ve soğutma tüneli kullanılarak, 5 kg/batch ile yürütülmüştür. Elde edilen örneklerin fat bloom stabilitesi, hızlandırılmış raf ömrü tekniği kullanılarak incelenmiştir.

**Çizelge 3.1** Örnek bileşimi

Bileşen	CBS-1 (g/100 g)	CBS-2 (g/100 g)
Şeker	37,610	38,610
HPKS	32,000	0,000
HPKO	0,000	32,000
Tam yağlı süttozu	1,250	1,250
Yağsız süttozu	7,000	7,000
DPST	12,749	12,749
Kakao Tozu Alkalize	2,000	2,000
Kakao Tozu Naturel	6,000	6,000
Lesitin	0,351	0,351
STS	1,000	0,000
Vanilya	0,040	0,040

HPKO: Hidrojenize palm kernel olein, HPKS: Hidrojenize palm kernel stearin

### 3.3 Örnek Hazırlama

Örnek hazırlama için, pilot ölçekli ball-mill (Duyvis Wiener, Hollanda) sistemi kullanılmıştır. Sistemde tıkanma sorunu yaşamaması için öncelikle akışkan girdiler (yağ ve emülgatörler), sıcaklığı 50°C'ye ulaşınca kadar eklenmiştir. Sonrasında katı faz bileşenleri (sakkaroz, natural, alkalize kakao tozu, demineralize peyniraltı suyu tozu ve vanilin) ilave edilmiştir. Eklenen karışım 50 rpm şaft hızındaki ball-mill kullanılarak inceltme ve konçlama işlemine tabi tutulmuştur. Her bir örnek grubu homojenize edilerek 30 dakika inceltmiştir. Daha sonra periyodik olarak partikül boyut ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerin partikül boyutu, 0-25 mm ölçüm aralığında ve 0.001 mm hassasiyete sahip dijital bir mikrometre cihazı (IP65 Coolant Proof, Mitutoyo, Tokyo-Japan) kullanılarak 5 tekerrürlü olarak belirlenmiştir. D90 değerlerinin 20.0±1.00, 25.0±1.00, 30.0±1.00, 35.0±1.00, ve 40.0±1.00 µm olarak tespit edilmesi halinde örnek hazırlama çalışması ilgili grup için tamamlanmıştır (n= 5). Örnek hazırlama çalışmaları HPKS ve HPKO ile hazırlanan örnekler için ayrı ayrı yukarıda açıklandığı şekilde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Bölüm 3.5'de tanımlanan lazer difraksiyon partikül boyut analizi ile örneklere ait D90 değerlerinin doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Ball-mill işlemi tamamlanan örnekler işlem sonunda çıkışında plastik kalıplara aktararak (60 x 32 x 6 mm) kalıplama işlemi gerçekleştirilecektir. Kalıplar, ardından 5°C'de 20 dakika süre ile bekletilerek pilot tip soğutma tüneline (Nielsen, Danimarka) beslenmiştir. Soğutma

süresi sonunda alüminyum folyo ile sarılarak oda sıcaklığında ( $20.0 \pm 2.00^\circ\text{C}$ ) muhafaza edilerek analiz faaliyetleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.4 Nem Tayini

Nem tayinini gerçekleştirmek için  $20-300^\circ\text{C}$  çalışma sıcaklığı aralığına sahip etüv (Nüve, Türkiye) kullanılmıştır. Kokolin örnekleri daha önce  $130^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş petri kaplarına 1.50-2.00 g'lık kütleler halinde aktarılmıştır. Kokolin örnekleri daha sonra  $105^\circ\text{C}$ 'de 4 saat süre ile muhafaza edilmiştir. Daha sonra sabit tartıma gelene değin oda sıcaklığında desikatörde bekletilerek kütle kaybı tespit edilmiş ve nem miktarları (g/100 g) belirlenmiştir (Denklem 1).

$$\%Nem = [(M1-M2) / m] \times 100 \quad (1)$$

M1: Alınan örneğin ağırlığı+petri kabının ağırlığı (g)

M2: Kurutulmuş örneğin ağırlığı+petri kabının ağırlığı (g)

m: Alınan örneğin ağırlığı (g)

### 3.5 Lazer Difraksiyon Partikül Boyut Ölçümü

Örneklerin partikül büyüklük dağılımı parametreleri lazer difraksiyon cihazı tekniği (Horiba, ABD) ve Konar (2013) tarafından uygulanan yöntem kullanılarak incelenmiş ve bu tekniğin kullanımı ile ball-mill işlemi sırasında el tipi mikrometre kullanımı ile tespit edilen  $D_{90}$  değerleri doğrulanmıştır.

### 3.6 Su Aktivitesi Analizi

Kokolin örneklerinin su aktivitesi değerleri, Konar (2013) tarafından uygulanan metod ile belirlenmiştir. Çikolata numunelerinden 2.00 g alınmış ve homojenize numunelerde su aktivitesi tayini cihazı (LabTouch-A6, Novasina, Lachen, İsviçre) kullanılarak  $20.0^\circ\text{C}$ 'de 3 tekerrürlü olarak su aktivitesi ( $a_w$ ) değerleri belirlenmiştir.

### 3.7 Renk Analizi

Kokolin örneklerinin renk değerleri kolorimetre cihazı (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta, Japan) ile belirlenmiştir. Örneklerin  $L$  (parlaklık),  $a$  ( $\pm$  kırmızı-yeşil) ve  $b$  ( $\pm$  sarı-mavi) değerleri ölçülmüş ve bu değerler kullanılarak Periche vd. (2015)'nin

kullandıkları denklemler (Denklem 2, 3 ve 4) ile kokolin örneklerine ait kroma ( $C^*$ ), hue ( $h^*$ ), beyazlık indeksi (WI) değerleri tespit edilmiştir.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$h^* = \arctan (b^*/a^*) \quad (2.1)$$

$$WI = 100 - \left[ (100 - L)^2 + a^2 + b^2 \right]^{1/2} \quad (2.2)$$

### 3.8 Tekstür Analizi

Kokolin örneklerinin tekstürel özellikleri, tekstür analiz cihazı (TA.XT Plus, Stable Micro Systems, Godalming, UK) kullanılarak belirlenmiştir. Analizde 5 kg'lık yük hücresi kullanılmıştır. 2 mm çapa sahip silindirik prob ile penetrasyon tekniği kullanılarak kokolin örneklerinin (80.0 x 40.0 x 4.00 mm boyutunda) kırılması için gerekli kuvvet (sertlik) belirlenmiştir (Konar, 2013).

### 3.8 Kül Miktarı Tayini

Kokolin örneklerinin kül miktarı tayini için kül fırını kullanılmıştır. Analizi yapılacak olan ürünler porselen krozede yapılacağı için, porselen krozeler 105 °C'de, etüvde yarım saat bekletilerek şartlandırılmıştır. Sonrasında ise porselen krozeler soğutma işlemi için yarım saat desikatörde tutulmuştur. Ardından, hassas terazide tara alma işlemi gerçekleştirilmesiyle birlikte boş kap ağırlığı tartılarak belirlenmiştir. Tartımı yapılan numune 4 saat desikatörde bekletildikten sonra kül fırında 697°C'de 5 saat yakma işlemine tabi tutulmuştur. Örnekler desikatöre konularak 15 dk soğutmaya alınmış ve kütle değişimi dikkate alınarak kül miktarları belirlenmiştir.

### 3.9 Duyusal Analiz

Kokolin örneklerinde 6 kişilik eğitimli panelistler (Tayaş Gıda Ar-Ge Merkezi, Kocaeli, Türkiye) ile renk, parlaklık, ilk ısırıkta sertlik, kırıntılanma, pürüzsüzlük, mumluluk, ağızda erime ve lezzet özellikleri 5'lik skala (1=Hiç Beğenmedim, 5= Çok Beğendim) kullanılarak Çoklu Kıyaslama Tekniği" ile incelenmiştir (Shah vd, 2010). Duyusal değerlendirmede parametreler için kullanılan tanımlar aşağıdadır.

- Renk: Ürün kalitesini belirlemede önemli bir kriterdir. Kokolinde rengi veren hammadde kakao tozu olsada dış etkenler sonucu (sıcaklık, ışık vb) ürün renginde değişiklikler meydana gelir.
- Parlaklık: Kokolinde parlaklığın önemi, sadece estetik bir unsur olmasının ötesinde, birçok alanda etkili bir faktördür. Parlak bir çikolata, tüketiciye tazelik ve kalitenin bir göstergesi olarak hitap eder. Bunun yanı sıra, kokolinin parlaklığı, onların dayanıklılığına da işaret edebilir. Parlak bir kokolin, genellikle hava ile etkileşimi en aza indiren, iyi bir kaplama ile korunmuş demektir. Bu durum, kokolini bozulmaya karşı korur ve raf ömrünü uzatır.
- İlk Isırıkta Sertlik: İlk ısırıkta yaşanan sertlik, çikolatanın ağızda nasıl eriyeceği ve lezzetin nasıl yayılacağı ile bağlantılıdır. Sert bir çikolata, ağızda daha uzun süre kalma ve kadifemsi bir doku oluşturma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, sertlik, çikolatanın kalitesini ve işlenişini de yansıtır.
- Kırıntılanma: Kırıntılanma, çikolatanın ağızda nasıl eridiğini ve lezzetin nasıl yayıldığını etkiler. Düzgün kırılmasına sahip çikolatalar, ağızda daha homojen bir şekilde dağılarak lezzetin daha iyi algılanmasını sağlar. Kırıntılanma faktörü ürünün hazırlanması esnasında hamurun ne denli homojen olduğu ile ilgilidir. Hazırlanmış olan hamur ne kadar iyi karıştırılırsa ürünün kırıntılanmasında bir o kadar azalacaktır.
- Pürüzsüzlük: Pürüzsüz çikolata, ağızda daha hoş bir his bırakır. Doku, çikolatanın eridiği zaman yumuşak ve kremi bir deneyim sunar, bu da tat alma açısından olumlu bir etki yaratır. Pürüzsüz bir yüzey, çikolatanın lezzetinin ağızda daha iyi dağılmasını sağlar. Düzgün bir yapı, tat bileşenlerinin daha dengeli bir şekilde algılanmasına yardımcı olur.
- Mumluluk: Mumlu bir doku, çikolatanın ağızda daha yumuşak ve pürüzsüz bir şekilde erimesini sağlar. Bu, damakta hoş bir his yaratır ve çikolatanın daha zengin bir deneyim sunmasına yardımcı olur. Mumluluk, tat bileşenlerinin ağızda daha düzgün

ve dengeli bir şekilde dağılmasına olanak tanır. Bu, çikolatanın çeşitli tatlarının (acı, tatlı, asidik) daha uyumlu bir şekilde algılanmasını sağlar.

- **Ağızda Erime:** Ağızda çikolatanın erimesi, tat bileşenlerinin serbest kalmasını sağlar. Bu, çikolatanın karmaşık tat profillerinin daha iyi algılanmasına yardımcı olur. Farklı tatların (örneğin, tatlılık, acılık ve asidik tatlar) zamanla ortaya çıkması, tüketicinin deneyimini zenginleştirir. Çikolatanın ağızda yavaşça erimesi, yumuşak ve pürüzsüz bir doku oluşturur. Bu doku, çikolatanın ağızdaki hissiyatını artırır ve daha keyifli bir deneyim sunar. Çikolatanın erime sürecinde, içerdiği aromatik bileşenler serbest kalır. Bu, burunda hoş bir koku oluşturarak tadım deneyimini geliştirir.
- **Lezzet:** Lezzet, kelime anlamı olarak herhangi bir şeyden alınan zevk, haz. Çikolatanın lezzeti, tüketicilerin tat alma deneyiminde en önemli faktörlerden biridir. İyi bir lezzet, tüketicilerin çikolatayı tekrar tercih etmesine ve sadık kalmasına yardımcı olur. Çikolata, kakao, şeker, süt ve çeşitli aroma bileşenleri ile zengin bir tat profili sunar. Bu tatların dengeli bir şekilde bir araya gelmesi, her bir çikolatanın kendine özgü karakterini oluşturur.

### 3.10 Hızlandırılmış Raf Ömrü Analizi

Kokolin örnekleri için hızlandırılmış raf ömrü çalışması Jin ve Hartel (2020) tarafından kullanılan yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla örnekler iklimlendirme kabine alınarak (TK120, Nüve, İstanbul, Türkiye) 6 saatlik süreler ile sabit bağıl nemde (%45,0) 20°C ve 30°C'lik sıcaklık döngülerine toplam 99 kez tabi tutulmuştur. Toplam 49 gün süreli bu çalışmada her bir örnek grubu için 7 günlük periyotlar ile nem miktarı, renk analizi ve tekstür analizleri sırasıyla Bölüm 3.4, 3.6 ve 3.7'de tanımlanan yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Çikolata teknolojisinde kristalizasyon sürecinin prosesi takip eden 2-3 gün sürede tamamlanıyor olması (Beckett, 2019; Afoakwa, 2010) dikkate alınarak, 0. gün analizleri gerçekleştirilmemiş olup, ilk ölçümler üretimin tamamlanmasını takip eden ve 7. günde gerçekleştirilmiştir.

### 3.10 İstatistiksel Analiz

Deneyler sonucunda toplanan veriler Windows tabanlı SPSS 17.0.1 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, US) istatistik paket programı kullanılarak gruplar arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığı tek yönlü ANOVA Tukey testi ile uygulanarak belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ).

## 4.BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Partikül Boyutunun Fiziko-Kimyasal Özelliklere Etkisi

Kokolin ve diğer çikolata ürünlerinin nem miktarı, stabilite, tekstür ve duyuşal özellikler üzerinde etkilidir (Toker vd., 2017). Bitter kokolin için şeker ve çeşitli alternatiflerinin kullanıldığı yakın tarihli bir çalışmada nem miktarı yaklaşık olarak 1.50-5.00 g/100 g düzeyinde belirlenmiştir (Lim vd., 2021). Ancak çikolata için kritik nem değeri 1.50 g/100 g olarak kabul edilmektedir (Toker vd., 2019). Bu çalışmada farklı palm yağları ve ortalama partikül büyüklüğüne sahip sütlü kokolin çikolata örnekleri için nem miktarları 1.045-1.545 g/100 g belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Genel olarak hidrojenize palm kernel stearinin CBS olarak kullanıldığı örneklerde hidrojenize palm olein ile hazırlanan örneklere göre daha düşük nem miktarları belirlenmiştir. Ancak her iki ürün grubu için de ortalama partikül büyüklüğü ile nem miktarı arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Dolayısıyla bağımsız değişkenlerden olan bu parametrenin çikolata örneklerinde konvansiyonel (konçlama) veya universal sistemlerde nem uzaklaştırılması üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir olduğu, ancak kullanılan yağ tipine bağlı olarak proses koşullarının dikkate alınması gerektiği belirtilebilir. Konar ve Bingöl (2019) tarafından yapılan çalışmada, aralarında nem miktarının da bulunduğu çeşitli kalite özelliklerinin ball-mill prosesinin belirli bir aşaması sonrası sabitlendiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışma kapsamına alınan ortalama partikül değerlerine ulaşılması öncesi nem miktarındaki değişimlerin tolere edilebilir düzeye ulaştığı ifade edilebilir. Ayrıca tüm örnekler için yaklaşık olarak limit değerlerin altında nem miktarına ulaşılması dikkat çekici bir bulgu olarak belirtilebilir.

Çikolata bileşimi, bileşenleri arasındaki çeşitli etkileşimlerin sonucu olarak ürün kalitesi üzerinde etkiye sahiptir. Laktoz higroskopik bir di-sakkarittir (Khanji vd., 2018). Demineralize peyniraltı suyu tozu diğer süt orijinli tozlardan daha fazla oranda laktoz içermektedir. Bu son ürün nem oranı etkileyen faktörlerdendir. Bu bileşenin tüm örneklerde aynı düzeyde kullanılması söz konusudur. Ayrıca lipofilik bir bileşen olan süt yağını en yüksek düzeyde içeren ise tam yağlı süt tozudur. Dolayısıyla, laktoz miktarı yanı sıra protein ve yağ miktarı aynı olan örneklerin hazırlanmasının dikkate alınması gerektiği belirtilebilir. Çikolata bileşiminde nem miktarının artması ve su varlığı, viskozitede önemli artış, mikrobiyolojik stabilite problemleri ve snap düşüşüne yol açar

(Asghar vd., 2017). Bu nedenle hedeflenen kalite özelliklerine ulaşmak için bağımsız değişkenlerin etkilerinin dikkate alınması gerekir.

Sütlü kokolin örneklerinin su aktivitesi değerleri (Çizelge 4.1) dar bir aralıkta değişim göstermiştir (0.250-0.262). Çikolata düşük su aktivitesine sahip bir gıdadır. Bu özelliğe ait değerler, mikroorganizma gelişimi için kritik düzey olan 0.600'ün çok altındadır (Konar, 2013; Asghar vd., 2017). Tüm örneklerin su aktivitesi değerleri 0.300'den küçüktür. Çikolata ürünleri için genel olarak su aktivitesi değeri >0.400'dür (Konar, 2013; Toker vd., 2019). Ancak yüksek düzeyde hidrofilik davranış ve gruplara sahip olan bazı bileşenlerin kullanımı ile daha yüksek su aktivitesine sahip çikolata geliştirilmesi söz konusudur. Ayrıca partikül yüzey alanlarındaki artış ile birlikte su ile etkileşim düzeyinde de artış beklenebilir. Sonuç olarak her iki bağımsız değişkene bağlı olarak kritik değer altındaki su aktivitesine sahip örnekler elde edilmiştir.

Kokolin örneklerinin toplam kül miktarları da çalışma kapsamında incelenmiş (Çizelge 4.1), hidrojenize palm kernel stearin kullanılarak hazırlanan örneklerde bu özellik 1.470-1.915 g/100 g aralığında belirlenmiştir. 20 µm ortalama partikül büyüklüğüne sahip örnekler, diğerlerinden daha düşük nem miktarına sahip iken, diğer örnekler arasında önemli farklılık tespit edilmemiştir. Hidrojenize palm kernel olein ile hazırlanan örneklerde ise daha dar bir aralıktaki (1.895-1.910 g/100 g) kül miktarları tespit edilmiş olup, ortalama partikül büyüklüğüne bağlı olarak önemli değişim tespit edilmemiştir ( $p < 0.05$ ).

**Çizelge 4.1** Farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip örneklerin fiziko-kimyasal özellikleri

Yağ Fazı	Ortalama Partikül Boyutu (µm)	Nem Miktarı (g/100 g)	Su Aktivitesi	Kül Miktarı (g/100 g)
HPKS	20.0	1.265±0.005 <sup>a</sup>	0.260±0.001 <sup>a</sup>	1.470±0.010 <sup>b</sup>
	25.0	1.050±0.030 <sup>b</sup>	0.261±0.001 <sup>a</sup>	1.915±0.025 <sup>a</sup>
	30.0	1.295±0.015 <sup>a</sup>	0.261±0.001 <sup>a</sup>	1.915±0.005 <sup>a</sup>
	35.0	1.335±0.095 <sup>a</sup>	0.260±0.002 <sup>a</sup>	1.920±0.020 <sup>a</sup>
	40.0	1.215±0.125 <sup>ab</sup>	0.262±0.002 <sup>a</sup>	1.865±0.075 <sup>a</sup>
HPKO	20.0	1.470±0.100 <sup>A</sup>	0.257±0.006 <sup>AB</sup>	1.905±0.025 <sup>A</sup>
	25.0	1.545±0.015 <sup>A</sup>	0.250±0.002 <sup>B</sup>	1.880±0.030 <sup>A</sup>
	30.0	1.250±0.020 <sup>B</sup>	0.259±0.002 <sup>A</sup>	1.895±0.025 <sup>A</sup>
	35.0	1.540±0.080 <sup>A</sup>	0.257±0.002 <sup>AB</sup>	1.910±0.010 <sup>A</sup>
	40.0	1.430±0.010 <sup>A</sup>	0.261±0.000 <sup>A</sup>	1.900±0.010 <sup>A</sup>

HPKO: Hidrojenize palm kernel olein, HPKS: Hidrojenize palm kernel stearin

#### 4.2 Partikül Boyutunun Sertlik Üzerine Etkisi

Çikolatada sertlik değerinin artışı snap ile ilişkisi nedeni ile istenir (Konar, 2013). Bu parametre üzerinde çeşitli faktörler etkilidir. Bu faktörler arasında partikül büyüklüğü (Toker vd., 2016) ile hacimsel bileşen türü ve miktarı (Lim vd., 2021) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sertlik değeri için proses ve bileşime bağlı olarak çeşitli çalışmalarda farklı değerler bulunmuştur. Bileşenler arasında daha higroskopik maddelerin yer alması, sertlikte düşüğe neden olmaktadır (Farzanmehr ve Abbasi, 2009). Örneğin, kakao yağı ile üretilen çikolatanın sertlik özellikleri üzerindeki etkileri süt tozlarının bileşiminde bulunan süt yağı ve kullanımlarının mikroyapı etkileşimleri ile ilişkilidir (Liang ve Hartel, 2004). Bu çalışmada kokolin sertlik değerini ortalama partikül büyüklüğünün palm yağı türüne bağlı olarak etkili olduğu belirlenmiştir ( $P<0.05$ ). Hidrojenize palm kernel olein ile hazırlanan örneklerde ortalama partikül büyüklüğüne bağlı sertlik değerinde önemli değişim gözlenmemiştir. Ancak CBS olarak hidrojenize palm kernel stearin kullanımı ile hazırlanan örneklerde, ortalama partikül büyüklüğünün artışı ile birlikte sertlik değerlerinde de artış tespit edilmiştir ( $P<0.05$ ). Daha önceki çalışmalarda Liang ve Hartel (2004) süt yağı miktarının artışı ile birlikte kokolin örneklerinde sertlik düşüşü belirlemişlerdir. Çünkü süt yağı, palm yağının yumuşaması üzerinde kakao yağından daha az etkilidir (Williams vd., 1997). Ancak diğer bileşenler ve değişkenler ile etkileşimlerin de dikkate alınması gerektiği bu çalışma sonucu tespit edilmiştir. Bu durum, bileşenlerin higroskopiteleri yanı sıra partiküllerin paketlenme özelliklerindeki değişimler ile ilişkilendirilebilir. Örneğin bileşimde sakarozdan farklı higroskopite özelliğine sahip olan bileşenlerin yer alması, çikolata sertliğini etkiler (Lim vd., 2021). Farklı yağların kristalizasyon davranışları ile ilişkili olabilir. Çikolatalar yağ kristallerinin yapısı, konsantrasyonu ve interaksiyonuna bağlı olarak tekstürel özelliklere sahip olurlar (Querishi vd., 2020).

Genel olarak sütlü çikolatalar, süt yağının kakao yağını seyreltmesi sonucu tüm sıcaklıklarda düşük katı yağ içeriğine (SFC) sahip olması nedeni ile daha yumuşaktırlar. Bunun yanı sıra süt katılarının yağ fazındaki dağılım özellikleri ve davranışları da çikolata sertliğini etkiler (Liang ve

Hartel, 2004). Ancak farklı çalışmalarda kokolin ve kakao yağı ile hazırlanan çikolatalar için değişiklik gösteren sertlik değerleri belirlenmiştir. Örneğin Zhang vd. (2020), farklı oranlarda CBS içeren bitter kokolinler için sertlik değerlerini <2500 g olarak belirlemişlerdir. Daha önceki çalışmalarda sütlü çikolata örnekleri için sertlik miktarları 12 N (Aidoh vd., 2014) ve 14-18 N (Raoufi vd., 2012) olarak tespit edilmiştir. Jin vd. (2019) ise mango kernel orijinli CBS kullandıkları kokolin örnekleri için sertlik değerlerini 20°C’de 394.0-491.5 N olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada sütlü kokolin örneklerinin sertlik değerleri ise 4239.3-5691.4 g’dir (Çizelge 4.2).

Bu çalışma sonucu elde edilen veriler, farklı sertlik özelliklerine sahip kokolin üretimi için kullanılabilir. Hidrojenize palm kernel stearin, tekstür ve erime davranışı kakao yağına benzeyen, aynı zamanda diğer palm yağları ile karşılaştırıldığında maliyet avantajları olan bir CBS’dir (Jaharul vd., 2020). Ayrıca Biswas vd. (2017), kokolin için CBS oranının artışı ile birlikte sertlik değerinin azaldığını belirtmiştir. Ancak kokolin üretiminde çalışmamız sonucu elde edilen veriler ile tekstürel özellikler modifiye edilebilir. Bu modifikasyon, ısıl stabiliteye de katkıda bulunabilir. Çünkü CBS esaslı ürün geliştirme çalışmalarının bir diğer nedeni ise daha yüksek ısıl-dirence sahip ürün geliştirmektedir. Konvansiyonel çikolatalar özellikle tropikal ve sub-tropikal iklimlere sahip bölgelerdeki sıcak hava koşullarında erime eğilimine sahiptirler (Jin vd., 2019).

**Çizelge 4.2** Farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip tekstür ve akış özellikleri

Yağ Fazı	Ortalama Partikül Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sertlik (g)
HPKS	20.0	4588.9 $\pm$ 121.5 <sup>c</sup>
	25.0	4847.2 $\pm$ 55.2 <sup>c</sup>
	30.0	5227.1 $\pm$ 53.4 <sup>b</sup>
	35.0	5320.3 $\pm$ 151.8 <sup>b</sup>
	40.0	5691.4 $\pm$ 118.5 <sup>a</sup>
HPKO	20.0	4684.4 $\pm$ 438.8 <sup>A</sup>
	25.0	4422.0 $\pm$ 252.8 <sup>A</sup>
	30.0	4392.7 $\pm$ 120.5 <sup>A</sup>
	35.0	4239.3 $\pm$ 62.1 <sup>A</sup>
	40.0	4659.5 $\pm$ 254.5 <sup>A</sup>

HPKO: Hidrojenize palm kernel olein, HPKS: Hidrojenize palm kernel stearin

### 4.3 Partikül Boyutunun Renk Üzerine Etkisi

Bu çalışmada, palm yağı türü ve ortalama partikül boyutunun farklı renk özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla örneklerin L\* (32.93-35.48), a\* (8.43-8.81), b\* (10.33-11.13), kroma (13.31-14.23) ve hue açısı (50.77-51.58) değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Tüm parametreler dar bir aralıkta değişim göstermiştir. İyi bir çikolata parlak bir görünüme sahip olmalıdır (Afoakwa, 2010). Bu görünüm özelliği tüketicinin ürünü kabulü için edindiği ilk izlenimi belirler (Abdul Halim vd., 2019). L\* değeri ile çikolata parlaklığını tanımlamak için kullanılır. Bağımsız değişkenlerin L\* üzerindeki etkileri incelendiğinde, partikül büyüklüğüne bağlı olarak hidrojenize palm kernel stearin ile hazırlanan örneklerde önemli bir farklılık tespit edilmemiş olup, olein ile hazırlanan örneklerde ise, diğer örnek grubuna göre düşük düzeyde de olsa artış belirlenmiştir.

Çikolata bileşiminde CBS kullanımının çeşitli avantajları bulunmaktadır. Örneğin CBS ile daha parlak bir görünüm oluşur. Çünkü bu yağ daha stabil kristaller oluşturmakta ve çikolata görünümü bu durumdan olumlu etkilenmektedir (Abdul Halim vd., 2019). Ancak çeşitli bileşenler, örneğin süt yağı, CBS ile etkileşim göstermekte olup başta çeşitli kalite özelliklerini etkileyebilmektedir (Biswas vd., 2017). Ayrıca kakao yağı bazlı çikolata ile CBS bazlı ürünlerde arasında başlıca kalite özellikleri açısından önemli farklılıklar vardır (Lim vd., 2021). Bu farklılıkların başlıca nedeni farklı yağların major bileşen olmasıdır. Ancak diğer bileşenlerin arasındaki etkileşimlere dair çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır.

Bu çalışmada a\* ve b\* değerlerinde partikül boyutu esaslı değişimin her bir palm yağı grubu için benzer eğilimlerde değişime neden olduğu belirlenmiştir. Hidrojenize palm oil stearinli örneklerde genel olarak partikül büyüklüğü artışı ile a\* ve b\* değerleri de artmıştır. Bu parametreler ile ilişkili olarak kroma sonuçları da benzer eğilimler göstermiş, ancak hue açısı değerleri açısından önemli farklılık her iki örnek grubunda da tespit edilmemiştir ( $P < 0.05$ ).

**Çizelge 4.3** Farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip örneklerin fiziko-kimyasal özellikleri

Yağ Fazı	Ortalama Partikül Boyutu (µm)	L*	a*	b*	Kroma	Hue Açısı
HPKS	20.0	32.93±0.76 <sup>a</sup>	8.50±0.05 <sup>b</sup>	10.56±0.05 <sup>b</sup>	13.56±0.06 <sup>b</sup>	51.40±0.53 <sup>a</sup>
HPKS	25.0	33.71±0.15 <sup>a</sup>	8.43±0.04 <sup>b</sup>	10.34±0.04 <sup>c</sup>	13.38±0.07 <sup>c</sup>	50.99±0.50 <sup>a</sup>
HPKS	30.0	33.66±0.05 <sup>a</sup>	8.48±0.08 <sup>b</sup>	10.33±0.05 <sup>c</sup>	13.41±0.06 <sup>c</sup>	50.77±0.60 <sup>a</sup>
HPKS	35.0	33.42±0.03 <sup>a</sup>	8.56±0.05 <sup>b</sup>	10.53±0.03 <sup>b</sup>	13.62±0.05 <sup>b</sup>	51.06±0.38 <sup>a</sup>
HPKS	40.0	33.52±0.04 <sup>a</sup>	8.77±0.05 <sup>a</sup>	10.92±0.03 <sup>a</sup>	14.01±0.05 <sup>a</sup>	51.17±0.61 <sup>a</sup>
HPKO	20.0	33.72±0.33 <sup>B</sup>	8.81±0.11 <sup>A</sup>	10.73±0.09 <sup>B</sup>	13.93±0.06 <sup>AB</sup>	50.88±0.54 <sup>A</sup>
HPKO	25.0	35.05±0.22 <sup>A</sup>	8.38±0.18 <sup>C</sup>	10.37±0.15 <sup>C</sup>	13.37±0.07 <sup>D</sup>	51.07±0.08 <sup>A</sup>
HPKO	30.0	35.43±0.45 <sup>A</sup>	8.42±0.19 <sup>BC</sup>	10.52±0.08 <sup>BC</sup>	13.55±0.11 <sup>CD</sup>	51.28±0.14 <sup>A</sup>
HPKO	35.0	33.93±0.15 <sup>B</sup>	8.76±0.06 <sup>ABC</sup>	10.75±0.09 <sup>B</sup>	13.82±0.04 <sup>BC</sup>	51.15±0.74 <sup>A</sup>
HPKO	40.0	35.48±0.50 <sup>A</sup>	8.77±0.13 <sup>AB</sup>	11.13±0.11 <sup>A</sup>	14.23±0.20 <sup>A</sup>	51.58±0.45 <sup>A</sup>

HPKO: Hidrojenize palm kernel olein, HPKS: Hidrojenize palm kernel stearin

#### 4.4 Partikül Boyutu ve Duyusal Özellikler

Çikolata lezzeti ve diğer duyusal özellikleri bileşen kompozisyonundan ve proses koşullarından etkilenir (Abdul Halim vd., 2019). Bu faktörler arasında partikül boyutu özellikleri de bulunmaktadır. Daha önceki çalışmalarda kakao yağı esaslı örneklerde farklı partikül boyutları bazı duyusal özellikler için (ağız kaplama, aroma, aroma salımı gibi) önemli değişimlere neden olmuştur (Afoakea vd., 2007). Bir başka çalışmada, çikolatanın ağız boşluğundaki davranışı üzerinde de belirleyici olan erime özellikleri üzerinde farklı oranlarda kristal laktoz (1.00-20.0%) ve süt tozu (4.00-32.0%) kullanımının etkili olduğu belirlenmiştir (Jin vd., 2021).

Bu çalışmada farklı palm yağları (hidrojenize palm kernel olein ve stearin) kullanımı ile farklı ortalama partikül büyüklüğüne (20, 25, 30, 35 ve 40  $\mu\text{m}$ ) sahip örneklerin başlıca duyusal özellikleri (renk, parlaklık, ilk ısırıkta sertlik, kırınılanma, pürüzsüzlük, mumluluk, lezzet, ağızda erime) çikolata teknolojisi alanında uzman ve eğitilmiş panel grubu tarafından değerlendirilmiştir (Çizelge 4.4). Bu değerlendirme sonuçlarına göre genel olarak tüm örnekler panel tarafından beğenilmiştir. Ayrıca hem hidrojenize palm kernel olein, hem de stearin ile hazırlanan örneklerde pürüzsüzlük ve lezzet özellikleri dışındakiler için önemli farklılık belirlenmemiştir ( $P < 0.05$ ). Bu özellikler ise her iki örnek grubunda da ortalama partikül büyüklüğünün artışı ile birlikte önemli beğeni düşüşü göstermişlerdir.

İyi kalitede çikolata, katı bir ürün olup oda sıcaklığında iyi bir snap özelliği, ağızda kolay erime ve hoş ağız-hissine sahip olmalıdır (Biswas vd., 2017). Ağızda erime davranışı çalışma kapsamındaki bağımsız değişkenlerden etkilenmemiştir. Yağlar genel olarak gıdalarda sertlik, ağız-hissi ve sürülebilirlik gibi çeşitli organoleptik özellikleri önemli düzeyde etkiler (Querishi vd., 2020). Ancak özellikle lezzet olmak üzere diğer duyusal parametreler (örneğin pürüzsüzlük) için bağımsız değişkenlerden yalnızca ortalama partikül büyüklüğünün etkili olduğu belirtilebilir.

**Çizelge 4.4** Farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip örneklerin duyuşal özellikleri

Yağ Fazı	Ortalama Partikül Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Renk	Parlaklık	İlk Isırıkta Sertlik	Kırıntılanma
HPKS	20.0	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	4.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>
HPKS	25.0	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	4.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>
HPKS	30.0	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	4.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>
HPKS	35.0	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	4.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>
HPKS	40.0	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	4.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>
HPKO	20.0	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>
HPKO	25.0	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>
HPKO	30.0	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>
HPKO	35.0	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>
HPKO	40.0	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>

HPKO: Hidrojenize palm kernel olein. HPKS: Hidrojenize palm kernel stearin

**Çizelge 4.4 Devam**

Yağ Fazı	Ortalama Partikül Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Pürüzsüzlük	Mumculuk	Ağızda Erime	Lezzet
HPKS	20.0	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>
HPKS	25.0	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>
HPKS	30.0	4.00±0.00 <sup>b</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	4.00±0.00 <sup>b</sup>
HPKS	35.0	3.00±0.00 <sup>c</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	3.00±0.00 <sup>c</sup>
HPKS	40.0	3.00±0.00 <sup>c</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	3.00±0.00 <sup>c</sup>
HPKO	20.0	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>
HPKO	25.0	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>
HPKO	30.0	4.00±0.00 <sup>B</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.00 <sup>B</sup>
HPKO	35.0	3.00±0.00 <sup>C</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	3.00±0.00 <sup>C</sup>
HPKO	40.0	3.00±0.00 <sup>C</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	3.00±0.00 <sup>C</sup>

HPKO: Hidrojenize palm kernel olein. HPKS: Hidrojenize palm kernel stearin

## 4.5 Hızlandırılmış Raf Ömrü

### 4.5.1 Nem Miktarı

Kokolin örneklerinde hızlandırılmış raf koşullarında 7 günlük periyotlarla nem miktarları izlenmiş olup, HPKS ile hazırlanan örnekler için 1.05-2.03 g/100 g, HPKO içeren örnekler için ise 1.25-2.09 g/100 g aralığında sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). Her iki örnek grubunda da depolama sürecinde nem miktarlarında artış

gerçekleşmiş olup, partikül boyutunun raf ömrü sırasındaki nem değişimi üzerinde etkili bir faktör olmadığı ifade edilebilir.

Nem miktarı üzerinde matriksin polaritesinin etkisi vardır ve bu polariteyi süt proteinleri etkiler (Nastaj vd., 2022). Çalışmamızda ise örneklerin bileşim faktörleri sabit tutularak, bu olası etkileşim ihmal edilebilir kılınmıştır. Ayrıca çikolatadaki nem bağlı ve serbest formlarda bulunur. Aşırı serbest su çikolatanın akış özelliklerini etkiler. Çünkü bu su aglomerasyonlara neden olur. Ayrıca şeker yüzeylerinin yapışkanlığı artar veya şeker partiküllerinin sayısı azalır (Fatimah Ibrahim vd., 2020). Bunun sonucunda ise çikolata mikroyapısı etkilenir, merkezde katıların yerleşiminde ve dağılımlarında düzensizlikler ve heterojene bir yapı ile karşı karşıya kalınır. Dolayısıyla farklı partikül boyutuna sahip olan tüm kokolin örneklerinde, kullanılan CBS türüne bağlı olmaksızın depolama ile akış davranışında değişim, nem miktarının artışı sonucu viskozitede artış beklenebilir.

**Çizelge 4.5** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Nem Miktarları (g/100 g)

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90, $\mu\text{m}$ )				
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
7	1.27±0.01 <sup>c</sup>	1.05±0.03 <sup>d</sup>	1.30±0.02 <sup>c</sup>	1.34±0.10 <sup>c</sup>	1.22±0.13 <sup>d</sup>
14	1.30±0.11 <sup>c</sup>	1.49±0.00 <sup>c</sup>	1.59±0.08 <sup>b</sup>	1.65±0.12 <sup>b</sup>	1.44±0.03 <sup>c</sup>
21	1.25±0.11 <sup>c</sup>	1.53±0.04 <sup>c</sup>	1.68±0.02 <sup>b</sup>	1.76±0.01 <sup>b</sup>	1.46±0.07 <sup>c</sup>
28	1.58±0.01 <sup>b</sup>	1.58±0.00 <sup>c</sup>	1.72±0.01 <sup>b</sup>	1.91±0.11 <sup>a</sup>	1.74±0.01 <sup>b</sup>
35	1.84±0.03 <sup>a</sup>	1.79±0.06 <sup>b</sup>	1.91±0.01 <sup>a</sup>	1.96±0.02 <sup>a</sup>	1.81±0.07 <sup>a</sup>
42	1.99±0.13 <sup>a</sup>	2.03±0.06 <sup>a</sup>	1.96±0.01 <sup>a</sup>	1.98±0.09 <sup>a</sup>	1.91±0.06 <sup>a</sup>
49	1.99±0.05 <sup>a</sup>	2.02±0.04 <sup>a</sup>	1.97±0.01 <sup>a</sup>	2.04±0.06 <sup>a</sup>	1.91±0.04 <sup>a</sup>

Ortalama ± Standart sapma

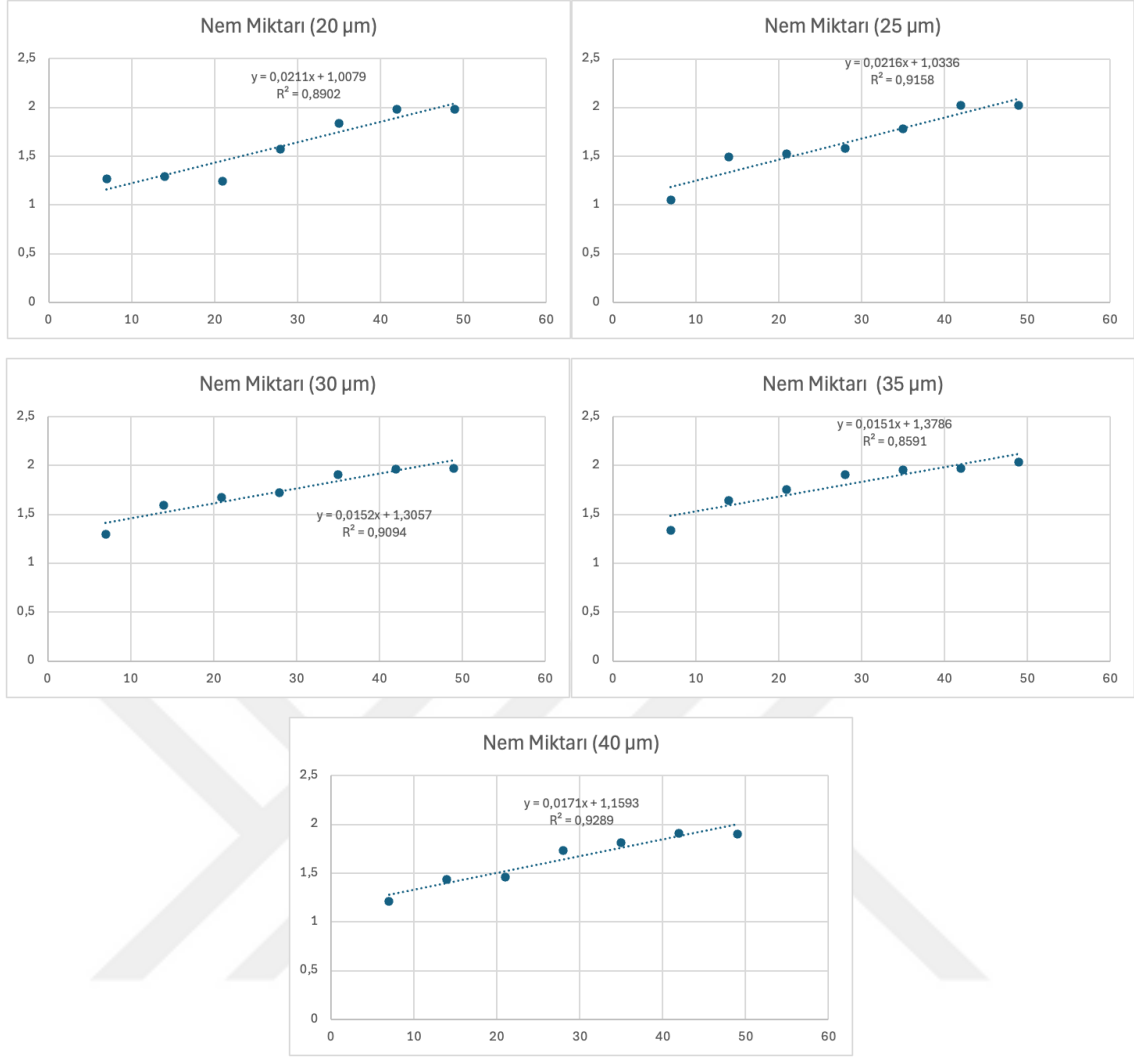
Ayrıca nem miktarı artışına bağlı olarak (Khanji vd., 2018) çikolata mikroyapısı da etkilenebilir. Daha önceki çalışmalarda laktozun kokolin bileşiminde yağ kristalizasyonu, kristal morfolojisi ve boyutunu etkileme olasılığı vurgulanmıştır (Konar vd., 2023). Diğer katılar gibi süt katıları da kakao yağı kristalizasyon davranışını etkiler (Lapcikova vd., 2022). Ancak çalışmamız sonucunda depolama sırasında kokolin partikül boyutunun nem artışı üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 4.6** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Nem Miktarları (g/100 g)

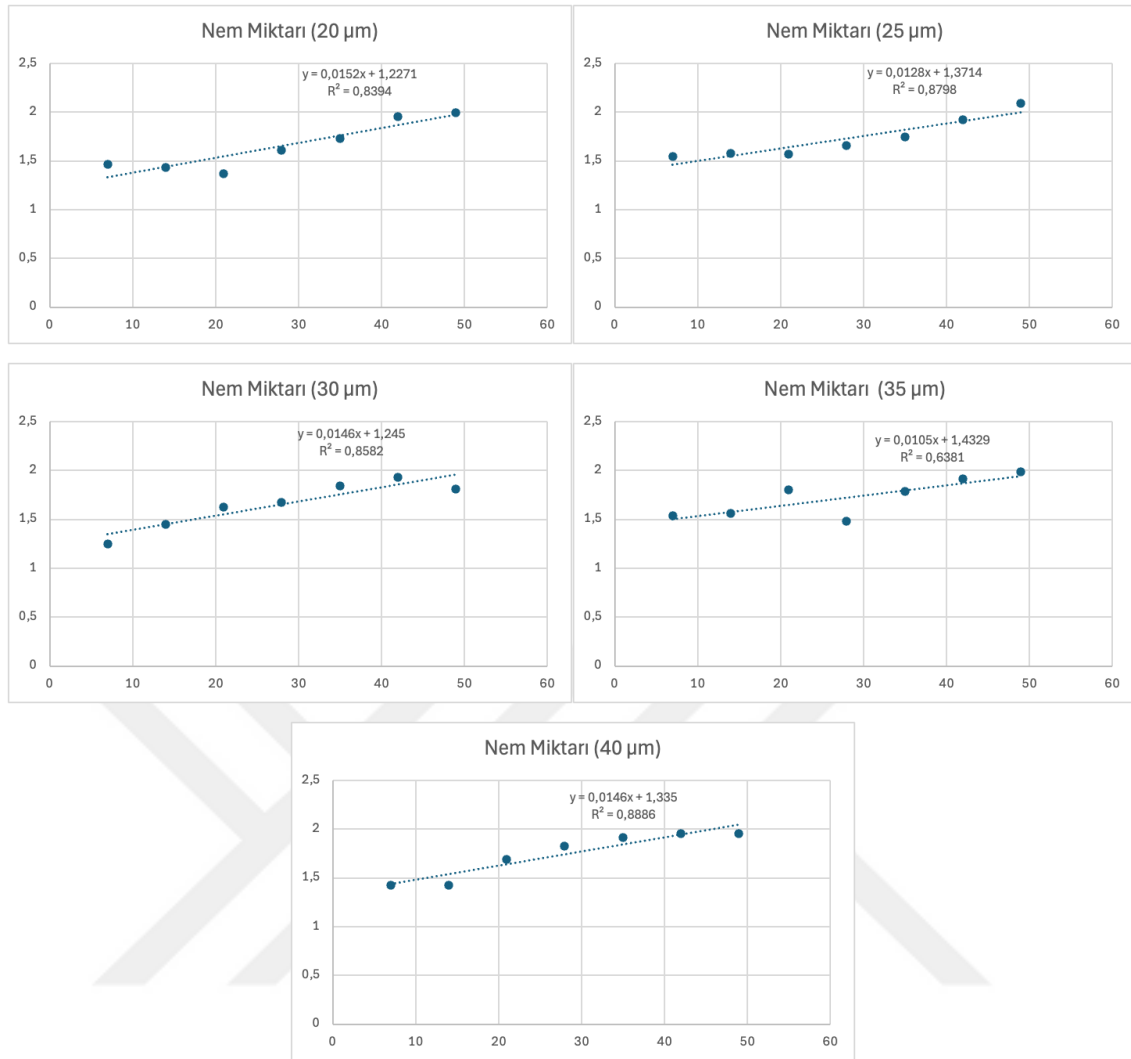
Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90, $\mu\text{m}$ )				
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
7	1.47±0.10 <sup>c</sup>	1.55±0.02 <sup>c</sup>	1.25±0.02 <sup>c</sup>	1.54±0.08 <sup>b</sup>	1.43±0.01 <sup>c</sup>
14	1.44±0.05 <sup>c</sup>	1.58±0.01 <sup>c</sup>	1.45±0.11 <sup>c</sup>	1.56±0.08 <sup>b</sup>	1.43±0.04 <sup>c</sup>
21	1.37±0.04 <sup>c</sup>	1.57±0.08 <sup>c</sup>	1.63±0.04 <sup>b</sup>	1.80±0.25 <sup>a</sup>	1.70±0.01 <sup>b</sup>
28	1.61±0.08 <sup>b</sup>	1.66±0.02 <sup>b</sup>	1.68±0.02 <sup>b</sup>	1.49±0.16 <sup>b</sup>	1.83±0.01 <sup>a</sup>
35	1.74±0.04 <sup>b</sup>	1.75±0.06 <sup>b</sup>	1.84±0.04 <sup>a</sup>	1.79±0.10 <sup>a</sup>	1.92±0.06 <sup>a</sup>
42	1.96±0.07 <sup>a</sup>	1.93±0.12 <sup>a</sup>	1.93±0.06 <sup>a</sup>	1.92±0.28 <sup>a</sup>	1.96±0.01 <sup>a</sup>
49	2.00±0.06 <sup>a</sup>	2.09±0.06 <sup>a</sup>	1.82±0.23 <sup>a</sup>	1.99±0.13 <sup>a</sup>	1.96±0.04 <sup>a</sup>

Ortalama ± Standart sapma

Çikolatanın nem ve sıcaklık hassasiyetleri ile temperleme davranışlarını, ayrıca katı formdaki çikolatanın fat bloom stabilitesini, yağ migrasyonu ve oksidasyonu yanı sıra diğer yapısal özelliklerini etkilerler. Ancak bileşimde gerçekleştirilecek olan düzenlemeler ile bu değişimin etkilerinin kısıtlanması sağlanabilir. Örneğin emülsifiyerler, daha kompakt bir kristal ağ yapısı oluşumunu sağlayarak nem miktarı artışı kaynaklı yapısal sorunların ve/veya değişimlerin raf ömrü ve bloom stabilitesini olumsuz etkilememek amacıyla kullanılabilirler. Ayrıca bu maddelerin yağ mobilitesi üzerindeki etkileri de yapısal özellikler ile ilişkilendirilebilir (Ashida vd., 2020). Yine de depolama süresinde nem miktarı değişiminin kinetik özelliklerinin ortaya konulması, endüstriyel uygulamalara katkı sağlayabilir. HPKS ile hazırlanan örnekler için bu değişimin 0. dereceden kinetik modellerinin belirlenebileceği ve bu modellere ait  $R^2$  değerlerinin 0.8591-0.9289 aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.1. Ancak HPKO ile hazırlanan örnekler için bu modellerin  $R^2$  değerleri daha düşük seviyededir (Şekil 4.2).



**Şekil 4.1** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Nem Miktarlarının Süreye Bağlı Değişimi



**Şekil 4.2** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Nem Miktarlarının Süreye Bağlı Değişimi

#### 4.5.2 Su Aktivitesi

Çalışmamızda hem HPKO hem de HPKS ile hazırlanan örneklerde su aktivitesi değerleri, örnek hazırlama sonrası düşük değerlere sahip olmuştur ( $<0.260$ ). Tüm örnek gruplarında hızlandırılmış raf ömrünün ilk ölçüm periyodu sonunda (7. gün), örneklerin su aktivitesi değerinde önemli artış gerçekleşmiş, ancak takip eden hızlandırılmış raf ömrü koşulları altında önemli değişim belirlenmemiştir ( $P < 0.05$ ). Sonuç olarak ise, hızlandırılmış raf ömrü sürecinin sonunda da tüm gruplar için su aktivitesi değerinin 0.400'den düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.7 ve 4.8).

**Çizelge 4.7** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Su Aktivitesi Değerleri

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90, µm)				
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
7	0.260 <sup>b</sup> ±0.001	0.261 <sup>b</sup> ±0.001	0.261 <sup>a</sup> ±0.001	0.260 <sup>b</sup> ±0.002	0.262 <sup>b</sup> ±0.002
14	0.339 <sup>a</sup> ±0.002	0.341 <sup>a</sup> ±0.003	0.334 <sup>a</sup> ±0.002	0.334 <sup>a</sup> ±0.002	0.338 <sup>a</sup> ±0.004
21	0.343 <sup>a</sup> ±0.001	0.340 <sup>a</sup> ±0.002	0.336 <sup>a</sup> ±0.003	0.344 <sup>a</sup> ±0.004	0.347 <sup>a</sup> ±0.003
28	0.344 <sup>a</sup> ±0.003	0.344 <sup>a</sup> ±0.004	0.344 <sup>a</sup> ±0.001	0.344 <sup>a</sup> ±0.005	0.344 <sup>a</sup> ±0.001
35	0.348 <sup>a</sup> ±0.002	0.355 <sup>a</sup> ±0.001	0.352 <sup>a</sup> ±0.001	0.355 <sup>a</sup> ±0.003	0.353 <sup>a</sup> ±0.001
42	0.358 <sup>a</sup> ±0.004	0.367 <sup>a</sup> ±0.001	0.361 <sup>a</sup> ±0.003	0.358 <sup>a</sup> ±0.001	0.360 <sup>a</sup> ±0.003
49	0.341 <sup>a</sup> ±0.006	0.340 <sup>a</sup> ±0.003	0.335 <sup>a</sup> ±0.004	0.339 <sup>a</sup> ±0.004	0.342 <sup>a</sup> ±0.001

Ortalama ± Standart sapma. P<0.05.

Kokolin, göreceli olarak oldukça düşük su aktivitesine sahip bir gıdadır. Partikül boyutunun da bu parametre üzerinde etkisinin ihmal edilebilir olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla kokolin raf ömrü üzerinde belirleyici olan stabilite probleminin fat bloom gelişimi olduğu ifade edilebilir. Bu nedenle stabilitenin iyileştirilmesi, çikolata teknolojisinin öncelikli konuları arasında yer alır. Fat bloom gelişiminin ana mekanizmaları arasında olan polimorf geçişleri, yağ migrasyonu, re-kristalizasyon ise çevresel koşullar yanı sıra, ürün özelliklerine bağlı olarak da karşımıza çıkar. Çikolata mikroyapısı ise, yağ migrasyon hızı yanı sıra re-kristalizasyon davranışlarını etkiler (Shen vd., 2023). Ayrıca lipid polimorfizmi ile ilişkili yapısal yeniden düzenlemeler ve bunlara bağlı olarak gelişen fat bloom, çikolatada tekstür algısını ve erime davranışlarını etkiler (Nightingale vd., 2005). Ancak serbest su miktarının erime davranışı üzerindeki etkisinin belirlenmesinde de yarar bulunduğu değerlendirilmiştir.

**Çizelge 4.8** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Su Aktivitesi Değerleri

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90, µm)				
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
7	0.257 <sup>b</sup> ±0.002	0.250 <sup>b</sup> ±0.006	0.259 <sup>c</sup> ±0.002	0.257 <sup>c</sup> ±0.002	0.261 <sup>b</sup> ±0.002
14	0.374 <sup>a</sup> ±0.001	0.330 <sup>a</sup> ±0.003	0.338 <sup>a</sup> ±0.002	0.323 <sup>b</sup> ±0.003	0.338 <sup>a</sup> ±0.003
21	0.347 <sup>a</sup> ±0.003	0.311 <sup>a</sup> ±0.002	0.312 <sup>b</sup> ±0.003	0.306 <sup>b</sup> ±0.002	0.327 <sup>a</sup> ±0.001
28	0.347 <sup>a</sup> ±0.004	0.347 <sup>a</sup> ±0.001	0.347 <sup>a</sup> ±0.002	0.347 <sup>a</sup> ±0.004	0.347 <sup>a</sup> ±0.002
35	0.367 <sup>a</sup> ±0.001	0.340 <sup>a</sup> ±0.003	0.338 <sup>a</sup> ±0.004	0.340 <sup>a</sup> ±0.001	0.358 <sup>a</sup> ±0.001
42	0.366 <sup>a</sup> ±0.005	0.346 <sup>a</sup> ±0.005	0.345 <sup>a</sup> ±0.005	0.340 <sup>a</sup> ±0.002	0.359 <sup>a</sup> ±0.001
49	0.361 <sup>a</sup> ±0.002	0.320 <sup>a</sup> ±0.002	0.325 <sup>b</sup> ±0.001	0.314 <sup>b</sup> ±0.003	0.333 <sup>a</sup> ±0.005

Ortalama ± Standart sapma. P<0.05.

### 4.5.3 Sertlik

Çikolata snap'i ve onun enstrümantal bir göstergesi olan sertlik değeri, tekstürel karakteristiklerdendir. Çikolata kırılması ile oluşan stres dalgaları akustik emisyonlar yaratır. Bu emisyonlar stres kaynaklı enerji birikimine neden olur. Farklı bileşim, yapı ve proses koşullarına sahip olan çikolatalarda stres dalgalarının salınımı değişim gösterir. Kristalize yağ miktarı, kristal boyutu, morfolojisi, kristal agregasyonu ve bunlar arasında katı köprülerinin bulunması kırılmaya yanıt olarak oluşan akustik özellikleri etkiler (Lapcikova vd., 2022). Bu nedenle snap ile çeşitli değişkenler arasında önemli bir ilişki vardır.

Bu çalışmada hızlandırılmış raf ömrü koşullarında örneklerin sertlik değerleri periyodik olarak incelenmiştir. Hem HPKO ve hem de HPKS ile hazırlanan örneklerde sertlik öncelikle artış eğilimi göstermiş, ancak özellikle depolamanın son bölümlerinde bu artış düşüş eğilimine dönmüştür (Çizelge 4.9 ve 4.10). Bu değişimin başlıca nedeni olarak ise, depolama sırasında belirlenen nem miktarındaki artış belirtilebilir. Ancak ortalama partikül boyutunun sertlik değişim davranışı üzerinde bir etkisi belirlenmemiştir. Çikolata nem miktarı ile sertlik değerleri ters yönlü ilişkiye sahiptir (Afoakwa, 2010; Konar, 2013; Beckett, 2008). Dolayısıyla depolama sırasında özellikle nem miktarı özelliklerinin sertlik üzerinde belirleyici olduğu değerlendirilmiştir.

**Çizelge 4.9** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Sertlik Değerleri (g)

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90, µm)		
	20.0	25.0	30.0
7	4588.9 <sup>c</sup> ±121.5	4847.2 <sup>c</sup> ±55.2	5227.1 <sup>c</sup> ±53.4
14	6312.0 <sup>b</sup> ±98.2	5247.8 <sup>d</sup> ±475.5	5351.3 <sup>e</sup> ±595.1
21	6640.4 <sup>b</sup> ±361.2	5971.4 <sup>c</sup> ±697.0	6745.3 <sup>d</sup> ±212.4
28	7542.8 <sup>a</sup> ±604.1	6912.0 <sup>b</sup> ±205.5	7289.5 <sup>c</sup> ±222.7
35	7652.5 <sup>a</sup> ±730.6	7646.0 <sup>a</sup> ±140.4	8628.6 <sup>a</sup> ±401.4
42	7597.6 <sup>a</sup> ±473.3	7279.0 <sup>a</sup> ±109.3	7959.1 <sup>b</sup> ±118.9
49	6476.2 <sup>b</sup> ±204.0	5609.6 <sup>c</sup> ±583.9	6048.3 <sup>d</sup> ±369.2

Ortalama ± Standart sapma. P<0.05.

**Çizelge 4.9 Devam**

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90, µm)	
	35.0	40.0
7	5320.3 <sup>c</sup> ±151.8	5691.4 <sup>d</sup> ±118.5
14	5660.2 <sup>c</sup> ±244.6	5731.0 <sup>d</sup> ±343.0
21	6797.0 <sup>b</sup> ±231.9	6578.7 <sup>b</sup> ±147.2
28	8083.2 <sup>a</sup> ±286.9	6846.6 <sup>b</sup> ±274.0
35	7929.4 <sup>a</sup> ±161.8	7416.3 <sup>a</sup> ±169.9
42	8006.3 <sup>a</sup> ±217.5	7131.5 <sup>a</sup> ±120.8
49	6228.6 <sup>b</sup> ±23.3	6154.9 <sup>c</sup> ±98.1

Ortalama ± Standart sapma. P<0.05.

Yüksek sertlik istenen bir çikolata özelliğidir. Bu özelliklere sahip olması için ise çikolata yapısal özelliklerinin belirli niteliklerde olması gerekir. Kristalizasyon ile birlikte katı yağ içeriği (SFC) artış gösterir. Ancak sertlik bu özellikten öte kristal mikroyapıya ve partikül büyüklük dağılımına bağlı olarak değişir (Nighingale vd., 2011). Daha küçük partikül boyutlarına sahip olan çikolata, daha yüksek sertlik özelliğine sahiptir (Afoakwa vd., 2009). Ayrıca çikolata mikroyapısında meydana gelen değişimler, tekstür özelliklerinde değişimlere neden olur. Örneğin, yağın yüzeye migrasyon ile taşınması sonrası daha kaba bir tekstüre sahip olan ürün oluşur (Zhao ve James, 2019). Ayrıca diğer bileşenler ile yağ fazı arasındaki mikroyapıyı etkileyen etkileşimleri, çikolata sertliğini etkiler. Peynir altı suyu partiküllerinin sütlü çikolata örneklerinin kristal yapısı üzerindeki plastikleştirici etkisi sonucu sertliğin azaldığı belirlenmiştir (Lapcikova vd., 2022). Ancak çalışmamızda kokolin örnekleri için partikül büyüklüğüne bağlı sertlik değişiminde önemli bir farklılık belirlenmemiştir.

**Çizelge 4.10 Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Sertlik Değerleri (g)**

Süre (Gün)	Partikül Boyutu (D90, µm)		
	20.0	25.0	30.0
7	4684.4 <sup>c</sup> ±438.8	4422.0 <sup>c</sup> ±252.8	4392.7 <sup>c</sup> ±120.5
14	4039.0 <sup>c</sup> ±26.1	4858.3 <sup>c</sup> ±73.9	3958.6 <sup>c</sup> ±169.7
21	6367.2 <sup>a</sup> ±308.9	5838.5 <sup>a</sup> ±230.8	5453.9 <sup>a</sup> ±477.0
28	5538.2 <sup>b</sup> ±307.0	5733.3 <sup>a</sup> ±224.4	4810.9 <sup>b</sup> ±218.1
35	5823.6 <sup>b</sup> ±435.8	5501.6 <sup>b</sup> ±176.4	5050.7 <sup>b</sup> ±232.1
42	5680.9 <sup>b</sup> ±363.7	5617.5 <sup>a</sup> ±40.6	4930.8 <sup>b</sup> ±31.6
49	5203.1 <sup>b</sup> ±141.4	5348.4 <sup>b</sup> ±152.3	4706.3 <sup>b</sup> ±323.0

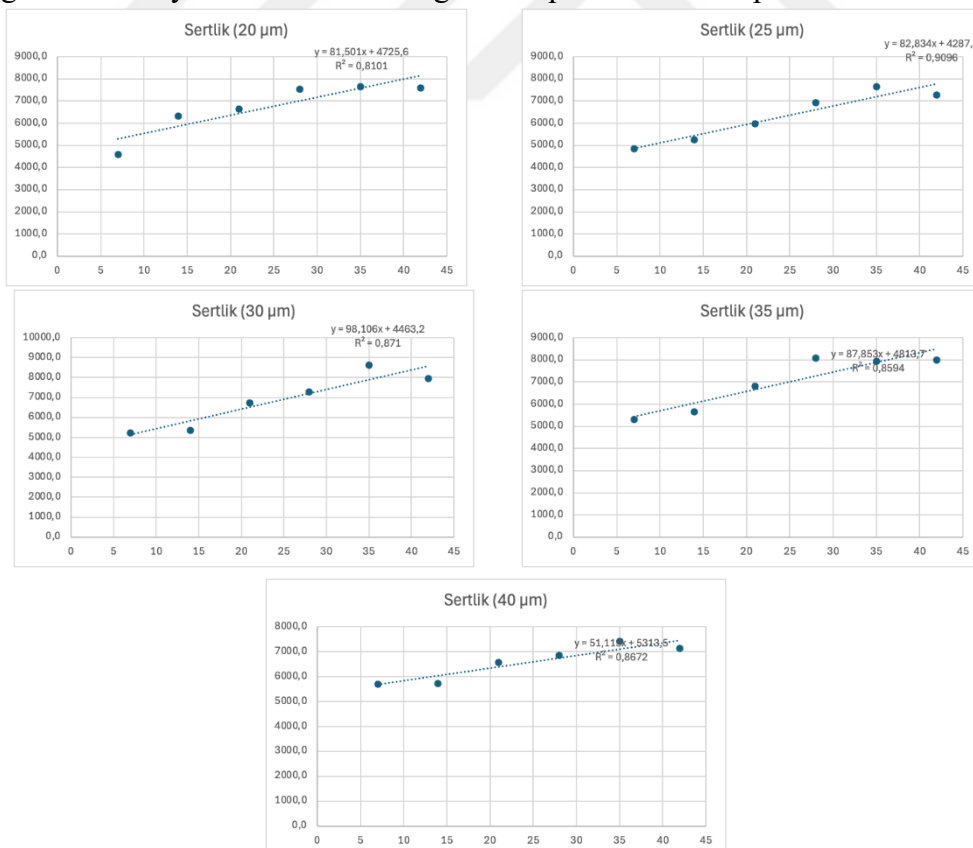
Ortalama ± Standart sapma P<0.05.

Çizelge 4.10 Devam

Süre (Gün)	Partikül Boyutu (D90, µm)	
	35.0	40.0
7	4239.3 <sup>b</sup> ±62.1	4659.5 <sup>c</sup> ±254.5
14	3554.0 <sup>c</sup> ±46.4	3743.9 <sup>d</sup> ±69.6
21	5583.4 <sup>a</sup> ±134.5	6124.9 <sup>a</sup> ±221.9
28	5627.8 <sup>a</sup> ±52.4	5632.9 <sup>b</sup> ±66.0
35	5526.1 <sup>a</sup> ±235.6	5710.1 <sup>b</sup> ±478.5
42	5577.0 <sup>a</sup> ±231.6	5671.5 <sup>b</sup> ±272.0
49	4568.7 <sup>b</sup> ±79.5	4934.4 <sup>c</sup> ±94.4

Ortalama ± Standart sapma. P<0.05.

Nem miktarının depolama sırasındaki değişimi ile benzerlik gösteren kinetik özellikler, HPKS ile hazırlanan kokolinlere ait sertlik değerlerinin hızlandırılmış raf ömrü koşullarındaki değişimi için de belirlenmiştir. 0. Dereceden lineer değişimlere ait eğrilerin R<sup>2</sup> değerleri genel olarak 0.8101-0.9096 aralığında tespit edilmiştir (Şekil 4.3). Ancak HPKO ile hazırlanan örnekler için modeller oluşturulması mümkün olmamıştır. Bu durumun olası nedenleri arasında, HPKS'nin HPKO'ya göre daha yüksek katı yağ içeriğine ve daha yüksek erime sıcaklığına sahip TAG'lara sahip olması bulunabilir.



Şekil 4.3 Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Sertlik Miktarlarının Süreye Bağlı Değişimi

#### 4.5.4 Renk Değişimi ve Beyazlık İndeksi

Parlak bir yüzeye sahip olan çikolata, tüketiciler tarafından daha yüksek kaliteli ürün olarak kabul edilmektedir (Gunes vd., 2022). Bu özellik ise genel olarak CIE -Lab yöntemi ile gerçekleştirilen kolorimetrik analizlerde belirlenen  $L^*$  değeri ile karakterize edilir. Dolayısıyla çikolata kalite kontrolünde sık kullanılan parametrelerden biri  $L^*$ 'dir. Proses basamaklarından özellikle temperleme parlak bir yüzey elde edilmesinde belirleyicidir (Rasouli Pirouzian vd., 2020; Briones vd., 2006). Çünkü bu proses kristal yapısı ve boyutlarını etkiler. Bu durumda ise yüzey morfolojisi değişim gösterir. Çikolata yapısal özellikleri ile hem yağsız katı maddeler hem de kristal yağ parçacıklarının boyutu renk özellikleri ve  $L^*$  değerini etkiler. Özellikle daha sıkı paketlenmiş bir ortamın söz konusu olduğu durumlarda, ışığın saçılması ile bu ortamdaki partiküllerin boyutları arasında zıt yönlü bir ilişki söz konusudur (Glicerina vd., 2015).

Ancak yalnızca yağ kristalleri değil, aralarında partikül büyüklüğünün de bulunduğu yapısal faktörlerin de dikkate alınması gerekir. Bu faktörlere örnek olarak ayrıca yüzey topoğrafik ve morfolojik özellikleri belirtilebilir. Bu yapısal özellik değişkenleri çikolata renk özellikleri ve parlaklığı için dikkate alınması gerekmektedir. Çünkü gıdaların görsel özellikleri aralarında saçılma ve yüzey morfolojisinin de bulunduğu çeşitli optik olaylardan etkilenir (Briones vd., 2006). Örneğin, yüzeyde pürüzlülük arttıkça, parlaklık azalacaktır. Çünkü daha düzensiz ve kompleks bir yüzeyde daha fazla ışık saçılımı gerçekleşecektir. Bu nedenle özellikle yüzey topografyasının ölçülen renk parametreleri üzerindeki etkisinin doğru bir şekilde anlaşılması önemlidir.

Çalışmamızda hızlandırılmış raf ömrü sırasında gerçekleştirilen renk ölçümleri esas alınarak, renk farklılığı ( $\Delta E$ ) ve beyazlık indeksi değerleri, ölçümlerin ortalaması ile örnek hazırlanmasını takip eden renk ölçümleri arasındaki farklılıklar dikkate alınarak belirlenmiştir. Gıda maddelerinde  $\Delta E$  değerinin 3.0'den fazla olması, insan gözüyle algılanabilir renk farklılığının ortaya çıkışı olarak kabul edilmektedir (Periche vd., 2015). HPKS ile hazırlanan tüm örneklerde hızlandırılmış raf ömrü sırasında ve sonunda gerçekleştirilen renk analizleri dikkate alındığında  $\Delta E$  değeri 2'den düşük olarak belirlenmiştir. Ancak HPKO ile hazırlanan örneklerde partikül boyutunun 30.0  $\mu\text{m}$ 'nin altında olması halinde depolamada hızlı bir şekilde bu değer 3.0'ün üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Genel olarak 30.0  $\mu\text{m}$ 'nin üzerinde ortalama partikül büyüklüğüne sahip ve

HPKO ile hazırlanan örneklerin renk değişimi açısından daha stabil oldukları tespit edilmiştir (Çizelge 4.11 ve 4.12).

**Çizelge 4.11** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Renk Değişimi ( $\Delta E$ ) Değerleri

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90 $\mu\text{m}$ )				
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
7	0.485	0.609	0.481	0.909	0.443
14	0.437	1.089	0.406	1.390	0.337
21	1.579	0.829	0.916	0.513	0.851
28	0.990	0.993	0.807	0.975	1.222
35	0.369	0.100	0.316	0.517	1.108
42	0.620	0.530	0.501	0.460	0.445
49	1.359	1.925	1.497	0.927	1.247

**Çizelge 4.12** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Renk Değişimi ( $\Delta E$ ) Değerleri

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90 $\mu\text{m}$ )				
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
7	4.697	3.775	2.336	3.272	2.094
14	2.747	4.544	1.871	2.791	1.770
21	3.860	3.785	3.341	3.589	2.452
28	2.449	2.850	2.643	2.857	1.937
35	3.395	3.272	2.724	3.343	2.016
42	2.911	3.038	2.682	3.073	1.974
49	4.879	3.806	1.642	3.108	1.314

Başlıca çikolata kalite ve stabilite problemi fat bloom gelişimidir. Fat bloom başlangıçta parlak olan çikolata yüzeyinin bu özelliğinin kaybedilmesi ile sonuçlanır (Zhao ve James, 2019). Bu problem çok sayıda çalışmada incelenmiş, halen de çeşitli yaklaşımlar ile bunun geciktirilmesi veya önlenmesi amaçlı araştırmalar yürütülmüştür. Yapısal özellikler ile ilişkili çeşitli değişken ve faktörler ise doğrudan fat bloom üzerinde etkili koşullar ve/veya bu sorunun ortaya çıkardığı sonuçlar arasında yer almaktadır. Örneğin yüzey pürüzlülüğü bloom gelişimini iyi bir göstergesi olarak kabul edilir (Shen vd., 2023). Çikolata yüzeyindeki heterojenlik, fat bloom gelişimini teşvik eden unsurlar arasındadır (Sonwai ve Rousseau, 2010). Örneğin Ashida vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen ve üç boyutlu (3D) lazer taramalı konfokal mikroskopi (3D-LSCM) kullanılan çalışmada, çikolata yüzeyindeki içbükey ve dışbükey yapıların fat bloom gelişimi üzerinde farklı etkilere ve mekanizmalara sahip oldukları vurgulanmıştır. Çikolata pürüzlülüğünün dışbükey yapılar olarak ortaya çıkan öğeleri daha stabil formların oluşumunu belirtir. Bu yapıların ortaya çıkması ile yüzey alanı artmazken

yükseklik artar. Bir diğer pürüzlülük ögesi olan içbükey yapılarıdır. İçbükey pürüzlülük ögeleri daha stabil formlara dönüşmek üzere yağ moleküllerinin yüzeye difüzyonu ile ilişkilendirilebilir. Fat bloom gelişimi öncesi, yüzeydeki içbükey alanlarda kristal agregatları ile karşılaşılabilir. Dışbükey alanlarda ise yanal olarak yayılan iğne şekilli kristal agregatları görülebilir.

Bu çalışmada ise fat Bloom izlenmesinde sıklıkla kullanılan bir parametre olan beyazlık indeksi (Whiteness Index, WI) değerleri (Beckett, 2008; Afoakwa, 2010) kokolin örnekleri için hızlandırılmış raf ömrü sürecinde izlenmiştir. HPKS ile hazırlanan örnekler için bu değerler 30.6-33.1 (Çizelge 4.13), HPKO ile hazırlanan örnekler için ise 36.4-38.2 aralığında (Çizelge 4.14) değişmiş olup, her iki örnek grubunda da ortalama partikül boyutuna bağlı WI değerlerinde önemli farklılık belirlenmemiştir. Genel olarak sonuçların dar bir aralıkta değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Göreceli olarak HPKS ile hazırlanan örneklerin daha düşük WI değerlerine sahip oldukları dikkat çekmiştir. Bu durum yine daha yüksek SFC oranına sahip olması ile ilişkilendirilmiştir. Fat bloom oluşumu, ilk önce gözeneklerin sıvı lipitlerle dolu çıkıntılara dönüştüğü ve ardından kristalleştiği bir süreçtir (Reinke vd., 2016). Bu nedenle fat bloom gelişiminin izlenmesi için çikolata yüzey özelliklerinin incelenmesi en sık kullanılan yöntemdir (Zhao ve James, 2019). Ancak bu sorunun nedenleri ve oluşum mekanizmalarını anlamak amacıyla yüzey mikroyapısının incelenmesi ve bu inceleme sırasında yağ fazının erime özellikleri yağ asidi ve TAG profillerinin dikkate alınmasında yarar vardır. Ayrıca, fat bloom oluşumu yanı sıra oluşan bu sorunun morfolojik özellikleri de dikkate alınabilir. Çünkü gelişim mekanizmasına göre bu özellikler değişiklik gösterir (Lonchamp ve Hartel, 2004). Ayrıca, farklı teknikler kullanılarak yüzeydeki düzensizlikler, topografik özellikler ve oluşan kristallerin karakterizasyonu analiz edilebilir. Fat bloom gelişen çikolata yüzeylerinde plate ve iğne morfolojisinde yağ kristallerinin varlıkları ve bunların boyutları (Ashida vd., 2020), problemin incelenmesi sırasında kullanılabilir.

CBS bileşim ve özellikleri kokolinde fat Bloom gelişimi açısından göz önüne alınması gerekenler arasında bulunmaktadır. Çünkü akışkan yağ fazı, yüzeye migrasyon gerçekleştirerek burada stabil polimorfik formlarda yeniden kristalize olur. Bunlar iğne şekilli ve 5 µm'den büyük olan yağ kristalleridir. Boyutları, ışık kırılımını etkiler. Sonuçta

donuk ve beyazımsı bir pus oluşur. Homojen kristal yapıları, fat bloom nedenleri arasında yer alan akışkan yağ fazı bileşenlerinin migrasyonunu geciktirir veya önler (Dahlenborg vd., 2015). Yağ kristalleri yanı sıra katıların partikül boyutları da dikkate alınmalıdır. Çünkü çikolata partikül boyutu ile fat bloom davranışı arasında ilişki bulunduğu belirlenmiştir (Shen vd., 2023). Ancak elde ettiğimiz veriler, kokolin için bu ilişkiye doğrulayacak nitelikte değildir.

İleri çalışmalarda kokolin örneklerinin yüzeyi yanı sıra ara yüzeylerinin de incelenmesi yararlı olabilir. Çünkü çikolata ve kokolin ara yüzeyinde de bloom kristalleri ile karşılaşabiliriz. Bu kristaller daha küçük ve düzensiz şekillidirler (Rousseau, 2006). Ancak yüzeye yağ migrasyonu daha önemli bir sorundur. Çikolata arayüzeyinde katılar arasındaki boşluklarda yağın immobilizasyonu sağlayabilecek bileşenler kullanılarak mikroyapının modifikasyonu, fat bloom geciktirilmesi veya önlenmesi için kullanılabilir. Bu etkiye sahip bileşenlerin kullanılması, katıların aglomerasyon davranışını etkileyebilir. Ayrıca daha sıkı paketlenmiş ve daha sert bir yapı oluşmasına neden olurlar. Bu amaçla kullanılacak bileşenler arasında peyniraltı suyu protein izolatu bulunmaktadır. Bu protein izolatının yer aldığı çikolata formülasyonlarında yağ hareketliliğini azaltan bir mikroyapı elde edilmiştir (Nastaj vd., 2022). Çikolata kabuk veya yüzeylerinde de daha sıkı bir mikroyapı oluşumu yağ migrasyonunu azaltır (Svanberg vd., 2011a). Dolayısıyla kokolin teknolojisinde de bu bileşenler fat Bloom stabilitesi iyileştirilmiş ürünler elde etmek amaçlı kullanılabilir.

Çalışmamızda sıcaklık döngüleri uygulanmıştır. Bu döngüler ile fat bloom gelişiminin indüklenmesi amaçlanmıştır. Çikolata raf ömrü çalışmalarında da yüzey görsel özellikleri ve mikroyapısının incelenmesi söz konusudur. Bu özelliklerin değişimi, raf ömrü süresinin belirlenmesi için genellikle dikkate alınır. Bu amaçla sıklıkla örnekler sıcaklık dalgalanmalarına maruz bırakılırlar. Bu dalgalanmaları sonucunda yüzey pürüzlülüğü artar (Zhao ve James, 2019). Uygulanan sıcaklık dalgalanmasının frekans ve periyotları yanı sıra örnek çeşidine bağlı olarak farklı yüzey mikroyapı değişimleri ile de karşı karşıya kalabiliriz. Daha önceki çalışmalarda CBS tek başına yağ fazı oluşturan örnekler için oluşturulan sıcaklık dalgalanma ve frekanslarına yönelik araştırma ile karşılaşmadığı için, compound çikolatalara yönelik önerilen yöntem kullanılmıştır (Jin ve Hartel, 2020). Yürütülecek çalışmalar ile sadece CBS için sıcaklık dalgalanma ve frekansları belirlenerek fat bloom gelişiminin hızlandırılması mümkün olabilir.

**Çizelge 4.13** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Stearin ile Hazırlanan Örneklerin Beyazlık İndeksi Değerleri

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90, $\mu\text{m}$ )				
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
7	31.2	31.8	31.9	31.6	32.5
14	31.3	31.3	32.7	30.7	32.0
21	33.1	32.9	32.6	32.0	32.9
28	31.3	31.5	31.7	31.4	32.1
35	31.7	32.3	32.0	32.5	32.8
42	31.5	31.9	31.9	32.0	32.5
49	31.2	30.6	31.4	31.4	31.5

**Çizelge 4.14** Hızlandırılmış Raf Ömrü Koşullarında Hidrojenize Palm Kernel Olein ile Hazırlanan Örneklerin Beyazlık İndeksi Değerleri

Süre (gün)	Partikül Boyutu (D90, $\mu\text{m}$ )				
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
7	36.4	37.3	35.4	35.0	35.4
14	34.4	38.2	34.7	35.0	35.2
21	35.1	36.9	35.9	35.1	35.5
28	33.7	36.2	35.4	35.0	35.3
35	34.7	36.0	35.4	35.0	35.2
42	34.2	36.1	35.4	35.0	35.2
49	36.4	37.3	34.5	34.8	34.6

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Fat bloom kokolinde meydana gelen önemli kalite kusurlarından biridir. Partikül boyutu aynı şekilde kokolin için kalite kriteri olmakla birlikte 30µm ve üzeri boyutlarda insan ağızında çok kolay hissedilebilmektedir. Bu algı ağızda kumlu bir yapı bırakmaktadır. Bu çalışmada fat bloomu etkileyen problemin partikül boyutunun ne ölçüde etkilediğinin tespiti amaçlanmıştır. Fat bloom sonucu kokolin yüzeyinde oluşan beyaz renk görünümüne sebep olan yağ belirli bir sıcaklık ile tekrar eriyebilirken, partikül boyutunun ağızda vermiş olduğu hissiyat ne raf ömrü boyunca değişmemektedir. Tüketici algısındaki olumsuzluğu gidermek amacıyla alternatif çalışma yürütülmesi gerekmektedir. Partikül boyutunun fat bloom üzerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada belirlenmiş olan partikül boyutlarında hamurlar hazırlanarak önce kalıplanmış sonrasında ise hızlandırılmış raf ömrü çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan raf ömrü çalışmasında 99 döngülük (her döngü 6 saat olmak üzere) (6 saat 20°C, 6 saat 30°C) sıcaklık dalgalanması uygulanarak sabit bağıl nemde örnekler muhafaza edilmiştir.

Çalışmamızda genel olarak HPKS kullanılan örneklerde HPKO ile hazırlananlara göre daha düşük nem miktarı ve daha yüksek sertlik belirlenmiştir. Ancak nem miktarı üzerinde partikül boyutunun etkisi tespit edilememiştir. Raf ömrü çalışması sonucunda da daha önemli renk farklılıkları HPKO içeren örneklerde tespit edilmiştir. Raf ömrü çalışmasında genel olarak partikül boyutuna bağlı gözlenen ve belirlenen değişimler olmamakla birlikte, örneklerin duyu özellikleri üzerinde artan partikül boyutu olumsuz etkisinin dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca çalışmamız sonucu elde edilen veriler, farklı sertlik özelliklerine sahip kokolin üretimi için kullanılabilir niteliktedir. HPKS'nin, tekstür ve erime davranışı kakao yağına benzeyen, aynı zamanda diğer palm yağları ile karşılaştırıldığında maliyet avantajları olan bir CBS'dir. Kokolin üretiminde farklı fizikokimyasal özelliklere sahip ürün elde edilmesi için bu çalışmanın bulgularından yararlanılabilir. HPKS ile hazırlanan tüm örneklerde hızlandırılmış raf ömrü sırasında ve sonunda gerçekleştirilen renk analizleri dikkate alındığında  $\Delta E$  değeri 2'den düşük olarak belirlenmesi, ancak HPKO ile hazırlanan örneklerde partikül boyutunun 30.0 µm'nin altında olması halinde depolamada hızlı bir şekilde bu değer 3.0'ün üzerine çıkması dikkat çekici bir diğer bulgudur.

Bu çalışmada kokolin yapısal özellikleri, özellikle yüzey renk ölçümleri ile karakterize edilmiştir. İleri çalışmalarda kokolin mikroyapısının iki boyutlu olarak ele alınmasında yarar vardır; yüzey mikroyapısı ve arayüzey özellikleri. Çünkü kokolin yüzeyinde mikroyapı için önem taşıyan topografik özellikler pürüzlülük kaynağı olanlardır. Bu unsurlar, içbükey ve dışbükey geometriye sahiptirler. Pürüzlülük, fat bloom gelişimi ile ilişkilendirilebileceği gibi çikolata diğer görsel özellikleri üzerinde de etkilidir. Gerçekleştirilecek araştırmalarda bu parametrenin belirlenmesi, kokolin teknolojisine önemli katkılar sunabilir. Ayrıca bu çalışmada universal bir sistem olan ve kokolin teknolojisinde yaygın kullanılan ball-mill sisteminden yararlanılmıştır. Diğer üretim yöntemleri ile elde edilen partikül büyüklük özellikleri ile kokolin kalite ve stabilitesi arasındaki ilişkinin belirlenmesinde de yarar bulunmaktadır. Ancak özellikle kokolin arayüzeyi ile ilgili çalışmalarda genel olarak kesit alınarak veya eriyik formdaki örnekler ile çalışılmaktadır. Bu durumda ise tüm özelliklerin karakterize edilmesi mümkün olmayabilir. Dolayısıyla hasarsız analiz yöntemlerinin kokolin teknolojisi için daha fazla geliştirilmesi ve mikroyapı çalışmalarında yaygınlaşmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abbasi S., Farzanmehr H. (2009): Optimization of the formulation prebiotic milk chocolate based on rheological properties. *Food Technology and Biotechnology*, 47: 396–403.
- Abdul Halim, H.S.A., Selamat, J., Mirhosseini, S.H., Hussain, N. (2019). Sensory preference and bloom stability of chocolate containing cocoa butter substitute from coconut oil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 443-448.
- Afoakwa, E. O. (2010). *Chocolate science and technology*. John Wiley, Sons.
- Afoakwa, E. O. (2014). *Cocoa production and processing technology*. CRC Press.
- Afoakwa, E. O., Paterson, P., Fowler, M. (2008). Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *European Food Research and Technology* 226:1259–1268.
- Afoakwa, E.O., A. Paterson, M. Fowler (2007). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 18 (2007) 290–298.
- Afoakwa, E.O., A Paterson, M Fowler, J Vieira (2009). Comparison of rheological models for determining dark chocolate viscosity- *International journal of food science & technology* 44 (1), 162-167
- Amoye, S. (2006). Cocoa sourcing, world economics and supply. *The Manufacturing Confectioner* 86: 81-85.
- Anon., 1993. *The cocoa manual: a guide to De Zaan's cocoa products*. De Zaan Publication. Holland.
- Asghar, A., Pasha, I., Murtaza, G., Ali, M. (2017). Improving heat stability along with quality of compound dark chocolate by adding optimized cocoa butter substitute (hydrogenated palm kernel stearin) emulsion. *LWT-Food Science and Technology*, 80, 531-536.
- Ashida, H., Morita, A., Karatani, N., Sato, R., Sato, K. (2020). Surface topographic analysis of early stages of fat bloom of dark chocolate with 3D-laser scanning confocal microscopy (3D-LSCM). *Food structure*, 23, 100136.
- Awua, P.K. (2002) *Cocoa Processing and Chocolate Manufacture in Ghana*. David Jamieson and Associates Press Inc., Essex, 12-14.
- Beckett, S.T., 1999. *Industrial Chocolate Manufacture and Use*, 3th ed. Blackwell Science. Oxford
- Beckett, S.T. (2000) *The Science of Chocolate*. Stephen T. Beckett. The Royal Society of Chemistry Paperbacks. 2000. Pp
- Beckett, S. T. (2008). *The science of chocolate* (2nd ed.). London, UK: Royal Society of Chemistry.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Beckett, S.T. (2009). *Industrial chocolate manufacture and use* (4th ed.). Oxford, UK:Blackwell Publishing.
- Beckett, S.T. Mark S. Fowler, Gregory R. Ziegler (2017). *Industrial chocolate manufacture and use*. Oxford, UK:Blackwell Publishing.
- Beckett, S. T. (2019). *The science of chocolate*. Royal Society of Chemistry.
- Biswas, N., Cheow, Y. L., Tan, C. P., Siow, L. F. (2017). Physical, rheological and sensorial properties, and bloom formation of dark chocolate made with cocoa butter substitute (CBS). *LWT-Food Science and Technology*, 82, 420-428.
- Bolenz S., Thiessenhusen T., Schape R. (2003): Fast conching for milk chocolate. *European Food Research and Technology*, 218: 62–67.
- Bolenz S, Amtsberg K, Lipp E (2005) New concept for fast continuous conching of milk chocolate. *Eur Food Res Technol* 220:47–54.
- Bolenz S, Amtsberg K, Schäpe R (2006) Broader usage of sugars and fillers in milk chocolate according to the new EC cocoa directive.
- Briones, V., Aguilera, J. M., Brown, C. (2006). Effect of surface topography on color and gloss of chocolate samples. *Journal of food engineering*, 77(4), 776-783.
- Cheesman, E. (1944). Notes on the nomenclature, classification and possible relationship of cacao populations. *Tropical Agriculture* 21: 144–59.
- Cidell, J.L. and Alberts, H.C. (2006) Chocolate Consumption, Manufacturing and Quality in Western Europe and the United States. *Geography*, 91, 218-226.
- Chong et al., 1992, Nesaretnam, Md. Ali, Fractionation procedures for obtaining cocoa butter-like fat from enzymatically interesterified palm olein. *Journal of the American Oil Chemists' Society* (1992)
- Dahlenborg, H., Millqvist-Fureby, A., Bergenståhl, B. (2015). Effect of shell microstructure on oil migration and fat bloom development in model pralines. *Food Structure*, 5, 51-65.
- Edwards, W. P. (2018). *The science of sugar confectionery*. Royal Society of Chemistry.
- Fatimah Ibrahim, S., Dalek, N. E. M., Raffie, Q. F. M., Ain, M. F. (2020). Quantification of physicochemical and microstructure properties of dark chocolate incorporated with palm sugar and dates as alternative sweetener. *Materials Today: Proceedings*, 31, 366-371.
- Fowler, M. S. *Cocoa Beans: From Tree to Factory*. In: *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. 3 th ed.; Beckett, S. T., Blackwell Science: Oxford, UK, 1999; pp. 8-35.
- G. L. Hasenhuettl and R. W. Hartel, *Food Emulsifiers and Their Applications*. NewYork: Chapman & Hall, 1997.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Glicerina V, Balestra F, Rosa MD, (2013) Romani S. Rheological, textural, and calorimetric modifications of dark chocolate during process. *J Food Eng.* 2013;119:173-9
- Glicerina, V., Balestra, F., Dalla Rosa, M., Romani, S. (2015). Effect of manufacturing process on the microstructural and rheological properties of milk chocolate. *Journal of Food Engineering*, 145, 45-50.
- Glicerina, V., Balestra, F., Dalla Rosa, M., Romani, S. (2016). Microstructural and rheological characteristics of dark, milk and white chocolate: A comparative study. *Journal of Food Engineering*, 169, 165-171.
- Glicerina, V., Romani, S. (2016). Advances in Yield Stress Measurements for Chocolate. In Ahmed, J., Ptaszek, P., Basu J. (Ed.) *Advances in Food Rheology and Its Applications* (pp. 459-481). Cambridge, UK, Woodhead Publishing.
- Gunes, R., Palabiyik, I., Konar, N., Toker, O. S. (2022). Soft confectionery products: Quality parameters, interactions with processing and ingredients. *Food Chemistry*, 385, 132735.
- Hasenhuettl, G.L., Hartel, R.W. (2006). *Food Emulsifiers and Their Applications*. Springer-Verlag, New York.
- H. Schenk, R. Peschar, (2004) *Understanding the structure of chocolate*
- Holland, B., Welch, A. A., Unwin, J. D., Buss, D. H., Paul, A. A. (1991). *McCance and Widdowson's the composition of foods*. London: RSC/MAFF.
- Hui, Y.H., 1991. *Encyclopedia of Food Science and Technology*, Volume 1. John Wiley, Sons. New York.
- Hough G., Garita L., (2010) *Methodology for Sensory Shelf-Life Estimation: A Review*.
- Höfs, M. Taschke, H. (2002). Emulgatoren: Hilfsmittel mit vielfältigen Wirkmechanismen. und Süßwarenwirtschaft, 55, 6-8.
- Jahurul, M.H.A., Ping, L.L., Sharifudin, M.S., Hasmadi, M., Mansoor, A.H., Lee, J. S., Noorakmar, B.W., Amir, H.M.S., Jinap, S., Mohd Omar, A.K., Zaidul, I.S.M. (2019). Thermal properties, triglycerides and crystal morphology of bambangan (*Mangifera pajang*) kernel fat and palm stearin blends as cocoa butter alternatives. *LWT-Food Science and Technology*, 107, 64-71.
- Jackson, K. (1999). Recipes. In S. T. Beckett (Ed.), *Industrial chocolate manufacture and use* (3rd ed.). (pp. 323 e346). Oxford: Blackwell Science.
- Jin, J., Hartel, R. W. (2020). Accelerated fat bloom in chocolate model systems: replacement of cocoa powder with sugar particles and the effects of lecithin. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 97(4), 377-388.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Jin, J., Akoh, C. C., Jin, Q., Wang, X. (2018). Preparation of mango kernel fat stearin-based hard chocolate fats via physical blending and enzymatic interesterification. *LWT-Food Science and Technology*, 97, 308-316.
- Jin, J., Jin, Q., Akoh, C. C., Wang, X. (2021). StOSt-rich fats in the manufacture of heat-stable chocolates and their potential impacts on fat bloom behaviors. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 418-430.
- Jin, J., Jin, Q., Wang, X., Akoh, C. C. (2019). Improving heat and fat bloom stabilities of “dark chocolates” by addition of mango kernel fat-based chocolate fats. *Journal of food engineering*, 246, 33-41.
- Khanji, A. N., Michaux, F., Petit, J., Salameh, D., Rizk, T., Jasniewski, J., Banon, S. (2018). Structure, gelation, and antioxidant properties of curcumin-doped casein micelle powder produced by spray-drying. *Food & Function*, 9(2), 971-981.
- Konar, N. (2013). Influence of Conching Temperature and Some Bulk Sweeteners on Physical and Rheological Properties of Prebiotic Milk Chocolate Including Containing Inulin. *European Food Research and Technology*, 23, 135-143.
- Konar, N., Gunes, R., Palabiyik, I., Toker, O. S. (2022). Health conscious consumers and sugar confectionery: Present aspects and projections. *Trends in Food Science & Technology*, 123, 57-68.
- Konar, N., Polat, D. G., Dalabasmaz, S., Erdogan, M., Sener, S., Sarıkaya, E. K. (2023). Effects of various milk powders on main quality parameters of cocoa butter substitute-based chocolate. *International Dairy Journal*, 139, 105571.
- Konar, N., Toker, O.S., Rasouli Pirouzian, H., Oba, S. Genc Polat, D., Palabiyik, I., Poyrazoglu, E.S., Sagdic, O. (2018). Enrichment of Milk Chocolate by Using EPA and DHA Originated from Various Origins: Effects on Product Quality. *SugarTech*, 20(6), 745-755.
- Kruger C. (1999): Sugar and bulk sweetener. In: Beckett S.T. (ed.): *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. London, Oxford, Blackwell Science, 36–55
- Lapčíková, B., Lapčík, L., Salek, R., Valenta, T., Lorencová, E., Vašina, M. (2022). Physical characterization of the milk chocolate using whey powder. *LWT-Food Science and Technology*, 154, 112669.
- Lee CY, Miller KB, Stuart DA, Smith NL, McHale NL, Flanagan JA, Ou B, Hurst WJ (2006) Antioxidant activity and polyphenol and procyanidin contents of selected commercially available cocoa-containing and chocolate products in the United States. *J Agric Food Chem* 54:4062–4068.
- Ley, D. (1988) Conching, in *Industrial Chocolate Manufacture and Use* (ed. S. J. Beckett), Blackie, London, Chapter 8.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Li, L., Liu, G., Lin, Y. (2021). Physical and bloom stability of low-saturation chocolates with oleogels based on different gelation mechanisms. *LWT-Food Science and Technology*, 140, 110807.
- Liang, B., Hartel, R.W. (2004). Effects of Milk Powders in Milk Chocolate. *Journal of Dairy Science*, 87, 20-31.
- Lillah, Asghar, A., Pasha, I., Murtaza, G., Ali, M. (2017). Improving heat stability along with quality of compound dark chocolate by adding optimized cocoa butter substitute (hydrogenated palm kernel stearin) emulsion. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 531–536.
- Lim, P. Y., Wong, K. Y., Thoo, Y. Y., Siow, L. F. (2021). Effect of inulin, fructo-oligosaccharide, trehalose or maltodextrin (M10 and M30) on the physicochemical and sensory properties of dark compound chocolate. *LWT-Food Science and Technology*, 149, 111964.
- Lipp, M. and Anklam, E. (1998) Review of Cocoa Butter and Alternative Fats for Use in Chocolate—Part A. Compositional Data. *Food Chemistry*, 62, 73-79.
- Lonchamp, P., Hartel, R.W. (2004). Fat bloom in chocolate and compound coatings. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(4), 241-274.
- Macrea, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J., 1993. *Encyclopedia of Food Science Food Technology and Nutrition*, Volume 2. Academic Press. London.
- Middendorf, D., Juadjur, A., Bindrich, U., Mischnick, P. (2015). AFM approach to study the function of PGPR's emulsifying properties in cocoa butter based suspensions. *Food Structure*, 4, 16-26.
- Millqvist-Fureby, A., Smith, P. (2007). In-situ lecithination of dairy powders in spray-drying for confectionery application. *Food Hydrocolloids*, 21, 920-927.
- Minifie B. W., *Chocolate, Cocoa, and Confectionery: Science and Technology* by Bernard W. Minifie (1989, Hardcover, Revised edition)
- Mohos, F.Á. (2010) *Confectionery and Chocolate Engineering: Principles and Applications*.
- Morris, D. (1882). *Cacao: How to Grow and How to Cure It*. Govt. Printing Establishment, Kingston, Jamaica, pp. 1–45.
- Moreno, M., Tarrega, A., Costell, E., Blanch, B., 2012. Dark chocolate acceptability: influence of cocoa origin and processing conditions. *J. Sci. Food Agric.* 92 (2), 404–411
- Markov E., H.-D. Tscheuschner, (1989) *Instrumental texture studies on chocolate II. Compositional factors influencing texture*
- Muller, T. (2003). *Schokolade e Neue Wege gehen*. *Süßwaren*, 11, 13e 15.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Nastaj, M., Sołowiej, B. G., Stasiak, D. M., Mleko, S., Terpiłowski, K., Łyszczek, R. J., Tomasevic, I.B., Tomczyńska-Mleko, M. (2022). Development and physicochemical properties of reformulated, high-protein, untempered sugar-free dark chocolates with addition of whey protein isolate and erythritol. *International Dairy Journal*, 134, 105450.
- Nicoli M.C. , Calligaris S., (2018) Secondary Shelf Life: an Underestimated Issue
- Nightingale, L. M., Lee, S. Y., Engeseth, N. J. (2011). Impact of storage on dark chocolate: Texture and polymorphic changes. *Journal of food science*, 76(1), C142-C153.
- Norazlina, M. R., Jahurul, M. H. A., Hasmadi, M., Mansoor, A. H., Norliza, J., Patricia, M., Fan, H. Y. (2021). Trends in blending vegetable fats and oils for cocoa butter alternative application: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 102-114.
- Nyugen, M.T., Van De Walle, D. Petit, C. Beheydt, B., Depypere, F. Dewettinck, K. (2014). Mapping the chemical variability of vegetable lecithins. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 91, 1093-1101.
- Owusu, M., Petersen, M.A., Heimdal, H., 2012. Effect of fermentation method, roasting and conching conditions on the aroma volatiles of dark chocolate. *J. Food Process. Preserv.* 36 (5), 446–456
- Phimolsiripol, Yuthana, P. Suppakul (2016), *Techniques in Shelf Life Evaluation of Food Products Reference Module in Food Science* (Elsevier)
- Pirouzian, H. R., Konar, N., Palabiyik, I., Oba, S., Toker, O. S. (2020). Pre-crystallization process in chocolate: Mechanism, importance and novel aspects. *Food chemistry*, 321, 126718.
- Raoufi, N., Tehrani, M.M., Farhoosh, R., Golmohammadzadeh, S. (2012). The effects of adding water and polyglycerol polyricinolate on the texture, appearance, and sensory qualities of compound milk chocolate. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114, 1390-1399.
- Rector, D, (2000). Chocolate-controlling the flow. Benefits of polyglycerol polyricinoleic acid, *The Manufacturing Confectioner*, 80(5), 63-70.
- Reinke, S. K., Wilde, F., Kozhar, S., Beckmann, F., Vieira, J., Heinrich, S., Palzer, S. (2016). Synchrotron X-Ray microtomography reveals interior microstructure of multicomponent food materials such as chocolate. *Journal of Food Engineering*, 174, 37-46.
- Rosner, S. Chocolate—divine food, fattening junk or nutritious supplementation? *Eur J Clin Nutr* 51, 341–345 (1997).
- Rousseau, D. (2006). On the porous mesostructure of milk chocolate viewed with atomic force microscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 39(8), 852-860.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Rousset, P., Sellappan, P., Daoud, P. (2002). Effect of emulsifiers on surface properties of sucrose by inverse gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 969, 97-101.
- Saputro, A.D., Van de Walle, D., Caiquo, B. A., Hinneh, M., Kluczykoff, M., Dewettinck, K. (2019). Rheological behaviour and microstructural properties of dark chocolate produced by combination of a ball mill and a liquefier device as small scale chocolate production system. *LWT-Food Science and Technology*, 100, 10-19.
- Schantz, B., Rohm, H. (2005). Influence of lecithin-PGPR blends on the rheological properties of chocolate. *LWT – Food Science and Technology*, 38, 41-45.
- Schuster, G. 1985. *Emulgatoren in Lebensmitteln*. Berlin, Hiedelberg: Springer.
- Shen, L., Jin, J., Ye, X., Li, Y., Zhang, C., Jiang, L., Zhao, L. (2023). Effects of sucrose particle size on the microstructure and bloom behavior of chocolate model systems. *Food Structure*, 36, 100323.
- Shin, J.A., Heo, Y.J., Lee, K.T. (2019). Physicochemical characteristics of fat blend from hydrogenated coconut oil and acyl migrated palm mid-fraction. *Food Chemistry*, 275, 739-745.
- Shukla, V.K.S., 1990. *Confectionery Fats*, in *Edible Fats and Oils Processing: Basic Principles and Modern Practices*, pp. 228-232, Ed. Erickson, D.R., American Oil Chemists' Society, New York.
- Sonwai, S., Rousseau, D. (2010). Controlling fat bloom formation in chocolate–Impact of milk fat on microstructure and fat phase crystallisation. *Food Chemistry*, 119(1), 286-297.
- Stroppa, Z.V. L.; Ribeiro A. P. B. Luccas, V. Grimaldi R., Kieckbusch T.G. (2011). Influence of soy lecithin and PGPR levels in chocolate crystallization behavior. 11th International Congress on Engineering and Food. In: *International Congress on Engineering and Food, 2011, Athenas. ICEF11 Proceedings*.
- Spangenberg JE, Dionisi F, (2001). Characterization of Cocoa Butter and Cocoa Butter Equivalents by Bulk and Molecular Carbon Isotope Analyses: Implications for Vegetable Fat Quantification in Chocolate. *J Agric Food Chem* 49(9): 4271-4277.
- Svanberg, L., Ahrné, L., Lorén, N., Windhab, E. (2011a). Effect of pre-crystallization process and solid particle addition on microstructure in chocolate model systems. *Food Research International*, 44(5), 1339-1350.
- Svanberg, L., Ahrné, L., Lorén, N., Windhab, E. (2011b). Effect of pre-crystallization process and solid particle addition on cocoa butter crystallization and resulting microstructure in chocolate model systems. *Procedia Food Science*, 1, 1910-1917.
- Tan, J., Balasubramanian, B. M. (2017). Particle size measurements and scanning electron microscopy (SEM) of cocoa particles refined/conched by conical and cylindrical roller stone melangers. *Journal of Food Engineering*, 212, 146-153.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Toker, O. S., Ozonuk, S., Gunes, R., Icyer, N. C., Rasouli, H. P., Konar, N., Altop, C. (2024). Importance of emulsifiers in chocolate industry: Effect on structure, machinability, and quality of intermediate and final products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.
- Toker, O. S., Palabiyik, I., Konar, N. (2019). Chocolate quality and conching. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 446-453.
- Toker, O.S., Pirouzian, H.R., Palabiyik, I., Konar, N. (2023). Chocolate flow behavior: Composition and process effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(19), 3788-3802.
- Toker, O.S., Sagdic, O., Sener, D., Konar, N., T. Zorlucan, Dağlıoğlu, O. (2016). The influence of particle size on some physicochemical, rheological and melting properties and volatile compound profile of compound chocolate and cocolin samples. *European Food Research and Technology*, 242(8), 1253-1266.
- T. Jeyarani, S. Yella Reddy, (1999) Heat-resistant cocoa butter extenders from mahua (*Madhuca latifolia*) and kokum (*Garcinia indica*) fats.
- Toxopeus, H. (1985) *Botany, types and populations. Cocoa*, 4th edn (ed. by Wood, G.A.R. and Lass, R.A.). Longman Group, London.
- Urbanski, J. J. (1992). Chocolate Flavor/origins and descriptions the effects of process and bean source. *The Manufacturing Confectioner*, 11, 69±82
- Vassiriki Cisse, F. Yemişçioğlu, *Cacao Butter and Alternatives Production-*  
Published 30 June 2019
- Watanabe, S., Yoshikawa, S., Sato, K. (2021). Formation and properties of dark chocolate prepared using fat mixtures of cocoa butter and symmetric/asymmetric stearic-oleic mixed-acid triacylglycerols: Impact of molecular compound crystals. *Food Chemistry*, 339, 127808.
- Whitefield, R., 2005. *Making Chocolates in the Factory*. Kennedy's Publications Ltd., London, UK.
- Williams, S.D., Ransom-Painter, K.L., Hartel, R.W. (1997). Mixture of Palm Kernel Oil with Cocoa Butter and Milk Fat in Compound Coatings. *Journal of American Oil Chemists Society*, 74(4), 357-366.
- Windhab E., Zeng Y., Bollinger S., (1999) In-line measurement of tempered cocoa butter and chocolate by means of near-infrared spectroscopy. June 1999 *Journal of the American Oil Chemists' Society* 76(6):659-667
- Wolf, B. (2017). *Chocolate Flow Properties*. In Stephen T. Beckett, Mark S. Fowler, Gregory R. Ziegler (Ed.), *In Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use* (5th edition), (pp. 274-297). West Sussex, UK, Wiley Blackwell.
- Wolfe, D., Shazzie, 2005. *Naked Chocolate: The Astonishing Truth About the World's Greatest Food*. North Atlantic Books, Berkeley, CA

### KAYNAKLAR DİZİNİ

- Zhang, Z., Song, J., Lee, W. J., Xie, X., Wang, Y. (2020). Characterization of enzymatically interesterified palm oil-based fats and its potential application as cocoa butter substitute. *Food Chemistry*, 318, 126518
- Zhao, H., James, B. J. (2019). Fat bloom formation on model chocolate stored under steady and cycling temperatures. *Journal of Food Engineering*, 249, 9-14.
- Zhao, H., Young, A. K., James, B. J. (2018). Effects of fat polymorphic transformation and nonfat particle size distribution on the surface changes of untempered model chocolate, based on solid cocoa mass. *Journal of Food Science*, 83(4), 998-1004.

