

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PALM YAĞI VE FRAKSİYONLARININ PÜSKÜRTMELİ
KURUTUCU İLE MİKROENKAPSÜLASYONU**

**Hazırlayan
Kutlu ÇEVİK**

**Danışman
Doç. Dr. Hasan YALÇIN**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2017
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PALM YAĞI VE FRAKSIYONLARININ PÜSKÜRTMELİ
KURUTUCU İLE MİKROENKAPSÜLASYONU**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Kutlu ÇEVİK**

**Danışman
Doç. Dr. Hasan YALÇIN**

Bu çalışma; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından 116O100 proje koduyla ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Dış Kaynaklı Projeleri Destekleme Birimi tarafından 2017-7465 proje koduyla desteklenmiştir.

**Temmuz 2017
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Kutlu ÇEVİK



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Palm Yağı ve Fraksiyonlarının Püskürtmeli Kurutucu ile Mikroenkapsülasyonu adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

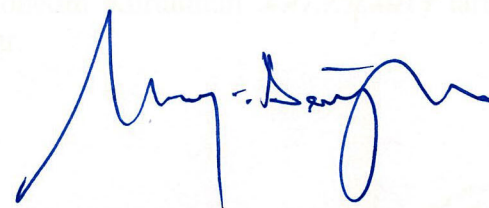
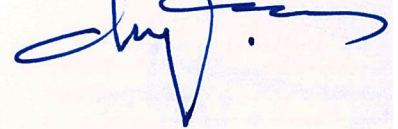
Tezi Hazırlayan

Kutlu ÇEVİK



Danışman

Doç. Dr. Hasan YALÇIN



Gıda Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mahmut DOĞAN


KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Hasan YALÇIN danışmanlığında **Kutlu ÇEVİK** tarafından hazırlanan “**Palm Yağı ve Fraksiyonlarının Püskürtmeli Kurutucu ile Mikroenkapsülasyonu**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

21/07 /2017


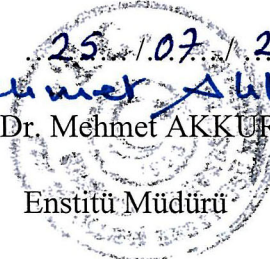
JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Hasan YALÇIN
Üye : Doç. Dr. Mustafa ÇAM
Üye : Yrd. Doç. Dr. Kevser KAHRAMAN


.....
..Compu107
..Kv.....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 25/07/2017 tarih ve 2017/31-31.. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

25.07.2017

Prof. Dr. Mehmet AKKURT
Enstitü Müdürü


TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince deneyim ve bilgileri ile bana yol gösteren, hiçbir konuda desteğini esirgemeyen ve danışmanlığında çalışmaktan mutlu olduğum değerli hocam Doç. Dr. Hasan YALÇIN' a,

Laboratuvar çalışmamın başlangıcından itibaren yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Mustafa ÇAM' a, Kimyager Bekir HÜROĞLU' na, Arş. Gör. Hamza ALAŞALVAR' a, Arş. Gör. Bülent BAŞYİĞİT' e, Selin BABACAN' a ve Mehmet HORZUM' a teşekkürü bir borç bilirim,

Ayrıca reolojik analizlerin gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Filiz İÇİER' e ve abim Arş. Gör. Mutlu ÇEVİK' e teşekkürü bir borç bilirim,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince üzerimde emeği olan, her türlü olanağı sağlayan ve hiçbir konuda yardımını esirgemeyen Erciyes Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine,

Bu tez çalışmasına maddi destek veren (Proje No:116O100) ve BİDEB 2210-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında beni maddi olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na ve projeye ek destek sağlayan (Proje No:2017-7465) Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinasyon Birimi' ne,

Ayrıca; manevi desteklerini sürekli hissettiğim annem Ayşe ÇEVİK, babam Hüseyin ÇEVİK' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

PALM YAĞI VE FRAKSİYONLARININ PÜSKÜRTMELİ KURUTUCU İLE MİKROENKAPSÜLASYONU

Kutlu ÇEVİK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2017
Danışman: Doç.Dr. Hasan YALÇIN

ÖZET

Yağların mikroenkapsülasyonu ile ilgili çalışmalarda genellikle esansiyel yağlar ve sıvı yağlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada yarı katı özellikteki palm yağının fraksiyonu olan palm olein yağı (POL) ve %10 palm stearin içeren palm olein yağının (POS) mikroenkapsülasyonu amaçlanmıştır. Kaplama maddesi olarak maltodekstrin ve yağsız süt tozu, emülsifiye edici ajan olarak tween-20 kullanılmıştır. Klasik homojenizasyon yöntemi kullanılarak emülsiyonlar hazırlanmıştır. Emülsiyon stabilitesi ve viskozitesi analizleri sonuçlarına göre kuru madde içeriği %40 ve kuru maddede 1:3 yağ:kaplama maddesi oranı içeren emülsiyonların kullanılmasına karar verilmiştir. Farklı sıcaklıklarda (160-180-200°C) besleme yapılarak püskürtmeli kurutucu işlem sıcaklığı 200 °C olarak belirlenmiştir.

Kaplama materyallerinin etkisini belirlemek için yağsız süt tozu ve maltodekstrin farklı oranlarda kullanılmıştır. Kaplama materyali olarak yağsız süt tozu kullanılarak üretilen mikroenkapsüle POL ve POS toz ürünlerinin mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri sırasıyla %84,35 ve %84,28 olmuştur. Mikroenkapsüle toz ürünlerde, yağsız süt tozu miktarı azaldıkça mikroenkapsülasyon etkinliği azalmış ve peroksit değeri artmıştır ($p<0,05$). Tüm toz ürünlerin SEM görüntüleri incelendiğinde mikroenkapsülasyon işleminin başarılı olduğu görülmektedir. Toz ürünlerde yağsız süt tozu oranının artmasıyla birlikte topaklaşma azaldığı ve pürüzsüz yapının oluştuğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Palm yağı, mikroenkapsülasyon, püskürtmeli kurutucu, yağsız süt tozu, maltodekstrin

**MICROENCAPSULATION OF PALM OIL AND ITS FRACTIONS
BY SPRAY DRYING**

Kutlu ÇEVİK

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, July 2017
Supervisor: Assoc. Prof. Dr.Hasan YALÇIN**

ABSTRACT

Essential oils and oils are commonly used in studies on microencapsulation of vegetable oils. In this study, microencapsulation of palm olein, a fraction of semi-solid palm oil (POL), and palm olein with 10% palm stearin (POS) were aimed. Maltodextrin and non-fat milk powder were used as coating material, and tween-20 was used as an emulsifying agent. Emulsions were prepared using the classical homogenization method. According to the results of emulsion stability and viscosity analysis it was decided to use emulsions with a dry matter content of 40% and (1:3) oil: coating material in dry matter. The temperature of the spray dryer process was determined at 200°C by feeding at different temperatures (160-180-200 °C).

Non-fat milk powder and maltodextrin were used at different ratios to determine the effect of coating materials. Microencapsulation efficiency of microencapsulated POL and POS powders produced by using non-fat milk powder as coating material were 84.35% and 84.28%, respectively. In microencapsulated powder, as the amount of non-fat milk decreased, the microencapsulation efficiency decreased and the peroxide value increased ($p < 0.05$). When SEM images of all powder products are examined, it is seen that microencapsulation process is successful. It is observed that in powder products, as the ratio of non-fat milk powder increases, agglomeration decreases and smooth structure is formed.

Keywords: Palm oil, microencapsulation, spray drying, non-fat milk powder, maltodextrin

İÇİNDEKİLER

PALM YAĞI VE FRAKSİYONLARININ PÜSKÜRTMELİ KURUTUCU İLE MİKROENKAPSÜLASYONU

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1.Palm Yağı Hakkında Bilgiler	4
1.2. Mikroenkapsülasyon	6
1.3. Mikroenkapsülasyon Teknikleri	8
1.3.1. Dondurarak Kurutma	8
1.3.2. Akışkan Yatak Kaplama	8
1.3.3. Ekstrüzyon.....	9
1.3.4. Santrifüjlü Ekstrüzyon.....	10
1.3.5. Koaservasyon	10
1.3.6. Kokristalizasyon.....	10

1.3.7. Püskürtmeli Soğutma ve Dondurma.....	11
1.3.8. Püskürterek Kurutma	11
1.3.8.1. Genel Bilgiler	11
1.3.8.2. Kurutma Aşamaları.....	13
1.4. Kaplama Materyali	16
1.4.1. Karbonhidratlar.....	16
1.4.1.1. Genel Bilgiler	16
1.4.1.2. Maltodekstrin	17
1.4.2. Gamlar	18
1.4.3. Proteinler	19
1.5. Süt Tozu.....	20
1.6. Emülsiyon.....	20
1.6.1. Emülsiyon Hazırlama	20
1.6.2. Emülsiyon Stabilesi	21
1.7. Mikroenkapsülasyon Çalışmaları	21

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyaller.....	25
2.2. Metot.....	25
2.2.1. Emülsiyonların Hazırlaması	25
2.2.3. Emülsiyonların Püskürtmeli Kurutucu ile Kurutulması	27
2.2.4. Mikroenkapsüle Ürünlerin Üretilmesi.....	27
2.3. Analiz Yöntemleri.....	28
2.3.1. Emülsiyon Analizleri	28
2.3.1.1. Emülsiyon Stabilesi.....	28
2.3.1.2. Emülsiyon Viskozitesi	28

2.3.2. Toz Ürün Analizleri	30
2.3.2.1. Toplam Yağ Tayini	30
2.3.2.2. Yüzey Yağ Tayini	30
2.3.2.3. Mikroenkapsülasyon Etkinliği	30
2.3.2.4. Mikroenkapsülasyon Verimi	30
2.3.2.5. Renk Tayini Analizi	31
2.3.2.6. Peroksit Analizi	31
2.3.2.7. Nem Tayini	31
2.3.2.8. Su Aktivitesi Tayini	32
2.3.2.9. Partikül Morfolojisi	32
2.3.2.10. Yığın Yoğunluk ve Sıkıştırılmış Yoğunluk	32
2.3.2.11. Carr İndeks	32
2.4. İstatiksel Analiz	33

3. BÖLÜM

BULGULAR TARTIŞMA

3.1. Kullanılan Yağların Yağ Asidi Kompozisyonu	34
3.2. Mikroenkapsülasyon Uygulamasının Şartlarının Belirlenmesi	34
3.3. Püskürtmeli Kurutucu İşlem Sıcaklığının Belirlenmesi	35
3.4. Emülsiyon Özellikleri	35
3.4.1. Emülsiyon Stabilitesi	35
3.4.2. Emülsiyon Viskozitesi	39
3.5. Mikroenkapsüle Toz Ürünlerin Özellikleri	48
3.5.1. Toplam Yağ, Yüzey Yağ ve Mikroenkapsülasyon Etkinliği	48
3.5.2. Mikroenkapsülasyon Verimi	51
3.5.3. Renk Analizi	52
3.5.4. Peroksit Değeri	54

3.5.5. Nem ve Su Aktivitesi Değerleri.....	55
3.5.6. Partikül Morfolojisi	57
3.5.7. Yıgın Yoğunluk, Sıkıştırılmış Yoğunluk, Carr İndeks.....	61

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar.....	64
4.2. Öneriler	65
KAYNAKLAR	66
EKLER	75
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR ve SİMGELER

<u>Kısaltma</u>	<u>Anlamı</u>
μL	Mikrolitre
μm	Mikrometre
g	Gram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
p	İstatistiksel önem değeri
L	Litre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
YST	Yağsız süt tozu
MD	Maltodekstrin
MV	Mikroenkapsülasyon verimi
ME	Mikroenkapsülasyon etkinliği
POL	Palm olein
PS	Palm stearin
POS	Palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı
a_w	Su aktivitesi
DE	Dekstroz eşdeğeri
WHEY	Peynir altı suyu tozu
WPC	Peynir altı suyu konsantresi
WPI	Peynir altı suyu izolatu
RMSE	Ortalama karesel hata
χ^2	Ki kare
K	Kıvam katsayısı
R^2	Regresyon katsayısı
n	Akış davranış indeksi
N	Normalite
cm^3	Santimetre küp
KM	Kuru madde
SEM	Taramalı elektron mikroskobu

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Palm yağının bazı karakteristik özellikleri	6
Tablo 1.2. Palm yağının yağ asitleri kompozisyonu	6
Tablo 2.1. Hazırlanan emülsiyonların KM değerleri ve KM' de yağ:kaplama maddesi oranları	26
Tablo 2.2. POL ile hazırlanan emülsiyonların kaplama maddeleri oranları	27
Tablo 2.3. POS ile hazırlanan emülsiyonların kaplama maddeleri oranları	28
Tablo 3.1. POL, POS ve PS yağlarının yağ asitleri kompozisyonu ve değerleri.....	34
Tablo 3.2. Kurutma sıcaklığına bağlı olarak elde edilen ürünlerin değerleri.....	35
Tablo 3.3. Emülsiyonların Kremleşme Derecesi Değerleri	36
Tablo 3.4. Hazırlanan emülsiyonların akış modellerine göre RMSE, χ^2 , R^2 değerleri ...	41
Tablo 3.5. Emülsiyonların reolojik parametleri	45
Tablo 3.6. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin toplam yağ, yüzey yağ ve ME değerleri.....	49
Tablo 3.7. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin toplam yağ, yüzey yağ ve ME değerleri.....	49
Tablo 3.8. POL kullanılan üretimin MV değerleri.....	51
Tablo 3.9. POS kullanılan üretimin MV değerleri.....	51
Tablo 3.10. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin renk değerleri	53
Tablo 3.11. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin renk değerleri	53
Tablo 3.12. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin peroksit değerleri	54
Tablo 3.13. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin peroksit değerleri.....	54
Tablo 3.14. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin nem ve su aktivitesi değerleri.....	56
Tablo 3.15. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin nem ve su aktivitesi değerleri.....	56
Tablo 3.16. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin yığın yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, carr indeks değerleri	62
Tablo 3.17. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin yığın yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, carr indeks değerleri	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Palm Ağacı ve Meyvesi	4
Şekil 1.2. Palm Meyvesi	5
Şekil 1.3. Farklı Mikrokapsüllerin Morfolojisi	7
Şekil 1.4. Püskürtmeli Kurutucu Şematik Gösterimi	12
Şekil 1.5. Maltodekstrin Kimyasal Formülü	17
Şekil 3.1. Faz ayrımı gözlemlenen ve gözlemlenmeyen emülsiyonlar	36
Şekil 3.2. Yağ:Kaplama maddesi oranı (1:4), YST:MD (0:1) olan emülsiyonların KM oranına göre kremleşme derecesi değerleri	37
Şekil 3.3. Yağ:Kaplama maddesi oranı (1:3), YST:MD (0:1) olan emülsiyonların KM oranına göre kremleşme derecesi değerleri	38
Şekil 3.4. Yağ:Kaplama maddesi oranı (1:2), YST:MD (0:1) olan emülsiyonların KM oranına göre kremleşme derecesi değerleri	38
Şekil 3.5. %30 KM oranına sahip emülsiyonların kayma gerilimi ve hızı değerleri	39
Şekil 3.6. %40 KM oranına sahip emülsiyonların kayma gerilimi ve hızı değerleri	40
Şekil 3.7. %50 KM oranına sahip emülsiyonların kayma gerilimi ve hızı değerleri	40
Şekil 3.8. Yağ:kaplama maddesi oranı (1:4) olan emülsiyonların kuru madde oranına bağlı kıvam katsayıları	47
Şekil 3.9. Yağ:kaplama maddesi oranı (1:3) olan emülsiyonların kuru madde oranına bağlı kıvam katsayıları	47
Şekil 3.10. Yağ:kaplama maddesi oranı (1:2) olan emülsiyonların kuru madde oranına bağlı kıvam katsayıları	48
Şekil 3.11. POL1 numaralı örneğin partikül yapısı	57
Şekil 3.12. POL2 numaralı örneğin partikül yapısı	57
Şekil 3.13. POL3 numaralı örneğin partikül yapısı	58
Şekil 3.14. POL4 numaralı örneğin partikül yapısı	58
Şekil 3.15. POL5 numaralı örneğin partikül yapısı	58
Şekil 3.16. POS1 numaralı örneğin partikül yapısı	59
Şekil 3.17. POS2 numaralı örneğin partikül yapısı	59
Şekil 3.18. POS3 numaralı örneğin partikül yapısı	59
Şekil 3.19. POS4 numaralı örneğin partikül yapısı	60
Şekil 3.20. POS5 numaralı örneğin partikül yapısı	60

GİRİŞ

Palm yağı, gıda endüstrisinde yaygın kullanımı olan bir bitkisel yağdır. Genel adıyla palm yağı olarak adlandırılmasına rağmen palm yağı fraksiyone bir yağ olduğu için piyasada fraksiyonları şeklinde bulunur. Palm yağı ticari olarak palm olein ve palm stearin olarak bulunmaktadır. Bu fraksiyone yağlar kullanılacak amaca göre farklı oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır. Kek, bisküvi, kraker, şekerleme gibi ürünlerde çok kullanımı olan palm yağı ayrıca kızartma amacıyla da yaygın kullanım alanına sahiptir.

Rafine edilmiş palm yağı depolama sırasında ısı kaybından dolayı sıvı (eriyik) formdan katı forma dönüşecektir. Palm yağı rafine edildikten sonra sevkiyat için diğer fabrikalara dökme (tankerle) olarak gönderilmektedir. Tankere dökme olarak doldurulan palm yağı belirli bir sıcaklıkta, yani eriyik halde olması gerekmektedir. Bunun için yağ fabrikasındaki depolardan aktarılmadan önce ısıtılması gerekir. Nakliye edildiği fabrikaya ulaşan palm yağı, tankerlerden fabrikaya alınırken, aktarılmasının sağlanabilmesi için tekrar ısıtılmaktadır. Ayrıca fabrikada bekleme tanklarına alınan yağ, kullanım zamanı geldiğinde tekrar ısıtılarak fabrika içinde sevkiyatı sağlanmaktadır. Palm yağının yapısı gereği sevkiyatı için görüldüğü gibi çok kademede ısıtılması söz konusu olmaktadır. Bu ısıtma sırasında da yağın bütününe akışkanlık kazandırabilmek için karıştırma işlemi uygulanmaktadır.

Uygulanan bu ısıtma işlemleri hem gereksiz maliyet ortaya çıkarmakta, hem de yağın oksidatif stabilitesinin azalmasına neden olmaktadır. Isıtma sırasında uygulanan karıştırma işlemi ise oksidatif bozulmayı daha da hızlandırmaktadır. Bu işlemler rafine olmuş ve üründe kullanılacak yağa uygulanmaktadır. Bu işlemler esnasında defalarca ısıya maruz kalan ve ısıtıldığı sürece yüksek oranda oksijene maruz kalan (karışımlardan dolayı) yağda oksidatif reaksiyonların oluşması kaçınılmaz

olmaktadır. Bu çalışma sayesinde palm yağının kaplanmasıyla oksijen ile teması engellenerek oksidatif stabilitesi artırılarak yağ, toz hale getirilecektir. Rafine olduktan sonra toz forma dönüştürülecek ve yukarıda bahsedilen ısıtma maliyetleri ve oksidatif bozulmanın önüne geçilmiş olunacaktır.

Son yıllarda mikroenkapsülasyon teknolojisi yaygınlaşmaktadır. Çeşitli yağlar, aroma maddeleri ve gıda bileşenleri bu teknoloji ile toz forma dönüştürülmektedir. Bu şekilde raf ömrü artmakta daha nitelikli ve yenilikçi ürünler üretilebilmektedir. Özellikle yağların oksidasyonunu önlemek ve raf ömrünü arttırmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu amaçla esansiyel yağlar ile sıvı yağlar mikroenkapsüle edilmektedir. Bu çalışmada yarı katı özelliğe sahip olan palm yağının mikroenkapsüle edilmesi amaçlanmıştır.

Mikroenkapsülasyon teknolojisinde birçok kurutma tekniği mevcuttur. Genel olarak püskürtmeli kurutma yöntemi tercih edilmektedir. Isıya karşı aşırı duyarlı bileşenlerde ise dondurarak kurutma yöntemi tercih edilmektedir. Ancak dondurarak kurutma yöntemi püskürterek kurutma yöntemine göre 30-50 kat daha maliyetlidir ve işlem süresi oldukça uzundur. Bu çalışmada kullanılan çekirdek materyali palm yağının ısıya aşırı duyarlı olmamasından ve maliyetlerin düşük olmasından dolayı püskürterek kurutma yöntemi tercih edilmiştir.

Kaplama materyali olarak genellikle maltodekstrin, gam arabik, peynir altı suyu tozu konsantresi ve peynir altı suyu tozu izolatu kullanılmaktadır. Ucuz olması, jel oluşturma ve film oluşturma özelliğinden dolayı karbonhidrat kaynağı olarak maltodekstrin birçok çalışmada kaplama materyali olarak kullanılmıştır. Protein kaynağı olarak peynir altı suyu tozu preteinleri birçok çalışmada kullanılmıştır. Ancak protein konsantresi ve izolatları pahalı olmasından dolayı farklı kaplama materyallerine yönelme olmaktadır.

Bu çalışmada ise yağsız süt tozu ve maltodekstrin kaplama materyali olarak tercih edilmiştir. Yağsız süt tozunun fiyatı diğer kaplama materyallerinden (gam arabik, peynir altı suyu tozu proteinleri gibi) düşüktür. Kullanılan kaplama materyalleri analiz saflığında iken kullandığımız yağsız süt tozu gıda saflığındadır. Yağsız süt tozunun gıda endüstrisinde besinsel değerleri ve emülsifiye edici özelliğinden dolayı birçok gıda ürünün üretiminde kullanılmaktadır.

Bu çalışma sayesinde esansiyel yağlar ve sıvı yağların dışında yarı katı özelliğe sahip palm olein yağı ve palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağ eklenerek ikinci bir yağ elde edilmiştir. Sonuç olarak farklı yağ asidi içeriğine sahip yarı katı özellikte iki yağ çalışılmıştır. Yağ içeriği değıştikçe kaplama maddesinin de bir etkisi olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca kaplama materyali olarak yağsız süt tozu ile birçok çalışmada kullanılan maltodekstrin etkinlik ve verim açısından karşılaştırılmıştır. Böylece yağların mikroenkapsülasyon işlemlerinde kaplama materyallerinin önemi tekrardan vurgulanmıştır.



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1.Palm Yağı Hakkında Bilgiler

Palm ağacının tür ismi “*Elais guineensis Jacq.*”tır. Batı Afrika’daki Gine (Guine) halkının inancına göre ilk burada bulunduğu için isminin buradan geldiğine inanılmaktadır. Malezya, Batı Afrika, Orta Afrika, Güney Amerika ve Endonezya gibi bölgelerde palm ağacı yaygın bir şekilde yetiştirilmektedir (Şekil 1.1). Bu ağacın meyvelerinin yağ oranı oldukça yüksektir. Palm yağı, yağlı meyvenin pulp kısmından (yağ içeriği %50) elde edilmektedir. Palm yağının karakteristik özellikleri Tablo 1.1’ de verilmiştir. Meyvenin çekirdeğinden de yağ elde edilmektedir ve bu elde edilen yağ palm çekirdeği yağı (palm kernel) olarak bilinmektedir. Bu yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklıdır.



Şekil 1.1. Palm Ağacı ve Meyvesi

Palm meyvesi (Şekil 1.2), hasat ve işleme esnasından yüksek enzimatik hidroliz reaksiyonları gerçekleştiği için palm yağının serbest yağ asit değeri %50' ye kadar çıkabilmektedir. Kaliteli meyvelerden elde edilse dahi serbest yağ asidi değeri diğer bitkisel yağlarla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Palm yağında çeşitli kristalizasyon teknikleri ile yaklaşık olarak 15 farklı yağ elde etmek mümkündür. Elde edilen bu fraksiyone yağların yağ asitleri kompozisyonları (Tablo 1.2) ve ergime noktası değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Örneğin: palm yağı ergime noktası 33-39°C iken, palm olein 20-22°C, palm stearin 50°C ergime noktasına sahiptir. Genel olarak oda sıcaklığında yarı katı halde bulunmaktadır [1-3].

Palm yağı yağ asitleri ve trigliserit profili sayesinde gıda endüstrisinde birçok alanda kullanımı yaygındır [4]. Yaklaşık olarak %50 doymuş ve %50 doymamış yağ asidi kompozisyonuna sahip tek yağdır (Tablo 1.2). Palm olein ve palm stearin, shortening, dondurma, kozmetik, kimya, ilaç ve biyoyakıt gibi endüstriyel ürünlerde ve çeşitli gıdaların üretiminde kullanımı yaygındır. Palm stearin sayesinde hidrojene edilmeden katı yağ üretimi sağlanabilmekte ve böylece trans yağ oluşumunun önüne geçilmektedir [5, 6]. Palm yağı ve fraksiyonları diğer yağlar ile de karıştırılarak bebek mamalarında, çorba karışımlarında margarin üretiminde kullanımı yaygındır. Palm yağının dumanlanma noktası 230°C olup kızartmaya en uygun yağ olarak bilinmektedir [7].



Şekil 1.2. Palm Meyvesi

Tablo 1.1. Palm yağının bazı karakteristik özellikleri [8]

Analizler	Değerler
Özgül Ağırlık (25°C)	0,892-0,893
Refraktrometre İndeksi	1,457-1,459
İyot Sayısı	46-56
Sabunlaşma Sayısı	196-202
Sabunlaşmayan Madde Sayısı (%)	0,2-0,33

Tablo 1.2. Palm yağının yağ asitleri kompozisyonu [8]

Yağ Asitleri	%
Miristik (C14:0)	0,5 – 6,0
Palmitik (C16:0)	32 – 45
Stearik (C18:0)	2 – 7
Oleik (C18:1)	38 – 52
Linoleik (C18:2)	5 – 11

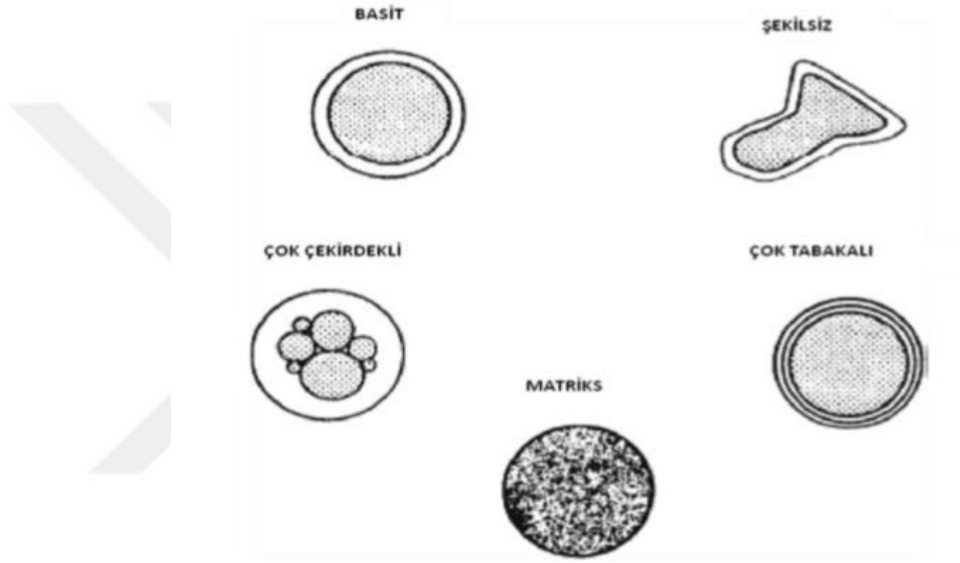
2015 yılında Dünya’da palm yağı üretimi 55,70 milyon tona ulaşmıştır ve 17,32 milyon hektar alana karşılık gelmektedir. Dünya çapında son 10 yılda palm yağı üretimi 2 kat artmıştır. 2020 yılında bu üretimin 78 milyon tona ulaşması tahmin edilmektedir [9].

1.2. Mikroenkapsülasyon

Mikroenkapsülasyon, katı, sıvı veya gaz halindeki gıda bileşenlerinin bir ya da daha fazla kaplama materyali (duvar materyali) ile çevrenmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Mikroenkapsülasyon çekirdek materyali ile diğer bileşenler arasında (oksijen, sıcaklık, nem ve ışık) bir bariyer oluşturur. Çekirdek materyali bir veya birden fazla bileşikten oluşabilir, duvar katmanı tekli ya da çiftli katman olabilir (Şekil 1.3). Mikroenkapsül içerisindeki materyal, çekirdek, iç faz veya dolgu olarak isimlendirilirken, duvar materyali bazen kabuk, kaplama, duvar materyali veya membran olarak isimlendirilir. Genel olarak çekirdek materyali kristal bir malzeme, pürüzlü bir adsorban tanecik, bir emülsiyon, katı süspansiyon veya küçük mikrokapsül süspansiyon olabilir [10, 11].

Mikroenkapsülasyon teknolojisi günümüzde farklı birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlar; eczacılıkta (%68), gıda (%13), kozmetik (%8), tekstil (%5), biyomedikal (%3), ziraat (%2) ve elektronik (%1) endüstrilerinde kullanılmaktadır [12].

Aroma maddeleri, bitki ekstraktları, emülgatörler, asitlendiriciler, aminoasitler, renklendiriciler, esansiyel yağlar, bitkisel yağlar, enzimler, bakteriler, mineraller, tuzlar, şekerler ve vitaminler gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon işlemine tabi tutulan mteriyalleri oluşturmaktadır [13, 14].



Şekil 1.3. Farklı Mikroenkapsüllerin Morfolojisi [15]

Mikroenkapsülasyon işleminin gıda endüstrisinde kullanılmasının amaçları [14, 16, 17]:

1. Kaplanacak olan gıda bileşenini dış ortama karşı koruyarak bozulmasını engellemek
2. Uçucu bir bileşik ise buharlaşarak kaybolmasını engellemek
3. Kaplanacak olan materyalin tat ve kokusunu maskeleyerek
4. Son üründe ve işlem esnasında stabiliteyi arttırmak
5. Ürüne görsel ve dokusal açıdan yeni bir özellik kazandırmak
6. Kaplanacak materyale ihtiyaç duyulan miktar oldukça düşük ise seyreltme yapılmasına olanak sağlar
7. Besin maddesi kayıplarını engelleyebilmekte ve hassas gıdaların muhafazasını kolaylaştırmaktadır.

Mikroenkapsülasyon işleminde kullanılan yöntemler püskürterek kurutma, akışkan yatak kaplama, dondurarak kurutma, koaservasyon, ekstrüzyon ve ko-kristalizasyon gibi birçok yöntem uygulanmaktadır [18].

Gıda endüstrisinde, mikroenkapsülasyon işlemi için en yaygın kullanılan yöntem püskürterek kurutmadır [10].

Mikroenkapsülasyon işleminde kullanılacak olan kaplama materyali gıda saflığında olmalıdır ve kaplanacak olan aktif materyali dış ortama karşı iyi bir şekilde korumalıdır. Kaplama materyali olarak genellikle maltodekstrin, peynir altı suyu tozu proteinleri, nişasta, pullulan, selüloz, lipitler, sakkaroz, jelatin, gam arabik, kazein ve kazeinat gibi çeşitli kaplama materyalleri kullanılmaktadır [19, 20].

1.3. Mikroenkapsülasyon Teknikleri

1.3.1. Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma; kurutulacak olan ürünün önce dondurulması ve ardından oluşan buz kristallerinin süblimleşme ile doğrudan gaz formuna dönüşerek üründen uzaklaşması prensibine dayanmaktadır [21]. Bu yöntemin avantajları; tat ve koku kaybının çok düşük olması, üretilen ürünün eski haline dönüşebilme özelliğinin iyi olması, çözünen maddelerin gıda içerisindeki hareketinden kaynaklı kayıplarının çok düşük seviyede olmasıdır. Bu avantajlarının yanında uzun işlem süresi ve yüksek maliyet gibi dezavantajları da vardır.

Mikroenkapsülasyon işlemlerinde üretim maliyetlerinin düşük olması istendiği için püskürtmeli kurutma yöntemi genel olarak tercih edilmektedir. Ancak sıcaklığa duyarlı uçucu yağlar ve aroma bileşikleri gibi ürünlerin mikroenkapsülasyon için düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulduğundan dolayı dondurarak kurutma yöntemi iyi bir alternatif olarak görülmektedir [15]. Dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak yapılan birçok çalışma bulunmaktadır [22–26].

1.3.2. Akışkan Yatak Kaplama

Akışkan yatak kaplama D.E. Wurster tarafından 1950’li yıllarda keşfedilmiştir ve Wurster işlemi olarak da adlandırılmaktadır [19]. Akışkan yatak kaplama yönteminin

prensibi, duvar materyali olarak kullanılacak olan sıvının püskürtme başlığı ile yatak içerisinde bulunan partiküllerin üzerine püskürtülmesi sonucunda katman şeklinde kapsüllerin oluşması esasına dayanır [15].

Başlangıçta eczacılık sektörü için geliştirilirken, günümüzde gıda sektöründe artan bir şekilde katkı maddeleri ve katkı maddelerinin etkisini incelemek için kullanılmaktadır. Alttan, üstten ve açılı olmak üzere 3 farklı uygulama yöntemi bulunmaktadır. İşlem sonrasında elde edilen mikrokapsüllerin başlıca faydaları; raf ömrünü arttırmak, tadı maskelemek, kullanım kolaylığı sağlamak, kontrollü salınım, tadı ve renk özelliklerini geliştirmektir [27].

Gıda endüstrisinde akışkan yatak kaplamanın kullanımı beslenmeye destek verici B vitamini, C vitamini, sodyum askorbat, demir sülfat, demir fumarat, potasyum klorür ve çeşitli vitamin/mineral karışımları gibi besin maddelerinin enkapsüle edilmesinde kullanılmaktadır [15].

1.3.3. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon 1957'de patentlenmiştir [28]. Bu yöntem çok düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulduğunda uygulanan bir yöntemdir. İşlem çözünmüş halde bulunan karbonhidrat kütesinin, katı haldeki maddelerin enkapsüle etme esasına dayanmaktadır [16, 21]. Bu yöntem genellikle sıcaklığa duyarlı aroma maddelerinin enkapsüle edilmesinde kullanılmaktadır.

Bu yöntemin avantajı, kaplanacak olan materyalin kaplama materyali ile tamamen sarılması ve yüzeyde kalabilen kalıntıları alkol banyosuyla uzaklaştırılabilmesidir. Bu işlem oksidasyona karşı mükemmel bir stabilite sağlar ve ürün bozulmaya uğramadan uzun süre (1-2 yıl) muhafaza edilebilir [29]. Dezavantajı ise, maliyetinin püskürtmeli kurutucuya göre iki kat fazla olması, üründe düşük oranda aroma tutunması ve suda çözünürlüğünün düşük olmasıdır. Kaplama materyali olarak maltodekstrin, sakkaroz, gliserin, glikoz ve glikoz şurubu kullanılmaktadır [16].

1.3.4. Santrifüjlü Ekstrüzyon

Bu yöntem bir çeşit sıvı ekstrüzyon yöntemidir. İşlemden nozul bulunan döner ekstrüzyon başlıkları kullanılır. Birbirine karıştırılmadan kaplama ve çekirdek materyali farklı tüpler aracılığı ile besleme tüpünden nozula pompalanır. Başlık dikey ekseninde etrafında dönebilmesi için bir mile bağlıdır. Başlık dönerken çekirdek ve kaplama materyalleri nozuldan geçer ve çekirdek materyali kaplama materyalinin içerisine hapsedilmesi sağlanır. Ekstrüzyon başlığı döndükçe, santrifüj kuvveti karışımı dışarı doğru savurduğundan dolayı küçük partiküller meydana gelir [30].

1.3.5. Koaservasyon

Koaservasyon yöntemi 1950'li yıllarda karbon içermeyen kâğıt üretimi için Green ve Schleicher tarafından kullanılmıştır [16]. Polimer özellik gösteren çözüldüden kaplama materyaline ait sıvı fazın ayrılması ile birlikte kaplama fazının çekirdek partiküllerini homojen şekilde sarması sonucunda oluşmaktadır [27]. Bu yöntem ile enkapsülasyon yapılmasının sonucunda elde edilen ürünlerin partikül boyutları 10-800 µm arasında değişmektedir.

Koaservasyon basit ve karmaşık olmak üzere ikiye ayrılır. Basit koaservasyon işleminde tek bir tip polimer kullanılırken koaservasyon işleminde iki veya daha fazla polimer kullanılmaktadır. Eczacılıkta geniş kullanımı olan bu yöntem çok karmaşık olması ve yüksek maliyeti gibi nedenlerden dolayı gıda endüstrisinde tercih edilmemektedir [16].

1.3.6. Kokristalizasyon

Kokristalizasyon yöntemi, çekirdek materyali ile sakkaroz matriksinin birleşmesi sonucunda oluşan yeni bir enkapsülasyon işlemidir [27]. Sakkaroz şurubu süper doygun hale gelene kadar konsantre edilir ve kristalizasyonu engellemek için yeterli sıcaklıkta tutulur. Önceden belirlenmiş olan miktar kadar çekirdek materyali kuvvetli şekilde karıştırılmakta olan konsantre şuruba ilave edilir. Karıştırma işlemi sayesinde sakkaroz ve çekirdek materyali birbirinin içerisine geçerek kapsülleme işlemi oluşur [15, 31].

1.3.7. Püskürtmeli Soğutma ve Dondurma

Püskürterek soğutma ve dondurma işlemi; çekirdek ve kaplama materyali karışımının soğutulmuş veya dondurulmuş havaya püskürtülmesidir. Bunun sonucunda çekirdeği çevreleyen kaplama materyali soğur ve katılaştır. Püskürterek kurutma işleminden farkı, bu işlemde su yapıdan uzaklaştırılmamaktadır [27].

Püskürtmeli soğutma ve dondurma işlemi en pahalı enkapsülasyon işlemidir. Genel olarak sıcaklığa karşı stabiliteyi arttırmak için aroma maddelerinin enkapsülasyonunda kullanılır [32]. Kaplama materyali olarak 45-122°C ergime noktasına sahip bitkisel yağlar ve 32-42°C ergime noktasına sahip hidrojene veya fraksiyone bitkisel yağlar kullanılmaktadır.

Bu yöntemin dezavantajı özel ambalajlama ve depolama şartları gerektirmesidir. Dondurulmuş sıvılar, sıcaklığa hassas materyaller, kolay çözünemeyen solventler bu yöntemler enkapsüle edilmektedir. Sonrasında kullanılması için bu kaplama materyali eritilirken bu materyaller serbest hale geçer. Kuru çorba karışımları, yüksek katı yağ içeriğine sahip gıdalar ve fırıncılık ürünlerinde uygulamaları mevcuttur [28].

Yağ içerikli kaplama materyallerinin kullanımından dolayı elde edilen ürünler suda çözünmemektedir. Kullanılacak olan kaplama materyali suda çözünebilir özellikte olursa; mineral, suda çözünür vitaminler ve bazı aroma bileşikler de enkapsüle edilebilir [33].

1.3.8. Püskürterek Kurutma

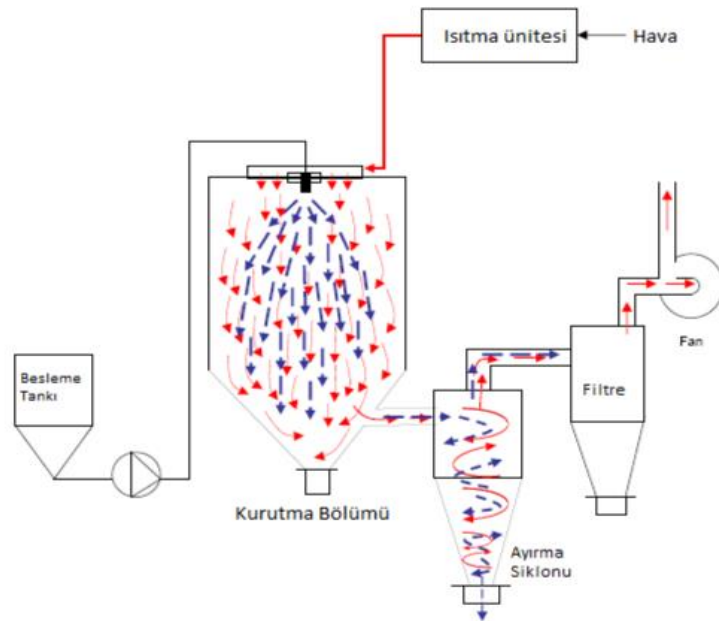
1.3.8.1. Genel Bilgiler

Püskürterek kurutma yöntemi, sıvı bir ürünün atomizer yardımı ile sıcak bir hava ortamına verilerek aniden toz forma dönüşmesi ile oluşan bir işlemdir [11]. Bu yöntem yağları oksidasyona karşı korumak, aroma maddelerinin bozulmasını önlemek için 1950' den beri gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Püskürterek kurutma yöntemi gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan yöntemdir [27, 34]. Püskürtmeli kurutucunun şematik gösterimi Şekil 1.4' te verilmiştir.

Dondurarak kurutma yöntemiyle karşılaştırıldığında 30-50 kat arasında daha ucuz olduğu görülmektedir [35]. Ancak bu yöntemde üretilen enerjinin tamamı

kullanıldığında enerji israfı ortaya çıkmaktadır. Gıda endüstrisinde süt, peynir altı suyu, çay, kahve, bebek mamaları, meyve ve sebze suları gibi çeşitli gıda ve bileşenlerinin kurutulması ve üretilmesi amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca seramik, tekstil ve ilaç endüstrisi gibi farklı alanlarda da kullanımı mevcuttur [11].

Çekirdek materyalinin koruyucu bir matriks içerisine hapsedilmesi ve çekirdek materyalinin kaplama materyali ile çözeltisi içerisindeki dispersiyonu ve emülsiyonu ile hazırlanır [30]. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilecek ürünler besleme materyaline ve işlem şartlarına göre çok küçük ($10-50 \mu\text{m}$) veya çok büyük ($2-3 \text{ mm}$) partikül boyutlarında olabilmektedir [11]. Bu yöntem ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin kalitesi kurutma işlem parametrelerine, özelliklerine ve beslenen emülsiyonun içeriğine bağlıdır [36]. Çok yaygın kullanılan bu yöntem birçok çalışmada uygulanmıştır [23, 37–39]



Şekil 1.4. Püskürtmeli Kurutucu Şematik Gösterimi [15]

Genellikle yenilebilir özellikte, ucuz ve gıda bileşenleri ile reaksiyon vermeyen, koku ve tadı değiştirmeyen kaplama maddeleri tercih edilmektedir [19]. Karbonhidratlar (nişasta, modifiye nişasta, maltodekstrin, kitosan), gamlar (gam arabik, sodyum aljinat, karragenan, guar gam), selülozlar (karboksilmetil selüloz, metil selüloz) ve proteinler (gluten, kazein, jelatin, peynir altı suyu tozu proteinleri, soya proteinleri) kullanılmakta

olan kaplama materyalleridir. Ancak gam ve protein kaynaklı kaplama materyallerinin pahalı olması ve suda çözünürlüklerinin düşük olması, bu kaplama materyallerine olumsuz bir özellik katmaktadır. Fakat düşük çözünürlüklü bu kaplama materyallerinden düşük miktarlarda kullanılarak stabilite arttırılmaktadır [27, 29].

Püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonda çekirdek materyalinin korunması yapılacak olan kurutma işlemindeki kullanılan kaplama materyallerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra emülsiyonun kuru madde içeriği, kurutma işleminin sıcaklığı, emülsiyon stabilitesi gibi özellikler elde edilecek toz ürün kalitesini etkilemektedir. Emülsiyon stabilitesini güçlendirmek amacıyla kullanılan stabilizatörler ürün kalitesinde çok etkili olabilmektedir.

Bu yöntemin avantajları ve dezavantajları [32]:

Avantajları

- Düşük işlem maliyeti
- Yüksek verimli kaliteli ürün
- Kapsüllerin çözünürlüğünün iyi olması
- Boyutların küçük olması
- Stabil kapsüller

Dezavantajları

- Homojen ürün üretilmemesi
- Kaplama materyalinin sınırlı olması (yüksek kuru maddede düşük viskozite)
- Gelecek işlemler de ihtiyaç duyulacak çok küçük toz ürün olması
- Sıcaklığa duyarlı materyaller için uygun olmaması

1.3.8.2. Kurutma Aşamaları

Püskürterek kurutma yöntemi başlıca 4 aşamadan oluşmaktadır:

- Atomizasyon
- Damlacık İle Sıcak Havanın Buluşması
- Damlacıktan Suyun Buharlaşması
- Kurutulan Ürünlerin Nemli Havadan Ayrılması

1.3.8.2.1. Atomizasyon

Besleme sonrasında damlacığın oluşması ve sıcak havayla karşılaşması püskürtmeli kurutucunun en önemli özelliğidir. Yüksek kalitede iyi bir ürün üretebilmek için işlem şartları ve atomizör seçimi çok önemlidir. İşlemin etkinliği açısından püskürtme özellikleri homojen olmalı ve damlacık boyutu kontrol edilebilir olmalıdır. Kullanılan atomizörler; pnömatik atomizer, basınçlı nozul, dönen disk nozul ile son yıllarda iki akışlı nozul ve sonik nozul kullanılmaktadır. Burada amaç ısı ve kütle transferini optimize ederek sıvının kurutucu hava ile arasında ki ısı transfer katsayısını arttırmaktır. Atomizer seçimi kurutulmuş ürünün karakteristik yapısına ve beslemenin viskozitesine göre seçilmektedir. Sağlanan enerji yüksek olursa elde edilecek ürün boyutu da paralelinde küçülür. Benzer enerjide besleme hızı artarsa ürün boyutu da artmaktadır [11, 40, 41].

1.3.8.2.2. Damlacık ile Sıcak Havanın Buluşması

Püskürtmenin hava ile teması, atomizörün kurutucu sıcak hava içerisindeki konumuyla ilişkilidir. Burada püskürtmeli kurutucunun tasarımı en önemli faktördür. Atomizör üzerine yerleştirilen hava dağıtıcı tasarımı burada diğer önemli bir faktördür. Burada hava akış hızı elde kurutma esnasında maksimum buharlaşma ve yüksek kalitede ürün elde edilmesi için ana unsurdur. Hava akış hızı damlacıkların hareketini etkileyerek buharlaşma derecesini belirler [40]. Sıvı eş zamanlı olarak hava ile aynı yönde beslenir ve sıcak hava (155-200°C) ile karşılaşarak anında buharlaşma gerçekleşir [11].

Hava akışına göre paralel akım, ters akım ve karışık akım olmak üzere sınıflandırılmaktadır [40].

Paralel akım, damlacık ile kurutucu sıcak hava aynı yönde ortama beslenmesiyle oluşmaktadır ve atomizör ile hava dağıtıcı aynı yerdedir. Atomizör yardımı ile oluşturulan damlacıklar sıcak hava ile temas etmesi sonucunda yapıdan nem (su) hızlı bir şekilde buharlaşır. Bu buharlaşma işlemi hızlıdır ve buharlaşan hava sayesinde kuru havanın sıcaklığı da düşer. Süt ve süt ürünleri gibi ısıya hassas ürünlerin üretilmesinde kullanılmaktadır [31, 42].

Ters akım, damlacık ile kurutucu sıcak hava ters yönlerden ortama beslenmesiyle oluşmaktadır. Genelde atomizör yukarıda yer alırken kurutucu sıcak hava ortama aşağıdan sisteme girer. Atomizör'den çıkan damlacıklar sıcak hava ile temas ederek

nem kaybetmeye başlayacaktır. Ancak sonrasında daha sıcak bir havaya maruz kalacağı için ürünün çıkış sıcaklığı yüksek olur. Paralel akıma göre daha hızlı buharlaşma olur fakat ürün çıkış sıcaklığının yüksek oluşu elde edilen üründe bozulmalara neden olabilir. Genel olarak sabun ve deterjan üretiminde kullanılmaktadır [31, 43].

Karışık akım, paralel akım ve ters akımların birleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Sistemin alt kısmında atomizör yer alırken üst kısımdan kurutucu sıcak hava beslenir. Elde edilen damlacık ile sıcak havanın teması sonucunda buharlaşma meydana gelir. Ancak ters akımdaki gibi ürün sürekli daha yüksek sıcaklıktaki havaya maruz kalmaz. Buharlaşma sonrasında ürün aşağı yönde hareket eder ve daha fazla ısıya maruz kalmadan sistemden çıkarak ürün elde edilir. Her ne kadar karışık akım kadar daha fazla sıcak havaya maruz kalmasa da yine de bozulmalara sebebiyet verebilecek derecede sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu sebepten dolayı ısıya duyarlı ürünler için kullanımı kısıtlıdır [31, 43].

1.3.8.2.3. Damlacıktan Suyun Buharlaşması

Atomizörden çıkan damlacık ile sıcak havanın teması ile sıcaklık dengelenir ve sıvı ile gaz faz arasında buhar kısmi basıncı oluşur. Oluşan sıcaklık farkından dolayı ürüne ısı transfer geçişi olur ve üründen de nem buharlaşır.

Bu işlem 3 aşamadan oluşmaktadır [11];

- Kurutucu sıcak hava ile damlacık temas ettiği anda sıcaklık farkından dolayı damlacık ısınır ve sabit bir değere kadar sıcaklığı yükselir. Bu değer yaş termometre sıcaklığı olarak ifade edilir.
- Yaş termometre sıcaklığına ulaşması sonrasında damlacık yüzeyindeki su hızla buharlaşır.
- Son olarak damlacık sıcaklığı kritik değere ulaştığında dış kısımda kabuk oluşarak kuruma hızı azalarak devam eder ve kurutma işlemi sonlanır.

1.3.8.2.4. Kurutulan Ürünlerin Nemli Havadan Ayrılması

Kurutma işlemi sonrasında elde edilen ürün yer çekiminden dolayı hava akımından ayrılır ve altta bulunan ürün toplama haznesinde birikir. Elde edilen ürün düşük miktardaki ürün hava içerisinde sirkülasyon olmaktadır. Burada önemli olan kullanılan havadan gelebilecek nemdir. Çünkü havadan gelebilecek nem, ürün verimi ve kalitesini

doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla son ürün nem içeriği istenmeyen seviyelerde olabilir. Kurutma sonrası çıkan hava ise gaz temizleyicilerinden geçirilmesi sonrasında atmosfere salınmaktadır [31].

1.4. Kaplama Materyali

Mikroenkapsülasyon için kaplama maddesi seçimi mikroenkapsülasyon verimi ve mikrokapsüllerin stabilitesi için çok önemlidir. Kaplama maddesi seçiminde önemlidir. Çözünürlük, moleküler ağırlık, emülsiyon özelliği, film oluşturma gibi fiziko-kimyasal özellikleri önemlidir. Gıda endüstrisi için maliyetin düşük olması önemlidir [11, 27].

Yağların enkapsülasyonunda da kaplama materyali seçimi önemlidir ve kaplama materyalinin emülsiyon oluşturma, film oluşturma, kurutma özellikleri, suda çözünürlüğü yüksek ve düşük viskoziteye sahip olmaları gerekmektedir [44].

İdeal bir kaplama materyali şu özelliklere sahip olmalıdır [11, 27];

- ✓ Kapsülleme esnasında kolay işlenebilir olmalı ve yüksek kuru madde oranlarında reolojik özellikleri iyi olmalı
- ✓ Kullanılacak materyalin emülsiyon ve dispersiyon özelliğine sahip olmalı ve emülsiyon özelliği yüksek olmalı
- ✓ İşlem sırasında ve uzun süreli depolama esnasında kaplanacak olan aktif materyal ile reaksiyonvermemeli
- ✓ İşlem ve depolama esnasında kaplanacak materyalini korumalı
- ✓ Aktif madde çevre koşullarına karşı maksimum koruma sağlama yeteneğine sahip olmalı (oksijen, sıcaklık, ışık, nem)
- ✓ Gıda endüstrisinde kabul edilebilir çözücüler içerisinde çözünmeli (su, etanol)
- ✓ Aktif kaplama maddesi ile reaksiyon vermemeli
- ✓ Ucuz ve gıda bileşimine uygun olmalı

1.4.1. Karbonhidratlar

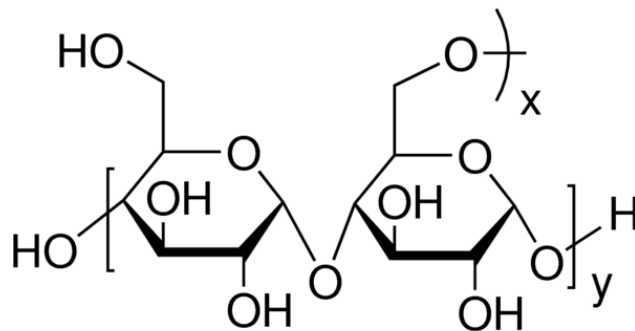
1.4.1.1. Genel Bilgiler

Karbonhidrat olarak nişasta, mısır şurubu tozu ve maltodekstrin yaygın kullanımı olan kaplama materyalleridir. Bu kaplama yüksek kuru madde içeriğinde düşük viskoziteye sahip olduklarından dolayı iyi enkapsüle edici kaplama maddesi olarak görülmektedir.

Ancak mikroenkapsülasyon etkinliğinin yüksek olabilmesi için genellikle protein veya gam kaynaklı diğer kaplama materyalleri ile kombine edilerek kullanılmaktadır [11]. Nişastanın asit ya da enzim ile hidrolize edilmesi sonucu hidrolize nişastalar elde edilmektedir. Hidrolize edilmesi seviyesi DE göre sınıflandırılır ve iki farklı isimde kaplama maddesi olarak adlandırılmaktadır. DE değeri 20 veya 20' den düşük ise maltodekstrin olarak isimlendirilirken, DE değeri 20' nin üzerinde ise mısır şurubu tozu olarak adlandırılmaktadır. Bu kaplama materyallerinin ucuz olması, moleküler ağırlığının değişmesi ve yüksek kuru madde içeriğinde düşük viskoziteye sahip olmaları tercih edilmelerinde önemli unsurlardır. Fakat emülsiyon stabilite özelliklerinin düşük olmasından dolayı uçucu özelliğe sahip hassas bileşenleri içeren çalışmalarda kullanımı sınırlanmaktadır. Bundan dolayı farklı kaplama materyalleri ile kombine edilerek kullanımı daha yaygındır [32, 45, 46].

1.4.1.2. Maltodekstrin

Maltodekstrin, enkapsülasyon uygulamalarında en sık kullanılan kaplama materyalidir [47]. Maltodekstrin maliyet ve verim açısından iyi bir tercihtir. Ayrıca su tutma ve jel oluşturma özelliklerinin yanı sıra hacim, doku ve yoğunluk arttırıcı, topaklanmayı önleyici, hacim arttırıcı gibi özelliklerinden dolayı kullanımı yaygın olan bir kaplama materyalidir [48, 49]. Şekil 1.5' de maltodekstrinin kimyasal formülü verilmiştir. Ancak düşük emülsiyon kapasitelerine sahip olmaları en büyük problemdir [34].



Şekil 1.5. Maltodekstrin Kimyasal Formülü

DE değerine göre çeşitlilik gösterirken bazı çalışmalarda düşük dekstroz eşdeğerine sahip maltodekstrinlerin yüksek DE olanlara göre düşük nem içeriği ve yüksek verim sağladığı görülmüştür. Düşük DE' ye sahip maltodekstrinler dondurma gibi ürünlerde yağ ikamesi olarak tercih edilmektedir [33]. Enkapsülasyon işlemi için oluşturulacak emülsiyonlarda yüksek oranlarda maltodekstrin kullanımı çözünürlüğü olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca kurutma işlemi esnasında yapışmalara (sarfiyat) neden olmaktadır. Bunun sonucunda mikroenkapsülasyon verimi ve toz ürün kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmesi sonucunda mikroenkapsüle toz ürünlerin duvar yapısındaki bozulmalara ve topaklanmaya sebep olabilmektedir [43].

Birçok çalışmada kullanılmasına rağmen emülsifiye edici özelliği düşüktür. Bu sebepten dolayı emülsiyonu destekleyici kaplama materyalleri ile kombine edilerek kullanımı mevcuttur [33].

Literatürde maltodekstrinin kaplama materyali olarak kullanıldığı birçok çalışma yer almaktadır [24, 50–52].

1.4.2. Gamlar

Gamlar film oluşturma ve emülsiyon stabilitesi özelliğinden dolayı mikroenkapsülasyon işlemlerinde kullanılmaktadır. Gamlar, genellikle tatsızdırlar ancak gıdanın aroması ve tadı üzerine etkilidir. Tadın azalmasına neden olurken faz ayırımının engellenmesine ve viskozite özellikleri üzerine etkilidirler.

Gam arabik (akasya gamı) aromaların enkapsülasyonunda en sık kullanılan gam kaynaklı kaplama materyalidir. Ayrıca yağların enkapsülasyonunda emülsiyon oluşturma özelliği, film oluşturma kapasitesi, düşük viskozite ve çözünürlüğünün yüksek olmasından dolayı geniş bir kullanımı vardır. Gam arabik' in emülsifiye edici özelliğinin iyi olması, yapısındaki proteinlerden kaynaklanmaktadır [19, 53].

Gam arabik kullanıldığında oluşan yapı yarı geçirgen olmasından dolayı oksidasyon gibi bozulmaları belirli bir ölçüde sınırlandırıldığı için tam anlamıyla bir koruma sağlayamamaktadır. Bu sebepten dolayı çekirdek materyalinin raf ömrü olumsuz yönde etkilenmektedir. Gıda endüstrisinde maltodekstrin ile kıyaslandığında ise maliyetinin yüksek olmasından dolayı tercih edilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı

kullanılan kaplama materyaline alternatif olabilecek yeni kaplama materyali arayışına yönelmektedir [32]. Gamların kaplama materyali olarak kullanıldığı birçok çalışma yer almaktadır [25, 34, 35, 54].

Badee et al. (2012) yapmış oldukları çalışmada nane yağının mikroenkapsülasyonu için maltodekstrin ve gam arabik kullanmışlardır. Gam arabığın aroma bileşenlerinin korunmasında daha iyi olduğunu bildirmişlerdir [55]. Frascarelli et al. (2012)' nin yapmış olduğu çalışmada kahve çekirdeği yağının mikroenkapsülasyonu için kaplama materyali olarak gam arabik kullanmışlardır ve %82,57 mikroenkapsülasyon etkinliği elde edildiğini bildirmişlerdir [10].

1.4.3. Proteinler

Proteinler, fonksiyonel özelliklerinden dolayı mikroenkapsülasyon işlemlerinde iyi bir kaplama materyalidir. Özellikle tat ve aroma bileşenlerini oldukça iyi korumaktadır.

Mikroenkapsülasyon işlemlerinde protein kaynaklı kaplama maddesi olarak, peynir altı suyu tozu proteinleri, süt proteinleri, kazein, jelatin ve soya proteinlerinin yaygın kullanımı vardır. Bu proteinlerin suda çözünürlükleri, viskoziteleri, emülsifiye etme özelliği ve film oluşturma özellikleri açısından iyi olmasından dolayı enkapsülasyon işlemlerinde kullanılmaktadır [32]. Süt protein ürünlerinden kazein ve peynir altı suyu tozu proteinleri kurutma özellikleri ve emülsiyon özellikleri oldukça iyidir [22]. Peynir altı suyu tozu proteinleri yapısındaki protein oranına göre ticari olarak çeşitlenmektedir. %35 ile %75 arasında protein içerenler peynir altı suyu tozu protein konsantresi (WPC-35, WPC-70) olarak isimlendirilirken, yapısında en az %90 oranında protein bulunanlar peynir altı suyu tozu protein izolatı (WPI) olarak adlandırılmaktadır [56].

Rosenberg ve Sheu (1996) yapmış olduğu çalışmada peynir altı suyu tozu proteinlerinin kaplama maddesi olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Protein orjinli kaplama materyali olarak etkin koruma sağladıklarını raporlamışlardır [57]. Keogh et al. (2001) yapmış oldukları çalışmada süt orjinli farklı kaplama materyallerinin balık yağının stabilitesi üzerine etkisini incelemişlerdir [58]. Yağdaki oksidasyonu engellemek ve raf ömrünü arttırmak amacıyla yapılan mikroenkapsülasyon uygulamasında peynir altı suyu tozu proteinleri genel olarak tercih edilmektedir.

1.5. Süt Tozu

Süt tozu ticari olarak ilk defa 19. yüzyılda Fransa' da üretilmiştir [59]. Adından da anlaşılacağı gibi sütün yapısından suyun uzaklaştırılmasıyla elde edilir. Kurutma işlemi sonucunda yapısındaki proteinler, vitaminler ve mineraller kalmaktadır [60].

Günümüzde yoğurt, dondurma, peynir gibi süt ürünlerinde, bebek maması, bisküvi, çikolata, hazır çorba, sucuk gibi birçok gıda ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Süt form değiştirerek katı hale geçtiğinden dolayı sütün raf ömründen daha uzun olmaktadır. Besin değeri açısından sütün bileşiminde bulunan protein, karbonhidrat, vitamin ve mineralleri içermektedir. Raf ömrünün fazla oluşu ve besin değeri açısından önemli olması süt tozunun değerini daha da arttırmaktadır. Sütün ulaşamadığı ya da muhafaza edilebilmesi mümkün olmayan durumlarda süt ihtiyacının giderilebilmesi açısından çok önemlidir [61].

Yağsız süt tozunun kaplama özelliği oldukça iyidir ve ucuz ve kolay ulaşılabilir olmasından dolayı kaplama maddesi olarak kullanılmasının önemi artmaktadır [62]. Türk Gıda Kodeksine göre yağsız süt tozunun yağ içeriği %1,5' dan düşük olması gerekmektedir [63].

1.6. Emülsiyon

1.6.1. Emülsiyon Hazırlama

Kurutma işlemi için beslenecek emülsiyonu hazırlamak mikroenkapsülasyon işlemlerinde en önemli basamaklardandır. Bu işlem basamağı elde edilecek son ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Emülsiyonu hazırlarken karıştırma işlemi emülsifikasyon, homojenizasyon veya karıştırma olarak adlandırılmaktadır.

Kaplanacak olan çekirdek materyalini mikron boyutlardaki damlacıklara dönüştürülecek ve oluşacak emülsiyonun yapısına doğrudan etki edecektir. Kurutma işlemi sonrasında elde edilecek ürünün boyutuna da etki etmektedir [14].

1.6.2. Emülsiyon Stabilitesi

Emülsiyonun özellikleri zamanla değişebilmektedir. Değişime karşı gösterdiği direnç emülsiyon stabilitesi olarak adlandırılmaktadır [15]. Emülsiyon stabilitesi derecesi, homojenizasyon işlemi sonrasında oluşan partikül boyutu ile doğrudan ilişkilidir. Partikül boyutu uygulanan yöntem, işlem şartları, kaplama materyali gibi emülsiyonda bulunan diğer bileşenlerden etkilenmektedir. Ayrıca emülsiyon stabilitesini güçlendirmek amacıyla emülsifiye edici ajanlar kullanılmaktadır. Emülsifiye edici ajanlar yüzey gerilimini azaltarak moleküllerin bir araya gelerek birleşmesini ve partikül boyutunun büyümesini engeller. Küçük partikül boyutuna sahip emülsiyonlar daha stabildir. Stabilitesi iyi olan emülsiyonlarda kurutma işlemleri sonrasında elde edilen üründe verim artmaktadır [14, 64].

Emülsiyon kuru madde oranı mikroenkapsülasyon işlemi son ürün üzerine etkilidir. Kuru madde içeriği arttığı zaman çözünürlük azalmakta ve çözünemeyen kaplama materyalinin kaplama işlemine bir etkisi olmamaktadır. Kuru madde oranı viskoziteyi de etkilemektedir. Kurutma işlemlerinde en istenmeyen durum yüksek viskoziteye sahip emülsiyondur. Yapısından dolayı kaplanacak materyalin hareketini sınırlandırmaktadır Bundan dolayı işlem etkinliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı kaplama materyali seçiminin önemi bir kez daha öne çıkmaktadır. Kaplama materyali bu şartların hepsinde etkili olmaktadır [15].

1.7. Mikroenkapsülasyon Çalışmaları

Keogh ve O’Kennedy (1999)’ nin yapmış olduğu çalışmada süt yağının mikroenkapsülasyonu için peynir altı suyu tozu izolatu ve peynir altı suyu tozu konsantresini kaplama materyali olarak kullanmışlardır. Kaplama materyallerinin etkinliği ve depolamada esnasında oksidasyona karşı stabilitesini incelemişlerdir [56].

Hogan et. al. (2003) yapmış olduğu çalışmada balık yağın, sodyum kazeinat ve farklı dekstroz eşdeğerine sahip karbonhidratlar ile kaplayarak püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsüle toz balık yağlarını üretmişlerdir. Dekstroz eşdeğerinin oksidatif stabilite üzerine etkisini inceleyerek, emülsiyonlara α - tokoferol ya da troloks C ilave edip depolama süresince oksidasyona karşı stabilitesini incelemişlerdir [65].

Ahn et. al. (2008) yapmış olduğu çalışmada yüksek oleik asit içeriğine sahip ayçiçek yağını bitki ekstraktları ilave ederek mikroenkapsüle etmişlerdir. Mikroenkapsüle ayçiçek yağı tozlarında %45,02 ile %92,10 mikroenkapsülasyon etkililiğine ulaştıklarını belirtmişlerdir [66].

Legako ve Turgut-Dunford (2010)' un yapmış olduğu çalışmada balık yağını peynir altı suyu izolatu kullanarak mikroenkapsüle etmişlerdir. Toz ürünleri dondurarak kurutma yöntemi ve farklı nozul içeren püskürtmeli kurutucu ile üretmişlerdir. Her iki yöntem ve farklı nozulların toz ürün üzerine etkisini incelemişlerdir. Çift akışlı nozul kullanarak üretilen toz üründe en yüksek mikroenkapsülasyon etkinliğinin (%91,6) elde edildiğini raporlamışlardır [67].

Tonon et. al. (2011) yapmış olduğu çalışmada keten tohumu yağını gam arabik kullanarak püskürterek kurutma yöntemiyle mikroenkapsüle etmişlerdir. İşlem sıcaklığı, emülsiyon kuru madde içeriği ve emülsiyondaki yağ oranının toz üründeki etkisini incelemişlerdir. Yağ içeriği arttıkça mikroenkapsülasyon etkinliğinin azaldığını ve peroksit değerinin arttığını belirlemişlerdir [68].

Frascareli et. al. (2012) yapmış olduğu çalışmada kahve çekirdeği yağını gam arabik kullanarak püskürtmeli kurutucu yardımıyla mikroenkapsüle etmişlerdir. İşlem sıcaklığı, emülsiyon kuru madde içeriği ve emülsiyondaki yağ oranının toz ürün üzerine etkisini incelemişlerdir. Püskürtmeli kurutucu işlem sıcaklığı arttıkça toz ürünlerin nem değerlerinin azaldığını, emülsiyondaki yağ miktarı arttıkça mikroenkapsülasyon etkinliğinin azaldığını belirtmişlerdir [10].

Tatar (2012)' in yapmış olduğu çalışmada balık yağının mikroenkapsülasyonu için hemiselüloz ve gam arabik kullanarak püskürterek kurutma yöntemi ile mikroenkapsüle toz ürünleri üretmiştir. Kaplama maddesi olarak sadece gam arabik kullanarak kurutma işlem sıcaklığını, emülsiyon besleme hızını ve emülsiyonlardaki yağ oranını değiştirerek optimum değerleri belirlemiştir. Belirlemiş oldukları optimum şartlarda gam arabik ve hemiselüloz kullanarak kaplama maddelerinin toz ürün üzerine etkisini incelemiştir [16].

Carneiro et. al. (2013) yapmış olduğu çalışmada keten tohumu yağını püskürterek kurutma yöntemi ile maltodekstrin, gam arabik, peynir altı suyu tozu konsantresi ve modifiye nişasta kullanarak mikroenkapsüle etmişlerdir. Kaplama materyallerinin

mikroenkapsüle üründeki etkisini incelemişlerdir. Maltodekstrin ve peynir altı suyu tozu konsantresi karışımı depolama sırasındaki meydana gelen oksidasyona karşı en iyi korumayı sağladığını belirlemişlerdir [34].

Güngör (2013)' ün yapmış olduğu çalışmada sızma zeytinyağını peynir altı suyu tozu izolatu ve maltodekstrin kullanarak püskürterek kurutma yöntemi ile mikroenkapsüle etmiştir. Emülsiyonların homojenizasyon hızı, süresi ve kaplama materyallerinin mikroenkapsüle toz ürün üzerine etkisini inceleyerek optimum değeri belirlemiştir [15].

Turchiuli et. al. (2005) yapmış olduğu çalışmada ticari karışım bitkisel yağı maltodekstrin ve gam arabik kullanarak mikroenkapsüle etmişlerdir. Emülsiyon kuru madde oranını ve kaplama maddelerinin toz ürün üzerine etkisini incelemişlerdir [46].

Calvo et. al. (2012) yapmış olduğu çalışmada ekstra sızma zeytinyağının mikroenkapsüle etmek için protein ve karbonhidrat kaynaklı kaplama materyallerini kullanmışlardır. Karbonhidrat kaynaklı kaplama materyali ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerde en yüksek mikroenkapsülasyon etkinliği (%69,09) elde edildiğini belirlemişlerdir [24].

Bae ve Lee (2008) yapmış oldukları çalışmada avokado yağını püskürterek kurutma yöntemi ile maltodekstrin ve peynir altı suyu tozu izolatu kullanarak mikroenkapsülasyon işlemini gerçekleştirmişlerdir. Emülsiyonlardaki maltodekstrin oranı arttıkça viskozitenin arttığını, 9:1 (maltodekstrin:peynir altı suyu tozu izolatu) kaplama maddesi oranında en yüksek mikroenkapsülasyon etkinliği (%66,18) elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca kaplama maddesi karışımında maltodekstrin oranı arttıkça oksidasyona karşı stabiliteninde arttığını belirtmişlerdir [69].

Pauletti ve Amestoy (1999) yapmış olduğu çalışmada tereyağının mikroenkapsülasyonu için peynir altı suyu tozu konsantresi ve maltodekstrin kullanmışlardır. Kurutma işlemlerini püskürtmeli kurutucuda gerçekleştirmişlerdir. Emülsiyonların kuru madde oranını, emülsiyonlardaki yağ miktarlarını ve kaplama maddesindeki maltodekstrin oranını değiştirerek optimum değeri belirlemişlerdir. Tüm kurutma işlemlerinde mikroenkapsülasyon verimi %85' den yüksek olmuştur. Kuru madde oranı %30, kaplama maddesindeki maltodekstrin oranı %3,6 ve kuru maddede %40 tereyağı içeren emülsiyondan üretilmiş toz üründe mikroenkapsülasyon verimini (%97,22), mikroenkapsülasyon etkinliğini (%91,72) değeri ile en iyi sonucu belirlemişlerdir [13].

Bade et. al. (2012) yapmış oldukları çalışmada nane yağını maltodekstrin ve gam arabik kaplama materyallerini kullanarak püskürterek kurutma yöntemi ile 200°C kurutma sıcaklığında mikroenkapsüle etmişlerdir. Kaplama maddesi olarak gam arabik kullandıklarında en yüksek (%81) aroma korumasını sağlandığını belirlemişlerdir. Ancak kaplama materyali olarak gam arabik kullandıkları emülsiyonlarda viskozite değerlerinin çok yüksek olduğunu belirtmişlerdir [55].

Shu et. al. (2005) likopenin mikroenkapsülasyonu için jelatin ve sükroz kullanarak püskürtmeli kurutucu ile mikroenkapsüle etmişlerdir. Yaptıkları denemeler sonucunda optimum nokta olarak: jelatin ve sükroz oranı 3:7, likopen ve kaplama maddesi oranı 1:4, beslenen emülsiyonun sıcaklığı 55°C ve kurutma işlem sıcaklığını 190°C olduğunu belirlemişlerdir. Mikroenkapsülasyon etkinliğini %52,3 ile %82,2 arasında değiştiğini belirtmişlerdir [70].

Vaidya et. al. (2006) yapmış oldukları çalışmada tarçın oleorisini maltodekstrin, gam arabik ve modifiye nişasta kullanarak püskürterek kurutma yöntemi ile mikroenkapsüle etmişlerdir. 3 farklı kaplama materyallerini kendi aralarında kombine ederek birbirlerine etkinliğini incelemişler. Gam arabik:maltodekstrin:modifiye nişasta miktarlarını 4:1:1 oranındaki karışımın gam arabikten daha iyi koruma sağladığını belirtmişlerdir. Tarçın oleorisin mikroenkapsülasyonu için gam arabik diğer kaplama materyallerinden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [51].

Quipe-Condori et. al. (2012) yapmış oldukları çalışmada soğuk pres ile elde edilmiş ve rafine edilmemiş keten yağını mısır zein proteini kullanılarak püskürterek kurutma yöntemi ve dondurarak kurutma yöntemlerini kullanarak mikroenkapsüle etmişlerdir. En yüksek mikroenkapsülasyon etkinliği değerini püskürterek kurutma yöntemi için %93,26 olduğunu, dondurarak kurutma yöntemi için %59,63 olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca kaplama materyalindeki zein konsantrasyonu arttıkça bağıl yoğunluğunda arttığını belirtmişlerdir [71].

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyaller

Bu çalışmada kullanılan palm olein ve palm stearin yağları Küçükbay Sanayi A.Ş. (İzmir) tarafından temin edilmiştir. Kaplama maddesi olarak kullanılan yağsız süt tozu Torku (Konya) tarafından temin edilmiştir.

Çalışmada; maltodekstrin (DE 13.0-17.0, Sigma 419680) tween-20 (Merck 8.22184), metanol (Merck 1.06009), kloroform (Merck 1.02445), petrol eteri (Merck 1.01175), asetik asit (Merck 1.00063), potasyum iyodür (Sigma 03124), çözümlü nişasta (Merck 1.01252), sodyum tiyosülfat (Merck 1.06513) kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Emülsiyonların Hazırlaması

Hazırlanan emülsiyonlar kurutma sonrasında elde edilecek ürünün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Mikroenkapsülasyon işlemi için kuru madde oranını ve yağ:kaplama maddesi oranını belirlemek amacıyla Tablo 2.1' de belirtilen oranlarda 27 farklı emülsiyon hazırlanmıştır. Kaplama materyallerinin viskoziteye etkisini belirlemek amacıyla kendi aralarında kombine edilmiştir. Emülsiyon stabilitesini desteklemek amacıyla %1 oranında tween-20 kullanılmıştır. Klasik homojenizasyon yöntemi ile (Ultra-Turrax IKA T-18 Basic) 24.000 rpm hızda 5 dakika homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. İşlem sırasındaki ısınmayı engellemek amacıyla buzlu su kullanılmıştır ve emülsiyon sıcaklıklarının 25°C' yi geçmemesi sağlanmıştır.

Tablo 2.1. Hazırlanan emülsiyonların KM değerleri ve KM' de yağ:kaplama maddesi oranları

Örnek No	Kuru Madde (%)	Yağ:Kaplama maddesi	Kaplama maddeleri
			YST:MD
1	30	1:4	1:0
2	30	1:3	1:0
3	30	1:2	1:0
4	30	1:4	1:1
5	30	1:3	1:1
6	30	1:2	1:1
7	30	1:4	0:1
8	30	1:3	0:1
9	30	1:2	0:1
10	40	1:4	1:0
11	40	1:3	1:0
12	40	1:2	1:0
13	40	1:4	1:1
14	40	1:3	1:1
15	40	1:2	1:1
16	40	1:4	0:1
17	40	1:3	0:1
18	40	1:2	0:1
19	50	1:4	1:0
20	50	1:3	1:0
21	50	1:2	1:0
22	50	1:4	1:1
23	50	1:3	1:1
24	50	1:2	1:1
25	50	1:4	0:1
26	50	1:3	0:1
27	50	1:2	0:1

YST: yağsız süt tozu, MD: maltodekstrin, KM: kuru madde.

2.2.3. Emülsiyonların Püskürtmeli Kurutucu ile Kurutulması

Çalışmada laboratuvar tipi Buchi B-290 (İsviçre) püskürtmeli kurutucu kullanılmıştır. Cihazda 2.8 mm nozul çapına sahip atomizer bulunmaktadır. Atomizer sayesinde çok küçük damlacıklar halinde kurutma haznesine dağılmaktadır. Kurutma işleminde kullanılan kuru havanın akış hızı 600lt/saat' dir. Sistemde bulunan termometreler sayesinde giriş ve çıkış sıcaklıkları anlık olarak kontrol edilmektedir. Sistemde elde edilecek ürün cihazın alt kısmında bulunan ürün toplama haznesinde toplanmaktadır.

2.2.4. Mikroenkapsüle Ürünlerin Üretilmesi

Kaplama maddelerinin etkinliğini incelemek amacıyla yağsız süt tozu ve maltodekstrin kendi içinde kombine edilerek emülsiyonlar hazırlanmıştır.

İlk aşamada palm yağının fraksiyonu olan palm olein yağı ile Tablo 2.2' de belirtilen kaplama materyalleri oranlarında ürünler üretilmiştir. Püskürtmeli kurutucuya beslenen emülsiyonların sıcaklıkları 25°C' de sabit tutulmuştur.

Tablo 2.2. POL ile hazırlanan emülsiyonların kaplama maddeleri oranları

Örnek No	YST:MD
POL1	(1:0)
POL2	(3:1)
POL3	(1:1)
POL4	(1:3)
POL5	(0:1)

YST: yağsız süt tozu, MD: maltodekstrin, POL: palm olein yağı.

İkinci aşama olarak palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek ikinci bir yağ elde edilmiştir. Yağ içeriğinin değişimine göre kaplama maddesinin etkinliğinin belirlenmesi amacıyla Tablo 2.3' de belirtilen kaplama maddesi oranlarında kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Eklenen palm stearin yağından dolayı yağın ergime noktası artmaktadır bu yüzden dolayı oluşturulan emülsiyonlar 35°C' de homojenize edilerek püskürtmeli kurutucuya beslenmiştir. Elde edilen toz ürünlerin analizleri yapılmıştır.

Tablo 2.3. POS ile hazırlanan emülsiyonların kaplama maddeleri oranları

Örnek No	YST:MD
POS1	(1:0)
POS2	(3:1)
POS3	(1:1)
POS4	(1:3)
POS5	(0:1)

YST: yağsız süt tozu, MD: maltodekstrin, POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı.

2.3. Analiz Yöntemleri

2.3.1. Emülsiyon Analizleri

2.3.1.1. Emülsiyon Stabilitesi

Emülsiyon ürünler hazırlandıktan hemen sonra 10'ar mL dereceli tüplere konularak plastik kapaklarla ağzı kapatılıp, 25°C'de 1 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresi sonrasında emülsiyondaki faz ayrımı gözlemlenerek kremleşme derecesi olarak ifade edilmiştir [10].

$$\text{Kremleşme Derecesi} = 100 * \frac{\text{Serum fazının yüksekliği}}{\text{Toplam emülsiyon yüksekliği}}$$

2.3.1.2. Emülsiyon Viskozitesi

Bu analiz Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Temel İşlemler Anabilim Dalı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Palm oleim yağı kullanarak Tablo 2.1' de belirtilen oranlarda emülsiyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan emülsiyonların reolojik ölçümleri silindirik tipli viskozimetre (Brookfield LVDV-II, ABD) kullanılarak yapılmıştır. %30 ve %40 kuru madde oranına sahip 18 örnek S-18 probu ile 0-100 rpm aralığında reolojik ölçümleri yapılmıştır. %50 kuru madde oranına sahip 9 örnek ise S-31 probu ile 0-100 rpm aralığında reolojik ölçümleri yapılmıştır. Tüm ölçümler 25°C' de gerçekleştirilmiştir. Her dönme hızı (rpm)

için kayma hızı, kayma gerilimi, %tork (T) ve viskozite (cp) değerleri anlık olarak kaydedilmiştir. 4 farklı reolojik modele göre uygunluğuna bakılmıştır. Uygulanan akış modelleri; Newton tipi akış modeli, Bingham tipi akış modeli, Üssel akış modeli ve Herschel-Bulkley akış modellerine uygunluğuna bakılmıştır. Reolojik ölçümlerde elde edilen kayma gerilimi ve kayma hızı değerleri en en düşük RMSE (1), en düşük χ^2 (2) ve en yüksek R^2 değerlerine göre uygunluğuna bakılmıştır.

$$\text{RMSE} : \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\text{KG}_{\text{theoric},i} - \text{KG}_{\text{experimental},i})^2 \right]^{0.5} \quad (1)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{KG}_{\text{theoric},i} - \text{KG}_{\text{experimental},i})^2}{N-n} \quad (2)$$

Newton model (3), Bingham model (4), Exponential model (5) ve Herschel-Bulkley model (6).

η : newton viskozitesi (Pa.s), σ : kayma gerilimi (Pa), $\dot{\gamma}$: kayma hızı (s^{-1}), K: kıvam katsayısı (Pa.sⁿ), σ_0 : hız verimi (Pa), n : akış davranış indeksi.

$$\sigma = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (3)$$

$$\sigma - \sigma_0 = K \cdot \dot{\gamma} \quad (4)$$

$$\sigma = K \cdot (\dot{\gamma})^n \quad (5)$$

$$\sigma - \sigma_0 = K \cdot (\dot{\gamma})^n \quad (6)$$

2.3.2. Toz Ürün Analizleri

2.3.2.1. Toplam Yağ Tayini

Kurutma sonrasında elde edilen mikroenkapsüle toz ürünler 90 mL metanol/kloroform (1/2) ve 10 mL saf su kullanılarak çözündürülmüştür. Çözücü ve yağ karışımı rotary evaporatör kullanılarak ayrılmıştır. Sonrasında 103°C’ de 1 saat bekletilerek sabit tartıma getirilmiştir [72].

2.3.2.2. Yüzey Yağ Tayini

Mikroenkapsüle toz ürünlerde yüzey yağ Velasco et al. (2006) kullandığı yöntemin modifiye edilmesiyle belirlenmiştir. Yaklaşık 1 g mikroenkapsüle toz ürün erlene tartılıp 5 mL petrol eteri ilave edilerek 5 dakika hafifçe karıştırılmıştır. Sonrasında sabit tartıma getirilmiş kaplara Whatmann no.1 filtre kağıdı yardımıyla süzümüştür. Aynı işlem iki kez daha tekrarlanmıştır. Sonrasında 103°C’ de 1 saat bekletilerek sabit tartıma getirilmiştir [73].

2.3.2.3. Mikroenkapsülasyon Etkinliği

Elde edilen mikroenkapsüle toz ürünlerin mikroenkapsülasyon etkinliği Pauletti ve Amestoy (1999)’a göre belirlenmiştir. Toplam yağ ve yüzey yağ analizlerinde elde edilen veriler aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır [13].

$$\text{Mikroenkapsülasyon Etkinliği} = 100 \times \frac{\text{Toplam Yağ Miktarı} - \text{Yüzey Yağ Miktarı}}{\text{Toplam Yağ Miktarı}}$$

2.3.2.4. Mikroenkapsülasyon Verimi

Kurutma işlemi sonrasında elde edilen ürün miktarının beslenen emülsiyondaki kuru madde miktarının aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır. Bu hesaplama kurutma verimi olarak da adlandırılmaktadır [66].

$$\text{Mikroenkapsülasyon Verimi} = 100 \times \frac{\text{Kurutmada Elde Edilen Ürün Miktarı}}{\text{Emülsiyonun Kuru Madde Miktarı}}$$

2.3.2.5. Renk Tayini Analizi

Kurutma işlemi sonrasında elde edilen mikroenkapsüle toz ürünlerin renk değerleri 'Konica Minolta CR-5 (Japan)' renk tayin cihazı ile L* (siyah-beyaz), a* (kırmızı-yeşil) ve b* (sarı-mavi) değerlerine bakılmıştır.

2.3.2.6. Peroksit Analizi

Yaklaşık 0,5 g yağ örneği 5 mL asetik asit/kloroform (3:2 v/v) karışımında çözüldürülerek 50 µl aşırı doymuş potasyum iyodür (KI) ilave edilmiştir. İyi karıştırıldıktan sonra 5 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Bekleme sonrasında 5 mL saf su ilave edilip karıştırılmıştır. Renk dönüşümünün gözlemlenebilmesi için %1' lik çözünür nişastadan 0,2 mL eklenerek mavi renk gözlemlenmiştir. Sonrasında normalitesi ayarlanmış 0,01 N sodyum tiyosülfat ile titrasyon yapılmış ve sarfiyat not edilmiştir. Kör denemede yapıldıktan sonra aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır [15].

$$\text{Peroksit Sayısı} : [(V_1 - V_0) \times N \times 100] / M$$

Peroksit Sayısı: miliekivalent O₂/kg yağ

V₁: Örnek için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi (mL)

V₀: Kör için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi (mL)

N: Sodyum tiyosülfatın normalitesi

M: Örnek ağırlığı (g)

2.3.2.7. Nem Tayini

Sabit tartıma getirilmiş petri kaplarına yaklaşık 1 g mikroenkapsüle toz örnek tartılıp 103°C' de sabit tartıma gelinceye kadar (4-6 saat) etüvde bekletilmiştir. Ağırlık değişimi olmayan petri kapları desikatörde bekletildikten sonra tekrar tartılmıştır. Ağırlık farkına göre nem değeri hesaplanmıştır [74].

$$\text{Nem Değeri (\%)} = 100 \times \frac{\text{Son tartım} - \text{ilk tartım}}{\text{Örnek miktarı}}$$

2.3.2.8. Su Aktivitesi Tayini

Mikroenkapsüle toz ürünlerin su aktivitesi değerleri otomatik su aktivitesi tayin cihazı AquaLab Series 3 (ABD) kullanılarak 25 °C' de belirlenmiştir.

2.3.2.9. Partikül Morfolojisi

Mikroenkapsüle toz ürünlerin partikül yapısı ve gözeneklerini incelenmesi amacıyla Leo 404 (İngiltere) Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Görüntüler Erciyes Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Toz ürünler 20 kV' da 500, 1.000, 2.000 ve 5.000 kat büyütülerek görüntüleri alınmıştır.

2.3.2.10. Yığın Yoğunluk ve Sıkıştırılmış Yoğunluk

Mikroenkapsüle toz ürünler hacmi bilinen bir kap içerisine herhangi bir basınç uygulamaksızın doldurulmasıyla kütle/hacim oranıyla hesaplanmıştır. 25 mL' lik mezüre 15 mL seviyesine kadar toz ürün konularak tartılmış ve yığın yoğunluğu ($\rho_{\text{yığın}}$ g/cm³) olarak hesaplanmıştır. Sonrasında sert bir zemin üzerinde saniyede 1 vuruş olacak şekilde 180 kez vurulmuş ve hacim okunmuştur ve sıkıştırılmış yoğunluk ($\rho_{\text{sıkıştırılmış}}$ g/cm³) hesaplanmıştır [16].

2.3.2.11. Carr İndeks

Mikroenkapsüle toz ürünlerin carr indeks değerleri sıkıştırılmış yoğunluk ve yığın yoğunluk değerlerinin arasındaki farka göre hesaplanmaktadır. Hesaplama aşağıdaki denkleme göre yapılmıştır [46].

$$\text{Carr İndeks} = \frac{\text{sıkıştırılmış yoğunluk} - \text{yığın yoğunluk}}{\text{sıkıştırılmış yoğunluk}}$$

2.4. İstatiksel Analiz

Çalışma süresince, bütün mikroenkapsüle toz ürünlerin ve emülsiyon denemeleri 3 tekerrürlü ve 3 paralelli olarak yapılmıştır. Emülsiyon ve mikroenkapsüle toz ürünler için yapılan kalite analizi sonuçları SPSS (ver. 22, 2013, Chicago) paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca emülsiyon stabilitesi için yapılan reolojik ölçümler sonucunda modellerinin deneysel veriler ile uyumlulukları RMSE, χ^2 ve R^2 değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda en düşük RMSE ve χ^2 ile en yüksek R^2 değerleri tespit edilmiş ve en uygun akış davranış indeksi belirlenmiştir. Güven seviyesi %95 olarak kabul edilmiştir. Tek yönlü varyans analizi kullanılmış ve önemli farklılıklar Duncan çoklu fark testi ile tespit edilmiştir.

3. BÖLÜM

BULGULAR TARTIŞMA

3.1. Kullanılan Yağların Yağ Asidi Kompozisyonu

Çalışmamızda kullanılan palm yağının fraksiyonu olan palm olein yağı ve palm stearin yağlarının yağ asidi kompozisyonunda Tablo 3.1' de verilmiştir. Ayrıca palm olein yağına %10 oranında palm stearin ekleyerek elde ettiğimiz diğer yağında yağ asidi kompozisyonu Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. POL, POS ve PS yağlarının yağ asitleri kompozisyonu ve değerleri

	POL	POS	PS
Yağ Asitleri	%	%	%
Miristik (14:0)	1,01	1,05	1,34
Palmitik (16:0)	42,60	45,00	65,88
Stearik (18:0)	4,51	4,56	5,11
Oleik (18:1)	42,90	40,85	23,66
Linoleik (18:2)	8,98	8,54	4,01

POL: palm olein yağı, PS: palm stearin yağı, POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı.

3.2. Mikroenkapsülasyon Uygulamasının Şartlarının Belirlenmesi

Hazırlanan 27 farklı emülsiyonun reolojik analizleri yapılarak ideal kuru madde içeriği %40 ve kuru maddede yağ:kaplama maddesi oranı (1:3) olmasına karar verilmiştir. Püskürtmeli kurutucu ile yapılan tüm kurutma işlemlerinde bu değerler sabit tutulmuştur.

3.3. Püskürtmeli Kurutucu İşlem Sıcaklığının Belirlenmesi

Kuru madde içeriği %40 ve kuru maddede yağ:kaplama maddesi oranını (1:3) belirledikten sonra püskürtmeli kurutucu işlem sıcaklığını belirlemek için 160-180-200°C sıcaklık değerlerinde kurutma işlemleri yapılmıştır. Tablo 3.2' de verilen analiz sonuçlarına göre en düşük peroksit değeri, en yüksek mikroenkapsülasyon etkinliği ve mikroenkapsülasyon verimine bakılarak kurutma işlem sıcaklığı 200°C olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Kurutma sıcaklığına bağlı olarak elde edilen ürünlerin değerleri

Analizler	160 °C	180 °C	200 °C
Toplam Yağ (%)	19,85±1,24 ^a	21,56±1,31 ^a	19,70±0,68 ^a
Yüzey Yağ (%)	4,93±0,14 ^b	4,70±0,27 ^{ab}	4,30±0,21 ^a
Mikroenkapsülasyon Etkinliği (%)	75,12±1,09 ^a	78,14±2,31 ^a	78,18±1,13 ^a
Peroksit (meq O₂/kg)	0,54±0,05 ^a	0,46±0,07 ^{ab}	0,39±0,03 ^b
Nem (%)	0,76±0,05 ^a	0,68±0,03 ^a	0,55±0,05 ^b
Mikroenkapsülasyon Verimi (%)	25,47±1,67 ^a	24,43±2,86 ^a	28,76±5,59 ^a

^{a, b} aynı satırda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir ($p < 0,05$).

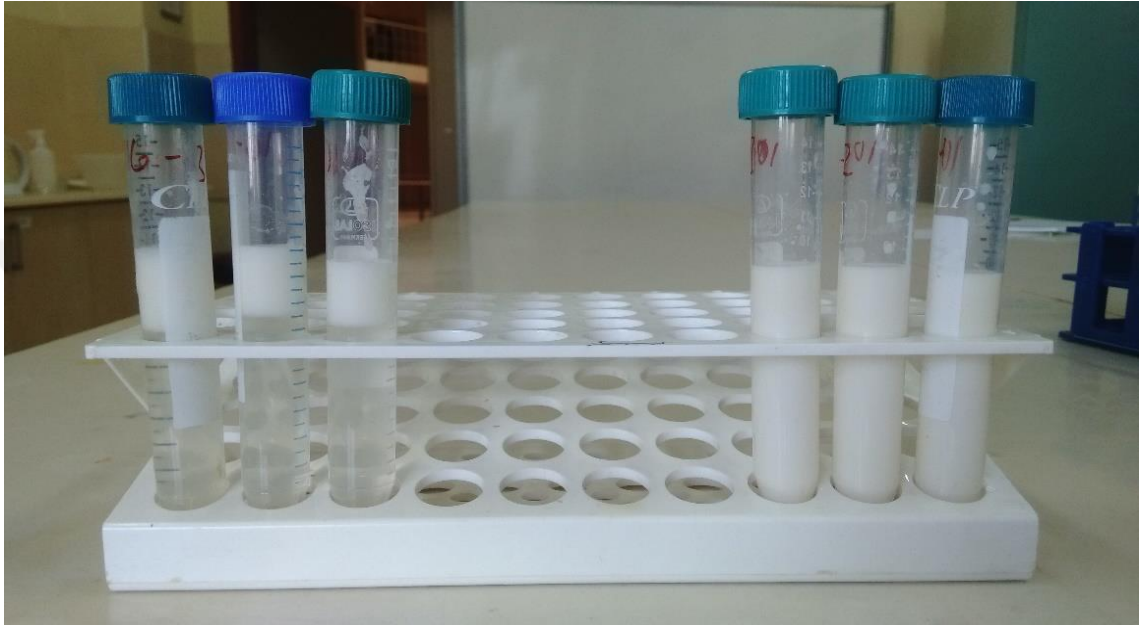
Yapılan analizler sonrasında tüm kurutma işlemleri için hazırlanan emülsiyonların kuru madde içeriği %40, yağ:kaplama maddesi oranı (1:3), besleme hızı 8ml/dk , hava akışı hızı 600lt/saat ve kurutma sıcaklığı 200°C olarak sabit tutulmuştur. Yapılan tüm kurutma işlemleri bu şartlarda gerçekleştirilmiştir.

3.4. Emülsiyon Özellikleri

3.4.1. Emülsiyon Stabilitesi

Kremleşme, yer çekiminin etkisiyle düşük yoğunluğa sahip çekirdek materyalinin (palm yağı) yukarıya doğru hareket etmesi sonucunda oluşmaktadır. Kremleşme derecesinin seviyesi ve hızı emülsiyonun stabilite derecesinin bir göstergesidir.

Tablo 2.1' e göre emülsiyonlar hazırlanmıştır. 24 saat sonrasında faz ayrımı görülen ve görülmeyen emülsiyonlar Şekil 3.1' de gösterilmektedir. Yağsız süt tozu içeren 18 örnekte faz ayrımı görülmemektedir. Kaplama materyali olarak sadece maltodekstrin kullanılan 9 örnekte (7, 8, 9, 16, 17, 18, 25, 26, 27) faz ayrımı gözlemlenmiştir (Tablo 3.3).



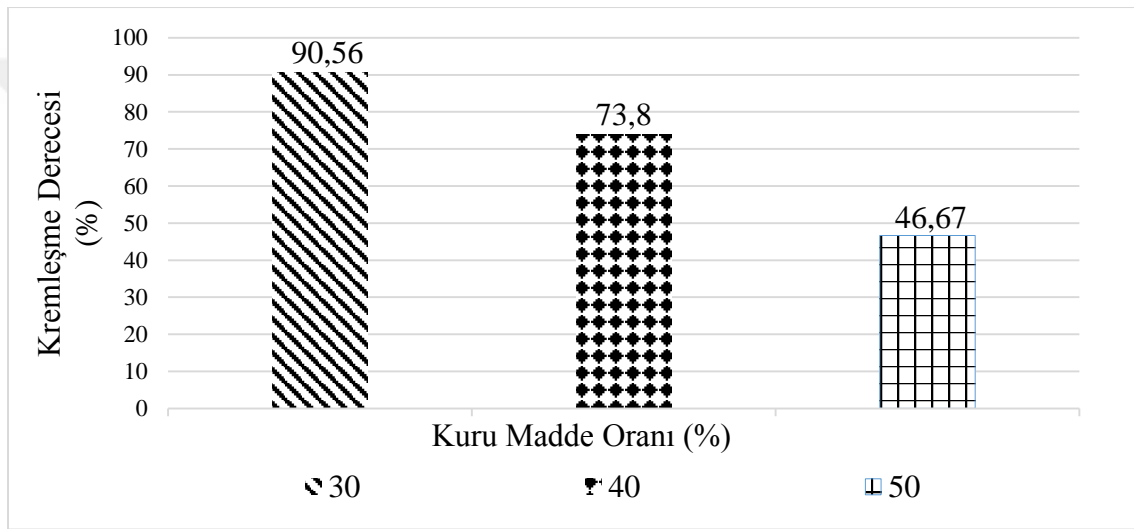
Şekil 3.1. Faz ayrımı gözlemlenen ve gözlemlenmeyen emülsiyonlar

Tablo 3.3. Emülsiyonların Kremleşme Derecesi Değerleri

Örnek	Kremleşme Derecesi (%)	Örnek	Kremleşme Derecesi (%)	Örnek	Kremleşme Derecesi (%)
1	*	10	*	19	*
2	*	11	*	20	*
3	*	12	*	21	*
4	*	13	*	22	*
5	*	14	*	23	*
6	*	15	*	24	*
7	90,56±0,78	16	73,80±0,65	25	46,67±1,34
8	88,59±0,49	17	71,98±1,39	26	44,46±0,95
9	85,80±1,70	18	68,98±1,22	27	42,43±0,88

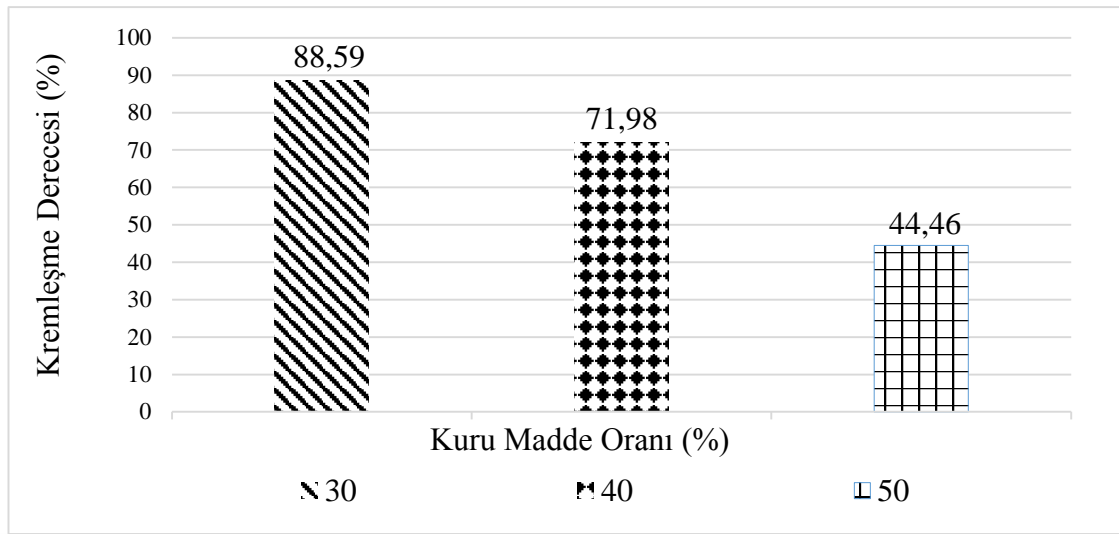
*Faz ayrımı görülmemiştir.

Faz ayrımı gözlemlenen örnekler içerisinde en düşük kremleşme derecesi %50 kuru madde oranına sahip, yağ:kaplama maddesi oranı (1:2) olan 27 numaralı örnekte görülmüştür. En yüksek kremleşme derecesi ise %30 kuru madde oranına sahip yağ:kaplama maddesi oranı (1:4) olan 7 numaralı örnekte görülmüştür. Faz ayrımı görülen 9 örnekte beklenildiği gibi kuru madde içeriği arttıkça emülsiyon stabilitesinin de arttığı görülmektedir. Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 incelenmesiyle daha iyi anlaşılmaktadır.



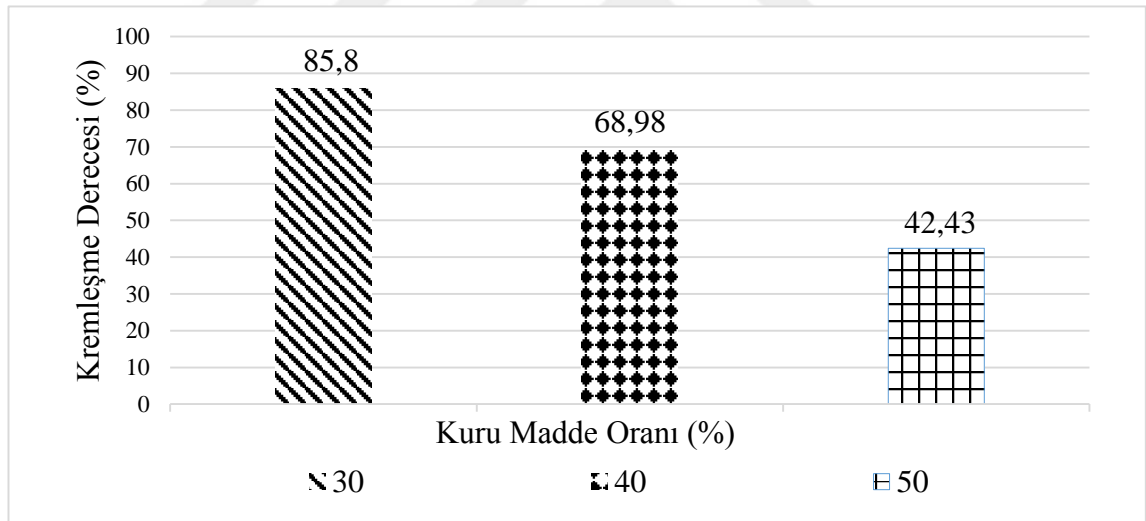
Şekil 3.2. Yağ:Kaplama maddesi oranı (1:4), YST:MD (0:1) olan emülsiyonların KM oranına göre kremleşme derecesi değerleri

YST: yağsız süt tozu, MD: maltodekstrin, KM: kuru madde



Şekil 3.3. Yağ:Kaplama maddesi oranı (1:3), YST:MD (0:1) olan emülsiyonların KM oranına göre kremleşme derecesi değerleri

YST: yağsız süt tozu, MD: maltodekstrin, KM: kuru madde



Şekil 3.4. Yağ:Kaplama maddesi oranı (1:2), YST:MD (0:1) olan emülsiyonların KM oranına göre kremleşme derecesi değerleri

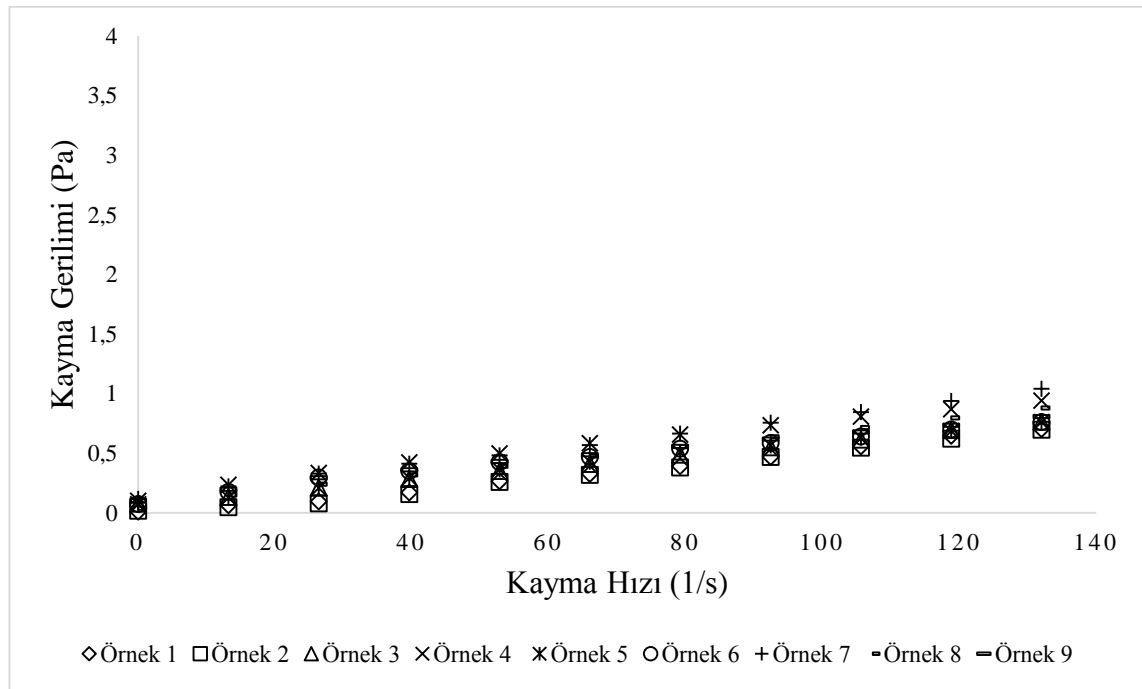
YST: yağsız süt tozu, MD: maltodekstrin, KM: kuru madde

Faz ayrımı görülen örneklerde kuru madde içeriğinin artmasıyla stabilitenin artmasının yanı sıra kuru madde içerisindeki yağ miktarı arttıkça, emülsiyon stabiliteside arttığı görülmektedir. Bunun sebebi yağ fazının oranın artışına bağlı olarak küçük damlacıklar birleşerek büyük damlacıklara dönüşmesi sonucunda oluşan büyük yağ damlacıklarının yüzey alanını azaltmasıdır. Buna bağlı olarak da emülsiyon stabilitesi artmaktadır. Güngör (2013) tarafından yapılan çalışmada benzer sonuçlar görülmüştür [15].

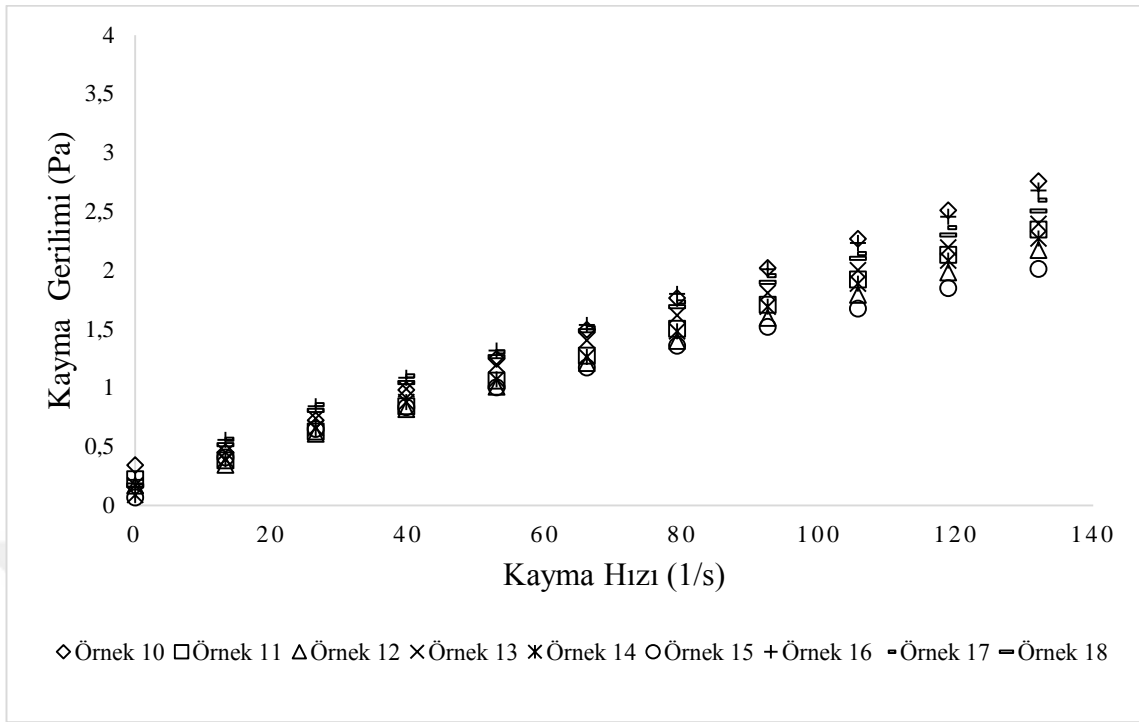
Yağsız süt tozu içeren emülsiyonlarda faz ayrımı olmamasının nedeni yapısındaki proteinlerden kaynaklı su tutma kapasitesinden dolayıdır. Ayrıca yağsız süt tozu margarin gibi gıda ürünlerin üretiminde stabilitenin sağlanmasına destek verilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden kaynaklı hazırlanmış olduğumuz emülsiyonlarda faz ayrımı olmaması beklenen bir sonuçtur. Elde ettiğimiz bulgulara paralel olarak, Shamaei et al. (2017) tarafından yapılan çalışmada yağsız süt tozu kullanılan emülsiyonlarda da faz ayrımının gerçekleşmediğini bildirmişlerdir [62].

3.4.2. Emülsiyon Viskozitesi

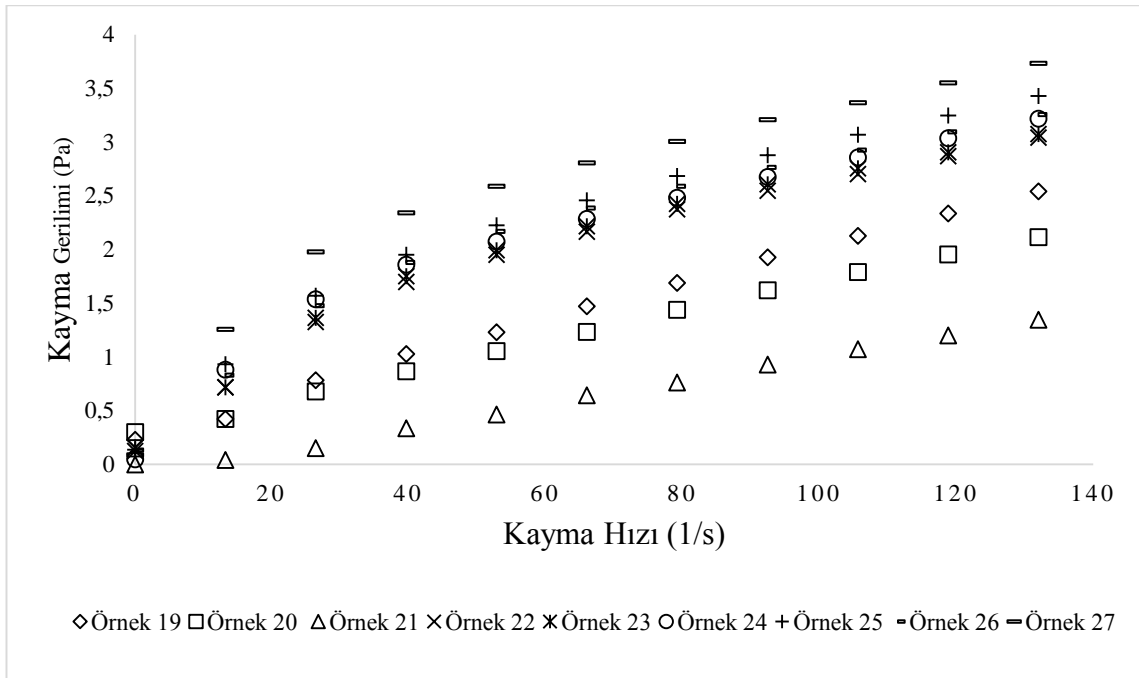
Tablo 2.1' e göre hazırlanan emülsiyonların reolojik ölçümleri yapılmıştır. Reolojik ölçümlerde elde edilen kayma hızı ve kayma gerilimi değerleri Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve 3.7' de verilmektedir. Elde edilen bu değerler yardımıyla RMSE (Eş. 1), χ^2 (Eş. 2) ve R^2 değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.4). Ayrıca deneysel veriler Newton akış modeli (Eş.3), Bingham akış modeli (Eş. 4), Üssel akış modeli (Eş. 5) ve Hershel-Bulkley akış modeli (Eş. 6) kullanılarak incelenmiştir. Uygun olan akış modelinin reolojik değerleri (T_0 , K , n ve R^2) Tablo 3.5' de verilmiştir.



Şekil 3.5. %30 KM oranına sahip emülsiyonların kayma gerilimi ve hızı değerleri



Şekil 3.6. %40 KM oranına sahip emülsiyonların kayma gerilimi ve hızı değerleri



Şekil 3.7. %50 KM oranına sahip emülsiyonların kayma gerilimi ve hızı değerleri

Tablo 3.4. Hazırlanan emülsiyonların akış modellerine göre RMSE, χ^2 , R^2 değerleri

Akış Modelleri					
Örnek No		Newton	Bingham	Üssel	Hershel-Bulkley
1	RMSE	0,0015±0,0017	*	0,0002±0,0001	0,2324±0,2027
	χ^2	0,0315±0,0235	*	0,0104±0,0025	0,3010±0,2516
	R^2	0,9585±0,0446	*	0,9927±0,0021	0,9843±0,0150
2	RMSE	0,0003±0,0001	*	0,0003±0,0002	0,0001±0,0001
	χ^2	0,0166±0,0013	*	0,0124±0,0051	0,0084±0,0025
	R^2	0,9875±0,0021	*	0,9915±0,0057	0,9970±0,0017
3	RMSE	0,0007±0,0005	0,0004±0,0001	0,0003±0,0000	*
	χ^2	0,0241±0,0095	0,0164±0,0019	0,0146±0,0012	*
	R^2	0,9700±0,0283	0,9880±0,0000	0,9905±0,0007	*
4	RMSE	0,0004±0,0000	0,0002±0,0002	0,0001±0,0000	*
	χ^2	0,0180±0,0004	0,0086±0,0087	0,0051±0,0015	*
	R^2	0,9885±0,0035	0,9965±0,0050	0,9985±0,0007	*
5	RMSE	0,0005±0,0002	0,0002±0,0001	0,0001±0,0001	0,3084±0,2671
	χ^2	0,0209±0,0039	0,0099±0,0048	0,0085±0,00374	0,3556±0,2575
	R^2	0,9835±0,0205	0,9930±0,0071	0,9943±0,00462	0,9890±0,0142
6	RMSE	0,0025±0,0020	0,0001±0,0001	0,0005±0,0003	0,1204±0,1499
	χ^2	0,0437±0,0189	0,0098±0,0017	0,0158±0,0080	0,2060±0,1989
	R^2	0,7903±0,2113	0,9925±0,0035	0,9738±0,0319	0,9803±0,0212
7	RMSE	0,0056±0,0059	0,0004±0,0002	0,0008±0,0003	0,0002±0,0000
	χ^2	0,0647±0,0349	0,0172±0,0044	0,0238±0,0050	0,0105±0,0012
	R^2	0,8600±0,1602	0,9940±0,0025	0,9885±0,0050	0,9980±0,0010
8	RMSE	0,0015±0,0007	0,0006±0,0001	0,0006±0,0003	0,0005±0,0003
	χ^2	0,0353±0,0090	0,0202±0,0044	0,0209±0,0053	0,0184±0,0051
	R^2	0,9693±0,0200	0,9903±0,0049	0,9890±0,0068	0,9905±0,0078

*: modele uygunluk bulunamamıştır, **koyu** yazılan değerler modele uygundur.

Tablo 3.4' nin devamı.

Akış Modelleri					
Örnek No		Newton	Bingham	Üssel	Hershel-Bulkley
9	RMSE	0,0015±0,0007	0,0006±0,0001	0,0006±0,0003	0,0005±0,0003
	χ^2	0,0353±0,0090	0,0202±0,0044	0,0209±0,0053	0,0184±0,0051
	R ²	0,9693±0,0200	0,9903±0,0049	0,9890±0,0068	0,9905±0,0078
10	RMSE	0,0032±0,0049	0,0002±0,0002	0,0002±0,0001	*
	χ^2	0,0423±0,0367	0,0121±0,0055	0,0132±0,0037	*
	R ²	0,8568±0,2209	0,9895±0,0106	0,9835±0,0205	*
11	RMSE	0,0079±0,0048	0,0003±0,0002	0,0002±0,0001	*
	χ^2	0,0806±0,0252	0,0130±0,0058	0,0106±0,0032	*
	R ²	0,9757±0,0172	0,9993±0,0005	1,0000±0,0000	*
12	RMSE	0,0303±0,0180	0,0157±0,0071	0,0079±0,0023	0,0186±0,0103
	χ^2	0,1562±0,0620	0,1104±0,0242	0,0788±0,0124	0,1117±0,0323
	R ²	0,9698±0,0317	0,9997±0,0006	0,9973±0,0038	1,0000±0,0000
13	RMSE	0,0108±0,0064	0,0001±0,0001	0,0010±0,00060	0,0001±0,0000
	χ^2	0,0936±0,0330	0,0099±0,0028	0,0263±0,0089	0,0062±0,0012
	R ²	0,9585±0,0325	0,9997±0,0006	0,9970±0,0025	1,0000±0,0000
14	RMSE	0,0600±0,0335	0,0148±0,0062	0,0098±0,0061	0,0070±0,0040
	χ^2	0,2277±0,0662	0,1069±0,0237	0,0852±0,0283	0,0687±0,0202
	R ²	0,9325±0,0389	0,9958±0,0021	0,9983±0,0022	0,9995±0,0007
15	RMSE	0,0276±0,0135	0,0008±0,0007	0,0002±0,0001	0,0005±0,0007
	χ^2	0,1527±0,0420	0,0223±0,0127	0,0124±0,0020	0,0153±0,0153
	R ²	0,8983±0,0551	0,9980±0,0020	0,9995±0,0007	0,9990±0,0014
16	RMSE	0,0289±0,0097	0,0002±0,0001	0,0007±0,0006	0,0001±0,0001
	χ^2	0,1590±0,0271	0,0120±0,0019	0,0203±0,0110	0,0077±0,0030
	R ²	0,8495±0,0545	0,9990±0,0000	0,9973±0,0030	0,9997±0,0006

*: modele uygunluk bulunamamıştır, **koyu** yazılan değerler modele uygundur.

Tablo 3.4' nin devamı.

Akış Modelleri					
Örnek No		Newton	Bingham	Üssel	Hershel-Bulkley
17	RMSE	0,0821±0,0271	0,0157±0,0077	0,0113±0,0061	0,0140±0,0072
	χ^2	0,2692±0,0463	0,1092±0,0285	0,0926±0,0262	0,0968±0,0260
	R ²	0,9087±0,0825	0,9973±0,0021	0,9973±0,0012	0,9987±0,0006
18	RMSE	0,0698±0,0096	0,0162±0,0092	0,0077±0,0029	0,0096±0,0038
	χ^2	0,2503±0,0170	0,1102±0,0352	0,0772±0,0155	0,0807±0,0169
	R ²	0,9013±0,0207	0,9957±0,0035	0,9970±0,0020	1,0000±0,0000
19	RMSE	0,0181±0,0020	0,0004±0,0001	0,0004±0,0004	0,0001±0,0001
	χ^2	0,1256±0,0069	0,0160±0,0020	0,0158±0,0077	0,0095±0,0015
	R ²	0,9367±0,0105	0,9990±0,0000	0,9990±0,0010	1,0000±0,0000
20	RMSE	0,0153±0,0038	0,0005±0,0001	0,0002±0,0001	*
	χ^2	0,1151±0,0140	0,0185±0,0022	0,0128±0,0024	*
	R ²	0,9177±0,0172	0,9980±0,0000	0,9990±0,0000	*
21	RMSE	0,0014±0,0006	*	0,0003±0,0002	*
	χ^2	0,0345±0,0073	*	0,0120±0,0073	*
	R ²	0,9853±0,0065	*	0,9980±0,0014	*
22	RMSE	0,2101±0,0110	0,0076±0,0040	0,0011±0,0003	*
	χ^2	0,4320±0,0113	0,0747±0,0228	0,0286±0,0042	*
	R ²	0,4385±0,0983	0,9837±0,0067	0,9973±0,0006	*
23	RMSE	0,2309±0,0524	0,0092±0,0063	0,0018±0,0009	*
	χ^2	0,4500±0,05289	0,0798±0,0339	0,0361±0,0102	*
	R ²	0,2937±0,2597	0,9787±0,0151	0,9953±0,0015	*
24	RMSE	0,2232±0,0213	0,0026±0,0039	0,0027±0,0032	0,0002±0,0001
	χ^2	0,4416±0,0211	0,0112±0,0091	0,0173±0,0142	0,0115±0,0021
	R ²	0,0170±0,0240	0,6750±0,5603	0,6732±0,5599	0,9990±0,0000

*: modele uygunluk bulunamamıştır, **koyu** yazılan değerler modele uygundur.

Tablo 3.4' nin devamı.

Akış Modelleri					
Örnek No		Newton	Bingham	Üssel	Hershel-Bulkley
25	RMSE	0,2901±0,0455	0,0065±0,0006	0,0001±0,0001	*
	χ^2	0,5068±0,0390	0,0711±0,0035	0,0095±0,0025	*
	R ²	0,2280±0,2004	0,9850±0,0010	1,0000±0,0000	*
26	RMSE	0,2803±0,0202	0,0112±0,0076	0,0030±0,0011	*
	χ^2	0,4989±0,0182	0,0880±0,0376	0,0480±0,0086	*
	R ²	0,2047±0,1725	0,9727±0,0182	0,9930±0,0028	*
27	RMSE	0,5065±0,0639	0,0063±0,0057	0,0015±0,0001	0,0006±0,0008
	χ^2	0,6703±0,0424	0,0644±0,0330	0,0342±0,0012	0,0173±0,0148
	R ²	0,0000±0,0000	0,9850±0,0118	0,9960±0,0010	0,9990±0,0014

*: modele uygunluk bulunamamıştır, **koyu** yazılan değerler modele uygundur.

Tablo 3.5. Emülsiyonların reolojik parametreleri

Örnek	T ₀ (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²
1**	0	0,0054	1,0578	0,9927
2****	0,1098	0,0053	1,5111	0,9970
3**	0	0,0053	0,7406	0,9905
4**	0	0,0058	0,7118	0,9985
5**	0	0,0058	0,9520	0,9943
6*	0,2538	0,0056	1	0,9925
7****	0,2421	0,0077	1,2509	0,9980
8****	0,1436	0,0071	1,2381	0,9905
9*	0,0887	0,0065	1	0,9820
10****	0,1853	0,0206	0,9820	0,9995
11**	0	0,0184	0,8387	0,9973
12****	0,3150	0,0172	1,0492	1,0000
13****	0,0747	0,0206	0,7839	0,9995
14****	0,1765	0,0186	1,0484	0,9990
15****	0,3390	0,0164	0,9285	0,9997
16**	0	0,0223	0,7646	0,9980
17**	0	0,0215	0,7307	0,9973
18****	0,2217	0,0215	0,8820	1,0000
19****	0,1425	0,0793	0,8390	1,0000
20**	0	0,0666	0,7688	0,9990
21**	0	0,0388	1,1163	0,9980
22**	0	0,1095	0,4918	0,9973
23**	0	0,1063	0,4823	0,9953
24****	0,8845	0,1082	0,7361	0,9990
25**	0	0,1184	0,4701	1,0000
26**	0	0,1133	0,4769	0,9930
27****	1,0075	0,1293	0,6150	0,9990

*Bingham akış tipi gösteren örnek ,**Üssel akış tipi gösteren örnek, ****Hershel-Bulkey akış tipi gösteren örnek.

Sadece %30 kuru madde oranına sahip 6 ve 9 numaralı örnekler Bingham akış modeline uygunluk göstermektedir.

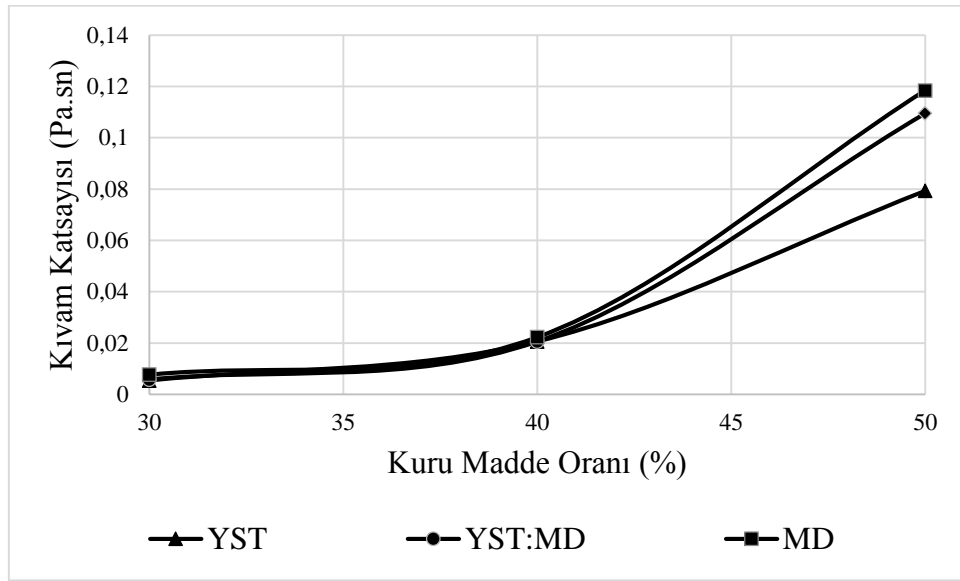
%40 kuru madde oranına sahip 9 örnekten 6 tanesi Herschel-Bulkley akış modeline uygunluk gösterirken, toplamda 12 örnek Herschel-Bulkley akış modeline uygunluk göstermektedir.

Kuru madde oranı %40' dan %50' ye arttığı zaman Üssel akış modeline doğru bir eğilim söz konusudur. Toplamda 13 örnek Üssel akış modeline uygunluk göstermektedir.

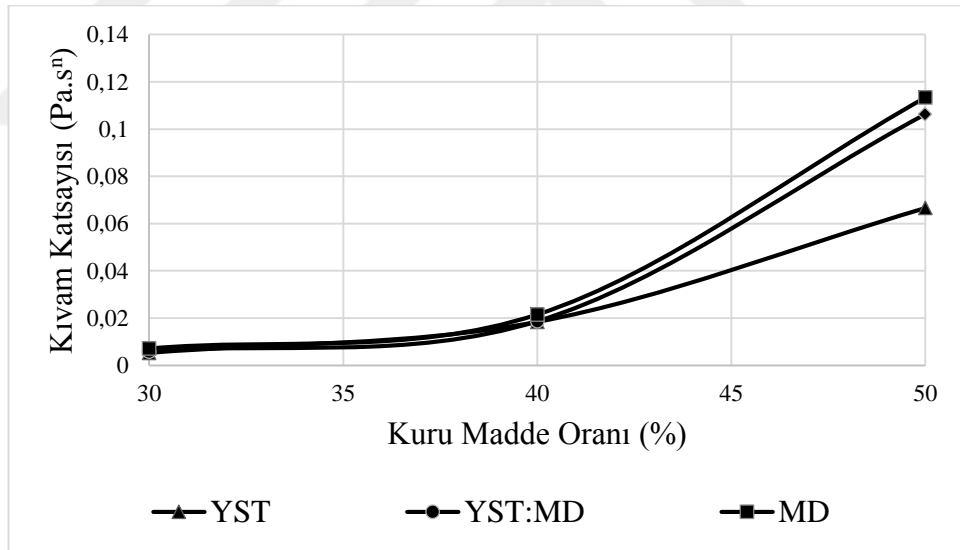
Kıvam katsayısının en düşük örnek %30 kuru madde oranına sahip yağ:kaplama maddesi oranı (1:2) olan ve kaplama materyali olarak sadece yağsız süt tozu kullanılan 3 numaralı örnektir.

Kıvam katsayısının en yüksek örnek %50 kuru madde oranına sahip yağ:kaplama maddesi oranı (1:2) olan ve kaplama materyali olarak sadece maltodekstrin kullanılan 27 numaralı örnektir. 1, 4 ve 7 numaralı örnekler kıyaslandığında kaplama maddesindeki maltodekstrin oranı arttıkça kıvam katsayısının da arttığı görülmektedir.

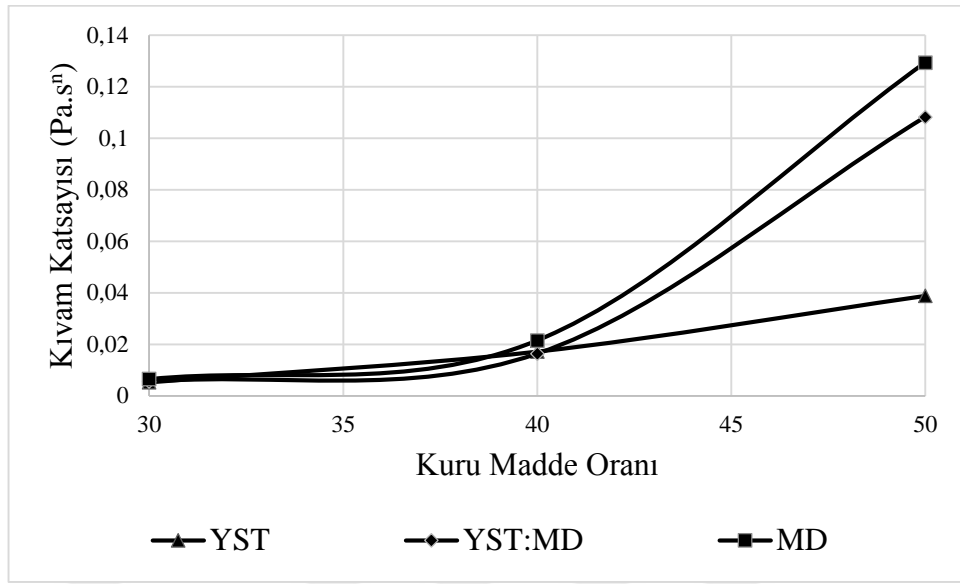
Kuru madde içeriği arttıkça da kıvam katsayısı belirgin bir şekilde artmaktadır. Bu artışı Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 incelenerek daha iyi anlaşılmaktadır. Benzer sonuçlar yapılan çalışmada görülmüştür [68]. Frascareli et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada kuru madde içeriği arttıkça kıvam katsayısının arttığı ve kuru maddedeki yağ oranı arttıkça kıvam katsayısının azaldığını raporlamışlardır [10]. Bae ve Lee (2008) yapmış oldukları çalışmada peynir altı suyu tozu izolatu ve maltodekstrini farklı oranlarda karıştırarak hazırlanan emülsiyonların viskozite değerlerine bakmışlardır. Emülsiyondaki maltodekstrin oranı arttıkça viskozite değerinin de arttığını raporlamışlardır [69]. Belirtilen çalışmalardaki sonuçlar ile bulduğumuz sonuçlar paralellik göstermektedir.



Şekil 3.8. Yağ:kaplama maddesi oranı (1:4) olan emülsiyonların kuru madde oranına bağlı kıvam katsayıları



Şekil 3.9. Yağ:kaplama maddesi oranı (1:3) olan emülsiyonların kuru madde oranına bağlı kıvam katsayıları



Şekil 3.10. Yağ:kaplama maddesi oranı (1:2) olan emülsiyonların kuru madde oranına bağlı kıvam katsayıları

3.5. Mikroenkapsüle Toz Ürünlerin Özellikleri

3.5.1. Toplam Yağ, Yüzey Yağ ve Mikroenkapsülasyon Etkinliği

Bazı çalışmalara göre toplam yağ analizi yapılmayarak emülsiyonda bulunan yağ oranı kabul edilerek mikroenkapsülasyon etkinliğini hesaplamaktadır. Bundan dolayı mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri daha yüksek bulunmaktadır [68]. Yüzey yağ mikroenkapsülasyon işleminin en önemli unsurudur. Burada işlemin etkinliği, kaplama maddesi veya maddelerinin etkinliği belirlenir. Yağların mikroenkapsülasyonunda ise özellikle peroksit değerini doğrudan etkilediği için çok fazla önem arz etmektedir.

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin toplam yağ değerleri %20,94 ile %23,44 yüzey yağ değerleri %3,35 ile %6,53 ve mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri %84,97 ile %71,54 arasında değişmektedir (Tablo 3.6). Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin toplam yağ değerleri %21,73 ile %24,15 yüzey yağ değerleri %3,64 ile %7,40 ve mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri %84,82 ile %69,28 arasında değişmektedir (Tablo 3.7).

Tablo 3.6. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin toplam yağ, yüzey yağ ve ME değerleri

Örnek No	Toplam Yağ (%)	Yüzey Yağ (%)	ME (%)
POL1	23,44±0,76 ^b	3,68±0,21 ^a	84,32±0,37 ^b
POL2	22,32±0,67 ^{ab}	3,35±0,27 ^a	84,97±1,37 ^b
POL3	23,04±1,52 ^b	3,51±0,31 ^a	84,80±0,43 ^b
POL4	20,94±0,83 ^a	3,46±0,44 ^a	83,48±1,96 ^b
POL5	22,97±1,02 ^b	6,53±0,15 ^b	71,54±1,39 ^a

^{a, b} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). ME: mikroenkapsülasyon etkinliği, POL: palm olein yağı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POL1 (1:0), POL2 (3:1), POL3 (1:1), POL4 (1:3), POL5 (0:1).

Tablo 3.7. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin toplam yağ, yüzey yağ ve ME değerleri

Örnek No	Toplam Yağ (%)	Yüzey Yağ (%)	ME (%)
POS1	23,18±0,92 ^{ab}	3,64±0,26 ^a	84,28±1,23 ^c
POS2	24,15±0,11 ^b	3,67±0,35 ^a	84,82±1,48 ^c
POS3	22,45±1,20 ^a	3,99±0,73 ^a	82,22±3,01 ^c
POS4	21,73±0,60 ^a	5,66±0,04 ^b	73,92±0,62 ^b
POS5	24,09±0,95 ^b	7,40±0,33 ^c	69,28±1,10 ^a

^{a, b, c} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). ME: mikroenkapsülasyon etkinliği, POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POS1 (1:0), POS2 (3:1), POS3 (1:1), POS4 (1:3), POS5 (0:1).

Hazırlanan emülsiyonlarda toplam yağ içeriği teorik olarak %25' dir. Tablo 3.6 ve Tablo 3.7' te belirtilen toplam yağ değerleri teorik değere yakın olduğu görülmektedir. Bu değer ne kadar fazla olursa buna bağlı olarak mikroenkapsülasyon etkinliğide artmaktadır.

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerde en yüksek yüzey yağ değeri kaplama maddesi olarak sadece maltodekstrin kullanılan POL5 numaralı örnekte görülmüştür. Yüzey yağın yüksek olmasından dolayı, en düşük mikroenkapsülasyon etkinliği' de yine POL5 numaralı örnek olmuştur. POL5 numaralı örnek POL1, POL2,

POL3 ve POL4 numaralı örneklerle istatistiksel karşılaştırılma sonucunda fark olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). POL1, POL2, POL3 ve POL4 numaralı örnekler kendi içerisinde istatistiksel açıdan fark olmadığı görülmektedir ($p > 0,05$). Yağsız süt tozu oranı %25'e düşmesine rağmen emülsiyon stabilitesini koruyarak düşük yüzey yağ ve yüksek mikroenkapsülasyon etkinliği elde edilmiştir.

Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsülasyon toz ürünlerde en yüksek yüzey yağ değeri kaplama maddesi olarak sadece maltodekstrin kullanılan POS5 numaralı örnekte görülmüştür. En yüksek yüzey yağ değeri ve en düşük mikroenkapsülasyon etkinliği her iki yağ örneği içinde sadece maltodekstrin ile üretilen POL5 ve POS5 numaralı örnekler olmuştur. İstatistiksel karşılaştırma sonucunda POS4 numaralı örnek (YST:MD 1:3) yüzey yağ değerinin yüksek olduğu, mikroenkapsülasyon ve etkinliğinin düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi beslenen emülsiyonun sıcaklığının 35°C olmasından dolayı emülsiyonun zayıflaması olabilir.

Yağların oksidasyonunu engellemek için genellikle protein kaynaklı kaplama materyalleri kullanılmaktadır. Proteinler, yağlar ile iyi birer emülsiyon oluşturmalarından dolayı mikroenkapsülasyon etkinliği yüksektir. Kullandığımız protein kaynaklı kaplama materyali yağsız süt tozu ile elde ettiğimiz veriler bu bilgileri doğrulamaktadır. Ancak maltodekstrin gibi karbonhidrat kaynaklı kaplama materyallerinin emülsiyon oluşturma özelliklerinin zayıf olmasından dolayı yağları oksidasyona karşı tam bir koruma sağlayamamaktadır. Yapılan stabilite analizi sonucunda maltodekstrinin emülsiyonu tam olarak sağlayamaması bu bilgiye paralellik göstermektedir. Ayrıca maltodekstrin kullanılarak üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri yağsız süt tozu ile üretilenlere göre düşük olması emülsiyon analizleriyle paralellik göstermektedir.

Kaushik et al. (2016) yaptıkları çalışmada püskürtmeli kurutucu ile üretilen mikroenkapsüle toz keten tohumu yağı örneklerinin mikroenkapsülasyon etkinliği değerlerinin %73,43 ile %87,6 olduğunu raporlamışlardır [75]. Pauletti ve Amestoy (1999) tarafından yapılan çalışmada peynir altı suyu tozu proteinleri ve maltodekstrin farklı oranlarda kombine edilmesi sonucunda ürettikleri mikroenkapsüle toz ürünlerin mikroenkapsülasyon etkinliği değerlerinin %60,59 ile %92,30 arasında değişmektedir.

Kaplama maddesindeki maltodekstrin oranı arttıkça mikroenkapsülasyon etkinliği azaldığını belirtmişlerdir [13].

3.5.2. Mikroenkapsülasyon Verimi

Mikroenkapsülasyon verimi (MV), kurutma işleminde beslenen emülsiyonun kuru madde miktarının işlem sonrasında elde edilen toz ürün miktarına oranıdır. Kurutma verimi olarak da adlandırılmaktadır. Burada kullanılan kaplama maddelerinin özellikleri önem taşımaktadır.

Palm olein yağı ile üretilen toz ürünlerin mikroenkapsülasyon verimi değerleri %15,75 ile %31,79 arasında değişmektedir (Tablo 3.8). Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen toz ürünlerin mikroenkapsülasyon verimi değerleri %14,50 ile %31,26 arasında değişmektedir (Tablo 3.9).

Tablo 3.8. POL kullanılan üretimin MV değerleri

Örnek No	MV (%)
POL1	31,79±2,11 ^c
POL2	29,20±2,29 ^{bc}
POL3	30,84±4,29 ^c
POL4	24,05±2,94 ^b
POL5	15,75±2,95 ^a

^{a, b, c} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). MV: mikroenkapsülasyon verimi, POL: palm olein yağı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POL1 (1:0), POL2 (3:1), POL3 (1:1), POL4 (1:3), POL5 (0:1).

Tablo 3.9. POS kullanılan üretimin MV değerleri

Örnek No	MV (%)
POS1	29,60±1,26 ^c
POS2	31,26±2,02 ^c
POS3	29,68±0,50 ^c
POS4	19,35±2,97 ^b
POS5	14,50±2,64 ^a

^{a, b, c} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). MV: mikroenkapsülasyon verimi, POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POS1 (1:0), POS2 (3:1), POS3 (1:1), POS4 (1:3), POS5 (0:1).

Palm olein yağı ile elde edilen ürünlerin üretimindeki en düşük mikroenkapsülasyon verimi değeri kaplama maddesi olarak sadece maltodekstrin kullanılan POL5 numaralı örnekte görülmüştür. Kaplama maddesinde maltodekstrin oranı arttıkça verimin azaldığı görülmektedir (Tablo 3.8). Bu azalma istatistiksel açıdan da farklılık göstermektedir ($p<0,05$).

Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile elde edilen ürünlerin üretimindeki düşük mikroenkapsülasyon verimi değeri kaplama maddesi olarak sadece maltodekstrin kullanılan POS5 numaralı örnekte görülmüştür. Kaplama maddesi olarak YST:MD oranı (1:3) olan POS4 numaralı örneğin üretiminde de mikroenkapsülasyon veriminin düşük olduğu görülmektedir (Tablo 3.8). Her iki yağ örneği içinde kaplama maddesi olarak YST:MD oranı (1:0), (3:1) ve (1:1) oranlarında olan örnekler için mikroenkapsülasyon verimi değerinin yüksek olduğu görülmektedir. YST:MD oranı (1:3) ve (0:1) olan örneklere göre mikroenkapsülasyon verimi istatistiksel açıdan farklılık olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Ayrıca her iki yağ örneğinde de maltodekstrin oranı arttıkça mikroenkapsülasyon veriminin azaldığı görülmektedir (Tablo 3.8 ve Tablo 3.9). Kaushik et al. (2016) yaptıkları çalışmada püskürtmeli kurutucu ile yaptıkları kurutma işleminde mikroenkapsülasyon verimi değerlerini %35,46 ile %52,60 arasında olduğunu bildirmişlerdir [75].

3.5.3. Renk Analizi

Kurutma işlemi sonrasında elde edilen mikroenkapsüle toz ürünlerin renk değerleri L^* , a^* ve b^* değerlerine bakılarak belirlenmiştir.

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin L^* değeri 92,99 ile 93,97, a^* değeri -1,68 ile -0,48, b^* değeri 3,83 ile 10,84 arasında değişmektedir (Tablo 3.10). Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin L^* değeri 93,61 ile 94,81, a^* değeri -1,64 ile -0,53, b^* değeri 3,85 ile 13,56 arasında değişmektedir (Tablo 3.11).

Tablo 3.10. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin renk değerleri

Örnek No	L*	a*	b*
POL1	93,48±1,28 ^a	-1,68±0,05 ^a	10,84±0,40 ^e
POL2	93,46±0,66 ^a	-1,4±0,04 ^b	9,71±0,31 ^d
POL3	93,54±0,57 ^a	-1,26±0,04 ^c	8,48±0,12 ^c
POL4	93,97±0,37 ^a	-0,90±0,04 ^d	6,48±0,31 ^b
POL5	92,99±0,31 ^a	-0,48±0,03 ^e	3,83±0,11 ^a

^{a, b, c, d, e} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). POL: palm olein yağı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POL1 (1:0), POL2 (3:1), POL3 (1:1), POL4 (1:3), POL5 (0:1).

Tablo 3.11. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin renk değerleri

Örnek No	L*	a*	b*
POS1	93,61±0,14 ^a	-1,64±0,04 ^a	13,56±0,44 ^e
POS2	93,72±0,62 ^a	-1,35±0,03 ^b	10,71±0,14 ^d
POS3	94,51±0,47 ^{bc}	-1,32±0,04 ^b	8,22±0,39 ^c
POS4	94,13±0,38 ^{ab}	-0,95±0,01 ^c	7,19±0,14 ^b
POS5	94,81±0,44 ^c	-0,53±0,02 ^d	3,85±0,13 ^a

^{a, b, c, d, e} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POS1 (1:0), POS2 (3:1), POS3 (1:1), POS4 (1:3), POS5 (0:1).

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin L* değerlerine istatistiksel açıdan fark yokken (p>0,05), a* ve b* değerleri her örnek için birbirinden farklıdır (p<0,05). Yağsız süt tozu miktarı arttıkça b* değeri artarak sarı renge yaklaştığı görülmektedir. Bu rengin etkisi yağsız süt tozunun kendi renginden gelmektedir (Tablo 3.10). Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin L* değerleri farklıdır. Maltodekstrin miktarı arttıkça L* değerinin arttığı, Yağsız süt tozu miktarı arttıkça da b* değerinin arttığı görülmektedir (Tablo 3.11). Her iki yağ örneğinde b* değeri Yağsız süt tozu miktarına bağlı olarak sarı renk değeri arttığı görülmektedir.

3.5.4. Peroksit Değeri

Yağların raf ömrünü belirleyen en önemli etkenlerin başında peroksit değeri gelmektedir. Yağ içeriği yüksek olan mikroenkapsüle toz ürünlerde oksidasyon derecesi peroksit analiziyle kolay bir şekilde bulunabilmektedir.

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin peroksit değerleri 0,41 ile 0,51 (meq O₂/kg) arasında değişmektedir (Tablo 3.12). Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin peroksit değerleri 0,61 ile 0,71 (meq O₂/kg) arasında değişmektedir (Tablo 3.13).

Tablo 3.12. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin peroksit değerleri

Örnek No	Peroksit Değeri (meq O ₂ /kg)
POL1	0,41±0,04 ^a
POL2	0,45±0,02 ^{ab}
POL3	0,42±0,02 ^a
POL4	0,49±0,02 ^{bc}
POL5	0,51±0,04 ^c

^{a, b, c} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). POL: palm olein yağı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POL1 (1:0), POL2 (3:1), POL3 (1:1), POL4 (1:3), POL5 (0:1).

Tablo 3.13. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin peroksit değerleri

Örnek No	Peroksit Değeri (meq O ₂ /kg)
POS1	0,61±0,03 ^a
POS2	0,60±0,01 ^a
POS3	0,62±0,05 ^a
POS4	0,67±0,04 ^{ab}
POS5	0,71±0,01 ^b

^{a, b} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POS1 (1:0), POS2 (3:1), POS3 (1:1), POS4 (1:3), POS5 (0:1).

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerde en yüksek peroksit değeri 0,51 (meq O₂/kg) ile POL5 numaralı örnek olmuştur (Tablo 3.12). İstatiksel açıdan diğer örneklerden farklı olduğu görülmektedir (p<0,05). Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerde en yüksek peroksit değeri 0,71 (meq O₂/kg) ile POS5 numaralı örnek olmuştur (Tablo 3.13). İstatiksel açıdan diğer örneklerle fark olduğu görülmektedir (p<0,05).

Her iki yağ örneği karşılaştırıldığında kaplama maddesinde maltodekstrin miktarı arttıkça peroksit değerinin de arttığı görülmektedir. Bu artışın istatiksel açıdan da farklı olduğu görülmektedir (p<0,05). İki yağ örneğinde de en yüksek peroksit değeri kaplama maddesi olarak sadece maltodekstrin kullanılan POL5 ve POS5 numaralı örnekler olmuştur. Protein kaynaklı kaplama materyallerinin, karbonhidrat kaynaklı kaplama materyallerine göre yağları oksidasyona karşı daha iyi koruduğu bilinmektedir. Bunun nedeni proteinlerin emülsiyon oluşturma özelliklerinin iyi olmasıdır. Her iki yağ örneği için de kaplama materyali olarak sadece Yağsız süt tozu ve maltodekstrin kullanılan 2 örnek kıyaslandığında protein kaynaklı yağsız süt tozunun peroksit değerleri daha düşük olurken, karbonhidrat kaynaklı maltodekstrinin peroksit değeri daha yüksek olmuştur. Peroksit değerlerini Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’deki yüzey yağ değerleriyle karşılaştırdığımız da yüzey yağ miktarının artmasıyla peroksit değerinin de arttığı görülmektedir. Bulduğumuz bu sonuca paralel olarak yüzey yağ miktarının oksidasyonu tetiklediğini gösteren çeşitli çalışmalar yer almaktadır [75, 76]. Ancak bu bilgiye karşı yüzey yağ miktarının peroksit ile ilişkili olmadığını söyleyen farklı çalışmalar da yer almaktadır [16, 77].

3.5.5. Nem ve Su Aktivitesi Değerleri

Yağların mikroenkapsülasyon uygulamalarında nem miktarı önemlidir. Yapıda serbest halde bulunan su yağın bozulmasını hızlandıracağı için toz ürünlerin nem değerleri ve su aktivitesi değerleri önem taşımaktadır.

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin nem değerleri %0,38 ile %0,56, su aktivitesi değerleri 0,12 ile 0,14 arasında değişmektedir (Tablo 3.14). Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin nem değerleri %0,50 ile %0,65, su aktivitesi değerleri 0,13 ile 0,17 arasında değişmektedir (Tablo 3.15).

Tablo 3.14. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin nem ve su aktivitesi değerleri

Örnek No	Nem (%)	Su Aktivitesi (A_w)
POL1	0,46±0,12 ^{ab}	0,14±0,00 ^d
POL2	0,45±0,06 ^{ab}	0,12±0,00 ^a
POL3	0,40±0,07 ^{ab}	0,13±0,00 ^b
POL4	0,38±0,07 ^a	0,13±0,00 ^c
POL5	0,56±0,08 ^b	0,13±0,00 ^b

^{a, b, c, d} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir ($p<0,05$). POL: palm olein yağı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POL1 (1:0), POL2 (3:1), POL3 (1:1), POL4 (1:3), POL5 (0:1).

Tablo 3.15. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin nem ve su aktivitesi değerleri

Örnek No	Nem (%)	Su Aktivitesi (A_w)
POS1	0,50±0,13 ^a	0,14±0,01 ^a
POS2	0,50±0,15 ^a	0,13±0,01 ^a
POS3	0,61±0,06 ^a	0,14±0,01 ^{ab}
POS4	0,65±0,11 ^a	0,15±0,01 ^b
POS5	0,50±0,14 ^a	0,17±0,01 ^c

^{a, b, c} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir ($p<0,05$). POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POS1 (1:0), POS2 (3:1), POS3 (1:1), POS4 (1:3), POS5 (0:1).

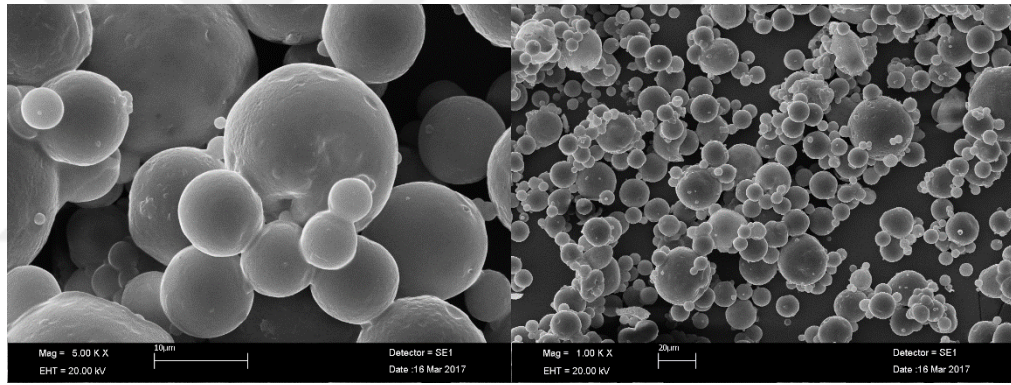
Her iki yağ örneği içinde kurutma işlem sıcaklığı 200°C olduğu için işlem sonrasında elde edilen toz ürünlerin nem değerleri düşük ve benzer değerler çıkmıştır (Tablo3.14, Tablo 3.15). Yağsız süt tozunun suyu bağlama özelliğinden dolayı yağsız süt tozu miktarı arttıkça su aktivitesi değerinin azaldığı görülmektedir. Yağsız süt tozunun yapısındaki proteinlerin suyu bağlayabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır. Bu verilere paralel olarak kaplama materyalinin nem üzerine bir etkisinin olmadığı farklı çalışmalarla raporlanmıştır [69, 78]. Botrel et. al. (2014) yapmış oldukları çalışmada 180°C’ de yaptıkları kurutma işleminde ürettikleri toz ürünlerin nem değerlerinin %1,3 ile %1,7 arasında olduğunu raporlamışlardır [44]. Domain ve Waşak (2008) tarafından yapılan çalışmada mikronekapsüle toz ürünlerin nem değerlerinin %2,5 ile %4,8, su aktivitesi değerlerinin 0,04 ile 0,15 arasında olduğunu raporlamışlardır [72]. Kaushih et. al. (2016) yaptıkları çalışmada nem değerlerinin %3,2 ile %3,70 su aktivitesi değerlerini

0,241 ile 0,272 olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca gıda endüstrisinde toz ürünlerde maksimum nem seviyesinin %3 ile %4 olduğunu söylemişlerdir [75].

3.5.6. Partikül Morfolojisi

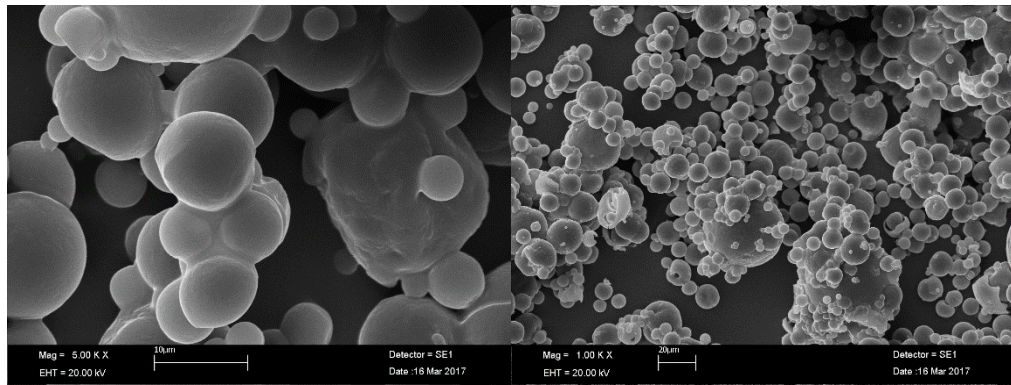
Kurutma işlemi sonrasında mikroenkapsüle toz ürünlerin görüntüleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile alınmıştır. Mikroenkapsüllerin görüntüleri farklı oranlarda büyütülerek alınan görüntülerle partikül yapıları incelenmiştir.

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin 5.000 ile 1.000 kat büyütülmüş görüntüleri Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’ de verilmiştir. Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin 5.000 ile 1.000 kat büyütülmüş görüntüleri Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’ de verilmiştir.



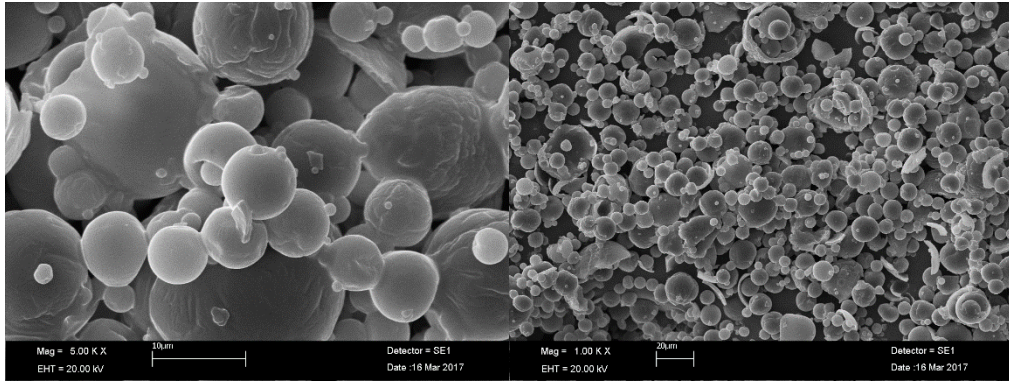
Şekil 3.11. POL1 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POL:palm olein yağı, POL1: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 1:0



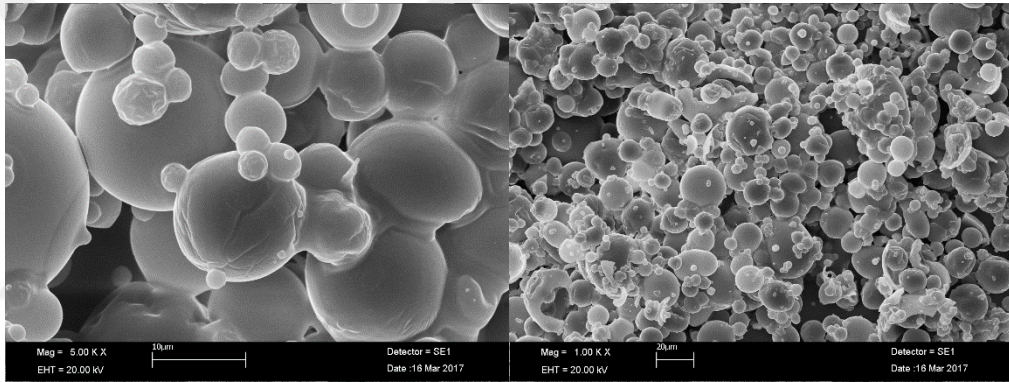
Şekil 3.12. POL2 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POL:palm olein yağı, POL2: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 3:1



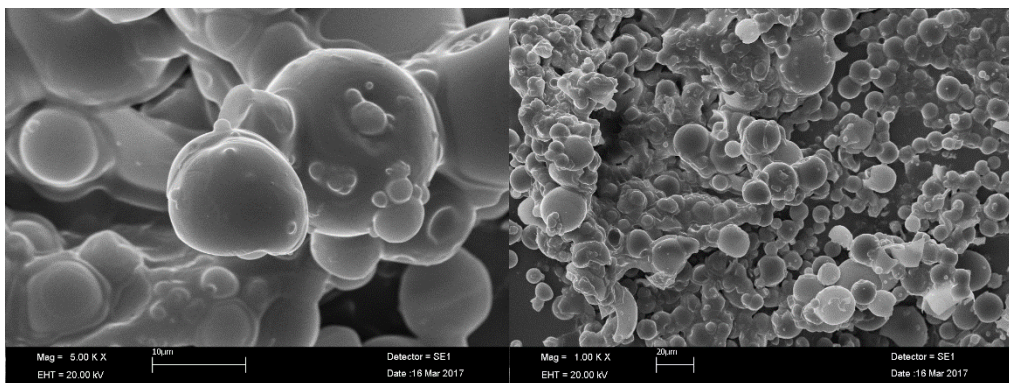
Şekil 3.13. POL3 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POL:palm olein yağı, POL3: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 1:1



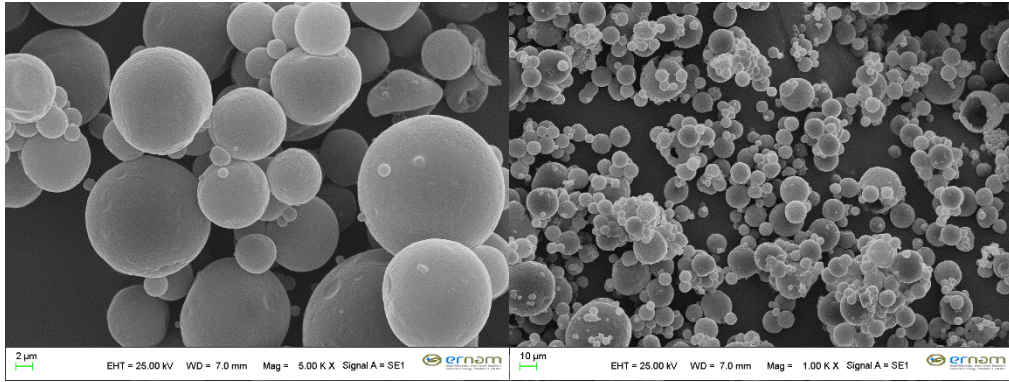
Şekil 3.14. POL4 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POL:palm olein yağı, POL4: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 1:3



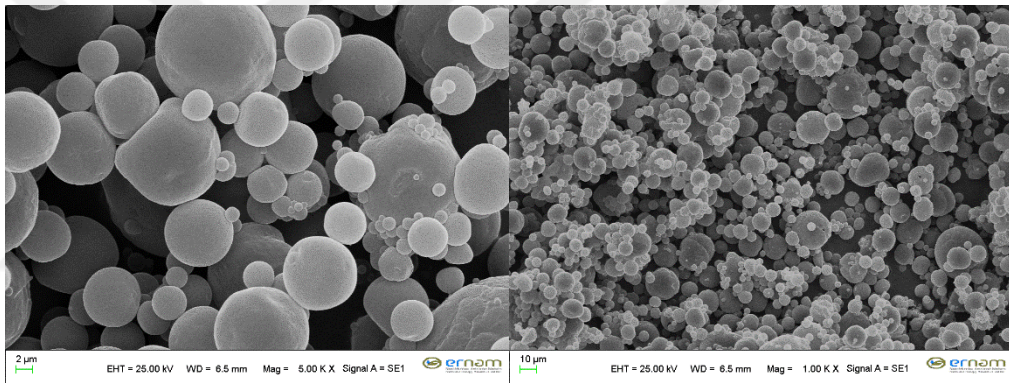
Şekil 3.15. POL5 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POL:palm olein yağı, POS1: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 0:1



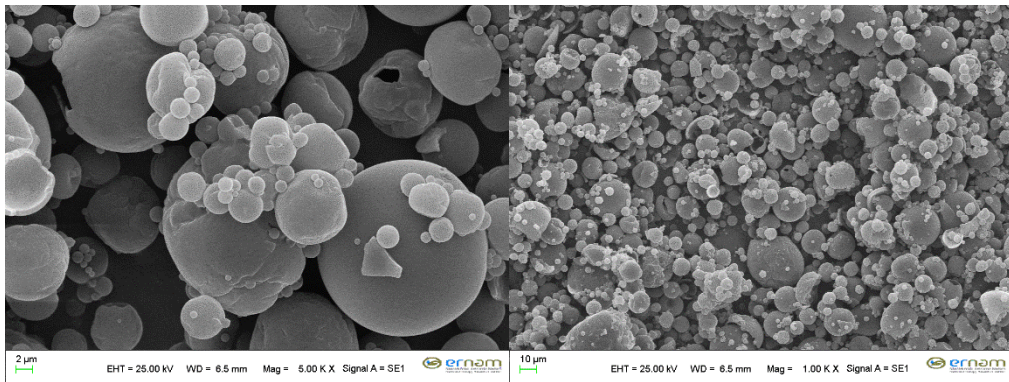
Şekil 3.16. POS1 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, POS1: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 1:0



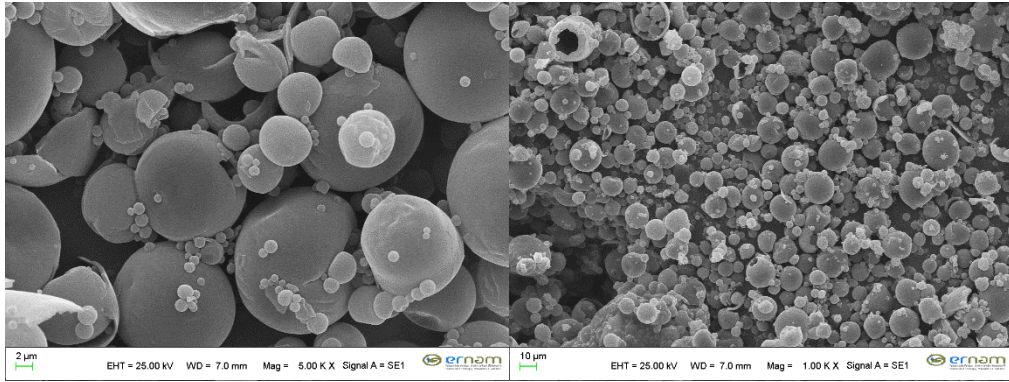
Şekil 3.17. POS2 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, POS2: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 3:1



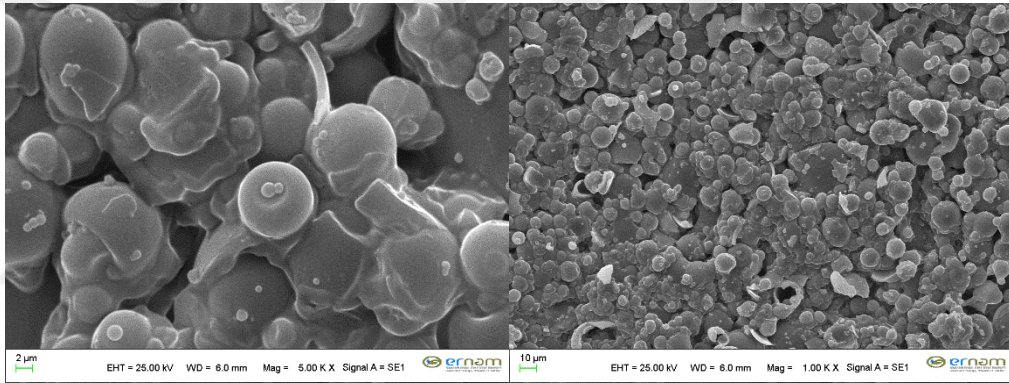
Şekil 3.18. POS3 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, POS3: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 1:1



Şekil 3.19. POS4 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, POS4: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 1:3



Şekil 3.20. POS5 numaralı örneğin partikül yapısı (5.000 kat ve 1.000 kat büyütme)

POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, POS5: yağsız süt tozu(YST):MD(maltodekstrin) oranı 0:1

Toz ürünlerin partikül yapısı incelendiğinde mikron boyutlarda yapının oluştuğu görülmektedir. Mikroenkapsülasyon olarak adlandırdığımız işlemi gerçekleştirdiğimizin göstergesidir.

Her iki yağ örneği içinde sadece yağsız süt tozu ile kaplanmış POL1 ve POS1 numaralı örneklerde pürüzsüz bir yapı oluşarak kırılma olmadığı görülmektedir (Şekil 3.11, Şekil 3.16). Sadece maltodekstrin kullanılarak üretilmiş POL5 ve POS5 numaralı örneklerde topaklanmalara olarak kapsüllerin birbirine yapıştığı ve maltodekstrin yeterince etkin bir kaplama gerçekleştiremediği görülmektedir (Şekil 3.15, Şekil 3.20).

Görüntüler incelendiğinde maltodekstrin miktarının artmasıyla pürüzsüz yapının kaybolup yapışma, topaklaşma olduğu ve yapının kırıldığı belirgin olarak görülmektedir. Bae ve Lee (2006) yapmış oldukları çalışmada mikroenkapsüle toz ürünlerin SEM görüntülerini incelediklerinde kaplama maddesindeki maltodekstrin miktarı arttıkça yapının sıkılaşıyor ve topaklanmaya başladığını raporlamışlardır. Ayrıca sadece peynir altı suyu tozu izolatu kullanılarak üretilen toz ürünün partikül yapısının pürüzsüz olduğunu belirtmişlerdir [69]. Hogan et. al. (2001) yapmış oldukları çalışmada yüzey yağın topaklaşma ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir [79]. Aghbashl et al. (2013) yapmış oldukları çalışmada balık yağının yağsız süt tozu kullanarak ürettikleri mikroenkapsüle toz ürünlerin partikül yapısı incelendiğinde pürüzsüz bir yapının oluştuğu belirtmişlerdir. Bizim sonuçlarımıza paralellik göstermektedir [36]. Sheu ve Rosenberg (1998) yapmış oldukları çalışmada peynir altı suyu tozu izolatu ve maltodekstrin kullanarak ürettikleri mikroenkapsüle toz ürünlerin partikül yapısı incelendiğinde maltodekstrin miktarı arttıkça yapının kırıldığını ve topaklaşmanın arttığını bildirmişlerdir [64].

3.5.7. Yığın Yoğunluk, Sıkıştırılmış Yoğunluk, Carr İndeks

Palm olein yağı ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin yığın yoğunluk değerleri 0,26 ile 0,28 (g/cm^3) sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 0,43 ile 0,55 (g/cm^3) carr indeks değerleri 0,36 ile 0,49 arasında değişmektedir (Tablo 3.16). Palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek elde edilen yağ ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin yığın yoğunluk değerleri 0,29 ile 0,31 (g/cm^3), sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 0,45 ile 0,51 (g/cm^3), carr indeks değerleri 0,35 ile 0,42 arasında değişmektedir (Tablo 3.17).

Tablo 3.16. POL ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin yığın yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, carr indeks değerleri

Örnek No	Yığın Yoğunluk (g/cm ³)	Sıkıştırılmış Yoğunluk (g/cm ³)	Carr İndeks
POL1	0,28±0,01 ^a	0,55±0,04 ^b	0,49±0,04 ^c
POL2	0,26±0,00 ^a	0,47±0,01 ^a	0,44±0,01 ^b
POL3	0,26±0,02 ^a	0,45±0,00 ^a	0,41±0,03 ^{ab}
POL4	0,27±0,00 ^a	0,43±0,01 ^a	0,38±0,01 ^a
POL5	0,28±0,00 ^a	0,44±0,01 ^a	0,36±0,03 ^a

^{a, b, c} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). POL: palm olein yağı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POL1 (1:0), POL2 (3:1), POL3 (1:1), POL4 (1:3), POL5 (0:1).

Tablo 3.17. POS ile üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin yığın yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, carr indeks değerleri

Örnek No	Yığın Yoğunluk (g/cm ³)	Sıkıştırılmış Yoğunluk (g/cm ³)	Carr İndeks
POS1	0,31±0,01 ^a	0,51±0,026 ^b	0,40±0,02 ^{ab}
POS2	0,29±0,01 ^a	0,45±0,00 ^a	0,35±0,02 ^a
POS3	0,28±0,01 ^a	0,49±0,04 ^{ab}	0,42±0,04 ^b
POS4	0,30±0,03 ^a	0,49±0,02 ^{ab}	0,38±0,04 ^{ab}
POS5	0,30±0,00 ^a	0,48±0,01 ^{ab}	0,36±0,01 ^{ab}

^{a, b} aynı sütunda yer alan farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p<0,05). POS: palm olein yağına %10 oranında palm stearin eklenmiş yağ karışımı, yağsız süt tozu(YST):(MD)maltodekstrin oranları: POS1 (1:0), POS2 (3:1), POS3 (1:1), POS4 (1:3), POS5 (0:1).

Her iki yağ örneği içinde yığın yoğunluk değerleri birbirine yakın olduğu görülmektedir (Tablo 3.16, Tablo 3.17). Bu değerlerde istatistiksel açıdan fark yoktur (p>0,05).

Sıkıştırılmış yoğunluk değerinde ise her iki örnek için en yüksek değer kaplama maddesi olarak yağsız süt tozu kullanılan POL1 ve POS1 numaralı örnek olduğu görülmektedir (Tablo 3.16, Tablo 3.17). Diğer örneklere göre istatistiksel açıdan farklılık vardır (p<0,05). Carr indeks değerinde ise yağsız süt tozu miktarı arttıkça değerlerin arttığı görülmektedir.

Bae ve Lee (2006) yapmış oldukları çalışmada peynir altı suyu tozu izolatu ve maltodekstrin karışımlarıyla üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin yığın yoğunluk değerlerinin 0,25 ile 0,28 (g/cm³) arasında olduğunu raporlamışlardır [69]. Domain ve Wşak (2008) yapmış oldukları çalışmada toz ürünlerin yığın yoğunluk değerlerinin 0,430 ile 0,489 (g/cm³), sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin 0,695 ile 0,765 (g/cm³) arasında olduğunu rapor etmişlerdir. Toz ürünlerin yoğunlukları ise 1,184 ile 1,288 (g/cm³) arasında değiştiğini belirtmişlerdir [72]. Turchiuli et. al. (2005) yapmış oldukları çalışmada püskürtmeli kurutucu ile ürettikleri mikroenkapsüle toz ürünün yığın yoğunluğu 0,33 (g/cm³), sıkıştırılmış yoğunluğu 0,59 (g/cm³), carr indeksi 0,44 olduğunu raporlamıştır [46]. Aghbashlo et. al. (2012) yapmış oldukları çalışmada ürettikleri mikroenkapsüle toz balık yağı örneklerinin yığın yoğunluk değerlerinin 0,235 ile 0,259 (g/cm³) olduğunu rapor etmişlerdir [80].

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada palm yağının fraksiyonu olan palm olein yağı ve palm olein yağına %10 oranında palm stearin yağı eklenerek farklı bir yağ elde edildi. Bu iki yağın mikroenkapsülasyon işlemi yapılmıştır. Kaplama maddesi olarak maltodekstrin ve yağsız süt tozu kullanılmıştır ve kaplama maddeleri kendi içinde kombine edilerek üretilen mikroenkapsüle toz ürünlerin kaplama materyallerinin birbirine olan etkisi incelenmiştir.

- Her iki yağ örneği için kaplama maddesi olarak sadece yağsız süt tozu seçilen toz ürünlerin mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri %84,32 ve %84,28 olmuştur. Yağsız süt tozunun kullanılması sonucunda yağ asitleri içeriği değişmesine rağmen mikroenkapsülasyon etkinliğinin değişmediği görülmektedir.
- Her iki yağ örneği için kaplama maddesi olarak sadece maltodekstrin seçilen toz ürünlerin mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri %71,54 ve %69,28 olmuştur. Yağ asidi içeriğinin değişmesi maltodekstrin kullanılarak kaplanan üründe etkinliğin azaldığı görülmektedir.
- Her iki yağ örneği için kaplama maddesi olarak sadece yağsız süt tozu kullanılarak yapılan üretimde mikroenkapsülasyon verimi değerleri %31,79 ve %29,60 olmuştur.
- Her iki yağ örneği için kaplama maddesi olarak sadece maltodekstrin kullanılarak yapılan üretimde mikroenkapsülasyon verimi değerleri %15,75 ve %14,50 olmuştur.

- Her iki yağ örneği için kaplama maddesi olarak sadece yağsız süt tozu kullanılarak üretilen toz ürünlerin peroksit değerleri 0,41 ile 0,61 (meq O₂/kg) olmuştur. Arada oluşan bu fark emülsiyon besleme sıcaklığından ve karışımın elde edilebilmesi için yağın katılmasından dolayı oluşmaktadır.
- Her iki yağ örneği için kaplama maddesi olarak sadece maltodekstrin kullanılarak üretilen toz ürünlerin peroksit değerleri 0,51 ile 0,71 (meq O₂/kg) olmuştur.
- Sadece yağsız süt tozu ve maltodekstrin kullanılarak üretilen ürünlerde peroksit değerleri istatistiksel açıdan (p<0,05) belirgin bir şekilde farklıdır. Yağsız süt tozu maltodekstrine kıyasla mikroenkapsülasyon verimi ve mikroenkapsülasyon etkinliği bakımından daha etkin bir kaplama sağlamıştır.
- Kaplama maddesi olarak yağsız süt tozunun kullanılması ve karışımında maltodekstrin oranı artmasıyla kaplama etkisi azalmıştır. Kaplama maddesi olarak yağsız süt tozu oranının artmasıyla mikroenkapsülasyon etkinliği ve mikroenkapsülasyon verimi değerleri artmıştır.
- Her iki yağ örneği içinde kaplama maddesi olarak sadece yağsız süt tozu kullanılarak üretilen toz ürünlerde partikül yapısı incelendiğinde, yapının mikron boyutlarda ve pürüzsüz olduğu görülmektedir.

4.2. Öneriler

- Farklı homojenizasyon yöntemleri kullanılarak işlem etkinliği belirlenebilir.
- Yağsız süt tozu kullanılarak farklı kuru madde oranlarında ve farklı kurutma sıcaklıkları uygulanarak kaplama işlem ve emülsiyon değerleri optimizasyonu yapılabilir.
- Yağsız süt tozu ile yaygın kullanılan diğer kaplama materyallerinin etkinlikleri kıyaslanabilir.
- Yağsız süt tozu kullanılarak aroma bileşenleri mikroenkapsüle edilerek etkisi incelenebilir.
- Bisküvi, kek gibi ürünlerin üretiminde mikroenkapsüle yağlar kullanılabilir ve mikroenkapsüle yağların ürün üzerine etkisi incelenebilir.
- Kullanılan yağsız süt tozu yerine yağsız süt kullanılarak ikisi arasında bir farkın olup olmadığına bakılabilir.

KAYNAKLAR

1. Köse, H., (2007). Palm Yağının Etlik Piliç Yemlerinde Kullanımının Performans ve Karkas Parametrelerine Etkileri. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 38 s.
2. Tan, K.T., Lee, K.T., Mohamed, A.R., Bhatia, S., (2009). Palm oil: Addressing issues and towards sustainable development, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **13(2)**, 420–427.
3. Karabıyık, H., (2014). Kaşar Peynir Üretiminde Bitkisel Yağların (Palm Yağı) Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 53 s.
4. Özvural, E.B., (2003). İnteresterifiye Yağ Karışımlarının Düşük yağlı Sosis Üretiminde Kullanımının Araştırılması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 69 s.
5. Barriuso, B., Astiasarán, I., Ansorena, D., (2013). A review of analytical methods measuring lipid oxidation status in foods: A challenging task, **European Food Research and Technology**, **236(1)**, 1–15.
6. Kaçar, D., (2012). Kimyasal İnteresterifikasyon Yöntemi İle Zeytinyağı Bazlı Yeni Bir Yağ Ürününün Geliştirilmesi Ve Kek- Bisküvi Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması Development. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 71 s.
7. Mba, O.I., Dumont, M.-J., Ngadi, M., (2015). Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry – A review, **Food Bioscience**, **10**, 26–41.
8. Bitkisel Yağ Sanayiciler Derneği, Palm yağının bazı karakteristik özellikleri, palm yağının yağ asidi ve trigliserid kompozisyonları. Son erişim tarihi: 01.07.2017 http://www.bysd.org.tr/uploads/dosyalar/bitkisel_yaglar.pdf
9. Khatun, R., Reza, M.I.H., Moniruzzaman, M., Yaakob, Z., (2017). Sustainable oil palm industry: The possibilities, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **76**, 608–619.

10. Frascareli, E.C., Silva, V.M., Tonon, R. V., Hubinger, M.D., (2012). Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying, **Food and Bioproducts Processing**, **90(3)**, 413–424.
11. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R., (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview, **Food Research International**, **40(9)**, 1107–1121.
12. Paulo, F., Santos, L., (2016). Design of experiments for microencapsulation applications: A review, In **Materials Science and Engineering C**.
13. Pauletti, M., Amestoy, P., (1999). Butter microencapsulation as affected by composition of wall material and fat, **Journal of Food Science**, **64(2)**, 279–282.
14. Tontul, I., (2011). Keten Tohumu Yağının Püskürterek Kurutmaya Mikroenkapsülasyonu Üzerine Farklı Taşıyıcı Madde Ve Emülsiyon Uygulamalarının Etkilerinin Araştırılması. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya, 85 s.
15. Güngör, Ö., (2013). Zeytinyağının Püskürtmeli Kurutma Yöntemi İle Mikroenkapsülasyonunun D-Optimal Dizayn İle Optimizasyonu. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 147 s.
16. Tatar, F., (2012). Balık (*Engraulis encrasicolus L.*) Yağının Mikroenkapsülasyonunda Hemiselülozun Kaplayıcı Madde Olarak Kullanımı. On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 120 s.
17. Özgün, N., (2015). Nane Uçucu Yağının Siklodekstrinler İle Mikroenkapsülasyonu. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 57 s.
18. İşleyen, M.F., (2010). Mikroenkapsülasyon Tekniğinin *Lactobacillus Acidophilus* KPb4b ve *Lactobacillus Rhamnosus* KPb7 Probiyotik Kültürlerinin Stabilitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bolu, 93 s.

19. Koç, M., Sakin, M., Ertekin, F.K., (2010). Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **16(1)**, 77–86.
20. Şanlıdere Dalaoğlu, H., Öner, Z., (2010). Peyniraltı Suyu Proteinlerinin Mikroenkapsülasyon Teknolojisinde Kaplama Materyali Olarak Kullanım Olanakları, **Akademik Gıda**, **8(3)**, 38–42.
21. Açu, M., Yerlikaya, O., Kınık, Ö., (2014). Mikroenkapsülasyon ve Süt Teknolojisindeki Yeri, **Akademik Gıda**, **12(1)**, 97–107.
22. Turasan, H., (2014). Encapsulation Of Rosemary Essential Oil. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 108 s.
23. Anwar, S.H., Kunz, B., (2011). The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: Comparison of spray granulation, spray drying, and freeze drying, **Journal of Food Engineering**, **105(2)**, 367–378.
24. Calvo, P., Castano, A.L., Lozano, M., Gonzalez-Gomez, D., (2012). Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components, **Food Research International**, **45(1)**, 256–261.
25. Ifeduba, E.A., Akoh, C.C., (2016). Microencapsulation of stearidonic acid soybean oil in Maillard reaction-modified complex coacervates, **Food Chemistry**, **199**, 524–532.
26. Yazıcıoğlu, B., (2013). Encapsulation Of Wheat Germ Oil. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 82 s.
27. Desai, K.G.H., Park, H.J., (2005). Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients **Drying Technology**, (Vol. 23).
28. Gibbs, F.B., Kermasha, S., Alli, I., Mulligan, C.N., (1999). Encapsulation in the food industry: a review, **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, **50(3)**, 213–224.

29. Gouin, S., (2004). Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends, **Trends in Food Science and Technology**, **15(7-8)**, 330–347.
30. Gökmen, S., Palamutoğlu, R., Sariçoban, C., (2012). Gıda Endüstrisinde Enkapsülasyon Uygulamaları Süleyman, **Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi**, **7(1)**, 36–50.
31. Dinçel, E., (2015). Kakao Yağı Enkapsülasyonunun Çikolatada Yağ Kusmasına Etkisinin İncelenmesi. İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, İstanbul, 85 s.
32. Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S., (2006). Flavour encapsulation and controlled release - A review, **International Journal of Food Science and Technology**, **41(1)**, 1–21.
33. Koç, M., (2009). Kurutma Yöntemi İle Optimum Kurutma Koşullarının Belirlenmesi Ve Mikroenkapsülasyonu. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 229 s.
34. Carneiro, H.C.F., Tonon, R. V., Grosso, C.R.F., Hubinger, M.D., (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials, **Journal of Food Engineering**, **115(4)**, 443–451.
35. Binsi, P.K., Nayak, N., Sarkar, P.C., Jeyakumari, A., Muhamed Ashraf, P., Ninan, G., Ravishankar, C.N., (2017). Structural and oxidative stabilization of spray dried fish oil microencapsulates with gum arabic and sage polyphenols: Characterization and release kinetics, **Food Chemistry**, **219**, 158–168.
36. Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A., Rafiee, S., (2013). Influence of Wall Material and Inlet Drying Air Temperature on the Microencapsulation of Fish Oil by Spray Drying, **Food and Bioprocess Technology**, **6(6)**, 1561–1569.
37. Bruschi, M.L., Cardoso, M.L.C., Lucchesi, M.B., Gremião, M.P.D., (2003). Gelatin microparticles containing propolis obtained by spray-drying technique: Preparation and characterization, **International Journal of Pharmaceutics**, **264(1-2)**, 45–55.

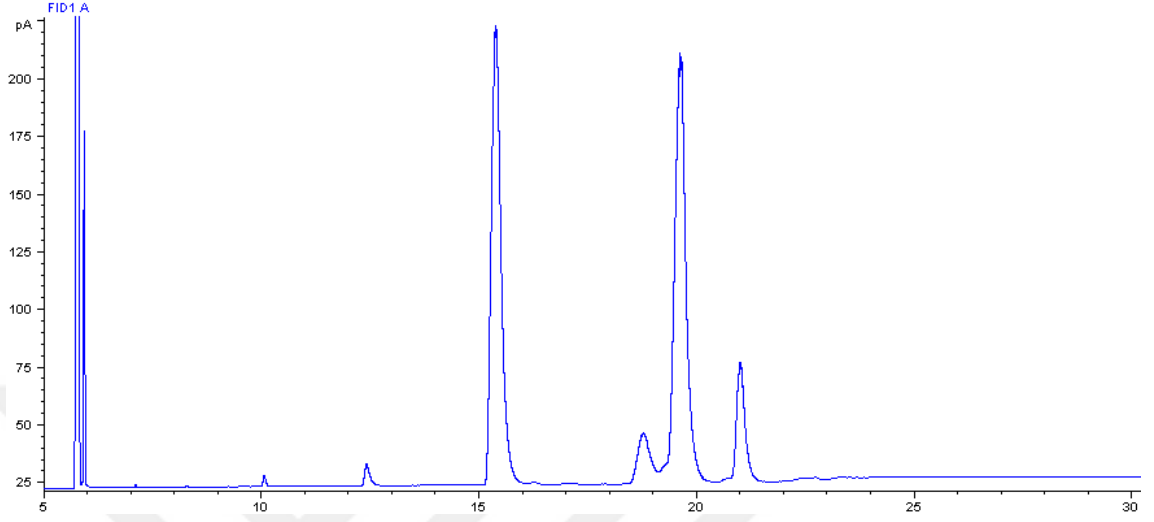
38. Ee, S.C., Bakar, J., Kharidah, M., Dzulkifly, M.H., Noranizan, A., (2014). Physico-chemical properties of spray-dried red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder during storage, **International Food Research Journal**, **21(3)**, 1177–1182.
39. Drusch, S., (2007). Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying, **Food Hydrocolloids**, **21(7)**, 1223–1228.
40. Masters, K., (1968). Spray Drying, **Industrial and Engineering Chemistry**, **60(10)**, 53–63.
41. Kandansamy, K., Somasundaram, P.D., (2012). Microencapsulation of colors by spray drying-A review, **International Journal of Food Engineering**, **8(2)**.
42. Duman, Ş., (2009). Püskürtmeli Kurutma Tekniği İle ZnO-PVA Kompozit Tozlarının Hazırlanması Ve Bu Tozların Yüksek Sıcaklık Davranışlarının Etüdü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 107 s.
43. İçyer, C., (2012). Nar Kabuğu Fenolik Bileşiklerinin Su İle Ekstraksiyonu ve Ekstraktların Mikroenkapsülasyonu. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 89 s.
44. Botrel, D.A., de Barros Fernandes, R.V., Borges, S.V., Yoshida, M.I., (2014). Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil, **Food Research International**, **62**, 344–352.
45. Wandrey, C., Bartkowiak, A., Harding, S.E., (2010). Materials for encapsulation **Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing**.
46. Turchiuli, C., Fuchs, M., Bohin, M., Cuvelier, M.E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M.N., Dumoulin, E., (2005). Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration, **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, **6(1)**, 29–35.

47. Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F., Coppola, R., (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology, **Current Opinion in Biotechnology**, **23(2)**, 182–186.
48. Chronakis, I.S., (1998). On the Molecular Characteristics, Compositional Properties, and Structural-Functional Mechanisms of Maltodextrins: A Review, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, **38(7)**, 599–637.
49. Apintanapong, M., Noomhorm, A., (2003). The use of spray drying to microencapsulate 2-acetyl-1-pyrroline, a major flavour component of aromatic rice, **International Journal of Food Science and Technology**, **38(2)**, 95–102.
50. Yoshii, H., Soottitantawat, A., Liu, X.D., Atarashi, T., Furuta, T., Aishima, S., ... Linko, P., (2001). Flavor release from spray-dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity, **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, **2(1)**, 55–61.
51. Vaidya, S., Bhosale, R., Singhal, R.S., (2006). Microencapsulation of Cinnamon Oleoresin by Spray Drying Using Different Wall Materials, **Drying Technology**, **24(8)**, 983–992.
52. Hernández Sánchez, M.R., Cuvelier, M.-E., Turchiuli, C., (2016). Effect of α -tocopherol on oxidative stability of oil during spray drying and storage of dried emulsions, **Food Research International**, **88**, 32–41.
53. Drusch, S., Serfert, Y., Schwarz, K., (2006). Microencapsulation of fish oil with n-octenylsuccinate-derivatised starch: Flow properties and oxidative stability, **European Journal of Lipid Science and Technology**, **108(6)**, 501–512.
54. İlyasoğlu, H., (2011). Sodyum Kazeinat Ve Gam Arabik Kompleksi İle Nanoenkapsüle Edilmesi Epa/Dha Preparatının Meyve Suyu Zenginleştirilmesinde Kullanılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 98 s.
55. Badee, A.Z.M., E. Abd El-Kader, A., M. Aly, H., (2012). Microencapsulation Of Peppermint Oil By Spray Drying, **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, **6(12)**, 499–504.

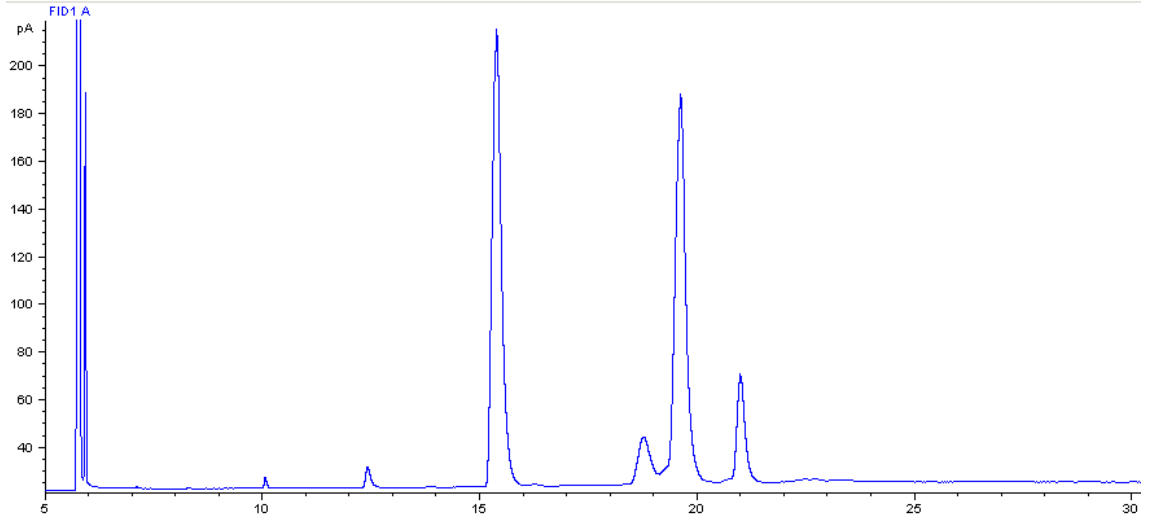
56. Keogh, M.K., O’Kennedy, B.T., (1999). Milk fat microencapsulation using whey proteins, **International Dairy Journal**, **9(9)**, 657–663.
57. Rosenberg, M., Sheu, T.Y., (1996). Microencapsulation of volatiles by spray-drying in whey protein-based wall systems, **International Dairy Journal**, **6(3)**, 273–284.
58. Keogh, M.K., O’Kennedy, B.T., Kelly, J., Auty, M.A., Kelly, P.M., Fureby, A., Haahr, A.-M., (2001). Stability to Oxidation of Spray-Dried Fish Oil Powder Microencapsulated Using Milk Ingredients, **Journal of Food Science**, **66(2)**, 217–224.
59. Yetişmeyen, A., Bektaş, V., Demir, S., (1983). İstant Süt Tozunun Elde Edilme Tekniği ve Özellikleri, **Gıda**, **8(4)**, 177–180.
60. Açu, M., (2014). Fonksiyonel Özellikleri Geliştirilmiş Dondurma Üretimi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 124 s.
61. Yaygın, H., (1980). Sterilize Sütte Süttozu Aranması, **Gıda**, **1(2)**, 3–5.
62. Shamaei, S., Seiedlou, S.S., Aghbashlo, M., Tsotsas, E., Kharaghani, A., (2017). Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules, **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, **39**, 101–112.
63. Türk Gıda Kodeksi, (2005). Koyulaştırılmış Süt ve Süt Tozu Tebliği, **Resmi gazete**, Son erişim tarihi: 05.07.2017.
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/04/20050412-10.htm>
64. Sheu, T.-Y., Rosenberg, M., (1998). Microstructure of Microcapsules Consisting of Whey Proteins and Carbohydrates, **Journal of Food Science**, **63(3)**, 491–494.
65. Hogan, S.A., O’riordan, E.D., O’sullivan, M., (2003). Microencapsulation and oxidative stability of spray-dried fish oil emulsions, **Journal of Microencapsulation**, **20(5)**, 675–688.
66. Ahn, J.-H., Kim, Y.-P., Seo, E.-M., Choi, Y.-K., Kim, H.-S., (2008). Antioxidant effect of natural plant extracts on the microencapsulated high oleic sunflower oil, **Journal of Food Engineering**, **84(2)**, 327–334.

67. Legako, J., Dunford, N.T., (2010). Effect of spray nozzle design on fish oil-whey protein microcapsule properties, **Journal of Food Science**, **75(6)**.
68. Tonon, R. V., Grosso, C.R.F., Hubinger, M.D., (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying, **Food Research International**, **44(1)**, 282–289.
69. Bae, E.K., Lee, S.J., (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin, **Journal of Microencapsulation**, **25(8)**, 549–560.
70. Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., Liu, X., (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying, **76**, 664–669.
71. Quispe-Condori, S., Saldana, M.D.A., Temelli, F., (2011). Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying, **LWT - Food Science and Technology**, **44(9)**, 1880–1887.
72. Domian, E., Waşak, I., (2008). Microencapsulation of rapeseed oil based on the spray drying method, **Food Engineering**, **58(4)**, 477–483.
73. Velasco, J., Marmesat, S., Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G., (2006). Heterogeneous aspects of lipid oxidation in dried microencapsulated oils, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **54(5)**, 1722–1729.
74. Hogan, S.A., McNamee, B.F., O’Riordan, E.D., O’Sullivan, M., (2001). Microencapsulating Properties of Sodium Caseinate, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **49(4)**, 1934–1938.
75. Kaushik, P., Dowling, K., McKnight, S., Barrow, C.J., Adhikari, B., (2016). Microencapsulation of flaxseed oil in flaxseed protein and flaxseed gum complex coacervates, **Food Research International**, **86**, 1–8.
76. Hardas, N., Danviriyakul, S., Foley, J.L., Nawar, W.W., Chinachoti, P., (2002). Effect of Relative Humidity on the Oxidative and Physical Stability of Encapsulated Milk Fat, **Journal of the American Oil Chemists’ Society**, **79(2)**, 151–158.

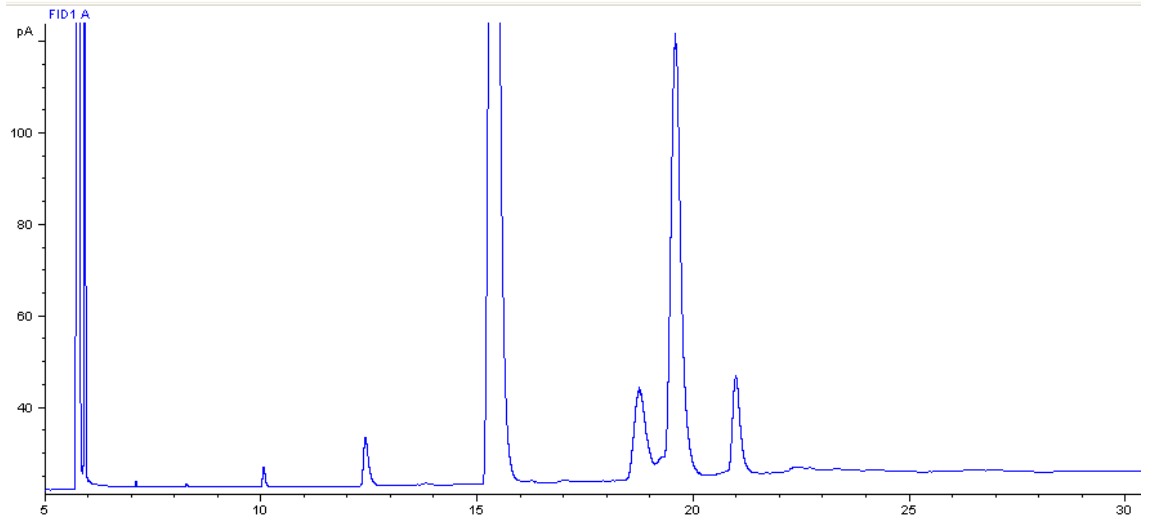
77. Buffo, R.A., Reineccius, G.A., (2002). Modeling the rheology of concentrated beverage emulsions, **Journal of Food Engineering**, **51(4)**, 267–272.
78. Partanen, R., Hakala, P., Sjövali, O., Kallio, H., Forsell, P., (2005). Effect of Relative Humidity on the Oxidative Stability of Microencapsulated, **Journal of Food Science**, **70(1)**, 37–43.
79. Hogan, S.A., McNamee, B.F., O’Riordan, E.D., O’Sullivan, M., (2001). Microencapsulating Properties of Whey Protein Concentrate 75, **Journal of Food Science**, **66(5)**, 675–680.
80. Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A., Rafiee, S., (2012). The correlation of wall material composition with flow characteristics and encapsulation behavior of fish oil emulsion, In **Food Research International**, **49**, pp. 379–388).

EKLER

%100 POL yağının yağ asitleri kromotogramı



%90POL-%10PS yağının yağ asitleri kromotogramı



%100PS yağının yağ asitleri kromotogramı

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Kutlu ÇEVİK
 Uyruğu: Türkiye Cumhuriyeti (TC)
 Doğum Tarihi ve Yeri: 18.07.1991/İZMİR
 Medeni Durumu: Bekâr
 Tel: +90 534 829 91 35
 e-mail: kutlucevik@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2014-Devam ediyor
Lisans	ERÜ Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü	2014
Lise	Semih Tınay Anadolu Lisesi	2009

Yabancı Dil

İngilizce

İŞ DENEYİMİ

Kurum	Yıl	Görevi
Hak Değirmencilik Ltd. Şti.	Kasım 2014-Ocak 2015	Sorumlu Yönetici
Erciyes Yağ A.Ş.	Mart-Ekim 2014	Kalite Kontrol Sorumlusu

PROJE VE BURSİYER

Palm Yağı Ve Fraksiyonlarının Püskürtmeli Kurutu İle Mikroenkapsülasyonu, TÜBİTAK Projesi, 1160100, Bursiyer, 2017.

TÜBİTAK, BİDEB 2210-C, Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı, Bursiyer, 2016.

YAYINLAR

1. Yalçın, H., Çevik., K., “Bitkisel Yağların Mikroenkapsülasyonu”, Türkiye 12. Gıda Kongresi, Edirne, TÜRKİYE, 5-7 Ekim 2016, cilt:48, no:1 , ss. 417-417 (Poster bildirisi).
2. Yalçın, H., Çevik, K., “Determination of Rheological Properties of Different Emulsions for Microencapsulation of Palm Oil”, 6th International Congress on Food Technology, Atina, YUNANİSTAN, 18-19 Mart 2016, cilt:1 , no:1 , ss. 89-89 (Poster bildirisi).
3. Çevik, K., Yalçın, H., “Palm Yağının Püskürtmeli Kurutucu ile Mikroenkapsülasyonu”, 3. Bitkisel Yağ Kongresi, İzmir, TÜRKİYE, 13-15 Nisan 2017, cilt:1 , no:1 , ss.49-49 (Poster bildirisi).