

**T.C.**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RUŞEYM YAĞININ TEREYAĞI YAYIKALTI SUYU BİLEŞENLERİ İLE  
ENKAPSÜLASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kübra ŞENGÜL ASLAN**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İhsan KARABULUT**

**TEMMUZ 2021**

**T.C.**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RUŞEYM YAĞININ TEREYAĞI YAYIKALTI SUYU BİLEŞENLERİ İLE  
ENKAPSÜLASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kübra ŞENGÜL ASLAN**  
**(36183220004)**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İhsan KARABULUT**

**TEMMUZ 2021**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli görüşlerini benimle paylaşan, tecrübeleriyle beni yönlendiren ve çalışmalarımın her aşamasında verdiği emek ve gösterdiği hoşgörü ile bana destek olan, fiili olarak katkı sağlayan çok kıymetli danışmanım Sayın Prof. Dr. İhsan KARABULUT'a;

Çalışmanın laboratuvar aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tuğçe BİLENLER KOÇ'a;

İlgi, fikir ve yardımlarıyla her konuda desteğini hissettiğim Sayın Doç. Dr. Sibel ULUTA'ya;

Bölümümüz bünyesindeki mevcut imkanlardan faydalanmamı sağlayan İnönü Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine;

Hayatımın her aşamasında attığım adımlarda bana maddi manevi fedakarlıklarla destek olan ve bugünlere gelmemi sağlayan babam Cemal ŞENGÜL'e, annem Rahime ŞENGÜL'e, kardeşlerim Betül ŞENGÜL ve Mehmet ŞENGÜL'e;

Çalışmalarımın her aşamasında maddi manevi desteğini hissettiğim sevgili eşim Muhammed ASLAN'a;

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘‘Ruşeym Yağının Tereyağı Yayıkaltı Suyu Bileşenleri İle Enkapsülasyonu’’ başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Kübra ŞENGÜL ASLAN



## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ONUR SÖZÜ .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER VE UYGULAMALAR .....</b>	<b>6</b>
2.1. Lipit Oksidasyonu .....	6
2.2. Oksidasyon Mekanizması .....	6
2.3. Mikrokapsülasyon Teknolojisi .....	8
2.3.1. Mikrokapsülasyon teknikleri.....	12
2.4. Emülsiyon Hazırlama.....	12
2.5. Kapsülleme Teknikleri.....	13
2.5.1. Dondurarak kurutma .....	13
2.6. Buğday .....	15
2.7. Buğday Tohumu Yağı.....	16
2.8. E Vitamini.....	19
2.9. Fitosteroller .....	19
2.10. Yayıkaltı Suyu .....	21
<b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>25</b>
3.1. Materyal .....	25
3.1.1. Kullanılan kimyasallar ve çözeltiler.....	25
3.2. Metot.....	25
3.2.1. Emülsiyon oluşturma.....	25
3.2.2. Dondurarak kurutma .....	26
3.3. Emülsiyonun Karakterizasyonu .....	27
3.3.1. Viskozite.....	27
3.4. Emülsiyon Damlacık Büyüklüğü (Droplet Size) ve Zeta Potansiyeli .....	27
3.5. Emülsiyon Stabilitesi .....	27
3.6. Mikroenkapsüle WGO'nın Özellikleri .....	27
3.6.1. Mikroenkapsülasyon etkinliği.....	27
3.6.2. Nem içeriği.....	28
3.6.3. Islanabilirlik .....	28
3.6.4. Yiğın yoğunluğu.....	28
3.6.5. Taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleme .....	28
3.7. WGO'nın Yağ Asidi Bileşimi.....	29
3.8. Hızlandırılmış Oksidasyon .....	29
3.8.1. Peroksit sayısı.....	30
3.8.2. p-Anisidin sayısı.....	30
3.9. HPLC Analizleri .....	31

3.9.1. Tokoferoller ve fitosteroller .....	31
3.9.2. $\beta$ -karoten ve lutein.....	32
3.10. İstatistik.....	33
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>34</b>
4.1. Emülsiyon Özellikleri .....	34
4.1.1. Viskozite.....	34
4.2. Emülsiyon Damlacık Büyüklüğü (Droplet Size) ve Zeta ( $\zeta$ ) Potansiyeli .....	34
4.3. Emülsiyon Stabilitesi .....	37
4.4. Enkapsülasyon Etkinliği .....	39
4.5. Enkapsüle Yapının Özellikleri (Nem, Islanabilirlik, Yığın Yoğunluğu).....	42
4.6. Morfoloji (SEM görüntüleme).....	45
4.7. Yağ Asidi Bileşimi.....	49
4.8. Hızlandırılmış Koşullarda Oksidasyon .....	51
4.8.1. Peroksit sayısı.....	51
4.8.2. p-Anisidin sayısı.....	53
4.8.3. Tokoferollerdeki değişim .....	54
4.8.4. Fitosterollerdeki değişim.....	60
4.8.5. $\beta$ -Karoten ve lutein miktarındaki değişim.....	63
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>80</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>81</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 : Ruşeym yağının yağ asidi bileşimi .....	17
Çizelge 2.2 : Yayıkaltı tozunun kimyasal bileşimi .....	22
Çizelge 3.1 : Emülsiyon hazırlamada uygulanan WGO:BM oranları.....	26
Çizelge 3.2 : Kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılan tokoferol ve fitosterol standartlarının konsantrasyonları .....	32
Çizelge 4.1 : Farklı WGO:BM oranlarında hazırlanan emülsiyonların viskoziteleri .....	34
Çizelge 4.2 : WGO: BM oranlarındaki değişimin boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi .....	35
Çizelge 4.3 : Yüksek basınç homojenizatöründen geçiş sayısının boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi .....	36
Çizelge 4.4 : Farklı katı madde miktarının boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi.....	37
Çizelge 4.5 : Enkapsüle buğday ruşeymi yağının bazı özellikleri. ....	44
Çizelge 4.6 : Ruşeym yağının yağ asidi bileşimi. ....	50
Çizelge 4.7 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince peroksit sayısında (meqO <sub>2</sub> /kg yağ) meydana gelen değişimler .....	52
Çizelge 4.8 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince p-anisidin sayısında meydana gelen değişimler. ....	54
Çizelge 4.9 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince $\alpha$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim. ....	56
Çizelge 4.10 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince $\beta$ + $\gamma$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim. ....	57
Çizelge 4.11 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince $\delta$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim. ....	58
Çizelge 4.12 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince toplam tokoferol miktarında meydana gelen değişim. ....	59
Çizelge 4.13 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince bitkisel sterol miktarında meydana gelen değişimler.....	61
Çizelge 4.14 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince $\beta$ -karoten ve lutein miktarında meydana gelen değişimler.....	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 : Mikrokapsülasyonda aktif bileşenler (merkez) ve mikroenkapsülasyon matriksi (kabuk).....	9
Şekil 2.2 : Dondurarak kurutma sistemi .....	14
Şekil 2.3 : Başlıca fitosterollerin kimyasal yapıları .....	21
Şekil 4.1 : WGO: BM oranlarındaki değişimin boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi .....	35
Şekil 4.2 : Yüksek basınç homojenizatöründen geçiş sayısının boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi .....	36
Şekil 4.3 : Farklı katı madde miktarının boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi.....	37
Şekil 4.4 : Emülsiyonların başlangıç ve 40°C’de 60 gün bekletilmeleri sonrasındaki görüntüleri.....	39
Şekil 4.5 : WGO: BM oranlarındaki değişimin enkapsülasyon etkinliğine (%) etkisi. ....	40
Şekil 4.6 : Yüksek basınç homojenizatöründen geçiş sayısının enkapsülasyon etkinliğine (%) etkisi. ....	41
Şekil 4.7 : Farklı katı madde oranının enkapsülasyon etkinliğine (%) etkisi.....	42
Şekil 4.8 : Yaykaltı bileşenlerinin SEM görüntüleri.....	45
Şekil 4.9 : Farklı WGO:BM oranlarında elde edilen mikrokapsüllerin SEM görüntüleri .....	46
Şekil 4.10 : Yüksek basınç homojenizatöründen geçiş sayısının mikrokapsül morfolojisine etkisi .....	48
Şekil 4.11 : Farklı katı madde miktarlarında oluşturulan emülsiyonlardan elde edilen mikrokapsüllerin SEM görüntüleri. ....	49
Şekil 4.12 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince peroksit sayısında (meqO <sub>2</sub> /kg yağ) meydana gelen değişimler .....	53
Şekil 4.13 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince p-anisidin meydana gelen değişimler .....	54
Şekil 4.14 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince $\alpha$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim. ....	57
Şekil 4.15 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince $\beta + \gamma$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim.....	58
Şekil 4.16 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince $\delta$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim .....	59
Şekil 4.17 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince toplam tokoferol miktarında meydana gelen değişim.....	60
Şekil 4.18 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince bitkisel sterol miktarında meydana gelen değişimler.....	62
Şekil 4.19 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince $\beta$ -karoten ve lutein miktarında meydana gelen değişimler .....	64

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>ANOVA</b>	Varyans (Değişkenlik) Analizi
<b>AOCS</b>	American Oil Chemists' Society
<b>BM</b>	Yayıkaltı Bileşenleri (Butter Milk)
<b>EE</b>	Enkapsülasyon Etkinliği
<b>FDA</b>	Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
<b>GC-FID</b>	Gaz Kromatografisi-Alev İyonizasyon Dedektörü
<b>GRAS</b>	Genel Olarak Güvenilir Kabul Edilen
<b>KOH</b>	Potasyum Hidroksit
<b>MFGM</b>	Süt Yağ Globül Zarı
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
<b>WGO</b>	Buğday Ruşeym Yağı
<b>WGI</b>	Mikroenkapsülleme ile Elde Edilen Ruşeym Yağı
<b>PUFA</b>	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
<b>YBH</b>	Yüksek Basınç Homojenizatör
<b>kg</b>	Kilogram
<b>mg</b>	Miligram

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### RUŞEYM YAĞININ TEREYAĞI YAYIKALTI SUYU BİLEŞENLERİ İLE ENKAPSÜLASYONU

Kübra ŞENGÜL ASLAN

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

81+ix sayfa

2021

Danışman: Prof. Dr. İhsan KARABULUT

Bu çalışmada buğday ruşeym yağının (WGO) oleik (%17.88), linoleik (%55.14) ve linolenik (%7.03) asitlerce zengin olması nedeniyle mikrokapsüle edilerek oksidatif stabilitesinin artırılması amaçlanmıştır. Mikrokapsülasyonda kabuk materyal olarak endüstriyel tereyağı üretiminden atık ortaya çıkan ve püskürtülerek kurutulan yayıkaltı suyu (BM) kullanılmıştır. Farklı WGO:BM oranlarının, yüksek basınç homojenizatörden (YBH) geçirme sayısının (1-5) ve emülsiyonda kullanılan toplam katı madde (%10-40) miktarının enkapsülasyon etkinliğine etkileri baz alınmak suretiyle en uygun üretim koşulları saptanmıştır. WGO örnekleri hızlandırılmış oksidasyon koşullarında (60°C, 24 gün) tutulmak suretiyle mikrokapsülasyonun oksidatif stabilite (peroksit, *p*-anisidin sayıları) ve bileşim ( tokoferol, fitosterol ve karotenoitler) üzerine etkileri belirlenmiştir.

Optimum koşullarda (WGO:BM oranı 1:2 ve YBH'den geçirme sayısı: 3 ve toplam katı madde miktarı %40) üretilen mikrokapsüllerin enkapsülasyon etkinliği, zeta potansiyeli ve emülsiyon parçacık büyüklüğü sırasıyla %94.11, -30.3±5.6 mV ve 780 nm olarak belirlendi. Hızlandırılmış oksidasyon koşullarında WGO ve mikrokapsüle WGO'nun 24. gün sonundaki peroksit sayıları sırasıyla 185.36 ve 87.53 meqO<sub>2</sub>/kg iken, *p*-anisidin sayıları sırasıyla 269.03 ve 165.40 olarak belirlendi. Oksidasyon süresince mikrokapsüle WGO'nun tokoferol, fitosterol ve karotenoit miktarlarının genellikle mikrokapsüllenmemiş WGO'nunkinden yüksek olduğu saptandı (*P*<0.05). Elde edilen tüm bulgular mikrokapsülasyon yönteminin WGO'yu dış etkenlerden koruduğunu ve kabuk materyal olarak BM'nin iyi bir alternatif olduğunu gösterdi.

**Anahtar Kelimeler:** Enkapsülasyon, Yayıkaltı suyu, Buğday ruşeym yağı, Dondurarak kurutma

## ABSTRACT

Master Thesis

### ENCAPSULATION OF GERM OIL WITH BUTTERMILK

Kübra ŞENGÜL ASLAN

Inonu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Food Engineering

81+ix pages

2021

Supervisor: Prof. Dr. İhsan KARABULUT

In this study, it was aimed to increase the oxidative stability of wheat germ oil (WGO) by microencapsulation because it is rich in oleic (17.88%), linoleic (55.14%) and linolenic (7.03%) acids. Buttermilk (BM), which is a waste from industrial butter production and dried by spraying, was used as the crust material in microencapsulation. Optimal production conditions were determined based on the effects of different WGO:BM ratios, the number of high pressure homogenization (HPH) passes (1-5) and the total amount of solids (10-40%) used in the emulsion which were reflected encapsulation efficiency (EE). The effects of microencapsulation on oxidative stability (peroxide, p-anisidine numbers) and composition (tocopherol, phytosterol and carotenoids) were determined by keeping WGO samples under accelerated oxidation conditions (60°C, 24 days).

The EE, zeta potential and emulsion particle size of the microcapsules produced under optimum conditions (WGO:BM ratio=1:2, HPH cycle number=3 and total solids ratio=40%) were determined as 94.11%,  $-29.8 \pm 4.25$  mV and 1341 nm, respectively. In WGO composition, linoleic acid that low oxidative stability was found to be major fatty acid (55.14%). In accelerated oxidation conditions, peroxide values of WGO and microencapsulated WGO were determined as 185.36 and 87.53 meqO<sub>2</sub>/kg at the end of the 24th day, while p-anisidine values were as 269.03 and 165.40, respectively. During oxidation, the tocopherol, phytosterol and carotenoid amounts of microencapsulated WGO were generally higher than those of bulk WGO ( $P < 0.05$ ). All the findings showed that the microencapsulation protects WGO from external factors and BM is a good alternative as a wall material.

**Keywords:** Encapsulation, Butter milk, Wheat germ oil, Freeze drying

## 1. GİRİŞ

Yağların ve yağlı yiyeceklerin işlenmesi sırasında gıdanın kalite özelliklerini bozan başlıca bozulma sebeplerinin en önemlilerinden biri lipit oksidasyonudur (Lampi ve diğ, 1997). Lipit oksidasyonu, multidisiplinler tarafından değerlendirilecek farklı sonuçlara sebep olan önemli bir tepki mekanizmasıdır.

Üretim, işleme, depolama prosesleri boyunca gıda sistemleri prooksidan, ısı, lipoksigenazlar ve ışık gibi oksidatif uyarılara maruz kalarak raf ömrü azalır (Repetto ve diğ, 2012). Lipit oksidasyonu, gıdalarda tat ve koku bozulmalarına neden olmakla birlikte oksidasyon sırasında meydana gelen farklı tepkime ürünlerinin insan sağlığı yönünden zararlı maddelerin oluştuğunun ileri sürülmesi (Kayahan, 2014) lipitlerin oksidatif stabiliteilerinin sağlanmasını sağlık ve ekonomik açıdan önemli kılmıştır. İkinci oksidasyon ürünleri aromada değişikliğe sebep olur ve ayrıca çözünürlük, su tutma kapasitesi ve emülsifikasyon kapasitesindeki değişimler, dokusal ve reolojik değişiklikleri meydana getirir. Ayrıca serbest radikaller ve peroksitler, A ve E vitaminlerini bozar (Dubois, 1995). Lipit oksidasyonu ile sırasıyla serbest radikal oluşumu, oksijen hareketliliği ve lipit yapısındaki çift bağın konumunda değişiklikler meydana gelir ve lipit oksidasyonunda oksidasyon süresince alkoller, ketonlar, alkanlar, aldehitler ve eterler gibi birçok oksidasyon ürünü oluşur (Repetto ve diğ, 2012). Lipit oksidasyonunun üç mekanizması vardır. Bunlardan biri olan serbest radikal mekanizması (otooksidasyon), başlatma, yayılma ve sonlandırma olmak üzere üç aşamadan oluşur (Kaur ve diğ, 1999).

Oksidatif dayanımı düşük olan yağların raf ömrünü uzatmanın yolu, yağ dış etkenlerden koruyan mikroenkapsülleme uygulamasıdır. Mikroenkapsülleme, genellikle merkez olarak adlandırılan küçük katı, sıvı veya gaz parçacıklarının küçük kapsüller oluşturmak için kaplama malzemesi olarak başka bir malzeme ile kaplanmasıdır (Augustin ve diğ, 2009).

Gıda endüstrisinde son yıllarda hazır gıdaya olan ilginin çoğalması mikroenkapsülasyon ile ilgili çalışmaları da çoğaltmıştır. Mikroenkapsülasyon tekniği; gıda sektöründe genellikle, sıvı damlacıkların, katı partiküllerin veya gaz bileşenlerin gıda saflığında kabuk materyalleri ile kaplanması (Gharsallaoui ve diğ, 2007), çevre koşullarından kolayca etkilenebilen vitaminler, çoklu doymamış yağ asitleri gibi gıda bileşenlerinin korunmasını

sağlar (Aloğlu, 2010). Mikrokapsülasyonla yağlar oksidatif ve kimyasal bozulmalara karşı korunmakta, hoşa gitmeyen kokular maskelenmekte ve aromalar hapsedilmekte veya gıdaları zenginleştirmek için çoklu doymamış yağ asitleri, toz forma dönüştürülebilmektedir (Gharsallaoui ve diğ., 2007). Mikrokapsülasyon yönteminde kullanılan merkez materyali bir veya birden fazla olabilmektedir (Koç ve diğ., 2015). Mikrokapsülasyon uygulamasında kabuk malzemesi olarak genellikle nişasta, maltodekstrin, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar; jelatin, kazein ve kazeinatlar gibi proteinler ve arap zıncığı gibi gıdalar kabuk materyali olarak kullanılmaktadır (Koç ve diğ., 2010). Uygun kabuk materyallerinin kullanılmasıyla merkez materyal olan yağ, ısı, ışık, nem ve oksijen gibi çevresel etmenlerin yol açtığı bozulmadan korunmaktadır (Shahidi ve diğ., 1993). Mikrokapsülasyon uygulaması günümüzde farmakoloji, kimya, kozmetik, gıda ve boya gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Augustin ve diğ., 2001). Oksidasyona karşı hassas malzemelerin oksidasyonunun mikrokapsülleme uygulaması sayesinde önemli ölçüde geciktirildiği gösterilmiştir (Anandaraman ve diğ., 1986).

Mikrokapsülasyon işlemi, son yıllarda farklı amaçlarla uygulanmakta olup genellikle ısı, ışık ve oksijen etkisinden dolayı kolay bozulabilen yapıların merkezde olmak üzere dış kısmının yenilebilir nitelikte polimerik gıda bileşenlerce küresel tarzda kapsül formuna dönüştürülmesi prosesidir. Sağlanan koruyucu etkiye ilave olarak mikroenkapsüle edilecek materyalin varsa tat ve koku özelliklerindeki olumsuzların maskelenmesi, gıdalara ilave edilme sürecinde kullanım kolaylığı sağlanması gibi çeşitli avantajlar sağlanmaktadır.

*Triticum* cinsinin alt türlerinden biri olan *Triticum aestivum*, buğdaygiller (*Poaceae*, *Gramineae*) familyasında yer almaktadır (Çağlar, 2013). Buğday danesinin temel bileşenleri kepek, ruşeym ve besidokudur (Dexter, 1996). Endosperm, kabuk ve ruşeymin buğdaydaki oranları sırasıyla yaklaşık; %81-84, %14-15 ve %2-3 olarak değişmektedir (Atwell, 2001). Buğdayın özü olan ruşeym, bilinen buğday taneciğinin en tepesindeki ‘cücük’tür. Buğdayın iç bölümünden oluşur (Ünalı, 2012). Bitkisel orjinli  $\alpha$ - tokoferol kaynağı olan buğday ruşeymi fitosterol, polikasanol, tiamin, riboflavin ve niasin içeriğince çok zengindir (Atwell, 2001). Ruşeymden elde edilen yağ ise tokoferol bakımından zengin olup, çoklu doymamış yağ asitlerini içermektedir. Buğday ruşeymi, tohumun türüne ve üretim şekline göre yaklaşık %8-14 oranında yağ içeriğine sahiptir (Ören, 2013). Esansiyel yağ asidi içeriği yüksek olan ruşeym, oksidatif ve hidrolitik enzimlerin bulunması nedeniyle oksidatif olarak acılaşmaya karşı oldukça müsait yapıdadır (Çağlar, 2019).

Buğday ruşeyminden elde edilen yağ, gıdalar, biyolojik böcek kontrol ajanları, farmasötikler ve kozmetik formülasyonlar gibi ürünlerde kullanılmaktadır (Dunford ve diğ., 2003). Yüksek miktarda E vitamini ve özellikle ağırlıklı olarak linoleik asit olmak üzere doymamış yağ asitleri içeren ruşeym yağının en iyi bilinen yararlı etkileri yaşlanmayı geciktirmesi, plazma ve karaciğer kolestrol düzeylerini azaltmasıdır (Kahlon, 1989). Karabacak ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada, WGO'nun içeriğindeki fenolik bileşenlerin antioksidan etkileri olduğu ve buğday ruşeym yağının antioksidan özelliğinin sebebinin saponin içermediğinden ileri geldiği görülmüştür.

Doymamış yağ asitlerince zengin olan WGO'da, doymamış yağ asitleri, yaklaşık %80 civarındadır. Genel olarak yapısında yüksek oranda linoleik (18:2) ve linolenik (18:3) asit içermektedir (Wang, 2001) ve linoleik ve linolenik asitin her ikisi de prostaglandin adında bir grup hormonun üretilmesinde öncül olarak görev almakta olup kas yapısında ve inflamasyon sisteminin iyileştirilmesinin desteklenmesinde yardımcı olmaktadır (Coultrate, 1989). Ayrıca kolestrolü düşürmeye yardımcı olan linoleik asit, hücre zarının fosfolipidlerine de öncül olmaktadır (Salinas, 1993). Çoklu doymamış yağ asitleri içeriğinden dolayı oksidasyona karşı eğilimli olan WGO için mikrokapsülleme yöntemi, WGO'nun gıda ürünlerine dahil edilmesini sağlayacak ve tüketimi daha yaygın olacaktır (Yazıcıoğlu ve diğ., 2015).

Kremadan tereyağı üretiminde ortaya çıkan yayıkaltı suyu (BM) oldukça değerli bileşenleri içermektedir. Besinsel değeri üstün olan BM, krema veya kaymağın yayıklanmasından arta kalan kısımdır (Demir ve diğ., 2008). Lesitin ve fosforca zengin olan BM'de süttekinden 2-2.5 kat daha fazla lesitin miktarına sahiptir. Ayrıca, çalkalama sırasında emülsiyonun kırılması ile oluşan ve önemli miktarda BM'ye geçen süt yağı globül membranını (MFGM) içermektedir (Corredig, 1997). BM, MFGM miktarının yüksek oluşu nedeniyle süttten daha fazla fosfolipit içerir ve fosfolipitlerin emülsifiye edici özellikleri BM'ye önemli bir fonksiyonel özellik kazandırmıştır (Elling ve diğ., 1996). Tereyağının yayıklanmasından geriye kalan sıvı olan BM'den, suyun uzaklaştırılıp nem oranının maksimum %5 ve yağ oranının minimum %4.5'e standardize edilmesiyle BM tozu elde edilmektedir (Smith, 2008). BM kurutma işleminde genellikle sprey kurutuculardan yararlanılmaktadır (Salas-Bringas ve diğ., 2010).

Oksidatif dayanımı düşük olan BM, buharlaştırma ile konsantre edilir ve raf ömrünü uzatmak amacıyla sprey kurutucu yardımıyla kurutulur. Genellikle kurutulmuş BM, özellikle domuz ve sığırlar için yem olarak kullanılmasıyla birlikte gıda endüstrisinde

emülsiyon özellikleri ve ürünlerin dokusu ve tadı üzerindeki olumlu etkileri için de kullanılır (Kırdar, 2019). Toz haldeki BM, kullanıldığı gıdanın yapısını, yoğunluğunu, köpük oluşumunu, ısı stabilitesini, emülgatör özelliğini, higroskopisitesini, su aktivitesini, yapışkanlık özelliğini olumlu yönde etkilemektedir (Ünal, 2014). Yapısında yüksek miktarda düşük moleküllü, yüzey aktif fosfolipitler bulunduran BM tozu, gıdalarda kullanıldığında emülgatör etki göstermektedir. Ayrıca BM tozunda konsantre kalsiyum, laktoz, protein ve bazı diğer önemli besin öğeleri bulunmaktadır (Salas-Bringas ve diğ., 2010). Literatür bilgilerinin değerlendirilmesi sonucu, bu tez çalışmasında kabuk materyali olarak BM ve merkez materyali olarak WGO'nun kullanımı uygun bulunmuştur.

BM tozunun raf ömrü, içerdiği %5'lik yağ oranı sebebiyle kısa olmaktadır (Dat, 2014) ve koşullarına bağlı olarak BM tozunun raf ömrü 6-9 ay arasında değişebilmektedir (Smith, 2008). BM gibi protein oranı yüksek gıdaların toz halinde kullanılması, besin değerinden yararlanma olanağını arttırmakla birlikte ürünün yapı, tekstür ve duyu özellikleri gibi kalite parametrelerini de olumlu yönde etkilemektedir (Lopez, 2017). Peynir, yoğurt, dondurma gibi süt ürünlerinin yapımında kullanılarak ürünlerin fiziksel, duyu kalitelerinin ve biyolojik değerlerinin çoğalmasını sağlayan BM tozu eldesi ile protein, laktoz gibi süt bileşenleri geri kazanılabilmektedir (Yetişmeyen, 1995).

Gıdaların raf ömrünü uzatmak için ilk çağlardan beri uygulanan kurutma yöntemi sayesinde üründeki su, uzaklaştırılarak ürünün su aktivitesi düşürülmekte ve böylece üründe mikroorganizmaların gelişimi yavaşlatılmakta, bozulmalara sebep olacak kimyasal reaksiyonlar durdurulmaktadır (Talih, 2018).

Kurutma işleminin asıl amacı, suyun uzaklaştırılmasıdır ve suyun uzaklaştırılması genellikle düşük sıcaklık ve basınç (kısmi vakum, 43-80°C) yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Süt endüstrisinde püskürtme yöntemiyle kurutma, silindir (vals) yöntemiyle kurutma, dondurarak kurutma tekniği olmak üzere üç farklı kurutma yöntemi bulunmaktadır. Dondurarak kurutma işleminde ise gıdanın içerisinde donan su süblimleştirilerek uzaklaştırılmaktadır ve bu yöntemin ekonomik anlamda maliyeti yüksek olmaktadır (Talih, 2018).

Bu tez çalışmasında endüstriyel olarak püskürtme kurutma ile üretilen BM tozunun WGO'nun mikrokapsülasyonunda kabuk materyali olarak kullanımı araştırıldı. Bu kapsamda üretilen emülsiyon dondurarak kurutma tekniği ile kurutulmuş toz formda mikroenkapsüle WGI elde edildi. Enkapsülasyon etkinliği başta olmak üzere emülsiyon

stabilitesi ve diğer bazı nitelikler bakımından en uygun üretim proses koşullarının saptanmasına çalışıldı. Bu bakımdan endüstriyel üretimin iki atığından elde edilen ürünlerin (kremadan tereyağı üretiminden ortaya çıkan yayıkaltı ve un üretiminde ortaya çıkan ruşeymden elde edilen yağ) yenilikçi bir yaklaşımla bir ürüne dönüştürülerek katma değerli bir ürün elde edilmesi çalışmanın başlıca hedefleri arasındadır.



## 2. KURAMSAL TEMELLER VE UYGULAMALAR

### 2.1. Lipit Oksidasyonu

Lipitler, gıdaların bileşimlerinde yer alan organik bileşiklerdir ve ısı, ışık, nem gibi faktörlerden etkilenirler. Gıdaların duyuşsal ve besinsel değerini etkileyen etmenlerden biri de lipit oksidasyonudur (Yang, 2002). Yağların, üretim, işleme, depolama prosesleri süresince prooksidanlar, lipoksigenazlar, ışık ve ısı gibi oksidatif stres faktörlerine maruz kalarak raf ömrü kısalır ve böylece kaliteleri bozulur (Repetto ve diğ, 2012). Oksidasyon, et ve süt ürünlerinde, yağlarda, kabuklu yemişlerde lipit içeren yapılarından dolayı zararlı değişikliklerin olmasına neden olur.

Lipit oksidasyonu, besin bileşenlerinin aroma ve renginin bozulmasına ve istenmeyen değişikliklere neden olduğu için gıdanın kalitesinde düşüőe neden olur. İkincil oksidasyon ürünleri (karbonil bileşikler, alkoller ve uçucu ürünler) aromayı istenmeyen şekilde değiştirir. Lezzetteki değişime hidroksi asitler nedenolmakla birlikte proteinler ve oksidasyon ürünleri arasındaki etkileşimden kaynaklanan yoğunlaşma sonucu ürünün rengi koyulaşır. Bu etkileşimler sonucunda çözünürlük, su tutma kapasitesi ve emülsifikasyon kapasitesindeki değişiklikler, dokuda ve reolojik özelliklerde farklılıklar oluşturur. Bu nedenle, lipitlerin oksidatif stabiliteilerinin sağlanması sağlık ve ekonomik açıdan önemli kılınmıştır (Dubois, 1995).

### 2.2. Oksidasyon Mekanizması

Lipit oksidasyonu, sırasıyla serbest radikal oluşumu, oksijen hareketliliği ve lipit yapısındaki çift bağın konumunda değişiklik durumlarını meydana getiren bir mekanizmadır. Lipit oksidasyonu süresince alkoller, ketonlar, alkanlar, aldehitler ve eterler gibi birçok oksidasyon ürünü oluşur (Repetto ve diğ, 2012). Yağların içerisinde bulunan A, D, E vitaminleri ve temel yağ asitleri, oksidasyon sonucu parçalanır (Kayahan, 2014). Lipit oksidasyonu, üç temel mekanizmaya sahiptir. Bunlardan biri serbest radikal mekanizması, yani otooksidasyon olup üç aşamadan oluşur; başlatma, gelişme ve sonlandırma. Başlangıç aşamasında, yağ asidinden kararsız hidrojen atomunun ayrılmasından sonra serbest alkil

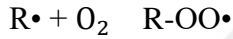
radikali (R•) oluşur ve çift bağ sayısı arttıkça hidrojen atomunun uzaklaştırılması kolaylaşır; böylece çoklu doymamış yağ asitleri daha çok oksidasyona maruz kalır. Daha sonra, yağ asitleri başlangıçta oluşan radikaller ile reaksiyona girer ve sonlandırma aşamasında alkil radikalleri ile peroksi radikalleri arasında antiradikal ürünler oluşur (Wsowicz ve diğ, 2004).

Çoklu doymamış yağ asitleri, yağ asidi zincirinde bulunan çift bağlar nedeniyle doymuş yağ asitlerine göre daha oksidatiftir. Ürünün oksijene duyarlılığını etkileyen faktörler içerisinde yağ asidi zincirinin uzunluğu, doymunluk derecesi ve yağ asitlerinin trigliserid üzerindeki dağılımı yer alır (Repetto ve diğ, 2012). Trigliserid molekülünde yer alan yağ asitlerinin çift bağ kısımları üzerinde meydana gelen oksidasyon tepkimesi aşağıda gösterilmiştir (Kayahan, 2014):

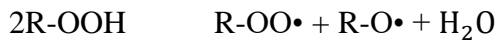
### **Reaksiyonun başlaması**

Peroksi (R-OO•), alkoksi (R-O•) veya (R•) radikallerin oluşumu

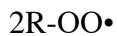
### **Reaksiyonun gelişmesi**



### **Reaksiyonun dallanması**



### **Reaksiyonun sona ermesi**



Lipit içeren gıdalarda ilk oksidasyon ürünlerinin oluşumu daha çok bir depolama süresi geçirildikten sonra oluşmakta ve oksidasyon tepkimelerinin hız kazanması için spesifik bir evre olan "İndüksiyon periyodu" 'nun aşılması gerekmektedir ve indüksiyon periyodunun uzunluğu ve tepkime hızı birinci derecede lipitlerin yağ asidi bileşimine bağlı olmaktadır.

Yağ asitlerinin içerdiği allil grubu (-C=C-) arttıkça, oksidatif tepkimenin hızı artar ve indüksiyon periyodu kısalmır. Oksidatif tepkimeler açısından son derece önemli olan bu iki kavramın yağ asitlerinin doymamışlığına bağlı olması, tepkimenin radikallerde oluşan ara kademeler üzerinden gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Bu açıklama şeklinin geçerli kılınması için zincir üzerindeki hidrojen atomlarından birinin kolaylıkla aktif duruma geçerek ve yapıdan koparak ayrılması gerekmektedir. Bunun gerçekleşmesi, yağın zincir yapısındaki en az bir allil bağın yer almasına bağlıdır. Temel ilke ise aralarında doymuş bağın (allil bağın) yer aldığı karbon (C) atomlarındaki hidrojen atomları, bu karbon atomlarına komşu olan karbon atomlarına bağlı olan hidrojen atomlarından daha stabil olmasıdır. Dolayısı ile allil gruba komşu olan karbon atomlarındaki labil olan hidrojen atomları ısı, ışık ve çok değerlikli metal iyonları gibi bir etken nedeniyle zincirden koparak bağlı olduğu radikale aktivite kazandırmaktadır (Kayahan, 2014).

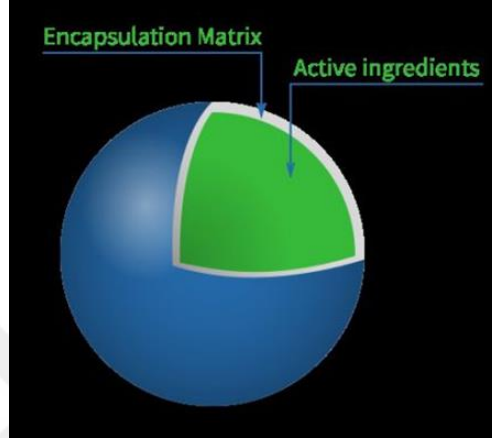
### **2.3. Mikrokapsülasyon Teknolojisi**

Son dönemlerde ilgi gören bir uygulama olan mikrokapsülasyon uygulaması, lipitlerin nano veya mikro ölçeklerinde ambalajlanması anlamına gelmektedir. Bu uygulama ile oksidasyona duyarlı grupların hava oksijeni ile teması engellenmektedir ve oksidatif dayanımı düşük olan maddelerin yanı sıra antioksidanlar da olumsuz çevre koşullarına karşı korunmaktadır. Oksidasyonu engelleyen bu uygulamada oksidatif dayanımı düşük olan maddelerin korunmasıyla birlikte antioksidan maddelerin olumsuz çevre koşullarından etkilenmemesi sağlanmaktadır (Calvo ve diğ, 2011).

Mikrokapsülasyon tekniği, gıda sektöründe genellikle, sıvı damlacıkların, katı partiküllerin veya gaz bileşenlerin gıda saflığında kaplama materyalleri ile kaplanması (Gharsallaoui ve diğ, 2007), çevre koşullarından kolayca etkilenebilen vitaminler, çoklu doymamış yağ asitleri gibi gıda bileşenlerinin korunmasını sağlar (Aloğlu, 2010). Mikrokapsülasyonla yağlar oksidatif ve kimyasal bozulmalara karşı korunmakta, hoşta gitmeyen kokular maskelenmekte ve aromalar hapsedilmekte veya gıdaları zenginleştirmek için çoklu doymamış yağ asitleri toz forma dönüştürülebilmektedir (Gharsallaoui ve diğ, 2007). Uygun kabuk materyallerinin kullanılmasıyla merkez materyal olan yağ, ısı, ışık, nem ve oksijen gibi çevresel etmenlerin yol açtığı bozulmadan korunmaktadır (Shahidi, 1993). Mikrokapsülasyon işleminde kabuk materyali olarak genellikle nişasta, maltodekstrin, pullulan, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar; jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein

ve kazeinatlar gibi proteinler ve gam arabik gibi gamlar kaplama materyali olarak tercih edilmektedir (Koç ve diğ., 2010).

Mikrokapsülasyon ile gıda maddelerinin istenmeyen kokular maskelenebilmekte ve bu şekilde gıda maddelerinin kullanımı da elverişli hale gelmektedir. Mikrokapsülasyon uygulamasının oksidatif dayanımı düşük olan malzemelerin oksidasyonunu geciktirdiği gösterilmektedir (Anandaraman, 1986).



**Şekil 2.1 :** Mikrokapsülasyonda aktif bileşenler (merkez) ve mikrokapsülasyon matriksi (kabuk) (Lab Academy, 2021).

İstendiğinde malzemelerin ortamdan ayrışmasını sağlayan mikrokapsülleme yöntemi, malzemeleri kaplamak için oluşturulan matriks, heterojen veya homojen bit durumda proteinler, polissakkaritler, lipitler, yüzey aktif maddeler, su ve minerallerden oluşan bir dağıtım sistemidir (Garti, 2012). Kapsüllenen malzeme, aktif merkez malzeme, dolgu, faydalı yük veya iç faz olarak adlandırılır ve malzemeyi hapseden kapsülleyici, Risch ve Reineccius tarafından tanımlandığı gibi kabuk malzemesi, taşıyıcı, membran, kabuk veya kaplama olarak adlandırılır (Risch, 1995).

Kapsülleme matriksinin güvenli olması ve matriksin, işlevselliğinin önlenmemesi için aktif bileşen ile uyumlu olması gerekmektedir. Faydalı bir kapsülleme matriksinin üretilmesi amacıyla kapsülleme malzemeleri, iyi emülsifiye etme, jel oluşturma ve viskoz yapı oluşturma yeteneklerine sahip olmalıdır (Augustin, 2009).

Gıda bileşenleri için lipozomlar, koaservatlar, emülsiyonlar, toz parçacıkları, jeller ve moleküler kompleksler kapsülleme matriksini oluşturabilir (Garti, 2012). Proteinler, ara yüzeylerde birleşerek ve yağ damlacıklarını ve gaz kabarcıklarını absorbe ederek kararlı bir emülsiyon oluşturur. Süt proteinleri, kazein ve peynir altı suyu proteinleri, besinsel özellikleri ve gıda endüstrisindeki yaygın enkapsülan materyalleri nedeniyle gıda

endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kapsülleme ajanlarıdır (Augustin, 2009). Arayüzeyde esnek ve düzensiz bir yapı oluşturan kazeinler, yüzeyle temas halinde olan ve sulu fazdan geçen karmaşık bir tek tabaka oluşturan "kuyruklar" olarak adlandırılan parçalara sahiptir ve diğer yandan kompakt küresel yapı oluşturan peynir altı suyu peynir proteinleri iki boyutlu oldukça etkileşimli parçacıklar olarak tanımlanmaktadır (Dickinson, 2001). Kazein ve peynir altı suyu proteinlerinin lipit oksidasyonundan korunmada etkili olduğu kanıtlanmıştır (Singh, 2011).

Genel olarak mikrokapsülleme işlemi iki aşamadan oluşur ve bu aşamalar, emülsiyon hazırlama ve kurutma işlemleridir (Yazıcıoğlu, 2013). Mekanik işleme göre yüksek devirli parçalayıcı kullanılarak daha homojen emülsiyon elde edilebilmektedir ve laboratuvar ölçeğinde başarıyla kullanılmıştır. Kurutma için püskürtmeli ve dondurarak kurutma yöntemleri yaygın olarak kullanılmakta olup dondurarak kurutma işlemi çok düşük sıcaklıklarda (örneğin  $-45^{\circ}\text{C}$ ) uygulandığından ve vakum kullanılarak buzun süblimleştirilmesiyle sistemden su uzaklaştırıldığından, oksidasyon ve diğer kimyasal değişiklikler sınırlı olmaktadır. Emülsiyonların parçacık boyutu, kapsüllerin içinde merkez malzemenin tutulması için önemli bir husustur (Yazıcıoğlu ve diğ., 2015). Mikrokapsüllemenin en önemli aşamasını uygun bir merkez malzemesi için uygun bir kabuk malzemesinin seçilmesi oluşturmaktadır (Klinkesorn ve diğ., 2004).

Aghbashlovd ve diğ. (2012), tarafından yapılan çalışmada balık yağının mikrokapsüllemesi üzerine kabuk malzemesi etkisini araştırmış ve karbonhidratların dahil edilmesinin kurutma özellikleri üzerinde değişime yol açtığını ve balık yağının mikrokapsüllemesi üzerine kapsülleme için protein ve karbonhidrat kombinasyonlarının kullanımının daha iyi kapsülleme verimliliği ile sonuçlandığı gözlenmiştir. Calvo ve diğ. (2010), tarafından yapılan farklı bir çalışmada ise depolama sırasında protein içeren kabuk malzemelerinin kullanılmasının mikrokapsüllerin raf ömrünü uzattığı gözlemlenmiştir.

Hogan ve diğ. (2001), sodyum kazeinatın mikrokapsülleme özelliklerini incelemiş ve yağ oranının yükseldiğini, protein oranının düştüğünü gözlemiştir ve bu nedenle soya yağının verimi üzerindeki farklı yağ; protein oranlarının etkilerini bildirmiştir. Protein yükünün azalması nedeniyle verimlilik yaklaşık %70 bulunmuştur.

Soliman ve diğ. (2019), labne peynirinin besin içeriğinin iyileştirilmesi için nano-kapsüllemiş buğday tohumu yağı kullanmış ve nano-kapsül WGO'nun antioksidan aktivitesi ve oksidatif stabilitesi ölçülerek kabul edilebilir kalitede ve yüksek antioksidan

aktiviteye sahip nano-kapsüller elde edilmiştir. Kapsüllemenin, WGO'nun oksidatif stabilitesini ve gıdaların güçlendirilmesinde kullanımını iyileştirdiği bildirilmiştir. Bu çalışma ile süt yağının %50'sinin kapsüllemiş WGO ile değiştirilmesinin besin içeriği zengin ve yüksek verimli labne peyniri üretimine katkı sağladığı bildirilmiştir.

Yazıcıoğlu ve diğ. (2015), omega-3, omega-6 ve tokoferol kaynağı olduğu için sağlık açısından faydalı olan ancak yapısında bulunan çoklu doymamış yağ asitleri nedeniyle oksidasyona karşı eğilimli olan WGO'yu mikrokapsüllemişlerdir. Elde edilen mikroenkapsüllerde merkez-kabuk oranının, kabuk malzemelerinin oranının ve ultrasonifikasyon süresinin emülsiyonların partikül boyutu dağılımı, kapsülleme verimliliği ve kapsüllerin yüzey morfolojisi üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. Kabuk malzemesi olarak farklı oranlarda (3:1, 2:2, 1:3) maltodekstrin ve peynir altı suyu protein konsantresi kullanılmış ve daha sonrasında mikroenkapsüller elde etmek için ultrasonifikasyon ile elde edilen emülsiyonlar dondurarak kurutma uygulamasıyla kurutulmuştur. Sonuç olarak kabuk malzemesindeki artan peynir altı suyu konsantresi oranının hem daha yüksek enkapsülasyon verimliliği hem de daha küçük partikül boyutları ile sonuçlandığı ve ultrasonifikasyon süresinin artırılmasının kapsülleme verimliliğini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ek olarak literatürde mikrokapsül yapılarının kaplama formülasyon oranından etkilendiğini gösteren bazı çalışmalar bulunmaktadır. Daha yüksek peynir altı suyu konsantresi konsantrasyonu ile hazırlanan mikrokapsüllerin daha pürüzsüz yüzeyi, daha düşük yüzey yağı içeriği ve daha yüksek kapsülleme verimliliği sağlanmıştır.

Karadeniz (2015), kapsüllemenin gıda bileşenlerinin çevresel streslerden korunmasını sağladığı ve içeriğin stabilitesini ve işlevselliğini artırarak fonksiyonel gıdalarda kullanılmasına olanak kıldığı için WGO'yu kapsülleyerek depolama süresince fizikokimyasal özellikleri ve stabiliteyi araştırmıştır. Kapsülleme aşamasında, merkez:kabuk oranı 1:8 olarak sabit tutulmuş ve kabuk materyali olarak farklı konsantrasyonlarda maltodekstrin, arap zıncığı, peynir altı suyu konsantresi, kitosan ve sodyum kazeinat sulu çözeltileri kullanılmıştır. Sonuç olarak kapsüllememiş yağın oksidasyon hızının kapsüllenen yağdan daha yüksek olduğu ve kapsüllerin dayanıklılığının 20 gün korunabildiği bildirilmiştir.

### **2.3.1. Mikrokapsülasyon teknikleri**

Uygun bir mikrokapsülasyon yönteminin belirlenmesi, mikrokapsüllenecek maddenin fiziksel ve kimyasal karakteristiğine, taşıyıcı maddenin, mikrokapsülasyon koşullarına ve

aktif bileşenin salınım mekanizmasına bağlı olarak değişmektedir (Abbas ve diğ., 2012). Farklı mikrokapsülasyon tekniklerinin mikrokapsül yapısı üzerinde farklı etkiler gösterdiği bildirilmiştir. Anwar ve Kunz (2011), balık yağı mikrokapsülasyon stabilitesi üzerine dondurarak kurutma, püskürtmeli kurutma ve püskürtmeli granül yöntemlerinin etkilerine bakmış ve sırasıyla püskürtmeli kurutma, püskürtmeli granül ve dondurarak kurutma için %83, %96, %50 olarak mikrokapsülasyon etkinliği gözlemlenmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, mikrokapsülasyon teknikleri, püskürtmeli dondurma, akışkan yatakta kaplama, ekstrüzyon, dondurarak kurutma, koaservasyon, ko-kristalizasyon olarak sınıflandırmıştır (Desai, 2005). Genel olarak mikrokapsülleme işlemi iki aşamadan oluşur (Yazıcıoğlu, 2013):

- Emülsiyon hazırlama
- Kurutma

#### **2.4. Emülsiyon Hazırlama**

Biyoaktif bileşiklerin mikrokapsüllemesindeki adımlardan biri olan emülsiyon, birbirine karışmayan (örneğin, su ve yağ) iki sıvının bir dispersiyonudur. Termodinamik olarak kararsız olan emülsiyonlar, birbiri içerisinde karışmayan sıvı karışımlarının birbirinin içinde dağıldığı sistemlerdir (Karadeniz, 2015) ve emülsiyon damlacık boyutu, reoloji, stabilite, görünüm ve raf ömrü gibi emülsiyon özelliklerini etkiler (Becher, 2001).

Emülsifikasyon sayesinde uçucu maddeler tutulur (Jafari ve diğ., 2008). Emülsiyon hazırlama işleminde, ultrasonifikasyon veya mikro-akışkanlaştırmadan yararlanılabilir. Oda sıcaklığında üretilebilen emülsiyonlar, termodinamik olarak kararsızdır ve bunları stabilize etmek için emülgatörler ve stabilizatörlerden yararlanır (Feltre, 2020). Kapsüllerin içinde çekirdeğin tutulması için emülsiyonların parçacık boyutu önemlidir. Dondurularak kurutulmuş toz, diğer kurutma teknikleriyle elde edilenler ile kıyaslandığında genel olarak düzensiz bir şekle, çok hafif ve daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu bildirilmiştir (Anwar, 2011). Gıda emülsiyon uygulamaları için geliştirilmiş olan homojenizatör tipleri, yüksek hızlı karıştırıcılar, kolloid değirmenler, yüksek basınçlı valf homojenizatörleri, ultrasonik homojenizatörler, mikro akışkanlaştırma ve membran homojenizatörlerdir (McClements, 2004).

## 2.5. Yaygın Kullanılan Kapsülleme Teknikleri

Gıda bileşenleri için kullanılan, temel ilkesi kurutma işleminden oluşan birçok kapsülleme tekniği mevcuttur (Garti, 2012). Basit bir mekanizmaya sahip oldukları için püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikler bazı avantajlar sağlamaktadır; ürün hacminde, depolamada ve nakliye maliyetinde azalmalar olmakta, düşük nem içeriği nedeniyle daha yüksek stabilite sağlanmakta ve toz formdaki mikrokapsüllerin diğer gıda maddelerine takviyesi kolaylaşmaktadır (Garti, 2012).

### 2.5.1. Dondurarak kurutma

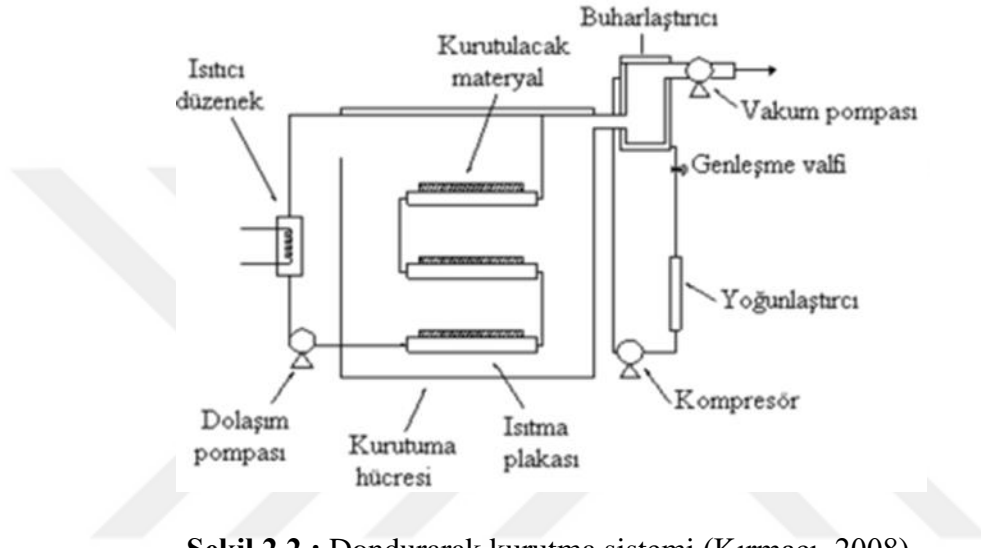
Literatürde bulunan farklı gıda örnekleri için farklı stabilisasyon yöntemlerinden biri olarak en çok tercih edilen yöntemlerden dondurarak kurutma işlemi, yüksek sıcaklıklara duyarlı maddelerin kurutulmasında oldukça başarılı bir yöntemdir (Akşit, 2013). Dondurarak kurutma, ürünün besinsel öğelerine zarar veren ısı işlem uygulaması olmadan süblimasyon yolu ile nemin uzaklaştırılarak kurutulması prensibine dayanır (Ergün, 2012). Yapılan çalışmalarda, gıdaların raf ömrünü uzatmak için tercih edilen dondurarak kurutma yönteminde kurutma işlemi çok düşük sıcaklıklarda (örneğin, -45°C) ve oksidasyonu ve ürünün kimyasal değişimini önlemek için kurutma ortamı havasız bırakılarak uygulanmaktadır (Longmore, 1971).

Dondurarak kurutma işleminden önce kurutulacak materyalin (örneğin) dondurulması gerekmekte ve donmuş ortamın düşük sıcaklık ve basınçta süblimleştirilmesiyle kurutma işlemi gerçekleşmektedir. Kurutma işlemi, üç aşamalı olmak üzere; birincil kurutma, ana kurutma ve süblimasyon, son olarak da desorpsiyon olan ikincil kurutma işlemlerinden oluşmaktadır. Kapsülleme matriksi hazırlandıktan sonra soğutulur ve kristalize edilir. Birincil kurutmada, buz süblimleştirilir ve oluşan su buharı, yoğunlaştırılır veya kondenser bobini tarafından emilmesi için kurutma odasına verilir. İkincil kurutma, donmamış bağlı suyun uzaklaştırılmasını sağlar (Garti, 2012). Şekil 2.2'de dondurarak kurutma sistemi verilmiştir. Temel olarak kurutma işlemi aşağıdaki safhalardan oluşur (Sadıkoğlu, 2003):

1. Dondurma: Çok düşük sıcaklıklar kullanılarak kurutulacak maddenin dondurulması; bu safhada dondurularak kurutulacak gıda maddeleri veya çözeltiler, içerdikleri çözücünün tümü donana kadar soğutulur.
2. Kurutma: Genellikle çok düşük basınç altında donmuş sıvının birincil kurutma periyordunda (süblimasyonu); dondurma işleminden sonra ürünün bulunduğu kurutma

odası tahliye edilip, kurutma odasının basıncı çözücünün süblimasyonunu sağlayacak şekilde düşürülmektedir. Su molekülleri süblimasyon ile buhar hale geçmektedir. Sisteme genellikle ısı kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon sağlamaktadır. İkincil kurutma birincil kurutma periyodunun bitmesinden hemen sonra başlar ve desorb olmuş bağlı su buharı kurutulmuş tabakanın gözeneklerinden taşınarak maddeden uzaklaştırılır. Her iki periyotta da ısı gelişigüzel arttırılmaz.

3. Kontrollü koşullarda depolama işlemi yapılır.



Şekil 2.2 : Dondurarak kurutma sistemi (Kırmacı, 2008).

Diğer kurutma yöntemlerine kıyasla avantajlara sahip olan dondurarak kurutma yöntemi sayesinde gıdaların dış görünüşleri, renkleri, dokuları, tatları, aromaları korunaklı biçimde ambalajlanarak normal ortam sıcaklıklarında çok uzun süre bozulmadan korunabilmektedir. Bu süre kimi durumlarda 30 yıllarla ifade edilmektedir. Geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla, işlem sonunda kalan nem oranı %1-2 ile daha düşük seviyededir. Tazelik nitelikleri bu yöntemle korunmuş gıdaların ağırlıkları ortalama 10:1 oranında düşüktür ve nakliye ve depolama maliyetleri de düşük olmaktadır. Gözenekli dış yüzeyleri sayesinde, dondurularak kurutulmuş malzemelerin yeniden sulandırılmaları kolay ve hızlı gerçekleşmektedir. Yeniden sulandırılan hücreler, yüksek oranda ve düşük hasarda yaşam bulmaktadır. Bu yöntemde, sıcak hava ile kurutmada sıcak havadan kaynaklanan kavrulma etkisi meydana gelmemektedir.

Yapılan çalışmalarda, dondurarak kurutma ile farklı yağların mikrokapsülasyonu gerçekleştirilmiştir. Dondurarak kurutma ile mikroenkapsüle balık yağı üretiminin, yüksek kaliteli ürünler sağladığı belirtilmiştir (Heinzelmann, 1999). Bu yöntem ile balık yağının

mikrokapsülasyonu için kabuk malzemesi olarak jelatin, pullulan, laktoz ve sukroz kullanılarak yapılan bir çalışmada, kabuk malzemelerinin kullanılmasının dondurularak kurutulmuş balık yağı mikrokapsüllerinin hazırlanması için uygun olduğu gözlenmiştir (Koç ve diğ, 2010).

$\beta$ -karotenin kapsüllemesi için püskürtmeli kurutma, tamburlu kurutma ve dondurarak kurutmanın karşılaştırıldığı bir çalışmada, kurutma ve kapsülleme işleminin dondurarak kurutma, püskürtmeli kurutma ve tambur kurutmada sırasıyla  $\beta$ -karotende %8, %11, %14 oranında bozulmaya yol açtığı ve en iyi kapsülleme veriminin tamburda kurutma ile sağlandığı bulunmuştur (Desobry ve diğ, 1997).

Calvo ve diğ, (2012) yaptığı bir çalışmada dondurularak kurutulmuş partiküllerin oksidasyona eğilimlerinin püskürtülerek kurutulmuş partiküllere kıyasla daha yüksek direnç gösterdiğini gözlemlemiştir ve kapsülleme işlemi ile elde edilen düşük nem ve su aktivitesi nedeniyle kapsüllerin stabilitesinin sağlandığını belirtmişlerdir.

## 2.6. Buğday

Ülkemizde ve dünyada eski zamanlardan beri tarımı yapılan ve kültür bitkileri arasında yer alan buğdayın, yapılan arkeolojik kazılar sonucunda bulunan karbonlaşmış buğday tohumları sayesinde M.Ö. 7000 yıllardan itibaren öğütme taşları ile kırılarak değerlendirildiği düşünülmektedir (Cankurtaran, 2008). *Triticum* cinsinin alt türlerinden biri olan *Triticum aestivum*, buğdaygiller (*Poaceae*, *Gramineae*) familyasında yer almaktadır (Çağlar, 2013). Buğday, un üretiminde kullanılan en önemli tahıldır. Buğday üretim işlemi atık olarak danenin %2-3'ü oranında buğday ruşeymi ortaya çıkmaktadır ve söz konusu atık gıdanın, eczacılık ve diğer biyolojik amaçlarla kullanılabilceği belirtilmektedir (Ghafoor ve diğ, 2017). Buğday çekirdeğinin temel bileşenleri kepek, ruşeym ve besidokudur (Dexter, 1996). Endosperm, kabuk ve ruşeymden meydana gelen buğdayda, bu oranlar sırasıyla yaklaşık olarak; %81-84, %14-16, %2-3 oranlarındadır (Atwell, 2001).

## 2.7. Buğday Ruşeym Yağı

Buğdayın un sanayiinde yan ürünü olan ruşeym, buğdaydan yaygın olarak kullanılan kuru öğütme tekniği ile ayrılmaktadır (Atwell, 2001). Buğdayın işlenerek una dönüştürülmesi sırasında özel ayırıştırma teknikleri ile 1 ton buğdaydan sadece 20 kilogram buğday

rüşeymi ve 1 kilogram buğday rüşeym yağı elde edilmektedir. Temel görevi yeni bitkinin oluşmasını sağlamak olan buğday rüşeymi (Güler ve Gürsoy, 2020), yüksek besin içeriğine sahiptir ve yaklaşık olarak %52 oranında karbonhidrat, %23 oranında protein, %11 su, %10 yağ ve %4 kül içermektedir (Schuler, 1990).

Buğday rüşeymine fonksiyonel gıda olma özelliği kazandıran rüşeym yağının yaklaşık %10 civarında olması yüksek miktarda çoklu doymamış yağ asidi içermesi (Mahmoud ve diğ., 2015) rüşeymin besin değerini arttırmaktadır. Ek olarak, WGO, rüşeyimde bulunan hidrolitik ve oksidatif enzimler (lipaz, lipoksigenaz, lipoksidaz, proteaz vb.) için en iyi substrattır (Köse, 2018). Rüşeym kısmı, toplam kütlesi içerisinde %10-15 oranında lipit (Posner, 1991), %26-35 protein (Posner, 1991), yaklaşık %17 şeker (Panfili, 2003) ve %4 mineral (Posner, 1991) içermektedir.

WGO'nun sabunlaşmayan fraksiyonunun büyük bir kısmını ise tokoferol ve steroller oluşturmaktadır. WGO bitkisel yağlar içerisinde en yüksek tokoferol ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -) içeriğine (2500 mg/kg yağ) sahip olduğu ve bunun %60'ının  $\alpha$ -tokoferol olduğu bildirilmiştir (Brandolini, 2012). Diğer bir çalışmada WGO'nun tokoferol izomerlerinin miktarı  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - ve  $\delta$ -tokoferolde sırasıyla 1179, 398, 493 ve 118 mg/kg olarak saptanmıştır. Aynı şekilde WGO'nun fitosterol içeriğinin diğer bitkisel yağlardan daha yüksek olduğu da bildirilmiştir (Özcan ve diğ., 2013).

Yapılan bir başka çalışmada WGO'nun hegzan ekstraktında yaklaşık 3700 mg/kg yağ düzeyinde toplam sterol bulunduğu bildirilmiştir ve bu değer yaklaşık %75'ini  $\beta$ -sitosterol, %18'ini kampasterol ve geri kalan kısmının ise %7'sini stigmasterol oluşturmaktadır (Eisenmenger, 2008). Ayrıca  $\Delta$ 5-avenasterol, sitostanol ve campestanol rüşeym yağında bulunan diğer sterol çeşitleridir (Phillips ve diğ., 2005).

WGO, fitosterollerden daha çok kampasterol,  $\beta$ -sitosterol ve az miktarda da olsa 7-stigmasterol, 7-avenasterol, 5-stigmasterol, izofukasterol ve  $\delta$ 5-avenasterol içerir. Yüksek tokoferol ve fitosterol içeriğinin yanında yüksek miktarda protein, lif, kalsiyum, potasyum, vitamin, demir, magnezyum, çinko, omega-6 ve omega-3 yağ asitlerini de içermektedir ve bu nedenle besleyici özelliği yüksektir (Horrobi, 1993). İçerdiği bu fenolik bileşenler sayesinde WGO üretiminde, çözücü ekstraksiyonu, mekanik pres veya süperkritik karbondioksit yöntemi de kullanılmaktadır (Hassanein, 2009). Yapılan bir çalışmada WGO'nun bileşimindeki bileşenlerin antioksidan etkilerinin olduğu belirtilmiştir

(Karabacak ve diğ, 2011). Lairon ve diğ. (1987), fareler üzerinde yaptıkları bir çalışmanın sonucunda WGO'nun kolesterolü düşürücü etkisinin olduğunu bulmuştur.

WGO, bileşenlerinde doymamış yağ asitleri (oleik asit, linoleik asit, linolenik asit) ve E vitamini ve oktacosanol gibi fizyolojik aktif bulunmaktadır (Baoshan ve diğ, 2019). WGO'nun içerdiği yağ asitlerinin çeşitleri ve oransal miktarları Çizelge 1'de verilmiştir. Linoleik asit, kolesterolün vücuttan uzaklaştırılmasına yardımcı olup, hücre zarı fosfolipitlerine benzer rol oynamaktadır (Zacchi, 2006). WGO başta linoleik ve linolenik asit olmak üzere toplam %80 oranında doymamış yağ asidi içermektedir. Bu yağ asitlerinin insan sağlığı bakımından önemli oldukları ve kasların kasılıp gevşemesinde ve antienflamatuar etkinin oluşumunda etkisi olan prostoglandinlerin sentezinde rol aldıkları bildirilmektedir (Brandolini, 2012). Dunford (2005), embriyo yağları üzerine yaptığı bir araştırmada, WGO'in doymamış yağ asidi içeriğinin %81.8 ve çoklu doymamış yağ asidi içeriğinin ise %66.2 olarak bildirmiştir.

**Çizelge 2.1** : Ruşeym yağının yağ asidi bileşimi (Ghafoor ve diğ, 2017).

Yağ asidi	Toplam yağ asidi yüzdesi
Palmitik asid (16:0)	11-17
Stearik asid (18:0)	0.6-3.6
Oleik asid (18:1)	14-25
Linoleik asid (18:2)	49-60
Linolenik asid (18:3)	4-10

WGO'daki değerli ve ısıya dayanımı düşük olan fitokimyasalların daha az tahrip olmasını sağlamak amacıyla düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen soğuk presleme ve süperkritik karbondioksit uygulamaları tercih edilmektedir (Ghafoor, 2017; Özcan, 2013). Yağ elde etmede ruşeymin nem içeriğinin önemi büyüktür. Düşük nem değerlerinde yağın küspeden ayrılması zorlaşırken, yüksek nem değerlerinde preslenen yapının presten kayması gibi problemler yaşanmaktadır. Ruşeym tipine ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak yağ verimi değişse de %1,5 nem değerinde en fazla %37 değerinde ürün verimi olmaktadır (Ghafoor, 2017; Al-Obaidi, 2013). Buğday ruşeym yağı, ruşeymin saflığından, çeşitliliğinden ve ekstraksiyon metodundan dolayı farklılıklar göstermektedir. Ek olarak solvent ekstraksiyonu ile elde edilen ruşeym yağlarında serbest yağ asitleri, mekanik ekstraksiyona göre daha azdır. Serbest yağ asitleri acımsı tadından ve sabunsu oluşundan dolayı istenmeyen bir değer olup, gerekli olduğunda rafine edilmektedir (Firestone, 1999). Yüksek ısıya işleme tabii tutulan WGO'da sterollerin polimerleşmeye karşı daha hassas

olduđu, oksidatif stabiliteyi sađladıđı ve dűşűk sıcaklıklara karřı duyarsız olduđu belirtilmiřtir (Konuřkan, 2008).

WGO'nun bilinen diğer faydaları aşağıda belirtilmiştir (Kumar ve diğer, 2011):

- Alzheimer riskini dűřűrme
- Bağışılık sisteminin gűçlenmesine yardımcı olma
- Obezite oluşumunu engelleme
- Sađlıklı bűyűme ve kemik geliřimine yardımcı olma
- Diyabet sebebiyle oluřan damar hasarlarının űnlenmesi
- Kalp ve damar sağlığını destekleme
- Cildi besleme ve canlandırma ve yaşlanmayı geciktirme

WGO'nun, tıp, kozmetik ve vitamin űretiminde kullanılmasının yanı sıra, gűnűműzde gıdalara dođrudan ilave edilmesi, hayvan yemi olarak kullanılması gibi birűok kullanım alanı bulunmaktadır (Ghafoor, 2017; Brandolini, 2012). Ticari olarak WGO, kűçük miktarlarda (50-100 mL) řiřelenerek gıda takviyesi olarak satılmaktadır. Bu nedenlerle WGO'nun iűeriđinde deđinilen biyoaktivitelere sahip bileřenlerin zarar gűrmeden űretilmeleri ve kullanım űeřitliliđinin arttırılabilmeleri iűin yenilikűi yűntemler ile muhafaza edilmesi gerekmektedir.

Yazıcıođlu (2013), WGO'nun iyi mikrokapsűlleme kořullarının belirlenmesi iűin parűacık boyutu dađılımı ve yűzey morfolojisini arařtırarak en iyi kaplama kořulunu belirlemiřtir. Bu űalıřmada, yađın kabuk maddesine oranı, kabuk maddelerinin birbirine oranı ve ultrason uygulama zamanının ruřeym yađını kabuk maddeye olan etkileri arařtırılmıř ve (3:1, 2:2, 1:3) oranlarında karıřtırılan maltodektrin ve peynir altı suyu proteini, kabuk maddesi olarak kullanılmıřtır. Maltodektrin:peynir altı suyu proteini oranı 1:3 olan mikrokapsűllerin enkapsűlasyon verimi daha yűksek bulunmuřtur ve mikrokapsűldeki yađ miktarındaki artıřın kabuk veriminde azalmaya neden olduđu gűrűlműřtir. 1:8 yađ:kabuk maddesi oranı daha iyi sonuű vermiřtir ve ultrason uygulama sűresinin 10 dk olduđu, kabuk maddesi karıřımında maltodektrin:peynir altı suyu proteini oranının 1:3 olduđu ve yađ:kabuk maddesi oranının 1:8 olduđu kořullar mikrokapsűl hazırlamak iűin en uygun kořullar olarak belirtilmiřtir.

Arshad ve diğ. (2008), şortening yerine belli seviyelerde WGO kullanılarak yapılan bisküvilerde, WGO miktarının ve  $\alpha$ -tokoferol içeriğinin arttığını, WGO'nun duyuşal özelliklerini geliştirdiğini bildirmiştir.

## 2.8. E Vitamini

E vitaminin en aktif formuna  $\alpha$ -tokoferol denir. Tokoferol kelimesi Yunancadaki ürün, evlat anlamına gelen "tokos" kelimesinden gelmektedir ve "fero" kelimesi doğurmak anlamındadır. Tokoferol kelimesinin tam karşılığı çocuk doğurmak olmaktadır (SYNLAB, 2020). Yağda çözünebilen E vitamini, doğada yan zincirlerinin doygunluğu ve metilasyonu bakımından birbirinden farklı sekiz izomer halinde bulunur ve en yüksek aktiviteye sahip olan  $\alpha$ -tokoferoldür (Çaylak, 2011). Tokoferollerin alifatik yan halkası apolardır ve bu özelliği nedeniyle suda çözünmemektedir. E vitamini kolayca oksidasyona uğrayarak diğeri osidatif duyarlılığı düşük grupların oksidasyonunu engeller ve böylece antioksidan olarak kabul edilir (Saldamlı, 1998).

Kaur ve diğ. (2020), mikrokapsüllenen e vitamini ve WGO'yu kurabiye hamuruna dahil ederek raf ömrü üzerindeki etkileri araştırmış ve sonuç olarak her iki ürünle üretilen kurabiyelerin 4 aya kadar saklanabildiğini ve raf ömrünü uzatarak tüketicinin bu durumdan memnun kaldığını bildirmiştir.

## 2.9. Fitosteroller

Kabuklu yemişlerin, çekirdeklerin ve tahılların yapısında doğal olarak bulunan fitosteroller iki sınıfa ayrılmaktadır. Yapısal olarak fitosteroller C24 pozisyonunda sterol yan zincirindeki süstitüsyonlar hariç kolestrol ile benzerdir. Kolestrolde olduğu gibi fitosterollerin çoğunda dörtlü halka yapısı üzerinde C5-C6 karbon atomları arasında bir çift bağ içerdikleri için  $\delta^5$ -steroller olarak adlandırılırken,  $\delta^7$ -steroller C7-C8 ve C22-C23 atomları arasında çift bağ içermektedir. Çift bağ içermeyen steroller ise stanoller olarak bilinmektedir (Moreau ve diğ, 2002). Fitosteroller insanlarda sentezlenemez, zayıf şekilde emilir ve insan dokularındaki düşüş varlığı kolestrole kıyasla karaciğerdan daha hızlı atılması ile açıklanabilmektedir (Moreau ve diğ, 2002). Bitki sterollerinin diyet yolu ile günlük tüketimi yaklaşık 200-400 mg'dır. Fitosterollerin yağların sabunlaşmayan fraksiyonu içerisinde serbest veya yağ asitleri, ferulik asit veya şekerler ile esterleşmiş olarak bulunduğu saptanmıştır. Bitkisel yağların tüketiminde sabunlaşmayan bileşikler

yağla birlikte alınmaktadır (Kuna, 2012). Fitosteroller tahılların işlenmesi sonrasında atık olarak ortaya çıkan durum buğdayı kepeğinde 1.6 g/kg düzeyinde bulunurken, ruşeymdeki miktarı 5.7 g/kg olarak saptanmıştır (Wong, 2008).

Fitosterollerin serum kolestrol seviyelerini düşürme mekanizmaları tam olarak aydınlatılamamışsa da, bazı teoriler ileri sürülmektedir. Bu teorilerden birinde, bağırsaktaki kolesterolün, alınan fitosterol ve stanollerin varlığında absorbe edilemeyen bir forma dönüştüğü ileri sürülürken, diğer teoride kolesterolün bağırsak hücrelerini geçerek kan dolaşımına girmeden önce safra tuzları ve fosfolipit içeren misel formuna dönüşmesi gerekliliği üzerine dayanır. Bu bağlamda, fitosteroller, kolesterol emiliminde rol oynayan kilit taşıyıcıların etkisini engelleyebilir. Kolesterol absorpsiyonu, kolesterol metabolizmasını düzenleyen çok önemli bir fizyolojik mekanizmadır (Rozner, 2006). Fitosterolün, hem diyet hem de endojen olarak üretilen kolesterolün bağırsak hücrelerinden alınmasını inhibe ettiği gösterilmiştir. Bu inhibisyon serum toplam ve LDL-kolesterol seviyelerindeki düşüşün başlıca sebebidir. HDL-kolesterol ve trigliserit seviyesinin diyet yolu ile alınan fitosterollerden etkilenmediği bildirilmektedir (AbuMweis, 2008).

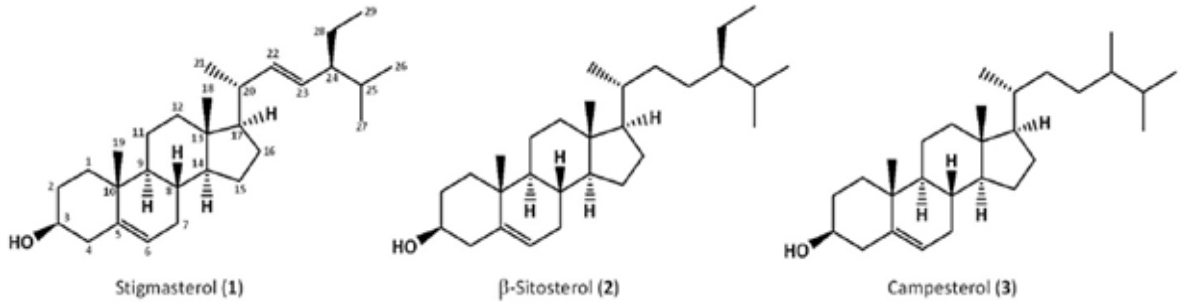
Fitosterollerin serum kolesterolünü düşürmedeki etki mekanizmalarını çözmek için birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, moleküler düzeyde aydınlatma tam olarak anlaşılamamıştır. Fitosterol alımına yönelik ana fizyolojik yanıtın hem diyet hem de endojen olarak üretilen kolestrolün bağırsak emilimini azalttığı, bununla birlikte yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL)-kolesterol veya trigliserit düzeylerindeki herhangi bir azalmanın olmadığı bilinmektedir (Kassis, 2008; Ostlund, 2002). Bu absorpsiyon yolu ile gerçekleştirilen bu etkileşim muhtemelen fitosterol ve stanoller ile kolesterolün kimyasal yapılarındaki benzerlikle ilişkilidir (Plat, 2005; Salo, 2002). Mevcut çalışmalar, fitosterollerin epitel hücre düzeyindeki etkilerine odaklanmakta olup, fitosterollerin ve stanollerin bağırsak enterositleri içinde hücresele kolesterol metabolizmasını aktif olarak etkiledikleri daha uzun süren bir süreç olduğunu düşündürmektedir (Plat, 2005; Thompson, 2005).

Fitosterollerin sağlığa olumlu etkilerini göstermek amacıyla yapılan çalışmalardan çarpıcı sonuçlar çıkmıştır. Fonksiyonel gıdalarla birlikte günlük 1.6 g fitosterol tüketiminin düşük yağ diyeti ile beraber LDL kolesterolü %16 düzeyinde düşürdüğü saptanmıştır (Clifton ve diğ, 2004). Fitosterollerce zenginleştirilmiş fermente süt ürünlerinin tüketimi ile %10'dan daha yüksek oranda LDL kolesterolün düştüğü yapılan diğer çalışmalarla (Doornbos ve diğ, 2006) desteklenmiştir. Tüm bitkisel steroller FDA tarafından GRAS listesinde yer

alırken (FDA (US Food and Drug Administration), 2000) maksimum kolesterol düşürücü etki dozunun günlük 2-3 g düzeyinde olması önerilmiştir (Hallikainen, 2000; Maki, 2001).

Son yıllarda çeşitli gıdaların fitosterollerce zenginleştirilmesine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak fitosterollerin gıdalara eklenmesi sonucunda kireç tadına benzer bir olumsuzluğun oluşması fitosterollerin saflaştırılmış olarak doğrudan kullanımını sınırlarken (Izadi, 2012), enkapsüle edilerek veya emülsiyon yapısına katılarak kullanımı ön plana çıkmıştır (Tolve ve diğ., 2018).

Söz konusu sterollerin kimyasal yapıları Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 : Başlıca fitosterollerin kimyasal yapıları.

## 2.10. Yayıkaltı Suyu

Canlıların en önemli besin maddelerinden biri olan sütün, peynir ve tereyağına işlenmesi durumunda tereyağı ve peynir dışında elde edilen maddelere sütçülük atıklarıdır. Sütçülük atıklarının en önemlilerinden biri olan BM, tereyağcılık atıklarındandır. Besinsel değeri üstün olan BM krema veya kaymağın yayıklanmasından arta kalan kısımdır (Demir, 2008). Avrupa ve ABD’de 1945 yılından beri BM değerlendirilmektedir ve 1947 ‘de ABD’de de 908,000 ton yayıkaltı suyunun üretildiği ve bunun 227,000 tonunun toz haline getirilerek değerlendirildiği Whittier ve Webb (1950) tarafından belirtilmektedir. Lambert (1965), ise 1963’te yılında yine ABD’de 31,053 ton yayıkaltı tozunun insanlar için gıda olarak, 9534 tonunun da hayvan yeminde kullanıldığını belirtmiştir (Yetişmeyen ve Arıöz, 1995).

BM’de bulunan lesitin miktarı (%0.3) süttekinin 2-2.5 katıdır (Corredig, 1997). Tüm uygulamalar için, BM’nin önemli bir fonksiyonel özelliği emülsifiye edici özelliğidir (Elling ve diğ., 1996). Bireysel olarak BM bileşenlerinin tamamı, emülsiyon temelli farklı çalışmalarda emülsifiye edici madde işlevi görmüştür.

BM'nin içerisinde kremanın suda çözünür bileşenleri yer almaktadır. Mekanik yayıklama/karıştırma işleminden sonra oluşan BM'de MFGM fragmanları, yağ globülü, süt proteinleri, laktoz, mineral ve bazı lipitler yayıkaltı bileşenleri olarak sulu faz içerisinde yer almaktadır (Walstra, 2006). Yaklaşık olarak BM bileşimi yağsız süt bileşenlerine benzer durumdadır ve kuru maddesi içerisinde yer alan bileşenlerin miktarı şu şekildedir (Libudzisz, 2003): 3.5-4.9 g/100 mL laktoz, 0.5g/100 mL laktik asit, 2.7-3.8 g/100 mL protein ve 0.6-0.75 g/100 mL kül. Ayrıca kuru madde bazında %1.2-2.1 arasında değişen oranlarda polar lipit (lesitin vb.) içerdiği bildirilmektedir (Vanderghem ve diğ, 2010).

Yayıklama esnasında MFGM parçalanarak faz ayrımı gerçekleşmektedir. Bu esnada trigliseritlerden oluşan kısım tereyağını oluştururken, amfilik karakterleri nedeni ile MFGM kısmı sulu faza geçmektedir. BM bileşenlerinde sade süte kıyasla kuru madde bazında daha fazla fosfolipit (MFGM kısmının üçte biri oranında) saptandığı belirtilmiştir. Toz yapıda protein fraksiyonunda yer alan peynir altı suyu proteinlerinin çözünürlük özellikleri pH değişimlerinden etkilenmezken, pH'sı 5'ten küçük değerlerle kazein proteininin çözünürlüğünün azalması önemli olarak görülmelidir. Bu çalışmada fermente edilmiş tatlı kremadan elde edilen BM'ye kıyasla toz yapısındaki BM bileşenlerinin fosfolipit içeriğindeki fazlalığa bağlı olarak daha yüksek emülsifikasyon özellikleri, daha düşük köpürme özelliğine sahip olduğu bildirilmiştir (Sodini ve diğ, 2006).

Endüstriyel bir atık olarak BM'nin değinilen özellikleri yayıkaltının gıda formülasyonlarında farklı amaçlarla kullanımını cazip hale getirmektedir. Çizelge 2.2'de BM'nin kimyasal bileşimi verilmiştir (Smith, 2008).

**Çizelge 2.2 : Yayıkaltı tozunun kimyasal bileşimi (Smith, 2008).**

Bileşenler	Yayıkaltı tozu (%)
Toplam protein	34.0
Laktoz	48.5
Kül	8.5
Yağ	5.0
Nem	4.0

Tereyağının yayıklanmasından geriye kalan BM'den, suyun uzaklaştırılıp nem oranının maksimum %5 ve yağ oranının minimum %4.5'a standardize edilmesiyle BM tozu elde edilmektedir (Smith, 2008). Oksidasyona karşı hassas olan BM, buharlaştırma ile konsantre edilmektedir (Kırdar, 2019) ve kurutma aşamasında genellikle püskürterek

kurutma işleminden yararlanılmaktadır (Salas-Bringas ve diğ., 2010). Yayıkalıtı tozunun kullanılabilir raf ömrü, içerdığı %5'lik yağ oranı sebebiyle kısa olup (Dat ve diğ., 2014), depolama koşullarına bağılı olarak yayıkalıtı tozunun raf ömrü 6-9 ay arasında değışebilmektedir (Smith, 2008). BM'yi toz hale getirmenin faydaları aşağıdaki verilmiştir:

- Kuru halde raf ömrü daha uzun olmaktadır.
- Ağırlığının ve hacminin azaltılmasıyla taşıma masrafları azalmakta ve depolama kapasitesi düşürölmektedir (Yetişmeyen, 2000)
- Kullanıldığı gıdanın yapısını, yoğunluğunu, köpük oluşumunu, ısı stabilitesini, emülgatör özelliğini, higroskopisitesini, su aktivitesini, yapışkanlık özelliğini olumlu yönde etkilemektedir (Ünal, 2014).

Güler ve diğ. (1996), yoğıurt yapımında kullanılan süte, süte tozu yerine değışen oranlarda BM tozu ilave edilerek 14 günlük bir depolama süreci içerisinde meydana gelen değışiklikler incelenmiştir. Artan oranlarda BM tozu ilavesiyle yoğıurt örneklerinin pıhtı sıklığı, viskozite ve serum ayrılması gibi reolojik özellikleri azalmış, yağ oranı artmıştır. Ayrıca BM tozunun artmasıyla titrasyon asitliği ve laktik asit azalmış, pH değıerleri yükselmiştir. Sonuç olarak yoğıurt üretiminde süte kuru maddesinin arttırılmasında süte tozu yerine yayıkalıtı tozunun %1 ve %2 oranlarında kullanılabilereğı ifade edilmiştir. Ek olarak yüksek oranda kullanılmasının yoğıurdun duyuşal niteliklerini ve reolojik özelliklerini olumsuz yönde etkileyeceğı belirtilmiştir.

Augustin ve diğ. (2014), tereyağı üretiminin bir yan ürünü olan BM, omega-3 yağı (balık yağı) emülsiyonları ve tozları için bir kapsülleme potansiyeli açısından incelenmiştir. Bu çalışmada, püskürtölerek kurutulmuş balık yağı emülsiyonlarının üretimi, BM'nin doğıal mikrokapsülleme özellikleri incelenmiştir. BM tozu, pilot ölçekte üretilmiş ve balık yağ tozları için bir mikrokapsülleme performansını ne ölçüde arttırdığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, %98'lik bir kapsülleme verimliliğı elde edilmiştir. Bu araştırma ile BM tozunun, gıda endüstrisi için rekombinant omega-3 yağ tozlarının üretimi için bir kapsülleyici olarak yüksek ısıya sahip süte tozundan üstün olduğı bulunmuştur.

Kaur ve Bajwa'nın (1999), ekmek üretimi üzerine yaptığı bir çalışmada BM'nin %75'e kadar suyla yer değıştirmesi, hamurun farinogram özelliklerini geliştirmiş, hamurun işlenmesini kolaylaştırmış ve ekmek hacminde %50 kadar artış kaydedilmiştir. Buna

karşılık, ancak %25'lik, düşük düzeyde BM yer değişimi ile ekmeklerde yüksek kabul edilebilirlik değeri elde edilebilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler neticesinde, WGO içerisinde önemli bileşenler nedeni ile oldukça değerli yağ olmasına karşın, doymamış yağ asitleri oranının yüksekliğine bağlı olarak düşük oksidatif stabiliteye sahiptir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında WGO'yu oksidatif stabilite bakımından daha dayanıklı hale getirmek ve WGO'nun kullanım çeşitliliğini arttırmak amaçlarıyla mikrokapsülasyonunun etkili bir yaklaşım olacağı kabul edilmiştir. Mikrokapsülasyonda kabuk materyal olarak ise tereyağı üretiminin atığı durumundaki BM'nin toz olarak kullanılması ile emülsiyon aşamasında avantaj sağlanacağı öngörülmüştür. Bu bakımdan endüstriyel üretimden ortaya çıkan iki değerli malzemenin yenilikçi bir yaklaşımla bir ürüne dönüştürülerek katma değerli bir ürün elde edilmesi, çalışmanın başlıca amacını oluşturmaktadır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan soğuk preslenmiş WGO, Arı Mühendislik Ltd. Şti (Ankara) firmasından temin edilmiştir. Kremadan tereyağı üretiminde atık olarak ortaya çıkan ve püskürterek kurutma yolu ile üretilen BM tozu Enka Süt ve Gıda Mam. San. ve Tic. A.Ş. Konya firması tarafından sağlanmıştır. BM tozuna ait firma tarafından verilen analiz sertifikası Ek 1’de verilmiştir.

##### 3.1.1. Kullanılan kimyasallar ve çözeltiler

Çalışma kapsamında kullanılan diğer kimyasallar; hegzan, izooktan, asetik asit (Merck, Darmstadt, Germany), etanol, potasyum hidroksit (KOH), fenol fitalein, potasyum iyodür, sodyum tiyosülfat, *p*-anisidin (Sigma-Aldrich), dietil eter, kloroform (Iso Lab), metanol (Tekkim, Türkiye) şeklindedir.

#### 3.2. Metot

İlgili firmadan temin edilen toz yapıdaki BM’nin pH’sında bir değişiklik yapılmadan mikrokapsülasyonda kabuk materyal olarak kullanılmıştır. Oluşturulan emülsiyon dondurarak kurutma tekniğine göre kurutulmuş ve kurutulan yapı ev tipi kahve değirmeninden geçirilerek toz haline getirilmiştir.

##### 3.2.1. Emülsiyon oluşturma

Çalışmanın sonraki bölümlerinde belirtileceği üzere, enkapsülasyon etkinliğine etkilerin belirlenmesi amacıyla farklı WGO:BM oranlarında emülsiyonlar oluşturulmuştur. Genel olarak uygulanan metodolojiye göre; emülsiyon oluşumundan önce BM’yi rekonstitüe etmek amacıyla yeterli miktarda ultra saf su eklenerek 45-50°C’de 1 saat süresince bekletilmiştir. Yağ ve BM uygun bir kapta birleştirilmiş ve toplam kütle 100 g olacak şekilde saf suyla tamamlanmıştır. Bu amaçla 26.7 g WGO, 13.3 g BM ve emülsiyon stabilitesini arttırmak amacıyla 1 mL antifungal, 1 mL antibakteriyel ve 58 mL ultra saf su ilave edilmiş, 50°C’de (su banyosunda) 1 saat bekletilmiş ve ilave olarak 7 dk manyetik

karışırıcıda 50°C’de bekletilerek sağlıklı bir homojenizasyon sağlanmıştır. Sulu karışım yüksek devirli homojenizatörde (Ultra Turrax® T18, IKA®-WERKE GmbH, Staufen, Germany) 13.400 rpm’de 5 dk süresince homojenize edilerek kaba (coarse) emülsiyon elde edilmiştir.

Emülsiyon oluşturmada enkapsülasyon etkinliği baz alınarak en yüksek etkinlik değerini sağlayan WGO:BM oranını saptamak amacıyla Çizelge 3.1’de verilen oranlarda emülsiyonlar oluşturulmuştur. Elde edilen kaba emülsiyonların damlacık boyutunu küçülterek enkapsülasyon etkinliği ve emülsiyon stabilitesini iyileştirmek amacıyla kaba emülsiyon ~40 MPa basınç ve 100 mL/dk akış hızında yüksek basınç homojenizatöründen (YBH) (Nano-disperser homogenizer, Ilshin Autoclave Co Ltd, Kore) 3 kez geçirilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** Emülsiyon hazırlamada uygulanan WGO:BM oranları.

Örnek adı	WGO:BM Oranı	WGO (g)	BM (g)	Su (g)
WGO:BM (1:4)	0.25	8	32	60
WGO:BM (1:2)	0.50	13.3	26.7	60
WGO:BM (3:4)	0.75	17.1	22.9	60
WGO:BM (1:1)	1	20	20	60
WGO:BM (5:4)	1.25	17.8	17.8	60

İkinci bir deney tasarımında üretilen emülsiyonun YBH’den geçme sayısının etkisi saptanmıştır. Bu amaçla, Çizelge 3.1’de denenen WGO:BM oranlarının denendiği çalışma sonuçlarına göre en yüksek enkapsülasyon etkinliği değerini sağlayan emülsiyonun (Bölüm 4.5.’de belirtildiği gibi en yüksek etkinlik değeri WGO:BM oranının 1:2 olduğu üretim) farklı sayıda (1-5 kez) YBH’den geçmesi sağlanarak YBH’den geçirme sayısının enkapsülasyon etkinliğine etkisi incelenmiştir.

Üçüncü deney tasarımında ise WGO:BM oranının 1:2 olması sağlanarak toplam emülsiyonda (su + katı madde) katı madde oranının %10-%40 arasında olacak şekilde emülsiyonlar üretilmiştir.

### 3.2.2. Dondurarak kurutma

Elde edilen emülsiyon en fazla 0.4 mm yüksekliğinde olacak şekilde petri kaplarına aktarılmış ve yaklaşık 16 saat süresince -4°C’de tutularak donması sağlanmıştır. Donmuş emülsiyonları içeren petri kapları dondurarak kurutma cihazına (Lyovapor L-200, Buchi, İsviçre) alınarak 16 saat süresince 0.200 mbar ve 4 saat süresince 0.05 mbar basınçta kurutulmuştur. Kurutulan yapı ev tipi kahve değirmeni ile öğütülerek toz haline

getirilmiştir. Örnekler vidalı kapaklı plastik kaplarda analiz edilinceye kadar -18°C’de muhafaza edilmiştir.

## **3.2. Emülsiyonun Karakterizasyonu**

### **3.2.1. Viskozite**

Emülsiyonların viskoziteleri Brookfield Viscometer (Model DVII, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, Massachusetts, USA) kullanılarak 25 °C sıcaklıkta ve RV Spindle 4 ile 20, 50 ve 100 rpm’de saptanmış ve sonuçlar centipoise (cP) olarak verilmiştir.

### **3.3. Emülsiyon Damlacık Büyüklüğü (Droplet Size) ve Zeta Potansiyeli**

Emülsiyonların damlacık büyüklüğü Zetasizer ZS (Malvern Instruments, İngiltere) cihazı ile Bağış (2020), tarafından uygulanan yöntemle belirlenmiştir (Bağış, 2020). Toz yapıdaki dondurularak kurutulmuş mikrokapsüller rehidre edildikten sonra ölçümlerde kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 0.1 g mikrokapsül 10 mL deiyonize suda 1 dk boyunca vortekslenmek suretiyle rehidre edildikten sonra 20°C’de Zetasizer ZS (Malvern Instruments, İngiltere) ile belirlenmiştir.

### **3.4. Emülsiyon Stabilitesi**

Bu amaçla yaklaşık 10 mL emülsiyon deney tüpüne alınarak 20 ve 40°C’lerde 90 gün süresince bekletilmiştir. Süre sonunda üste toplanan krem tabakasının uzunluğu ölçülmüş ve kremleşme indeksi (KI) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Surh, 2006).

$$\text{Kremleşme stabilitesi (\%)} = \frac{\text{Krem tabakasının yüksekliği}}{\text{Toplam emülsiyon yüksekliği}} \times 100$$

### **3.5. Mikrokapsüle WGO’nun Özellikleri**

#### **3.5.1. Enkapsülasyon etkinliği**

Enkapsülasyon etkinliği, mikrokapsüllerin yüzeyindeki yağın kapsüllenmiş yağa oranını göstermektedir (Bağış, 2020). Mikrokapsüllerin yüzey yağ miktarı Zhang (2020), tarafından uygulandığı gibi belirlenmiştir (Zhang, 2020). Uygulanan prosedür kısaca şu şekilde tanımlanabilir: Filtre kağıdı üzerine (No. 4, Whatman) tartılan toz mikrokapsül (~1 g); 5 mL hegzan ile yıkanarak darası alınmış bir balona aktarılmıştır. Balondaki çözücü

vakum altında dönen buharlaştırıcı ile uzaklaştırılmış ve kalıntı hegzan 103°C'deki etüvde sabit ağırlığa gelene kadar bekletilmiştir. Balonda kalan içerik mikrokapsülün yüzey yağı olarak kabul edilmiştir. Mikrokapsül formülasyonunda kullanılan yağ miktarı ise toplam yağ olarak değerlendirilmiştir. Bu bilgilere göre enkapsülasyon etkinliği aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Enkapsülasyon etkinliği (\%)} = \frac{\text{Toplam yağ} - \text{Yüzey yağ}}{\text{Toplam yağ}} \times 100$$

### **3.5.2. Nem içeriği**

Mikrokapsüllerin nem içeriğinin belirlenmesinde yaklaşık 2 g mikrokapsül 103 °C'de etüvde sabit ağırlığa erişinceye kadar (~3 saat) kurutulmuş, daha sonra desikatörde tutularak son ağırlıkları belirlenmiş ve oluşan ağırlık kaybından % nem miktarı hesaplanmıştır. Sonuçlar 3 ölçümün ortalaması olarak ifade edilmiştir.

### **3.5.3. Islanabilirlik**

Mikrokapsüllerin ıslanabilirlik özelliği Fuchs ve diğ.'nin (2006) uyguladığı yöntemle göre belirlenmiştir (Fuchs ve diğ, 2006). Uygulanan prosedür kısaca şu şekilde tanımlanabilir: yaklaşık 1 g toz örnek 100 mL saf su içerisine atılmış ve partiküllerin su yüzeyinden batması için geçen süre (dk) saptanmıştır. Sonuçlar 3 ölçümün ortalaması olarak ifade edilmiştir.

### **3.5.4. Yığın yoğunluğu**

Mikrokapsüllerin yığın yoğunluğu Beristain vd. (2001) tarafından uygulandığı gibi yapılmıştır. Bu amaçla 2 g toz örnek 25 mL'lik ölçülü silindire tartılmış ve yığında oluşan boşlukların kaybolması için uygun bir şekilde çalkalama yapılarak hacim belirlenmiştir. Yığın yoğunluğu örnek miktarının ölçülen hacme bölünmesiyle hesaplanmış ve sonuçlar kg/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Sonuçlar 3 ölçümün ortalaması olarak ifade edilmiştir.

### **3.5.5. Taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleme**

Mikrokapsüllerin morfolojik yapıları taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope; SEM; Leo EVO-40 VPX, Carl Zeiss SMT, Cambridge, UK) kullanarak belirlenmiştir. Dondurularak kurutulan toz örnekler ince bir tabaka halinde karbon yapışkanlı kalıplara yapıştırılmış ve üzerleri ince bir tabaka altın ile kaplanmıştır. Örnekleri temsil eden SEM görüntüleri alınmıştır.

### 3.6. WGO'nun Yağ Asidi Bileşimi

Yağ asidi metil esterlerinin oluşturulmasında; AOCS Ce 2-66 (AOCS, 1989) metodu kullanılmıştır. Cam tüplere tartılan yaklaşık 100 mg yağ örneği 2 mL hegzanda çözülmüş ve üzerine metanolde hazırlanmış 2 N KOH çözeltisinden 0.2 mL eklenmiştir. Tüpler 30 sn vorteksledikten sonra 3000 rpm' de 5 dk sanrifüjlenmiştir. Üst kısımdaki hegzan fazı analiz edilmek üzere GC viallerine alınmıştır. Hazırlanan yağ asidi metil esterleri oto-enjektör (Agilent, 7683B) kullanılarak gaz kromatografisi cihazına (Agilent, 7890A) enjekte edilmiştir. Cihaza ait çalışma koşulları aşağıda verilmiştir.

Taşıyıcı gaz: Helyum (Toplam akış 30 mL/dk)

Enjeksiyon (inlet) sıcaklığı: 270 °C

Dedektör (FID) sıcaklığı: 280 °C

Fırın sıcaklık programı: 210 °C'de 30 dk (izotermal)

Split oranı: 50:1

Kolon: DB-23 (60 m X 0.250 mm, 0.25 µm film kalınlığı) (J&W Scientific, ABD)

Yağ asitlerinin tanımlanmasında yağ asidi metil esteri standartları karışımı (37 FAMES mixture, Steinheim, Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmıştır. Elde edilen kromatogramlarda her bir yağ asidinin pik alanı düzeltme yapılmadan toplam pik alanı içindeki oranı şeklinde belirlenmiştir. Sonuçlar 3 ölçümün ortalaması olarak ifade edilmiştir.

### 3.7. Hızlandırılmış Oksidasyon

Mikrokapsülasyonun WGO'nun oksidatif stabilitesine etkisini belirlemek amacıyla hızlandırılmış koşullarda oksidasyon denemesi gerçekleştirilmiştir. Oksidasyon 24 gün süresince 60°C sabit sıcaklıktaki etüvde gerçekleştirilmiştir. Boyutları 34 × 100 mm, (80 mL) şişelere 3 g WGO ve aynı miktarda WGO içeren mikrokapsüller tartılmıştır. Toplam şişe sayısı örnekleme gün sayısı kadar olmak üzere 3 tekerrürlü olacak şekilde örnekler hazırlanmıştır. Oksidasyon süresince 0, 4, 8, 12, 16 ve 24. günlerde her güne ait yağ örnekleri (WGO ve mikrokapsüle WGO) alınarak oksidasyon durumları aşağıda verilen analizler ile incelenmiştir. Söz konusu analizlerde mikrokapsüle WGO yapısından yağın ekstraksiyonu Folch ve diğ. (1957) tarafından uygulanan prosedüre göre gerçekleştirilmiştir (Folch ve diğ, 1957). Ekstraksiyonda mikrokapsül ağırlığının 2 katı miktarında kloroform: metanol (2:1) karışımı çözücü olarak kullanılmış, çözücü vakum

altındaki dönen buharlaştırıcı ile uzaklaştırılmış ve elde edilen lipitler analizde kullanılmıştır.

### 3.7.1. Peroksit sayısı

AOCS Official Method Cd 8-53'da (AOCS, 1989) tanımlandığı gibi belirlenmiştir. Yaklaşık 1.5 g örnek 10 mL kloroformda çözülerek üzerine 15 mL asetik asit ve 1 mL doymuş potasyum iyodür eklenerek 1 dakika süresince çalkalanmıştır. Yaklaşık 5 dakika karanlıkta tutulduktan sonra 75 mL saf su ve 1 mL nişasta indikatörü eklenerek renk açılıncaya kadar 0.01 N sodyum tiyosülfat ile titre edilmiştir. Aynı işlemler tanık için de yapılmıştır. Sonuç aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmış olup, milieşdeğergram oksijen / kg yağ olarak ifade edilmiştir. Sonuçlar 3 ölçümün ortalaması olarak verilmiştir.

$$PS = \frac{(V_1 - V_0) \times N \times 1000}{M}$$

PS: Peroksit sayısı

V<sub>1</sub>: Örnek için harcanan sodyum tiyosülfat miktarı (mL)

V<sub>0</sub>: Tanık için harcanan sodyum tiyosülfat miktarı (mL)

N: Sodyum tiyosülfatın normalitesi

M: Örnek miktarı (g)

### 3.7.2. p-Anisidin sayısı

p-Anisidin sayısı, AOCS official method Cd 18-90'da (AOCS, 1989) tanımlandığı gibi belirlenmiştir (AOCS, 1989). Buna göre yaklaşık 0.5 g yağ/25 mL izooktan çözeltisinin absorbansı 350 nm'de kör olarak izooktan kullanılarak belirlenmiştir. Yağ solüsyonundan 5 mL alınarak p-anisidin çözeltisinden (0.25 g/100 mL asetik asit) 1 mL eklenmiş olup, aynı şekilde 1 mL de 5 mL izooktan çözeltisine eklenmiş (kör) ve tüpler 10 dakika süresince karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda 350 nm'de köre karşı absorbansı okunmuştur. Sonuç aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar 3 ölçümün ortalaması olarak ifade edilmiştir.

$$p - AS = \frac{25 \times (1.2 A_s - A_b)}{M}$$

p-AS: p-Anisidin sayısı

A<sub>s</sub>: Trigliserit çözeltisinin p-anisidin eklendikten sonraki absorbans değeri

A<sub>b</sub>: Trigliserit çözeltilisinin absorbands değeri

M: Örnek miktarı

### 3.8. HPLC Analizleri

WGO'nun bileşiminde yer alan tokoferoller, fitosteroller, β-karoten ve luteinin miktarlarında 24 günlük oksidasyon süresince değişiminin belirlenmesi amacıyla Shimadzu HPLC sistemi kullanılmıştır. Bu sistem kapsamında otomatik örnekleyici (SIL-20A HT), kolon fırını (CTA-10AS VP), LC-20AR model gradient pompa, gaz giderici sistem (DGU2A 5R), diode array dedektör (DAD, SPD-M20A) ve sistemi kontrol etmek ve elde edilen dataları işlemek için kullanılan bir yazılım sistemi (LC solution) yer almaktadır. Tüm HPLC analizleri üç analizin ortalaması ± standart sapma değeri olarak verilmiştir.

#### 3.8.1. Tokoferoller ve fitosteroller

Buğday ruşeym yağının tokoferol (α, β, γ ve δ) ve fitosterollerinin (β-sitosterol ve stigmasterol) miktarları Yuan ve diğ.'nin (2017) uyguladığı metoda bağlı kalınarak belirlenmiştir. Analizde öncelikle sabunlaşma reaksiyonunu gerçekleştirmek için yaklaşık 0.5 g yağ test tüpüne tartılmış ve oksidasyonu engellemek amacıyla 100 µL %0.05 tert bütül hidrokinon (TBHQ) eklenmiştir (Yuan ve diğ., 2017). Yağın üzerine NaOH (0.15 mol/L) içeren 2 mL etanol (%95) ilave edilmiş ve karışım 40 dk, 70°C'de su banyosuna daldırılarak ve her 5 dk bir karıştırılmak suretiyle sabunlaşma reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Tüp oda sıcaklığına soğutulduktan sonra üzerine 2 mL su ve 3 mL hegzan ilave edilmiş ve karışım ayırma hunisine aktarılarak faz ayrımı sağlanmıştır. Her defasında üst faz alınmak suretiyle 3 kez hegzan ile yıkama gerçekleştirilmiştir. Hegzan ile toplam hacim 10 mL'ye tamamlanmış ve 0.45 µm naylon filtreden geçirilerek analiz için HPLC vialine alınmıştır. Hazırlanan örnekten HPLC cihazına 10 µL enjekte edilmiştir.

Kromatografik ayırmada ZORBAX Eclipse Plus C18 kolonu (250 mm × 4.6 mm, 5 µm; Agilent) kolonu kullanılmıştır. Mobil faz olarak 1 mL/dk akış hızında %90 metanol-su (98:2) (A) ve %10 izopropanol (B) kullanılmıştır. Kolon sıcaklığı 30°C olup, analiz 37 dakikada tamamlanmıştır. Bileşenlerin tanımlanmasında 210 nm dalga boyundaki spektrum ve kromatogramlar kullanılmıştır.

Kalibrasyon eğrisi oluşturmak amacı ile tokoferol ve fitosterol standartlarının hegzanda hazırlanan çözeltilerinin konsantrasyonları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Hazırlanan çözeltiler 0.45 µm naylon filtreden geçirildikten sonra HPLC vialine alınarak bileşenlerin tanımlanması ve miktarlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

**Çizelge 3.2 :** Kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılan tokoferol ve fitosterol standartlarının konsantrasyonları.

Standartlar	Konsantrasyonlar (mg standart/mL hegzan)						
	1	2	3	4	5	6	7
α-Tokoferol	1.84	0.92	0.46	0.23	0.12	0.06	0.03
β-Tokoferol	1.81	0.91	0.45	0.23	0.11	0.06	0.03
γ-Tokoferol	1.81	0.91	0.45	0.23	0.11	0.06	0.03
δ-Tokoferol	1.80	0.90	0.45	0.23	0.11	0.06	0.03
Betasterol	5.0	2.50	1.25	0.62	0.31	0.16	0.08
Stigmasterol	1.02	0.51	0.26	0.13	0.06	0.03	0.02
Kampasterol	1.02	0.51	0.26	0.13	0.06	0.03	0.02

### 3.8.2. β-karoten ve lutein

WGO’nun β-karoten ve lutein miktarı Kumar ve Krishna (2015) tarafından uygulanan metodolojiye göre yapılmıştır (Kumar ve diğ, 2015). Bu amaçla 0.1 mg/mL aseton konsantrasyonunda hazırlanan WGO çözeltilerinden 10 µL HPLC cihazına enjekte edilmiştir.

Kromatografik ayırma mobil faz olarak 1 mL/dk akış hızında %0.1 amonyum asetat içeren asetonitril/metanol/diklorometan (6:2:2 v/v) kullanılmıştır. Kromatografik ayırma Spherisorb ODS-2 (5 µm, 4.6 x 250 mm; GL Sciences Inc., Tokyo, Japan) kolonu ile gerçekleştirilmiş olup, β-karoten ve lutein standartları kullanılarak tanımlama ve kuantifikasyon gerçekleştirilmiştir.

Kalibrasyon eğrisi hazırlamada β-karoten standardının başlangıç ve son konsantrasyonları 5.015 ve 0.078 mg/mL arasında ve luteinin başlangıç ve son konsantrasyonları 0.079 ve 0.002 mg/mL arasında olacak şekilde 7 farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır.

### 3.9. İstatistik

Sonuçlar SPSS 16 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) paket programı ile analiz edilmiştir. Mikroenkapsüle WGO'nun özelliklerinin (enkapsülasyon etkinliği, nem içeriği, ıslanabilirlik ve yığın yoğunluğu) değerlendirilmesinde ilgili özelliğe ait ortalamalarının birbirinden farklı olup olmadıkları, Duncan çoklu karşılaştırma testi ve hızlandırılmış oksidasyon sonrasında belirlenen özelliklerin (peroksit sayısı, p-anisidin sayısı, HPLC analizleri) değerlendirilmesinde bağımsız değişkenler-T (Student-T) testi uygulanmıştır. Sonuçlar arasındaki farklar ( $P < 0.05$ ) önem seviyesinde değerlendirilmiştir.



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Emülsiyon Özellikleri

#### 4.1.1. Viskozite

WGO ve BM kullanılarak farklı oranlarda hazırlanan ve YBH'dan 3 kez geçirilerek oluşturulan emülsiyonların viskozite değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Belirlenen özelliklerin değişimi temel bileşenler (WGO, BM ve ultra saf su) bakımından ele alındığında farklı oranlardaki emülsiyonların viskozite değerleri literatüre en uygun değer WGO:BM oranı 1:2 için gözlenmiştir. WGO arttıkça viskozite değerlerinin de paralel olarak arttığı belirlenmiştir ( $P<0.05$ ).

**Çizelge 4.1 :** Farklı WGO:BM oranlarında hazırlanan emülsiyonların viskoziteleri.

	Viskozite (cP)					
	20 rpm		50 rpm		100 rpm	
WGO:BM (1:4)	15	± 0e	15	± 1.4e	15	± 0.0e
WGO:BM (1:2)	20	± 0d	20	± 0.0d	18.5	± 0.7d
WGO:BM (3:4)	25	± 0c	25	± 1.4c	23	± 1.4c
WGO:BM (1:1)	75	± 0b	53	± 4.2b	40.5	± 2.1b
WGO:BM (5:4)	115	± 0a	171	± 1.4a	135	± 5.7a

Aynı sütunda gösterilen küçük harfler istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P<0.05$ ).

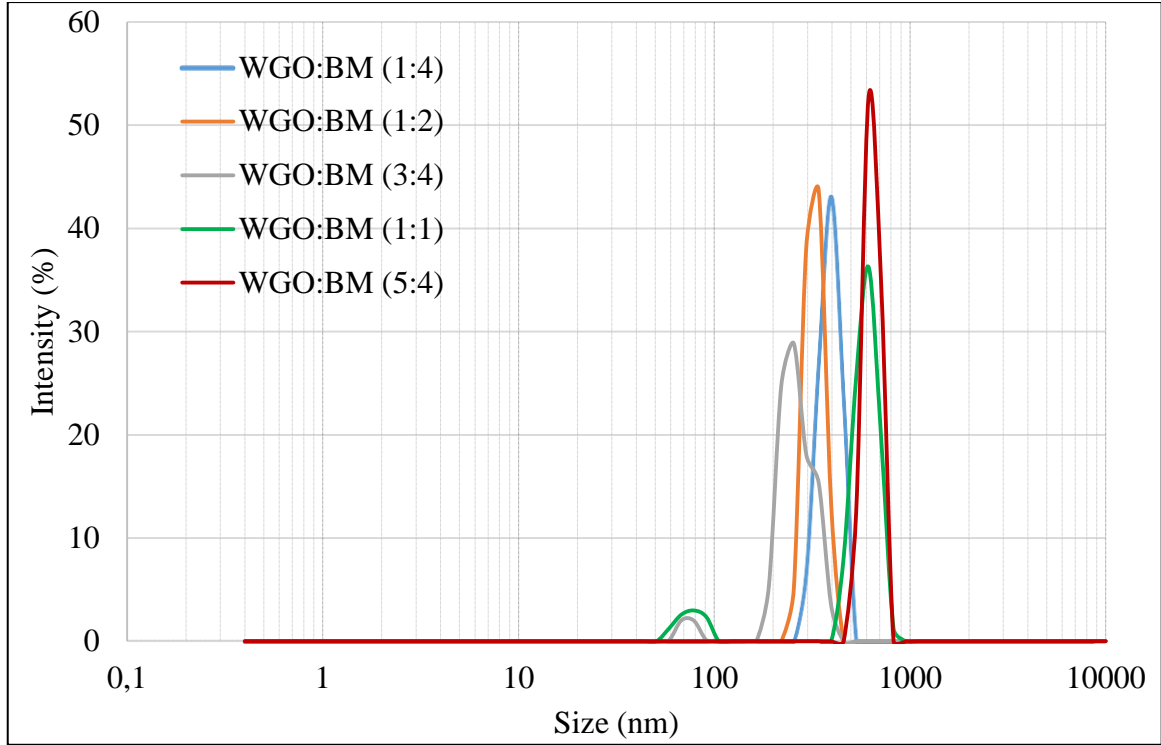
### 4.2. Emülsiyon Damlacık Büyüklüğü (Droplet Size) ve Zeta ( $\zeta$ ) Potansiyeli

WGO:BM kullanılarak farklı oranlarda hazırlanan emülsiyonlar, boyut olarak 1222-3632 nm aralığındadır. Emülsiyonda WGO miktarındaki artışın emülsiyon partikül büyüklüğünü bir noktaya kadar arttırdığı (3:4) ve sonrasında düzensizleştiği Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1'de görülmektedir.  $\zeta$  potansiyelinin -21.4 ile -32.1 mV aralığında değiştiği gözlemlenmiştir.

Dondurarak kurutma işleminden önceki ilk dondurma işlemi, emülsiyon damlacıklarını bir araya getirerek birleştirdiğinden, bu yöntemle elde edilen mikrokapsüller de boyut, püskürtülerek kurutulan mikrokapsüllere göre daha büyüktür (Jamdar ve diğ, 2021).

**Çizelge 4.2 :** WGO: BM oranlarındaki değişimin boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi.

	Peak1 (nm)	Intensity (%)	Peak2 (nm)	Intensity (%)	Z-Average (d.nm)	$\zeta$ -Potential (mV)
WGO:BM (1:4)	417.7 $\pm$ 39.74	100			1222	-32.1 $\pm$ 4.25
WGO:BM (1:2)	332.8 $\pm$ 38.65	100			1341	-29.8 $\pm$ 4.25
WGO:BM (3:4)	310.6 $\pm$ 39.65	91.6	73.45 $\pm$ 6.30	8.40	3632	-21.4 $\pm$ 9.38
WGO:BM (1:1)	645.6 $\pm$ 69.67	92.5	65.01 $\pm$ 4.36	7.5	1700	-28.7 $\pm$ 5.58
WGO:BM (5:4)	628.6 $\pm$ 60.11	100			2867	-27.5 $\pm$ 5.07



**Şekil 4.1 :** WGO: BM oranlarındaki değişimin boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi.

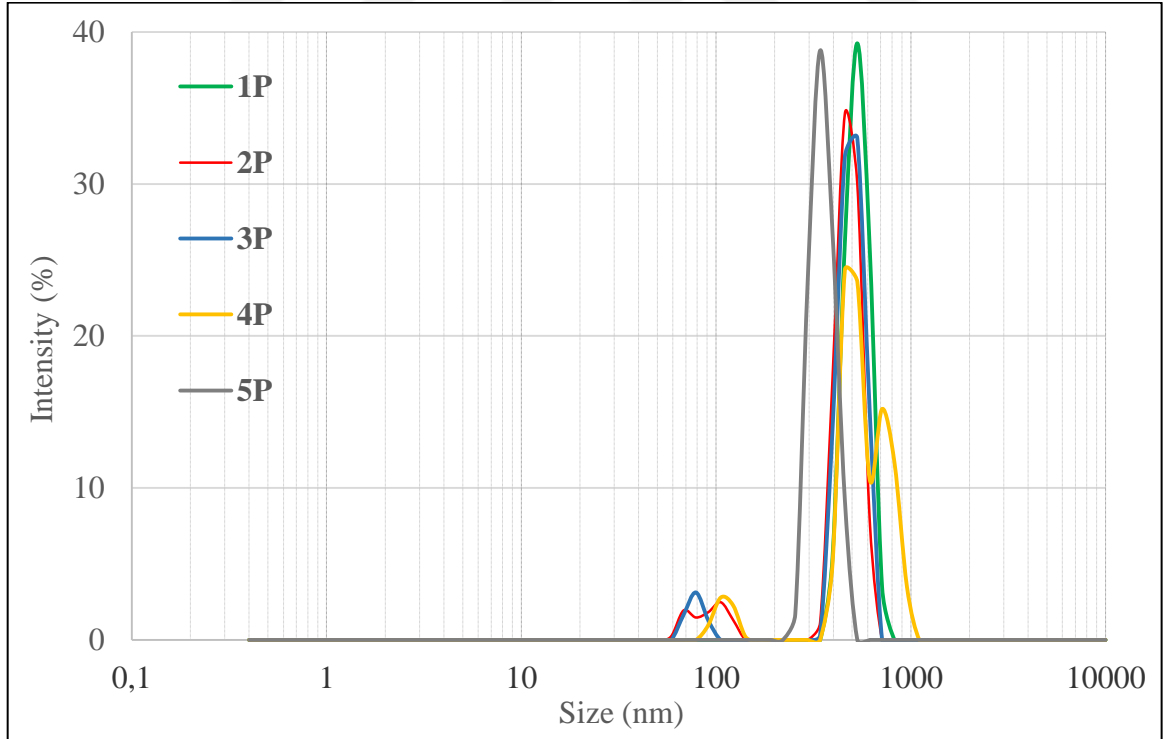
YBH'den 5 kez geçirilerek elde edilen emülsiyonların boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeli üzerine etkisi incelenmiştir ve sonuçlar Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.3'de görüleceği gibi ortalama partikül boyutu 1325-2131 nm aralığında değişmektedir. YBH'den geçiş sayısı arttıkça boyut dağılımı 3. kez geçişe kadar azalan bir trend gösterecek şekilde olmuştur ve 3. geçiş sayısından sonra boyut dağılımı düzensizleşmiştir. En küçük partikül boyutuna 5. kez geçişte ve en yüksek partikül boyutuna 1. kez geçişte ulaşılmıştır. Emülsiyon partikül boyutundaki azalmanın temel sebebinin YBH'de uygulanan basınç nedeniyle oluşan türbülans ve kesme kuvvetinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Emülsiyonların  $\zeta$  potansiyelinin büyüklüğü, YBH'den ilk

geçişten sonra daha az negatif yüke doğru azalmıştır. İlk geçişten sonra emülsiyon partikül boyutunun 3. kez geçirime kadar azalmasının ve 3. geçirimden sonra düzensizleşmesinin sonucu olarak doğru geçirim sayısının 3 olduğu kanaatine varılmıştır.

Sodyum kazeinat ve karvakrolün kullanıldığı bir çalışmada elde edilen emülsiyonlar 5 kez YBH'den geçirilmiş ve geçirim sayısı arttıkça azalan partikül boyutu ve artan geçiş sayısına paralel olarak zeta potansiyelinin daha az negatif yüke doğru azalması bulgularımızı destekler niteliktedir (Gürsul ve diğ, 2018).

**Çizelge 4.3 :** Yüksek basınç homojenizatöründen geçiş sayısının boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi.

Geçiş sayısı	Peak1 (nm)	Intensity (%)	Peak2 (nm)	Intensity (%)	Z-Average (d.nm)	$\zeta$ -Potential (mV)
1	558.1 $\pm$ 70.08	100			2131	-31.4 $\pm$ 4.62
2	474.3 $\pm$ 53.70	93.1	71.44 $\pm$ 6.14	6,9	1844	-30.6 $\pm$ 3.75
3	517.4 $\pm$ 67.43	93.5	81.60 $\pm$ 7.89	6.5	1553	-29.9 $\pm$ 3.74
4	482.4 $\pm$ 44.72	100			1903	-33.5 $\pm$ 4.18
5	379.1 $\pm$ 49.64	100			1325	-30.7 $\pm$ 3.96



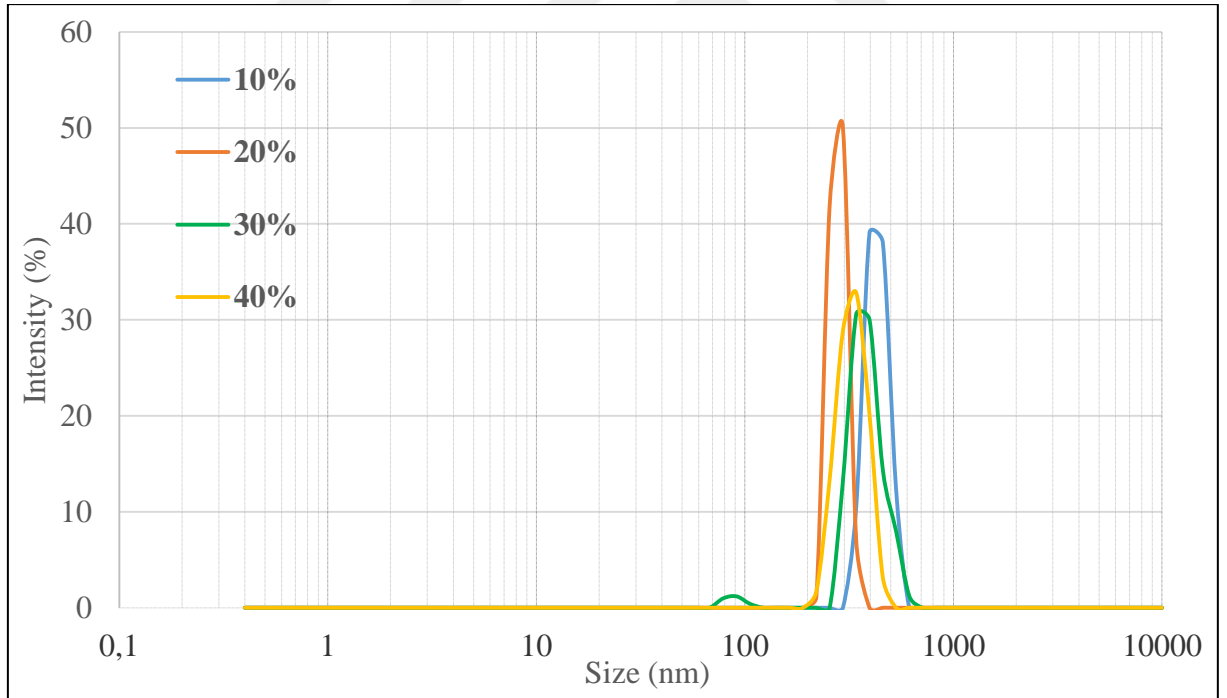
**Şekil 4.2 :** Yüksek basınç homojenizatöründen geçiş sayısının boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi.

WGO:BM oranı 1:2 sabit tutularak hazırlanan emülsiyonlarda kuru madde miktarı üzerinden %10, %20, %30, %40 katı madde olarak belirlenen emülsiyonlar, toplam hacim 50 mL emülsiyon üzerinden hesaplanarak hazırlanmıştır. Emülsiyonların, partikül boyut dağılımı ve  $\zeta$  potansiyeli üzerine etkisi Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.4’de görüleceği gibi artan katı madde miktarı ve azalan su miktarı ile zeta potansiyeli diğer emülsiyon işlemlerine zıt olarak daha az negatif yüke doğru artmıştır. Bu durum artan katı madde miktarının zeta potansiyeli üzerindeki etkisini göstermektedir. Partikül boyut dağılımı ise artan katı madde miktarına oranla azalmıştır (Çizelge 4.4).

**Çizelge 4.4 :** Farklı katı madde miktarının boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi.

Katı madde oranı (%)	Peak1 (nm)	Intensity (%)	Z-Average (d.nm)	$\zeta$ -Potential (mV)
10	404.4 ± 41.82	100	1597	-31.3 ± 4.29
20	288.0 ± 28.44	100	1305	-31.2 ± 4.38
30	350.4 ± 38.65	100	959.6	-33.9 ± 5.12
40	315.5 ± 48.20	100	780.6	-30.3 ± 5.60

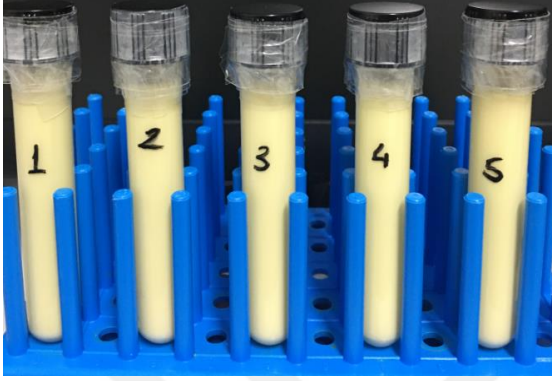


**Şekil 4.3 :** Farklı katı madde miktarının boyut dağılımı ve zeta ( $\zeta$ ) potansiyeline etkisi.

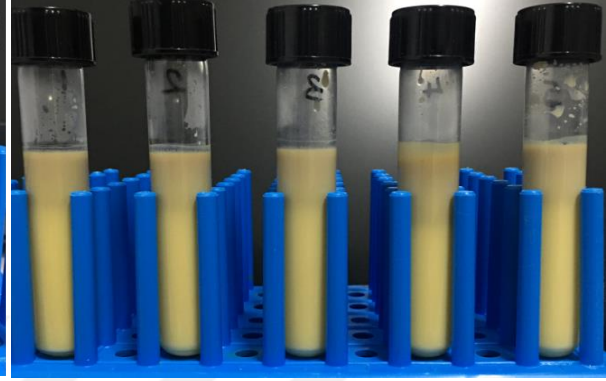
### 4.3. Emülsiyon Stabilitesi

Tüm emülsiyon örnekleri 40°C’de bekletilmiş ve süre sonunda tüpün üst kısmında herhangi bir krem tabakası oluşumu gözlenmemiştir. Bu nedenle BM’in bileşimsel

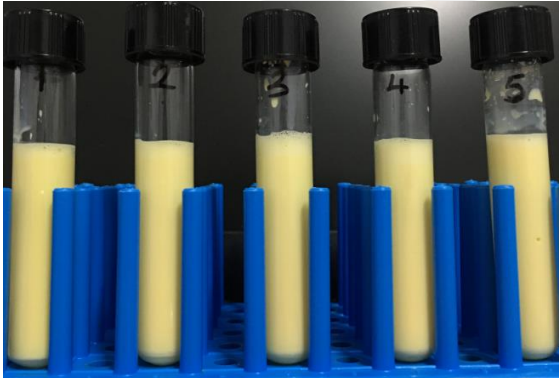
özelliklerinin güçlü emülsifikasyon özellikleri sayesinde gıda emülsiyon sistemlerinde başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Her üç emülsiyon örneklerinin (farklı WGO:BM oranlarında hazırlanan emülsiyonlar, YBH'den farklı geçiş sayısı ile hazırlanan emülsiyonlar ve farklı katı madde oranlarında (%) hazırlanan emülsiyonlar) başlangıç ve 60. gün sonrasındaki resimleri Şekil 4.4'de verilmiştir.



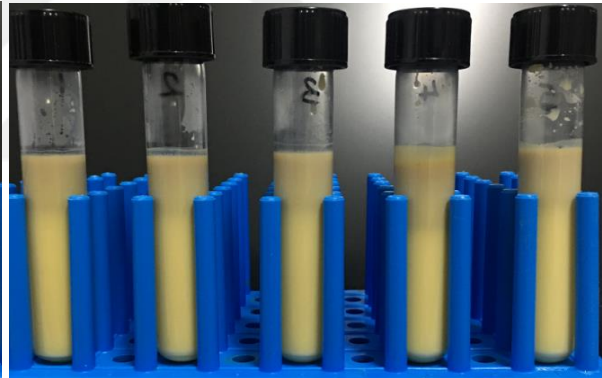
a) Farklı WGO:BM oranlarında hazırlanan emülsiyonların 0. gün görüntüleri



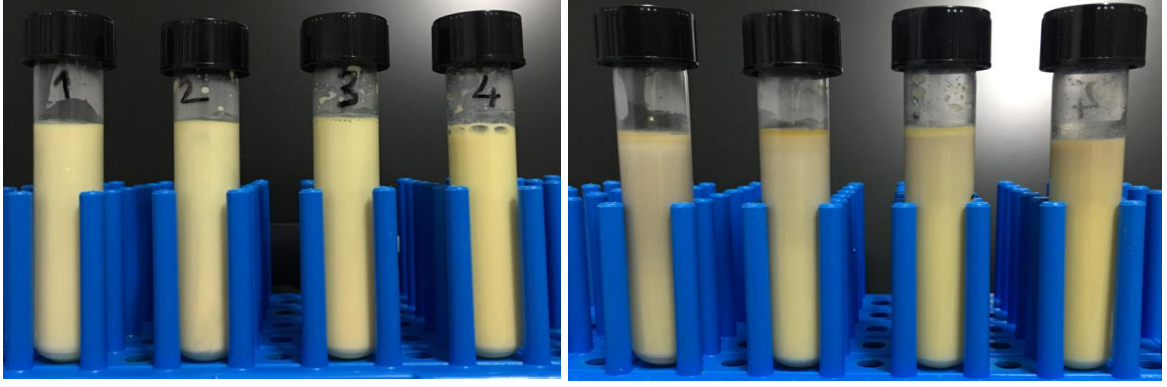
b) Farklı WGO:BM oranlarında hazırlanan emülsiyonların 60. gün görüntüleri



c) YBH'den farklı geçiş sayısı ile hazırlanan emülsiyonların 0. gün görüntüleri



d) YBH'den farklı geçiş sayısı ile hazırlanan emülsiyonların 60. gün görüntüleri



e) Farklı katı madde oranlarında (%) hazırlanan emülsiyonların 0. gün görüntüleri

f) Farklı katı madde oranlarında (%) hazırlanan emülsiyonların 60. gün görüntüleri

**Şekil 4.4 :** Emülsiyonların başlangıç ve 40°C’de 60 gün bekletilmeleri sonrasındaki görüntüleri.

Şekil 4.4’de görüleceği gibi oluşturulan emülsiyonlarda depolama sürelerinde emülsiyonların stabil oldukları ve krema oluşumunun olmadığı görülmüştür. Bu durumun nedeni, BM’nin emülsiyon oluşturmadaki etkinliğini göstermektedir. BM’nin bileşiminde yer alan fosfolipitlerin etkinliğine bağlı olarak stabil emülsiyonların oluştuğu düşünülmektedir. BM, MFGM miktarının yüksek oluşu nedeniyle süttten daha fazla fosfolipit içerir ve fosfolipitlerin emülsifiye edici özellikleri BM’ye önemli bir fonksiyonel özellik kazandırmıştır (Elling ve diğ, 1996). Kabuk materyal olarak kullanılan BM, etkili emülsiyon stabilizasyonu sağlamada iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

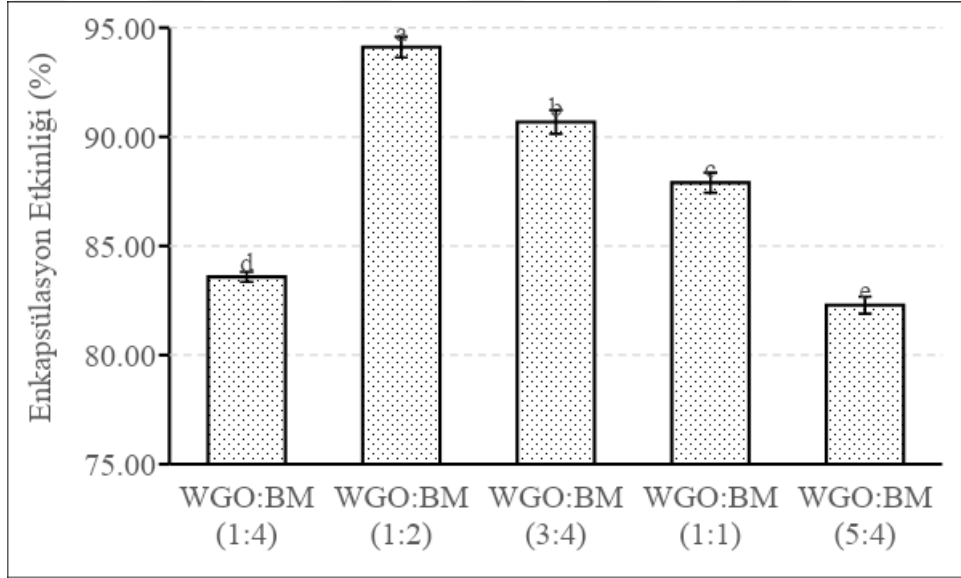
#### 4.4. Enkapsülasyon Etkinliği

BM’nin bileşimi, emülsifikasyonu ve kapsülleme özellikleri daha önceki çalışmalarda araştırılmıştır (Sodini ve diğ, 2006; Vanderghem ve diğ, 2010; Zhang ve diğ, 2020).

Bu nedenle, burada yalnızca hem oksidatif değişiklikleri olumsuz etkileyebilecek en düşük yüzey yağı hem de en yüksek enkapsülasyon etkinliği için en iyi WGO:BM oranını ve toplam katı madde konsantrasyonunu belirlemeye odaklandık. Enkapsülasyon etkinliği burada, formülasyonu hazırlamak için kullanılan başlangıç miktarı üzerinden mikrokapsül içine dahil edilen WGO miktarı ile tanımlanabilir.

Toplam katılar (WGO + BM) kullanılarak hazırlanan mikroenkapsüle WGO’nun enkapsülasyon etkinliği sırasıyla Şekil 4.5’de gösterilmektedir.

Şekil 4.5’de görüleceği gibi tüm WGO:BM oranları için enkapsülasyon etkinliği, 1:2 oranı için elde edilen en yüksek değer olmak üzere %82 ve %94 arasında değişmiştir ( $P<0.05$ ). Mikrokapsülde BM miktarı azaldıkça enkapsülasyon etkinliği de azalmıştır ve en düşük etkinlik değeri WGO:BM oranı 5:4’e aittir. Bunun nedeni, BM’nin iyi bir emülsifiye edici özelliğe sahip olmasından (Elling ve diğ., 1996) kaynaklanabilir. Ayrıca BM bileşiminde membran proteinleri ve fosfolipidlerin yanı sıra diğer süt proteinlerinin varlığı (Sodini ve diğerleri, 2006), WGO’nun kapsüllemesinde üstün bir enkapsülasyon etkinliği değeri elde edilmesine katkıda bulunmuştur. WGO’nun BM’ye oranındaki artış, daha düşük miktarda BM kullanıldığı anlamına geliyordu. Bu sonuca göre, WGO’yu çevreleyen uygun miktarda BM’nin mevcudiyeti, kapsülleme verimliliğinin başarısını belirlemek için kritiktir. (Tan ve diğ., 2005), yüksek yağ/duvar malzemesi oranlarının düşük kapsülleme verimliliğine yol açtığını bildirmiştir.

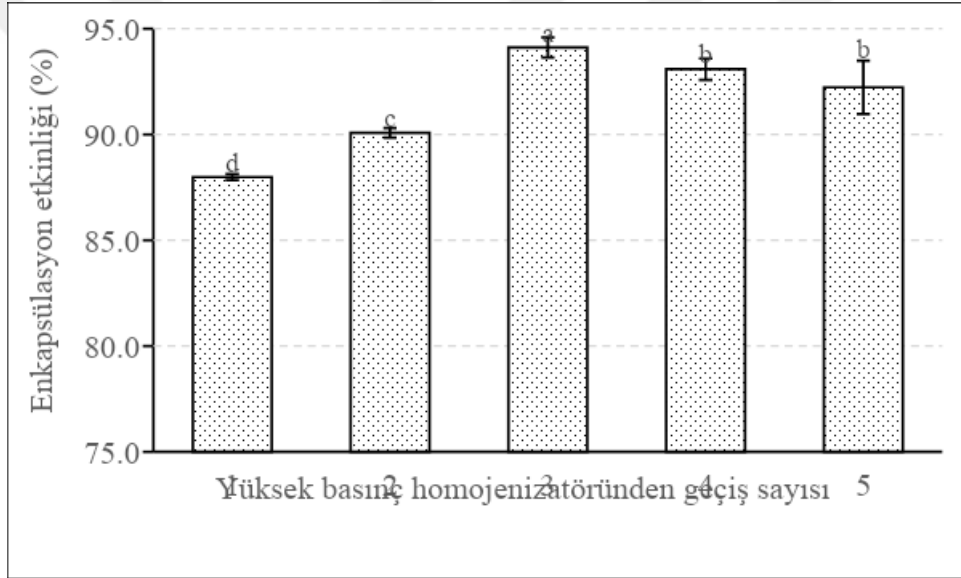


**Şekil 4.5 :** WGO: BM oranlarındaki değişimin enkapsülasyon etkinliğine (%) etkisi.

Barlar üzerinde gösterilen küçük harfler farklı WGO:BM ile hazırlanan mikrokapsüllerin enkapsülasyon değerleri arasındaki farklılığı göstermektedir ( $P<0.05$ ).

WGO:BM oranı 1:2 olacak şekilde hazırlanan emülsiyonlar YBH’den 1, 2, 3, 4 ve 5 kez geçirilmiş ve elde edilen mikrokapsüllerin etkinlik değerleri Şekil 4.6’da verilmiştir. En düşük etkinlik değeri 1 kez geçirilen örnekte, en yüksek etkinlik değeri ise 3 kez geçirilen örnekte gözlenmiştir ( $P<0.05$ ). Etkinlik değeri ilk geçişten en yüksek etkinliğe sahip olan 3. kez geçirilen örneğe kadar istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artış göstermiş olup 3. kez geçirimden sonra etkinlik değeri azalmıştır ( $P<0.05$ ).

Çizelge 4.3.'de görüleceği gibi artan sayıda YBH uygulaması ile emülsiyon damlacık boyutunun azaltıldığı saptanmıştır. Mikrokapsül boyutu küçüldükçe etkinlik değerinin belirli bir düzeye kadar arttığı sonucuna varılmıştır. Damlacık çapı küçüldükçe etkinlik değerinin artmasının nedeninin, küçülen partikül boyutu ile birlikte çok miktarda WGO'nun mikrokapsüllemesi olduğu düşünülmektedir. Bu bulgumuzla uyumlu olarak Ahn ve diğ. (2008) dekstrin kaplama metodu kullanarak mikroenkapsüllenen ayçiçek yağının etkinlik değerinin, mikroenkapsül partikül boyutu küçüldükçe arttığını bildirmiştir. Yapılan başka bir çalışmada farklı kabuk materyalleri kullanılarak ve dondurarak kurutma tekniği ile elde edilen mikrokapsüllerin partikül boyutu toz halde ölçülmüş ve partikül boyutu azaldıkça etkinliğin arttığı sonucuna varılmıştır (Wu ve diğ, 2008). Bu araştırmaların çalışmamızı destekler nitelikte olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.6 :** Yüksek basınç homojenizatöründen geçiş sayısının enkapsülasyon etkinliğine (%) etkisi.

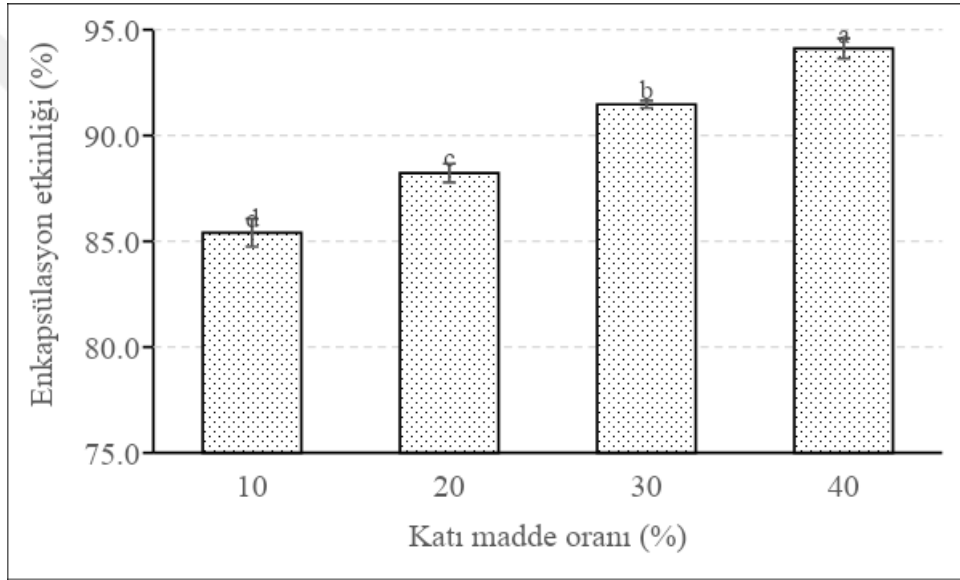
Barlar üzerinde gösterilen küçük harfler farklı basınç uygulamaları ile hazırlanan mikrokapsüllerin enkapsülasyon değerleri arasındaki farklılığı göstermektedir ( $P<0.05$ ).

Farklı katı içeriğinin (%10 ile %40) enkapsülasyon etkinliği üzerindeki etkisinin araştırıldığı deneylerde, WGO:BM oranı 1:2 olarak sabitlenmiştir. Şekil 4.7, toplam katıların enkapsülasyon etkinliği üzerindeki olumlu etkisini göstermiştir, yani daha yüksek katı içeriği daha yüksek enkapsülasyon etkinliği ile sonuçlanmıştır.

Şekil 4.7'de görüleceği gibi %94.11 ile en yüksek enkapsülasyon etkinlik değeri %40 toplam katı konsantrasyonunda gözlemlenmiştir ( $P<0.05$ ). Bu durumun, emülsiyonların

toplam katı konsantrasyonu ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Artan toplam katı konsantrasyonu, emülsiyonlaştırma sırasında emülsiyonların sulu fazının viskozitesinin artmasına ve daha küçük damlacık boyutlarına yol açarak enkapsülasyon etkinliğinin yükselmesine neden olduğu bildirilmiştir (Hogan ve diğ, 2001).

Yüksek miktarda yüzey yağı, tozun ıslanabilirliğini ve dağılılırlığını olumsuz etkiler ve daha hızlı oksidasyona neden olur (Jafari ve diğ, 2008). Yüksek viskoz emülsiyon, yüksek basınçlı homojenizatörde yapışma ve tıkanma sorunlarına neden olduğundan, %40'ın üzerindeki toplam katı oranları bu çalışmada test edilmemiştir. Böylece oksidasyon deneylerinde kullanılan mikrokapsüller en iyi WGO:BM oranı (1:2) ve toplam katı konsantrasyonu (%40) ile üretilmiştir.



**Şekil 4.7 :** Farklı katı madde oranının enkapsülasyon etkinliğine (%) etkisi.

Barlar üzerinde gösterilen küçük harfler farklı basınç uygulamaları ile hazırlanan mikrokapsüllerin enkapsülasyon değerleri arasındaki farklılığı göstermektedir ( $P<0.05$ ).

#### **4.5. Enkapsüle Yapının Özellikleri (Nem, Islanabilirlik, Yığın Yoğunluğu)**

WGO'nun merkez, BM'nin kaplama materyali olarak kullanıldığı dondurularak kurutulan toz yapıdaki mikroenkapsüle yapının bazı özellikleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde, farklı merkez:kabuk oranlarına sahip toz mikrokapsüllerde nem (%) düzeyi emülsiyondaki BM miktarının azalması ile paralel olarak azalmıştır ( $P<0.05$ ). Nem (%) değerleri 0.99-1.43 aralığındadır. Farklı YBH geçiş sayılarına sahip toz mikrokapsüllerin ise nem (%) oranları partikül boyutunun küçülmesi ile orantılı olarak

azalmıştır ve farklı katı madde oranlarına sahip mikrokapsüllerin nem (%) oranları %10 ile %20 kuru madde arasında yaklaşık %50 oranında düşüş yaşamış ve %20 kuru maddeli mikrokapsülden sonra istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azalma görülmüştür ( $P<0.05$ ). Kuru madde miktarındaki artış, muhtemelen su bağlama gruplarının sayısındaki farklılık nedeniyle buharlaşma için mevcut suyu azalttığından mikrokapsüllerin nem içeriği azalmıştır. Ayrıca emülsiyonda BM miktarındaki azalış, mikrokapsüllerin nem içeriğini azaltmıştır. Bunun nedeni, kurutma veya su uzaklaştırma durumlarında BM'nin kristalize olmayarak mikrokapsüllerde daha yüksek nem içeriğine yol açması olabilir. Mikroenkapsüllerin nihai nem içeriği, saklama tüplerinin uygun şekilde kapatılması ve saklama sıcaklığı gibi etkenlere bağlıdır; dolayısıyla gözlenen azalış bu tip etkenlerden de kaynaklanabilir. Yapılan bir çalışmada, arap zıncığı ile enkapsüle olmuş kahve yağı ve artan sakız seviyeleri ile mikrokapsüllerin nem içeriğinin azaldığı bildirilmiştir (Frascareli ve diğ., 2012).

Islanabilirlik özelliği yönünden Çizelge 4.5 incelendiğinde, farklı WGO:BM oranlarına sahip mikrokapsüllerde WGO oranının artmasıyla ıslanabilirlik sürelerindeki azalma istatistiksel olarak anlamlı olarak değerlendirilebilir ( $P<0.05$ ). WGO, suda çözünmez olmasına karşın enkapsülasyon sonrası su ile etkileşime müsait duruma gelmiştir. Islanabilirlik özelliği maddelerin  $H_2O$  ile etkileşerek çözünebilme kabiliyeti hakkında fikir veren bir değer olması nedeniyle kapsül yapının sulu ortamlardaki davranışını niteleyebilmektedir. Bu bakımdan WGO'nun suya karşı afinitesinin BM'ye göre düşük olduğu, mikrokapsül yapıda merkez materyalin ortama daha zor difüze olabileceği söylenebilir. Farklı YBH geçiş sayılarına sahip mikrokapsüllerin en yüksek ve en düşük ıslanabilirlik oranları sırasıyla 1 (10.83 dk) ve 5 (4.56 dk) numaralı örneklerde gözlenmiştir ( $P<0.05$ ). Partikül boyutunun azalması (Çizelge 4.3) ile yani YBH geçiş sayısının artması ile orantılı olarak ıslanabilirlik değerleri azalma göstermiştir. Bu durum daha iri partiküllerin daha ince partiküllere oranla ıslanabilme süresinin uzun olmasından ileri gelebilmektedir. Çeşitli kuru madde oranlarına sahip olan toz mikrokapsüllerin ıslanabilirlik değerleri katı madde oranlarının artmasıyla azalmıştır. Sırasıyla en çok ve en az ıslanabilirlik değerleri; %10 katı madde (1.66 WGO+3.33 BM) ve %40 katı madde (6.66 WGO+13.33 BM) oranına sahip mikrokapsüllere aittir ( $P<0.05$ ).

Yığın yoğunluğu, tozun boyutuna, şekline, yüzey özelliklerine ve partikül iriliğine ve bileşenlerin molekül ağırlığına bağlı olan gıda özelliklerinden biridir ve böylece pürüzsüz ve homojen tozlar daha yüksek yığın yoğunluğuna sahip olur. Temel mikrokapsüller yığın

yoğunluğu değerleri bakımından incelenmiştir. Farklı WGO:BM oranlarına sahip mikrokapsüllerden en yüksek ve en düşük yoğunluklara sahip olanlar sırasıyla 1:4 ve 1:2 olarak gözlenmiştir ve 1:2 ile 5:4 arasındaki fark önemsizdir ( $P<0.05$ ). Bunun nedeni artan kabuk mateyali miktarına bağlı olarak daha yüksek yığın yoğunluğu, mikrokapsüllerin yüksek moleküler ağırlığına bağlı olabilir. Yüksek moleküler ağırlıklı malzemeler, parçacıklar arası boşluklara daha kolay yerleştirilir ve daha az alanla yığın yoğunluğunu artırır (Jamdar ve diğ., 2021).

Jamdar ve diğ. (2020), buğday tohumu özütünü püskürterek ve dondurarak kurutma ile kaplama malzemesi olarak farklı maltodekstrin / peynir altı suyu protein konsantresi oranları kullanarak mikroenkapsüle etmiştir. Mikrokapsüllerin fizikokimyasal özelliklerini değerlendirmiştir ve püskürtülerek kurutma yönteminde, artan maltodekstrin-peyniraltı suyu konsantresi oranı ile yığın yoğunluğu artarken, dondurarak kurutma yönteminde bu iki parametre azalmıştır. Farklı YBH geçiş sayılarına sahip olan mikrokapsüllerin yığın yoğunlukları incelendiğinde geçirim sayısı arttıkça yığın yoğunluğunda azalma meydana gelmiştir. En yüksek değer 1 kez geçirim ile sağlanırken 3, 4 ve 5 kez geçirimlerde aradaki fark önemsizdir ( $P<0.05$ ). YBH'den geçirim sayısı arttıkça partikül yapışması azalmakta ve bu da yığın yoğunluğunu azaltmaktadır ve yine aynı sebepten dolayı farklı katı madde oranlarına sahip toz mikrokapsüllerde ise katı madde miktarı arttıkça yığın yoğunluğu artmaktadır ( $P<0.05$ ). Farklı katı madde içeriğine sahip olan toz mikrokapsüllerden en yüksek ve en düşük yığın yoğunluğunda olanlar sırasıyla %40 ve %10'luklardır ( $P<0.05$ ).

**Çizelge 4.5 :** Mikroenkapsüle buğday ruşeymi yağının bazı özellikleri.

Uygulama	Nem (%)	İslanabilirlik (dk)	Yığın Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
WGO:BM oranları			
WGO:BM (1:4)	1.43 ± 0.07a	7.48 ± 0.53a	500.29 ± 0.02a
WGO:BM (1:2)	1.12 ± 0.02c	6.32 ± 0.16b	377.54 ± 0.01c
WGO:BM (3:4)	1.05 ± 0.03d	0.41 ± 0.03c	412.95 ± 17.83b
WGO:BM (1:1)	0.99 ± 0.01e	0.23 ± 0.08c	389.08 ± 15.90c
WGO:BM (5:4)	1.31 ± 0.05b	0.13 ± 0.04c	377.67 ± 0.04c
YBH geçiş sayısı			
1	1.47 ± 0.66a	10.83 ± 2.75a	381.07 ± 0.13a
2	1.19 ± 0.01ab	6.09 ± 1.19b	379.45 ± 2.67b
3	1.12 ± 0.02ab	6.32 ± 0.16b	377.54 ± 0.01c
4	0.86 ± 0.07d	5.37 ± 1.08b	377.39 ± 0.04c
5	0.96 ± 0.04c	4.56 ± 0.70b	377.45 ± 0.11c
Katı madde miktarı (%)			
10	3.61 ± 0.01a	11.58 ± 0.58a	156.96 ± 4.30c

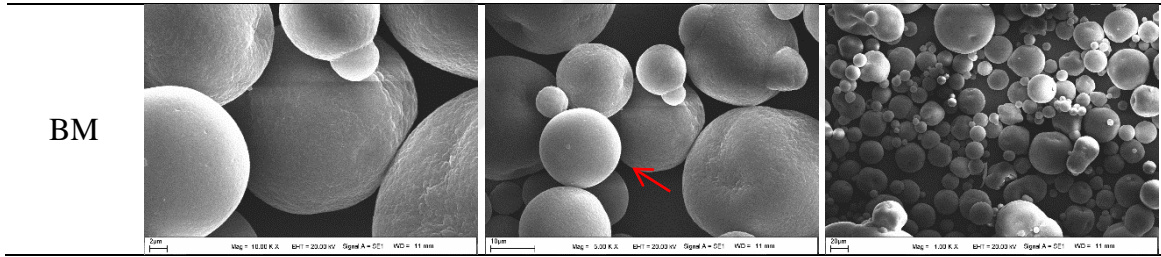
20	1.36 ± 0.04b	10.50 ± 0.50b	348.80 ± 21.52b
30	1.16 ± 0.04c	10.44 ± 0.44b	360.82 ± 3.98b
40	1.12 ± 0.02d	6.32 ± 0.16c	377.54 ± 0.01a

Aynı sütunda gösterilen küçük harfler aynı uygulama bazında istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ).

#### 4.6. Morfoloji (SEM görüntüleme)

Emülsiyonda kabuk materyal olarak kullanılan BM tozunun SEM görüntüleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Farklı ölçeklerde büyütme ile görüntüler alınmış olup, temsili olarak en uygun olanlar verilmiştir. Şekil 4.8’de görüleceği gibi BM’nin morfolojisinin düzgün küreciklerden oluştuğu görülebilmektedir. İrili ufaklı küreciklerden oluşan yapıda kürecikler kümelenme göstermiştir.

Wong ve diğ. (2003), BM’nin fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerini, yağsız kurutulmuş süt, soya proteini izolatu, kurutulmuş yumurta sarısı ve yumurta akı tozları ile karşılaştırdığı bir çalışmada BM’nin stabilize emülsiyonlarında yağ damlacıklarının küçük kümecikler oluşturduğu görülmüştür.

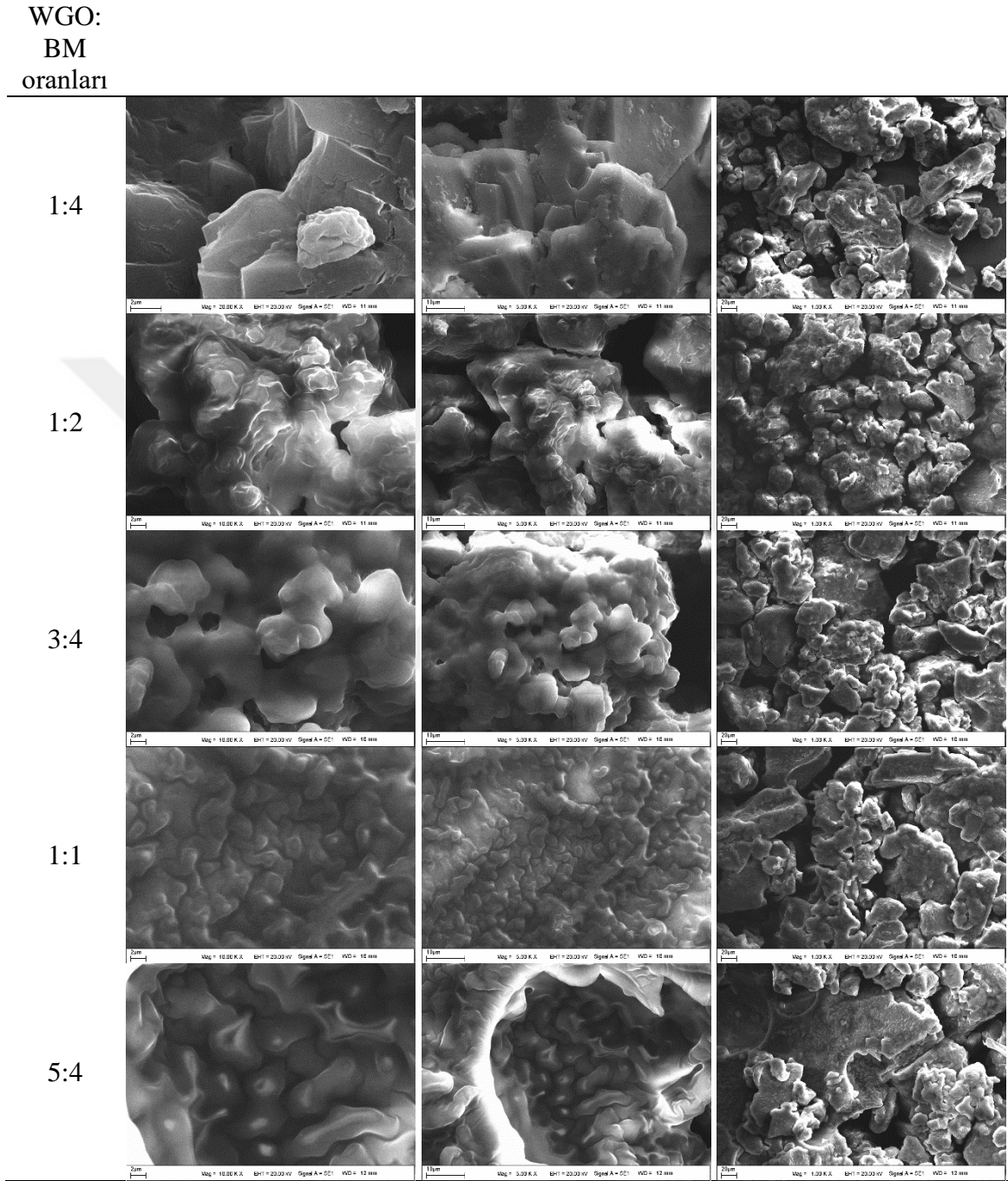


Şekil 4.8 : Yayıktalı bileşenlerinin SEM görüntüleri.

BM’nin kabuk materyal olarak kullanıldığı, WGO:BM oranının beş farklı şekilde hazırlanarak oluşturulan mikrokapsüllerin SEM görüntüleri Şekil 4.9’da verilmiştir. En düzenli ve en pürüzsüz yapı WGO:BM oranı 1:2 olan mikrokapsüllerde görülmektedir. Mikrokapsüllerin yağ içeriğinin artması (örneğin, WGO:BM oranı 1:1) morfolojik yapısında daha derin çizgiler ile çatlaklar oluşturarak şekilsiz yapılar oluşmasına sebep olmuştur.

Literatürde mikrokapsüllerin morfolojik yapılarının kaplama formülasyon oranından etkilendiğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Jafari ve diğ. (2007), emülsiyon bileşimine peynir altı suyu konsantresi eklenmesinin, kapsüllenen yağın yüzey morfolojisini, yüzey oyuklarını azaltarak ve pürüzsüzlüğü artırarak değiştirdiğini gözlemlenmiştir. Benzer bir çalışmada aynı ultrasonikasyon süresi için, daha yüksek peynir altı suyu konsantresi konsantrasyonuna sahip mikrokapsülün yüzeyinin daha yüksek maltodekstrin

konsantrasyonuna sahip mikrokapsülün yüzeyinden daha pürüzsüz olduğu belirtilmiştir (Yazıcıoğlu, 2013).



Şekil 4.9 : Farklı WGO:BM oranlarında elde edilen mikrokapsüllerin SEM görüntüleri.

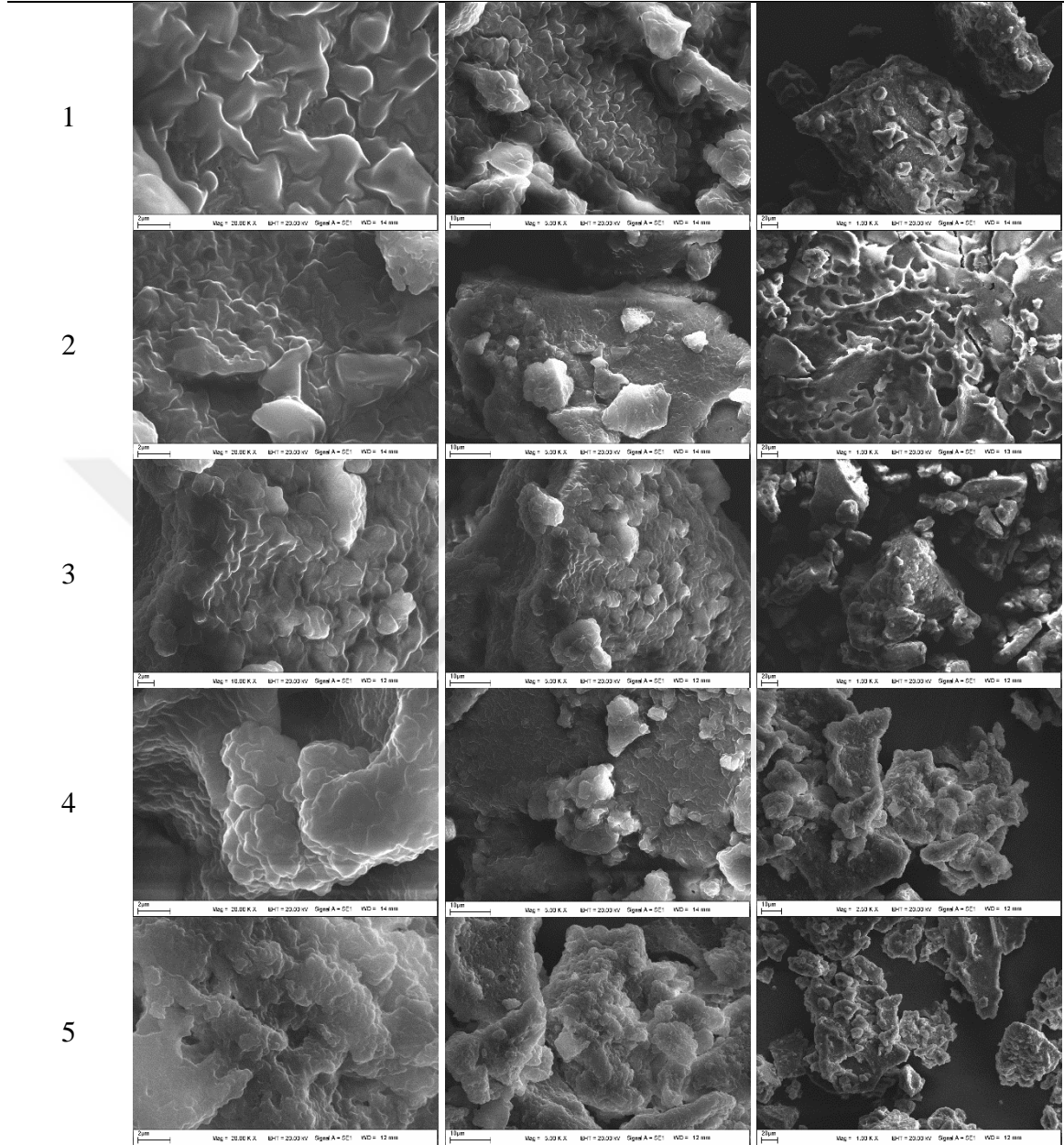
YBH'den farklı sayılarda geçirilen mikrokapsüllerin farklı büyütme oranlarındaki görüntüleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.10'da görüleceği gibi 1 kez geçirimde mikrokapsüllerin daha belirgin tanecikler şeklinde olduğu ve YBH'den geçiş sayısı arttıkça

mikrokapsüllerin matriks yapıya gömüldüğü gösterilmiştir. Üçüncü geçişten sonra yapının oldukça farklılaştığı ve kabuk materyalin matrikse yapıştığı görülmektedir.

Sodyum kazeinat, timol ve karvakrol ile hazırlanan emülsiyonlardan dondurarak kurutma ile elde edilen mikrokapsüllerde YBH'den geçiş sayısının artması ile mikrokapsüllerin matriks yapısına gömüldüğü sonucuna ulaşmıştır (Gürsul ve diğ, 2018)

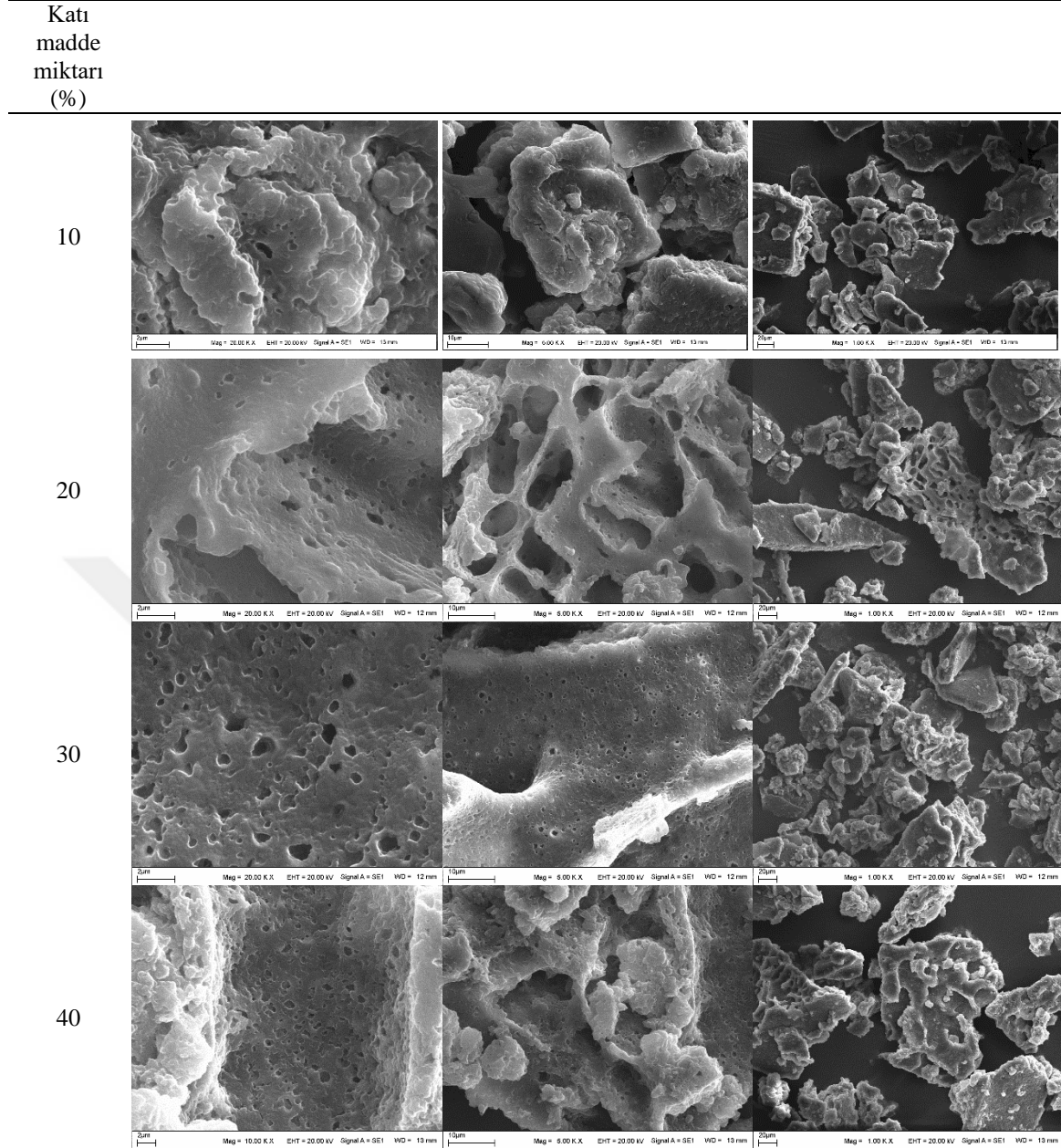
Koç ve diğ. (2008), merkez materyal olarak su, balık yağı ve kabuk materyal olarak jelatin sakkaroz ve laktoz kullanarak oluşturdukları emülsiyonları dondurarak kurutmuştur ve oluşan toz mikrokapsüllerin yüzey morfolojisinde tanecikli ve düzensiz bir yapı gözlemlemiştir.





**Şekil 4.10 :** Yüksek basınç homojenizatöründen geçiş sayısının mikrokapsül morfolojisine etkisi.

Katı madde içeriği farklı olup aynı formülasyona sahip ve YBH'den 3 kez geçirilerek elde edilen mikrokapsüllerin üç farklı boyuttaki SEM görüntüleri Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekil 4.11'de görüleceği gibi katı madde miktarının artması ile birlikte mikrokapsüllerin matriks yapısındaki çukurlar yok olmuş ve süngerimsi görünüme sahip bir yapıya ulaştığı gözlenmiştir.



**Şekil 4.11** : Farklı katı madde miktarlarında oluşturulan emülsiyonlardan elde edilen mikrokapsüllerin SEM görüntüleri.

#### 4.7. Yağ Asidi Bileşimi

Soğuk pres WGO'da gözlenen doymuş ve çoklu doymamış yağ asitleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Piyasada bulunan WGO'nun yağ asit kompozisyonu buğdayın büyüme koşulları, depolama ve muhafaza şartları, ekstraksiyon veya analiz farklılığı gibi nedenlerden dolayı çeşitlilik göstermektedir (Ören, 2013).

WGO'nun yağ asidi bileşimi (%) şu şekildedir: palmitik asit (C16:0):17.29, palmitoleik asit (C16:1): 0.19, stearik asit (C18:0): 0.83, oleik asit (C18:1) : 17.88, linoleik asit

(C18:2): 55.14, linolenik asit (C18:3): 7.03, araşidik asit (C20:0): 1.50 ve gadoleik asit (C20:1): 0.14. Bazı bilimsel çalışmalar, çoklu doymamış yağ asitlerinin alınımının koroner kalp rahatsızlıklarını azalttığı görülmüştür (Simopoulos, 1999). Çalışmamızda, WGO'da tanımlanan ana yağ asitleri, Ghafoor ve diğ. (2017) tarafından belgelenenlere ile benzerlik göstermektedir. Güven (2012), farklı buğday çeşitlerinden elde edilen WGO'lerde yağ asidi oranını belirlemek üzere yaptığı çalışmasında linoleik asit (C18:2) miktarını %56 olarak bulmuştur. Kolayca oksitlenmeye eğilimli olan yüksek doymamış yağ asitleri içeriğinden dolayı, WGO'nun BM içinde mikrokapsüllenmesi, WGO'yu oksidatif bozulmalardan korumak için uygun olacağı düşünülmektedir.

Dunford ve Zhang (2003), WGO'nun basınçlı çözücü ekstraksiyonu üzerine yaptıkları bir çalışmada hegzan ile ekstrakte edilen ruşeym yağında çoklu doymamış yağ asidi olan linoleik asit miktarını %56 civarında bulmuşlardır. Araştırmaları sonucunda çeşitli organik çözücüler (hegzan, izopropanol, etanol) ile elde edilen yağlardaki yağ asit kompozisyonu için gözlenen farklılığın önemsiz olduğunu belirtmişlerdir. Yine benzer bir çalışmada, hegzan ve süperkritik ekstraksiyonlar ile elde edilen WGO'lerdeki yağ asit kompozisyonu arasında önemli bir fark olmadığı bildirilmiştir (Shao ve diğ, 2008).

Ören (2013), soğuk pres ve süper akışkan karbondioksit ekstraksiyon metodu ile elde ettiği WGO'lerdeki yağ asit kompozisyonunu karşılaştırmış ve örnekler arasında benzer sonuçlar elde etmiştir.

**Çizelge 4.6 :** Ruşeym yağının yağ asidi bileşimi.

	Yağ asidi (%)
C16:0	17.29 ± 0.02
C16:1	0.19 ± 0.00
C18:0	0.83 ± 0.01
C18:1	17.88 ± 0.06
C18:2	55.14 ± 0.04
C18:3	7.03 ± 0.00
C20:0	1.50 ± 0.01
C20:1	0.14 ± 0.01

#### 4.8. Hızlandırılmış Koşullarda Oksidasyon

BM mikrokapsülasyonunun WGO'nun oksidatif stabilitesi üzerindeki etkisi, 24 gün boyunca 60°C'de hızlandırılmış oksidasyon koşulları altında mikrokapsüllememiş WGO'nun oksidatif durumunun mikrokapsüllemiş toz muadili ile karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. Belirli zaman aralıklarında (0, 4, 8, 12, 16 ve 24. günlerde) örnekler alınıp peroksit sayısı, *p*-anisidin sayısı, tokoferol, fitosterol, β-karoten ve lutein miktarındaki değişimler incelenmiştir.

##### 4.8.1. Peroksit sayısı

Peroksit değeri, oksidasyonun erken aşamalarında oluşan birincil oksidasyon ürünlerini ölçerek üretim, depolama ve pazarlama sırasında yağın kalitesini gösterir. Çizelge 4.7 ve Şekil 4.12 oksidasyon test günleri boyunca numunelerin peroksit değerlerindeki değişiklikleri göstermektedir.

Çizelge 4.7 incelendiğinde 0. günden 12. güne kadar hem mikrokapsüllememiş hem de mikrokapsüle WGO'lerde peroksit sayısında önemli bir düzeyde artış görülmüştür ( $P<0.05$ ). Mikrokapsüle edilmiş WGO'nun oksidasyon süresi boyunca peroksit sayılarındaki artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlemlenmiştir ( $P<0.05$ ). Mikrokapsüllememiş WGO'nun başlangıç peroksit değeri (9,44 meq O<sub>2</sub>/kg), Codex Alimentarius Komisyonu tarafından soğuk preslenmiş yenilebilir WGO için belirlenen güvenli üst sınırın (15 meq O<sub>2</sub>/kg) altındadır. Mikrokapsüllemiş WGO'nun peroksit değeri, tüm depolama günlerinde mikrokapsüllememiş WGO'dan daha düşük bulunmuştur ( $P<0.05$ ). Her iki numunede de 12. günde maksimum peroksit değeri seviyelerine ulaştıktan sonra hidroperoksitler çeşitli ikincil oksidasyon ürünlerine ayrıştıkça peroksit değeri düşmüştür. Sonuçlarımızın aksine, mikrokapsüllü omega-3 yağlarının depolama sırasında oksidatif durumunun değişimini araştıran bir çalışmada, depolama sırasında peroksit sayısında kademeli bir artış olduğu bildirilmiştir (Zhang ve diğ., 2020).

Peroksitler gibi aktif radikallerin oluşum oranları, oksijen mevcudiyetine bağlıdır (Choe ve Min, 2006). Emülsifikasyon adımları sırasında yağ ve oksijen arasındaki temasın emülsiyonlardaki oksidatif değişiklikleri hızlandırdığı bildirilmiştir (Heinzelmann ve Franke, 1999). Hızlandırılmış oksidasyon testinin başlangıcında, mikrokapsüllemiş WGO'nun daha yüksek peroksit değerinin, kaba emülsiyon üretiminin ve müteakip yüksek basınçlı homojenizasyonun etkisi ile oluştuğu düşünülebilir.

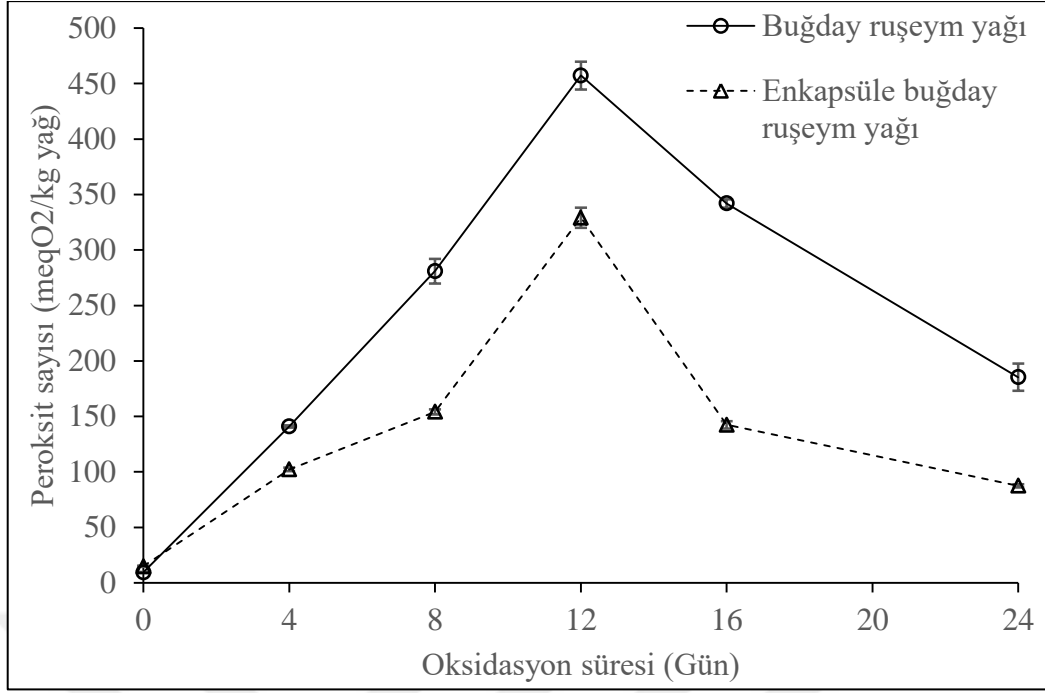
Ko ve diğ. (2003), yaptıkları araştırmada ekstrakte edilen WGO miktarının artmasıyla daha fazla  $\alpha$ -tokoferol elde edildiğini ve artan  $\alpha$ -tokoferol miktarı ile paralel olarak 12. günden itibaren peroksit miktarında düşüş olduğunu bildirmişlerdir.

Valesco ve diğ. (2009), ayçiçek yağını 1:1 oranında sodyum kazeinat-laktoz ile emüsiyeye ederek dondurarak kurutma yöntemiyle mikrokapsüller oluşturmuştur ve (40°C fırında 60 gün) oksidasyon günleri boyunca peroksit miktarındaki değişimi izlemişlerdir. Mikroenkapsüle yapının ayçiçek yağını oksidasyondan koruduğu sonucuna varmışlardır. Ünalı (2012), ise WGO'nun optimum korunum şartlarını belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada stabilizasyon sıcaklığı, depolama süresi, depolama sıcaklığı gibi faktörlerin analiz edilen örneklerin peroksit değerleri üzerine etkisi olduğunu gözlemlemiştir.

**Çizelge 4.7 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince peroksit sayısında (meqO<sub>2</sub>/kg yağ) meydana gelen değişimler.

Oksidasyon süresi (Gün)	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı
0	9.44 ± 0.43	14.90 ± 0.60
4	141.00 ± 1.02	102.22 ± 1.55
8	280.92 ± 11.15	154.13 ± 2.31
12	457.32 ± 12.55	329.17 ± 9.11
16	342.00 ± 3.82	142.40 ± 3.24
24	185.36 ± 12.29	87.53 ± 1.42

Buğday ruşeymi yağı ile mikroenkapsüle buğday ruşeymi arasındaki aynı gün bazında saptanan peroksit sayılarının tamamı istatistiksel olarak farklıdır ( $P < 0.05$ ).



Şekil 4.12 : Hızlandırılmış oksidasyon süresince peroksit sayısında (meqO<sub>2</sub>/kg yağ) meydana gelen değişimler.

#### 4.8.2. *p*-Anisidin sayısı

*p*-anisidin değeri, hidroperoksitlerin bozunması sonucu oluşan 2-alkenaller ve 2,4-alkenler gibi aldehitler başta olmak üzere ikincil oksidasyon ürünlerinin konsantrasyonu hakkında bilgi verir (Choe ve Min, 2006). Çizelge 4.8 ve Şekil 4.13'de 24 günlük depolama süresince örneklerin *p*-anisidin değerlerindeki değişiklikleri göstermektedir.

Çizelge 4.8'de görüleceği gibi emülsifikasyon işlemi, 0. günde *p*-anisidin değerini arttırmıştır. Mikroenkapsüle WGO için *p*-anisidin oluşum hızı büyükten küçüğe sırasıyla 4-8. gün, 12-16. gün, 8-12. gün, 16-24. gün ve 0-4. gün aralığındadır ( $P < 0.05$ ). Mikroenkapsülenmemiş WGO için ise *p*-anisidin oluşum hızı büyükten küçüğe sırasıyla 12-16. gün, 4-8. gün, 8-12. gün, 16-24. gün ve 0-4. gün aralığındadır ( $P < 0.05$ ). Tüm numunelerin *p*-anisidin değerleri, artan depolama günleri ile önemli ölçüde değişmiştir ( $P < 0.05$ ), bu da hızlandırılmış depolama sırasında ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşumunu gösterdi. Sıcaklığın WGO'nun oksidatif stabilitesi üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmada (Zou ve diğ., 2018), 60°C'de 15 gün tutulan WGO'nun *p*-anisidin değerlerinin çalışmamızda bulunanlardan daha düşük bulunmuştur.

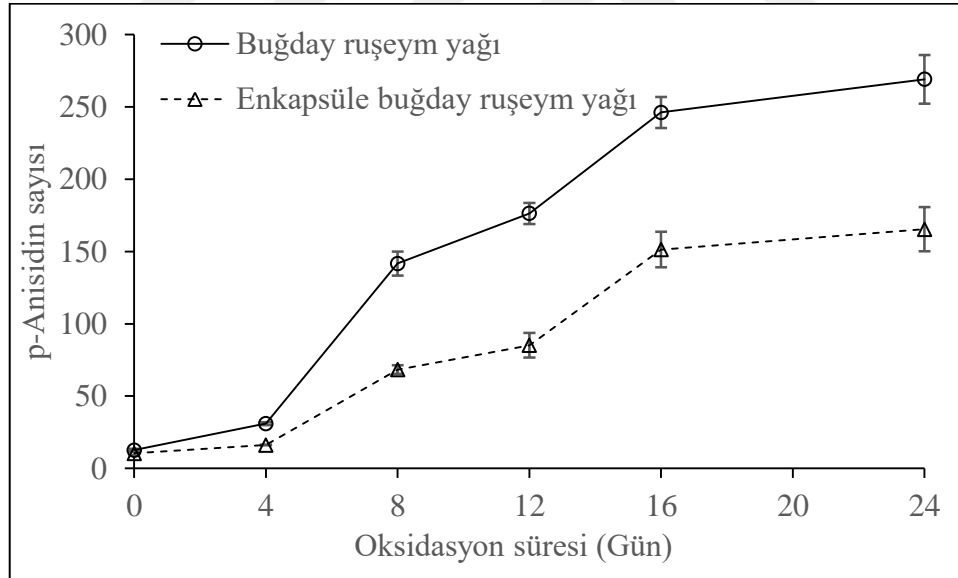
Mikroenkapsülenmemiş WGO'nun mikroenkapsülenmiş WGO ile *p*-anisidin değeri karşılaştırıldığında, depolama günleri boyunca mikroenkapsülenmemiş WGO için önemli

ölçüde daha yüksek değerler gözlemlenmiştir ( $P<0.05$ ). *p*-anisidin değerleri göz önüne alındığında, bulgularımız, merkez/duvar oranı 1:2 olan BM kullanılarak yağ mikrokapsülasyonunun WGO'nun oksidasyon sürecini geciktirebildiğini ortaya koymaktadır.

**Çizelge 4.8 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince *p*-anisidin sayısında meydana gelen değişimler.

Oksidasyon süresi (gün)	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı
0	12.66 ± 0.82	10.45 ± 1.44
4	30.99 ± 0.98	16.22 ± 0.27
8	141.63 ± 8.24	68.35 ± 2.96
12	176.30 ± 7.26	85.15 ± 8.56
16	246.15 ± 10.79	151.30 ± 12.27
24	269.03 ± 16.74	165.40 ± 15.21

Buğday ruşeymi yağı ile mikrokapsüle buğday ruşeymi arasındaki aynı gün bazında saptanan *p*-anisidin değerlerinin tamamı istatistiksel olarak farklıdır ( $P<0.05$ ).



**Şekil 4.13 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince *p*-anisidin sayısında meydana gelen değişimler.

#### 4.8.3. Tokoferollerdeki değişim

Bu araştırmanın birincil hedeflerinden biri, BM mikrokapsülasyonu yoluyla WGO'da bulunan fitokimyasalların depolama stabilitesini arttırmaktı. WGO'nun en önemli sabunlaşmayan bileşenleri olan tokoferoller, sabunlaştırılmayan kısmın yaklaşık %18'ini

oluşturur ve WGO'da  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ - formlarında bulunmaktadır. WGO, en yüksek  $\alpha$ - tokoferol içeriğine sahiptir (Schuler, 1990). Mikroenkapsülasyonun depolama sırasında WGO'nun tokoferol içeriği üzerindeki etkisi Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Bulgular incelendiğinde,  $\alpha$ -tokoferol (2340.08 mg/kg), WGO'da en bol bulunan izomerdir. Bunu ( $\beta + \gamma$ )-tokoferol (1744.44 mg/kg) ve  $\delta$ -tokoferol (942.07 mg/kg) izlemektedir. Oksidasyon başlangıcında (0.gün) mikroenkapsülenmiş WGO'ya kıyasla mikroenkapsülenmemiş WGO'nun tüm tokoferol homologları ve toplam tokoferol, içeriğinin istatistiki olarak önemli olamayan düzeyde ( $P>0.05$ ) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Mikroenkapsülenmemiş WGO'daki tokoferol içeriği, depolamanın ilk günlerinde önemli ölçüde azalırken, uzun süreli depolama günlerinde bile mikroenkapsülenmiş WGO'da etkili bir şekilde korunması dikkat çekmiştir. Örneğin, mikroenkapsülenmemiş WGO içindeki  $\alpha$ -tokoferol ve ( $\beta + \gamma$ )-tokoferol, sırasıyla 8. gün ve 4. günden sonra tamamen tahrip olurken, mikroenkapsülenmiş WGO'da,  $\alpha$ -tokoferol ve ( $\beta + \gamma$ )-tokoferol, sırasıyla 21.23 mg/kg ve 29.00 mg/kg konsantrasyonlarla 16. gün ve 12. gün'de bile kalmıştır. Tespit edilen tokoferol izomerleri arasında  $\delta$ -tokoferol, depolama sırasında oksidatif bozunmaya karşı en büyük direnci göstermiştir. Mikroenkapsülenmiş WGO'nun toplam tokoferol içeriği, 24 günlük hızlandırılmış depolama boyunca mikroenkapsülenmeyen WGO'nunkinden önemli ölçüde daha yüksek ( $P<0.05$ ) bulunmuştur.

Geleneksel olmayan kaynaklardan elde edilen yağlardaki tokokromanol içeriği üzerine daha önce yayınlanmış bir çalışmada (Hassanien, 2014)  $\alpha$ -tokoferolün WGO'da majör izomer iken (2050.0 mg/kg) bunu ( $\beta + \gamma$ )-tokoferolün (908.6 mg/kg), takip ettiği ve  $\delta$ - tokoferol saptandığı bildirilmiştir.

Bulgularımıza göre (Bruscatto, 2009) Bruscatto ve diğ. (2009), pirinç kepeği yağındaki tokoferollerin 100 ve 180°C'de bozunma sırasının  $\alpha$ -tokoferol > ( $\gamma + \beta$ ) tokoferol >  $\delta$ - tokoferol olduğunu bildirmiştir.

Sonuçlarımız ayrıca 60°C'de 24 günlük depolama süresince  $\alpha$ -,  $\gamma$ - veya  $\delta$ -tokoferolün stabilitesini araştırırken benzer depolama şartlarında  $\alpha$ -tokoferolün soya fasulyesi yağında daha hızlı bozunduğunu bildiren Player, Kim, Lee ve Min (2006) ile de uyumludur. (Player ve diğ, 2006)

Genel olarak çalışmada, WGO'nun BM içinde mikrokapsülasyonu ile, 24 gün boyunca 60°C'de hızlandırılmış depolama sırasında daha az tokoferol bozulması sağlanmıştır.

Farklı yöntemler ile stabilize (dondurarak kurutma ve mikrodalga) edilip ekstrakte edilen WGO üzerine yapılan bir çalışmada kontrol örneğinde  $\alpha$ -tokoferol içeriği 1717 mg/kg olarak belirlenmiştir. Dondurarak kurutma ile WGO'daki  $\alpha$ -tokoferol içeriğinde daha az kayıp izlenmiştir ve ısı stabilitesi düşük olan  $\alpha$ -tokoferol için dondurarak kurutma uygulamasını  $\alpha$ -tokoferol kaybını engellemek ve azaltmak için etkin bir yöntem olarak kabul etmişlerdir (Köse, 2018).

Ören, 2013, yaptığı çalışmada süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu ile ekstrakte edilen WGO'da %50.60  $\alpha$ -tokoferol, %49.39  $\beta$ -tokoferol ve soğuk pres ile edilen WGO'da ise %73.12  $\alpha$ -tokoferol, %26.83  $\beta$ -tokoferol bulunduğunu bildirmiştir.

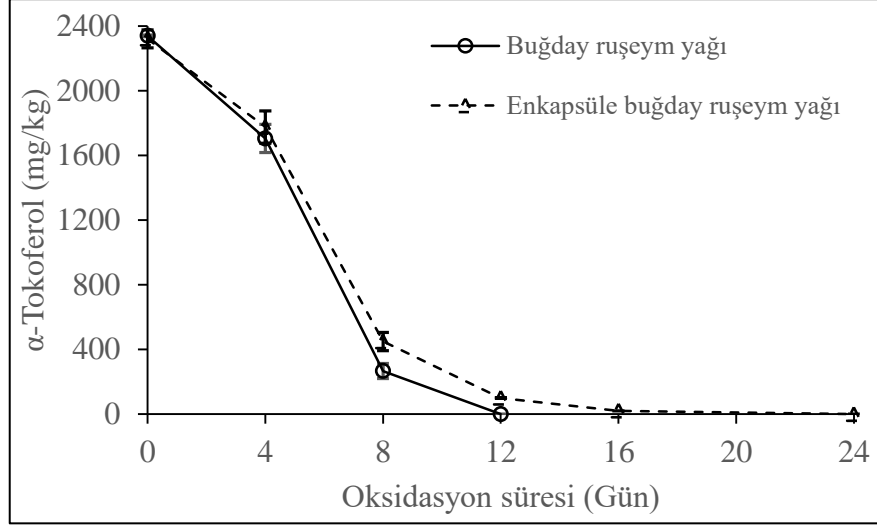
Eisenmenger ve Dunford (2008), ekstraksiyon yönteminin WGO üzerine etkisini inceledikleri bir çalışmada süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu ile elde edilen WGO'da (2560 mg/kg) hegzan ile ekstrakte edilen WGO'dan (1390 mg/kg) daha yüksek değerli sonuçlar elde etmişlerdir.

Karadeniz (2015), maltodekstrin:sodyum kazeinat 1:3 ile hazırlanan ve 24 gün boyunca 15°C ve 21 gün boyunca 45°C'de depolanan WGO ve mikroenkapsüle WGO üzerine yaptığı araştırma sonucunda oksijene ve sıcaklığa maruz kalan  $\alpha$ -tokoferoller arasında mikroenkapsüle olmayan WGO'daki  $\alpha$ -tokoferolün mikroenkapsüle WGO'ya kıyasla daha hızlı bozunuma uğradığını rapor etmiştir.

**Çizelge 4.9 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince  $\alpha$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim.

Oksidasyon süresi (gün)	$\alpha$ -Tokoferol (mg/kg)	
	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı
0	2340.08 $\pm$ 4.55	2322.14 $\pm$ 55.50
4	1705.77 $\pm$ 86.56	1776.25 $\pm$ 99.50
8	266.64 $\pm$ 46.72b	449.62 $\pm$ 56.42a
12	0	100.55 $\pm$ 0.59
16		21.23 $\pm$ 0.11
24		0

Aynı satırda gösterilen küçük harfler aynı gün bazında  $\alpha$ -tokoferol miktarlarındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P<0.05$ ).



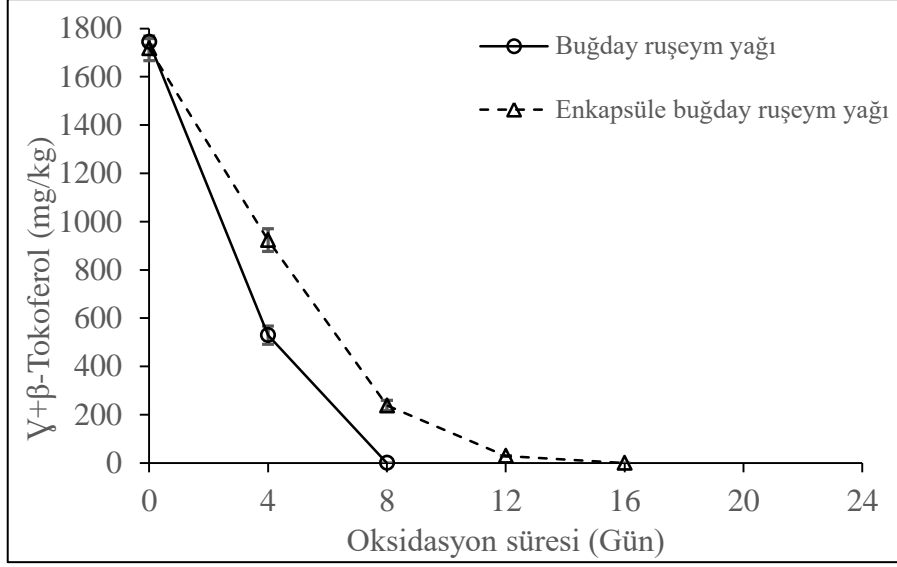
**Şekil 4.14 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince  $\alpha$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim.

Arslan ve diğ. (2020), farklı stabilizasyon yöntemleri ile yaptıkları çalışmada WGO örneklerindeki toplam tokoferol miktarını 960.8-980.9 mg/kg olarak belirlemiştir. Buharla stabilize edilen WGO'da oksidasyon süresince  $\beta$ -tokoferolde,  $\gamma$ -tokoferole kıyasla daha fazla azalma gözlemlenmiştir. Sonuçta buharlama işleminin diğer stabilizasyon işlemlerine kıyasla önemli miktarda toplam tokoferol kütle oranını azalttığını belirtmişlerdir.

**Çizelge 4.10 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince  $\beta + \gamma$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim.

Oksidasyon süresi (gün)	$\beta + \gamma$ -Tokoferol (mg/kg)	
	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı
0	1744.44 $\pm$ 13.56	1717.84 $\pm$ 51.02
4	529.49 $\pm$ 37.98b	923.40 $\pm$ 46.95a
8	0	238.11 $\pm$ 21.26
12		29.00 $\pm$ 1.38
16		0
24		

Aynı satırda gösterilen küçük harfler aynı gün bazında  $\beta + \gamma$ -tokoferol miktarlarındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ).

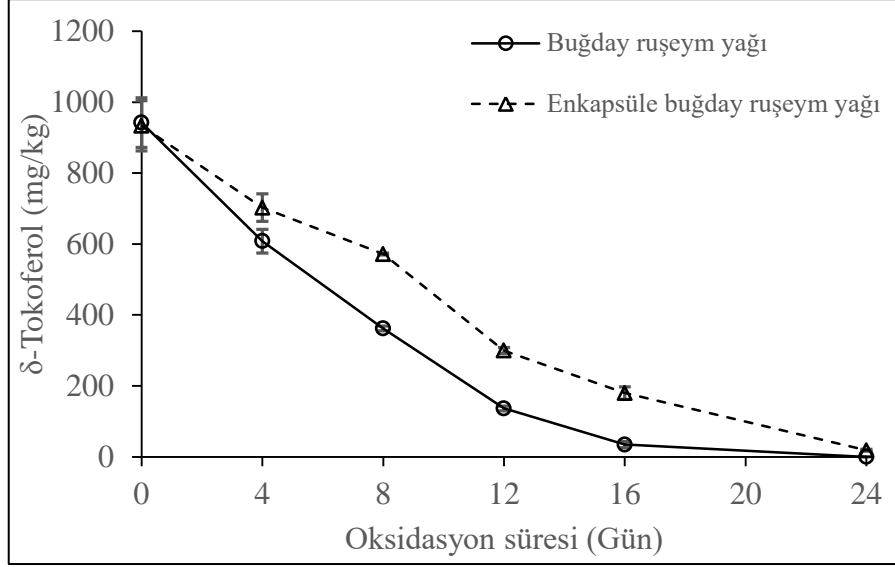


**Şekil 4.15 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince  $\beta + \gamma$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim.

**Çizelge 4.11 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince  $\delta$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim.

Oksidasyon süresi (gün)	$\delta$ -Tokoferol (mg/kg)	
	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı
0	942.07 $\pm$ 69.99	933.18 $\pm$ 71.16
4	608.24 $\pm$ 33.49b	702.49 $\pm$ 39.03a
8	361.85 $\pm$ 6.59b	571.81 $\pm$ 2.61a
12	136.70 $\pm$ 6.68b	299.38 $\pm$ 8.61a
16	34.45 $\pm$ 8.42b	179.71 $\pm$ 17.37a
24	0	18.57 $\pm$ 2.88

Aynı satırda gösterilen küçük harfler aynı gün bazında  $\delta$ -tokoferol miktarlarındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ).

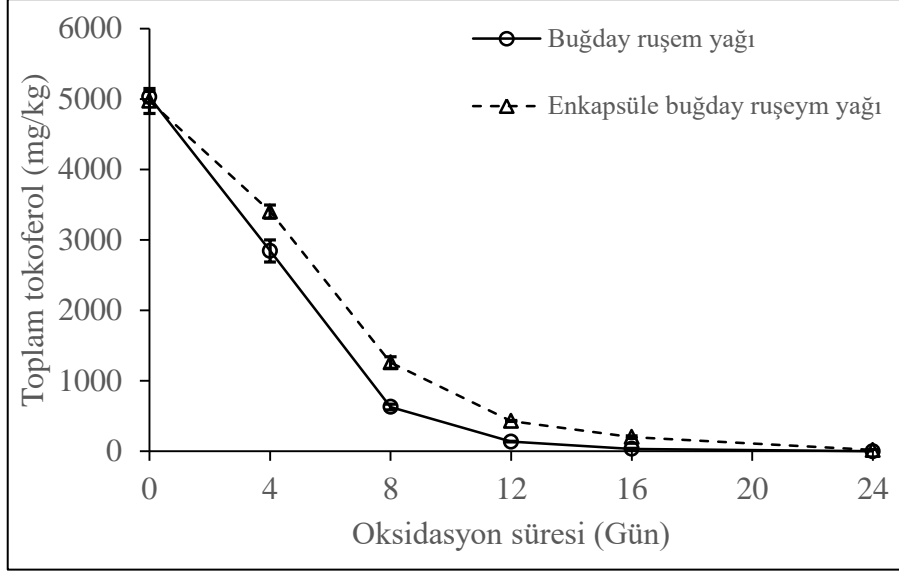


**Şekil 4.16 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince  $\delta$ -tokoferol miktarında meydana gelen değişim.

**Çizelge 4.12 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince toplam tokoferol miktarında meydana gelen değişim.

Oksidasyon süresi (gün)	Toplam tokoferol (mg/kg)	
	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı
0	5026.59 ± 79.00	4973.16 ± 177.68
4	2843.50 ± 158.03b	3402.13 ± 91.59a
8	628.49 ± 40.13b	1259.54 ± 80.29a
12	136.70 ± 6.68b	428.93 ± 7.82a
16	34.45 ± 8.42b	200.94 ± 17.26a
24	0	18.57 ± 2.88

Aynı satırda gösterilen küçük harfler aynı gün bazında toplam tokoferol miktarlarındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ).



**Şekil 4.17 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince toplam tokoferol miktarında meydana gelen değişim.

#### 4.8.4. Fitosterollerdeki değişim

WGO'nun sabunlaştırılmayan bölümünün yaklaşık %35'ini oluşturan fitosteroller (Dunford ve diğ, 2009) hızlandırılmış oksidasyon koşullarında depolama süresince takip edilmiştir ve elde edilen veriler Çizelge 4.13'de ve Şekil 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.13'de görüleceği gibi WGO'daki ana fitosterol,  $\beta$ -sitosterol (11.89 mg/g), ardından kampesterol + stigmasterol (5.71 mg/g) idi. Sitosterol (%60-70) ve kampesterol (%20-30), WGO'nun iki ana fitosterolüdür ve fitosterollerin birçoğu esterleşmiş formda bulunmaktadır (Dunford ve diğ, 2009). WGO'nun toplam fitosterollerinin (17.61 mg/g), farklı çözücü ekstraktları için rapor edilen toplam fitosterollerin (21.72-25.32 mg/g) aralığından daha düşük olduğu bulunmuştur (Dunford ve diğ, 2009). Analitik protokollerin yanı sıra genotip ve çevre koşullarındaki farklılıklar (Chen ve diğ, 2009) muhtemelen gözlemlenen farklılıkların nedenidir.

Depolama süresince toplam sterol içeriği hem mikroenkapsülenmemiş hem de mikroenkapsüle WGO'da varlığını sürdürmüştür. Hızlandırılmış depolama boyunca 0. günden itibaren ısı stabilitesi düşük olan fitosterollerdeki azalma istatistiksel olarak anlamlıdır ( $P < 0.05$ ). Mikroenkapsülenmemiş ve mikroenkapsüle WGO'nun fitosterol içeriğindeki farklılıklar, 8. günden sonraki depolama günlerinde istatistiksel olarak anlamlıdır ( $P < 0.05$ ). Tüm numunelerde, uzun süreli depolama günleri ile fitosterollerin bozunmasının artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. WGO'nun  $\beta$ -sitosterol içeriği ile

mikroenkapsüle WGO arasındaki ilk fark, muhtemelen, kaba emülsiyon oluşumu ve YBH dahil olmak üzere mikroenkapsül üretim adımları sırasındaki oksidatif hasarla ilgilidir.

Fitosteroller, ısı işlem ve depolama sırasında fitosterol oksidasyon ürünlerine parçalanmaktadır. Fitosterol oksidasyon ürünlerinin diyetle alınmasının ateroskleroz, sitotoksikite ve iltihaplanma gibi sağlık sorunlarına neden olduğu saptanmıştır (Feng, 2020). Fitosterol oksidasyon ürünleri ayrıca bitkisel yağlarda serbest radikal oluşumunu teşvik edebilir (Rudzinska, 2009). Bu nedenle yağda fitosterol oksidasyonunun önlenmesi gıda endüstrisi ve insan sağlığı için faydalı olabilir. Bu bağlamda, WGO'nun BM içinde mikroenkapsülasyonu, oksijen ve sıcaklık gibi çevresel faktörlere maruz kalmayı azaltarak fitosterollerin bozulmasında bir avantaj sağlamıştır.

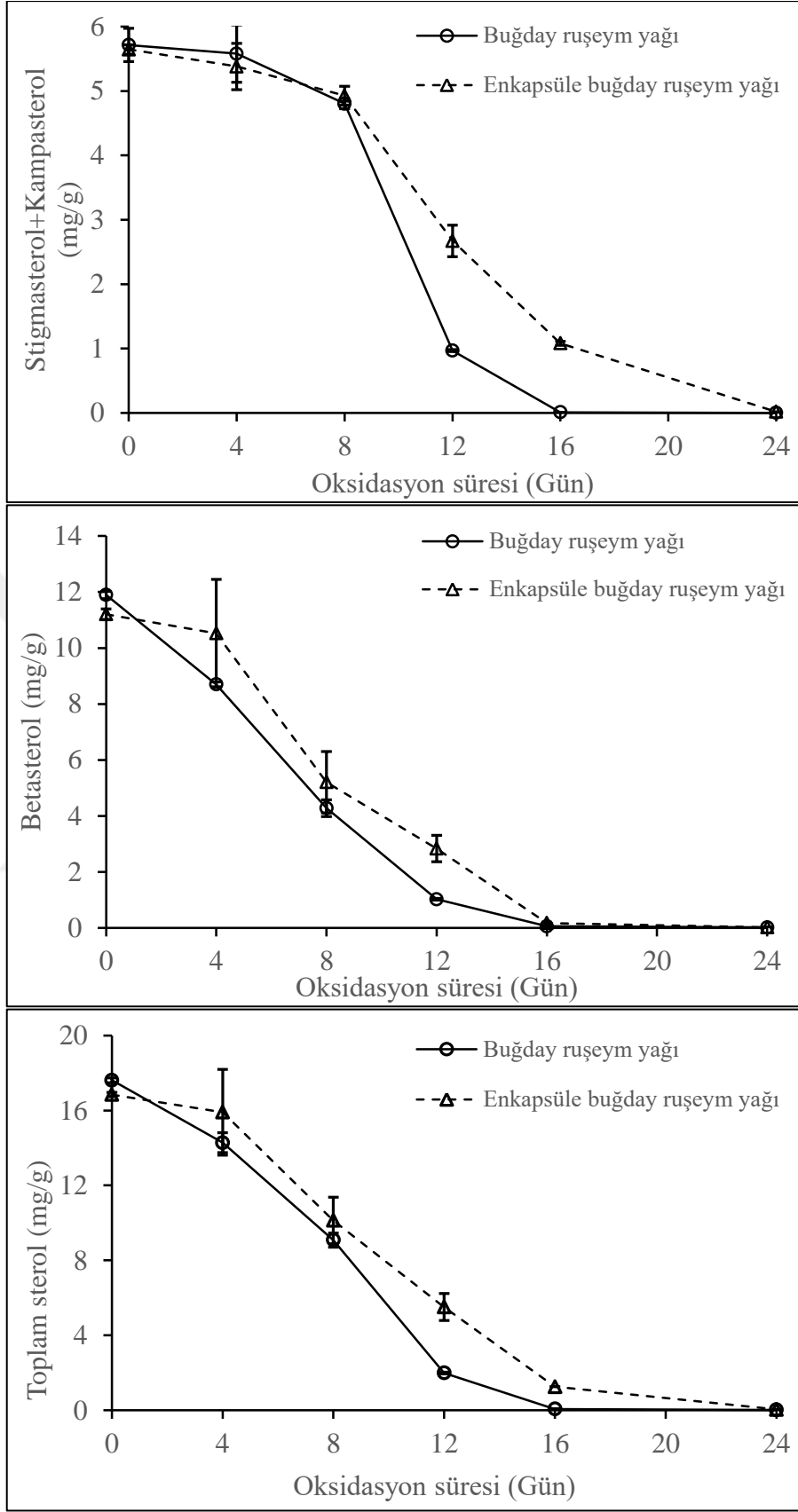
Dunford ve diğ. (2009), yaptığı bir çalışmada hegzan ve süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu ile elde ettiği WGO'da majör fitosterol (toplam fitosterollerin %75-85'i) olarak sitosterol, daha az miktarda kampasterol ve stigmasterol bulunduğunu bildirmiştir.

Ören (2013), soğuk pres ve süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu ile elde edilen WGO üzerine yaptığı bir çalışmada her iki yöntem ile elde edilen yağlardaki kampasterol (sırasıyla %24.19 ve %23.44) ve  $\beta$ -sitosterol (sırasıyla %60.98 ve %61.56) içeriğinin birbirine benzer olduğunu bildirmiştir.

**Çizelge 4.13 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince bitkisel sterol miktarında meydana gelen değişimler.

Süre (Gün)	Stigmasterol+Kampasterol (mg/g)		$\beta$ -sitosterol (mg/g)		Toplam sterol (mg/g)	
	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı
0	5.71 ± 0.26	5.64 ± 0.07	11.89 ± 0.13a	11.20 ± 0.19b	17.61 ± 0.13a	16.85 ± 0.12b
4	5.58 ± 0.45	5.38 ± 0.36	8.70 ± 0.08	10.52 ± 1.93	14.28 ± 0.53	15.90 ± 2.29
8	4.80 ± 0.08	4.93 ± 0.15	4.28 ± 0.30	5.21 ± 1.10	9.08 ± 0.38	10.14 ± 1.24
12	0.97 ± 0.02b	2.67 ± 0.24a	1.02 ± 0.03b	2.84 ± 0.48a	1.99 ± 0.04b	5.51 ± 0.72a
16	0.01 ± 0.00b	1.08 ± 0.03a	0.06 ± 0.01b	0.18 ± 0.03a	0.07 ± 0.01b	1.26 ± 0.00a
24	0	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00b	0.02 ± 0.00a	0.02 ± 0.00b	0.04 ± 0.00a

Aynı satırda gösterilen küçük harfler aynı gün bazında fitosterol çeşidinin miktarlarındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ).



**Şekil 4.18 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince bitkisel sterol miktarında meydana gelen değişimler.

#### 4.8.5. $\beta$ -Karoten ve lutein miktarındaki değişim

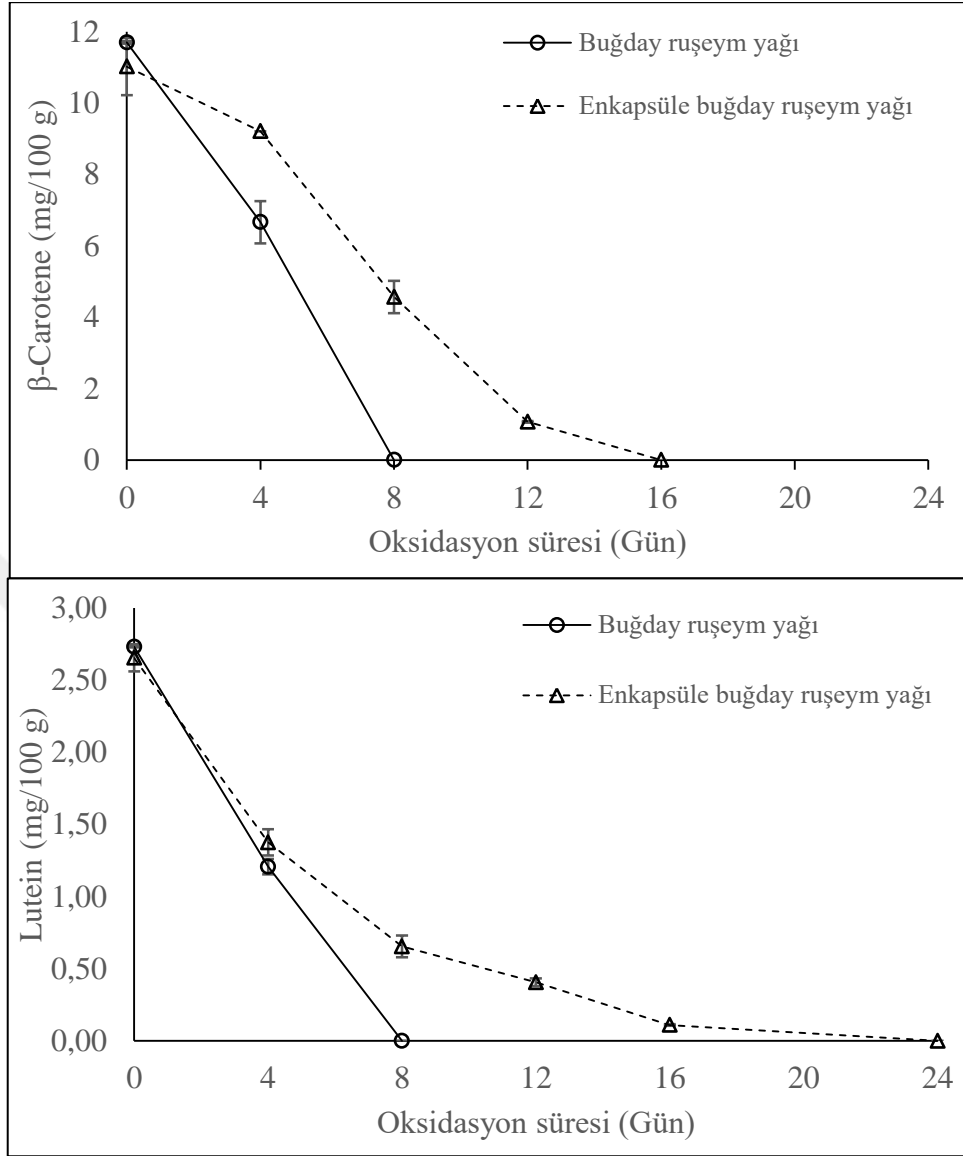
Oksitlenmeyi önleyici, sarı renkli lutein ile turuncu renkli ve A vitamininin öncül bir formu olan  $\beta$ -karotenin WGO'daki varlığını ilk kez Drummond ve diğ. (1935) ve Gisvold ve diğ. (1940) yıllarında keşfetmişlerdir. Hızlandırılmış oksidasyon süresi boyunca mikroenkapsüllememiş ve mikrokapsüle WGO'daki  $\beta$ -karoten ve lutein (mg/100 g) varlığı izlenmiş ve Çizelge 4.14 ile Şekil 4.19'da verilmiştir. Mikroenkapsüllememiş WGO içindeki  $\beta$ -karoten ve luteinin başlangıç konsantrasyonları sırasıyla 11.70 mg/100 g ve 2.73 mg/100 g olarak belirlenmiştir. Bu iki karotenoitin WGO'nun turuncu renginden sorumlu olduğu düşünülmektedir. Literatürde WGO'nun karotenoit içeriği hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır.  $\beta$ -karoten içeriği, muhtemelen türlerdeki ve yağ çıkarma tekniklerindeki farklılıklardan dolayı, Kumar ve Krishna (2015) tarafından WGO için bildirilen değerlerden (2.42 mg/100 g) beş kat daha yüksekti. Lutein miktarı rapor edilen değere benzerlik göstermiştir. WGO bileşimi, çeşit ve yetiştirme koşulları gibi hasat öncesi faktörlerden ve tohum ön muamelesi ve yağ ekstraksiyon teknikleri (presleme ve solvent ekstraksiyonu) gibi işleme faktörlerinden etkilenir.

Oksidasyon süresi boyunca  $\beta$ -karoten ve lutein, mikrokapsüle WGO'da, mikrokapsüllememiş WGO'ya göre daha uzun süre varlık göstermiştir. Mikroenkapsüle WGO'da  $\beta$ -karoten 12. günde kalırken lutein 16. günde bile kalmıştır. Mikroenkapsüllememiş WGO'da ise hem  $\beta$ -karoten hem de lutein 2. güne kadar kalmıştır. Sonuç olarak mikrokapsülasyon uygulaması ile ruşeym yağında  $\beta$ -karoten ve lutein varlığı korunabilmektedir.

**Çizelge 4.14 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince  $\beta$ -karoten ve lutein miktarında meydana gelen değişimler.

Oksidasyon süresi (gün)	$\beta$ -karoten (mg/100 g)		Lutein (mg/100 g)	
	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı	Buğday ruşeym yağı	Enkapsüle buğday ruşeym yağı
0	11.70 $\pm$ 0.04	11.02 $\pm$ 0.80	2.73 $\pm$ 0.00	2.65 $\pm$ 0.09
4	6.66 $\pm$ 0.59b	9.21 $\pm$ 0.00a	1.21 $\pm$ 0.05	1.38 $\pm$ 0.09
8	0	4.57 $\pm$ 0.45	0	0.65 $\pm$ 0.08
12		1.07 $\pm$ 0.02		0.41 $\pm$ 0.03
16		0		0.11 $\pm$ 0.01
24				0

Aynı satırda gösterilen küçük harfler aynı gün bazında  $\beta$ -karoten ve lutein miktarlarındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ).



**Şekil 4.19 :** Hızlandırılmış oksidasyon süresince  $\beta$ -karoten ve lutein miktarında meydana gelen değişimler.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yağ asidi bileşimi bakımından WGO'nun oleik ve linoleik asitler gibi doyamamış yağ asitlerini yüksek oranda içerdiği saptanmıştır. Gerek içerdiği değerli bileşikleri ve gerekse yüksek doymamışlık derecesi nedeniyle WGO'nun oksidatif stabilitesini geliştirmek amacıyla yenilikçi yöntemlerin dikkate alınması ihtiyacı bulunmaktadır. Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında WGO'nun tüketiminde çeşitlilik sağlayabilmek amacıyla mikrokapsülasyonunun etkili bir yöntem olacağı hipotezinden hareketle, enkapsülasyonda etkili bir kabuk materyali ile mikrokapsülasyonu gerçekleştirilmiştir. Literatürde kombine veya bireysel olarak protein, karbonhidrat ve lipid temelli kabuk materyallerinin çeşitli yağların enkapsülasyonunda kullanımına dair oldukça geniş bir bilgiye erişilebilmektedir. Ancak, kremadan tereyağı üretiminin yoğurma aşamasında atık olarak ortaya çıkan BM'nin eşsiz nitelikleri dikkate alındığında çalışmamızda kabuk materyal olarak kullanımı yeni bir yaklaşım olarak düşünülmüştür.

Bu doğrultuda kaba emülsiyon ve YBH uygulamalarını içerecek şekilde emülsiyon oluşturma ve emülsiyonun dondurarak kurutulması şeklinde ifade edilebilecek uygulamalar ile toz yapıdaki mikrokapsüle WGO elde edilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında WGO:BM oranı, toplam katı madde oranı, YBH'den geçirme sayısı gibi enkapsülasyon parametreleri en yüksek enkapsülasyon etkinliğini oluşturacak şekilde optimize edilmiş ve en uygun koşullar olarak WGO:BM oranının 1:2, toplam katı madde miktarının %40 ve YBH geçiş sayısının 3 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu parametrelerin optimizasyonu esnasında emülsiyonun viskozite ve emülsiyon stabilite ölçümleri ile mikropartiküllerin zeta potansiyeli, parçacık büyüklüğü ve bazı fiziksel özellikleri de (nem, ıslanabilirlik, yığın yoğunluğu ve SEM görüntüleri) irdelenmiş olup en uygun üretim yönteminin seçilmesinde etkileri olmuştur.

Optimum koşullarda üretilen mikrokapsüle WGO'nun depolama stabilitesini incelemek ve mikrokapsülasyonun sağladığı avantajı belirginleştirmek amacıyla hızlandırılmış oksidasyon testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 60°C'de 24 gün boyunca bekletilen mikrokapsüle edilmeyen ve mikrokapsüle WGO örnekleri oksidasyona maruz bırakılarak peroksit sayısı, *p*-anisidin sayısı belirlenerek oksidatif stabilite hakkında

değerlendirmeler yapılmıştır. WGO'nun tokoferoller, fitosteroller ve karotenoitler bakımından zengin bir kaynak olduğu ve bu bileşiminden dolayı oldukça geniş bir kullanım alanının olduğu da göz önüne alınarak, depolama süresince bu bileşiklerdeki değişimler saptanmak suretiyle mikrokapsülasyonun avantajlı yönlerinin daha da belirginleştirilmesine çalışılmıştır. Bu bağlamda WGO'nun bileşiminde yer alan değerli fitokimyasallar arasında yüksek miktarda  $\alpha$ -tokoferol (2340.08 mg/kg) olmak üzere tokoferoller ( $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 5026.59$  mg/kg), yüksek miktarda  $\beta$ -sitosterol (11.89 mg/g) olmak üzere fitosteroller ( $\beta$ -sitosterol + kampesterol + stigmasterol= 17.61 mg/g) ve karotenoitlerden  $\beta$ -karoten (11.70 mg/100 g) ve luteinin (2.73 mg/100 g) yer aldığı belirlenmiştir. WGO doğada bulunan diğer yağlara kıyasla değerli bileşenleri oldukça yüksek miktarda içerdiğinden yenilikçi tekniklerle korunmasına ihtiyaç duyulduğu aşikardır.

Elde edilen veriler incelendiğinde en yüksek mikrokapsülasyon etkinliğini veren 1:2 oranındaki WGO:BM mikropartiküllerin zeta potansiyeli ve emülsiyon parçacık büyüklüğü sırasıyla -29.8 mV ve 1341 nm şeklinde ölçülmüştür. Emülsiyon bileşiminde BM oranı azaldıkça enkapsülasyon etkinliğinde azalmalar görülmüş olup, bu durumun BM yapısındaki fosfolipitlerin oransal miktarının azalmasıyla ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında öne çıkan sonuçlar açısından depolama süresi sonunda mikroenkapsüle edilmeyen WGO ve mikroenkapsüle WGO'nun peroksit sayıları sırasıyla 185.36 ve 87.53 meqO<sub>2</sub>/kg, *p*-anisidin sayıları ise 269.03 ve 165.40 şeklinde belirlenmiştir. Bu sonuçlar mikrokapsülasyon işleminin WGO'nun oksidatif stabilitesindeki artışı göstermesi bakımından çarpıcıdır. Hızlandırılmış oksidasyon testinin başlangıcında, mikrokapsüllenmiş WGO'nun daha yüksek peroksit değeri, kaba emülsiyon üretiminin ve devamında yüksek basınçlı homojenizasyonun bir sonucu olabilir. Her iki numunede de 12. günde maksimum peroksit değeri seviyelerine ulaştıktan sonra hidroperoksitler çeşitli ikincil oksidasyon ürünlerine ayrıştıkça peroksit değeri düşmüştür. Emülsifikasyon işlemi, 0. günde sadece peroksit değerini değil, aynı zamanda *p*-anisidin değerini de arttırmıştır. Tüm numunelerin *p*-anisidin değerleri, artan depolama günleri ile önemli ölçüde değişmiştir ( $P < 0.05$ ), bu da hızlandırılmış depolama sırasında ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşumunu göstermektedir. Hızlandırılmış oksidasyon denemelerimizde, WGO numunelerinin geniş yüzey alanına sahip petri kaplarında oksidasyonu, yüksek peroksit ve *p*-anisidin değerlerinin ana nedenidir. Mikroenkapsüllenmemiş WGO'nun mikroenkapsüle

WGO ile *p*-anisidin değerleri karşılaştırıldığında, depolama günleri boyunca mikroenkapsllenmemiş WGO için önemli ölçüde daha yüksek değerler gözlemlenmiştir ( $P < 0.05$ ). Hem peroksit hem de *p*-anisidin değerleri göz önüne alındığında, bulgularımız, merkez/duvar oranı 1:2 olan, BM kullanılarak yağ enkapsülasyonunun WGO'nun oksidasyon sürecini geciktirebildiğini ortaya koymaktadır.

Tüm WGO:BM oranları için enkapsülasyon etkinliği, 1:2 oranı için elde edilen en yüksek değer olmak üzere %82 ve %94 arasında değişmiştir ( $P < 0.05$ ). WGO'nun BM'ye oranındaki artış, daha düşük miktarda BM kullanıldığı anlamına gelmektedir. Bu sonuca göre, WGO'yu çevreleyen uygun miktarda BM'nin mevcudiyeti, kapsülleme verimliliğinin başarısını belirlemek için kritikti. Farklı katı içeriğinin (%10 ile %40) enkapsülasyon etkinliği üzerindeki etkisinin araştırıldığı deneylerde, WGO:BM oranı 1:2 olarak sabitlenmiştir. %94.11 ile en yüksek enkapsülasyon etkinliği değeri %40 toplam katı madde konsantrasyonunda gözlemlenmiştir. Bu, emülsiyonların toplam katı madde konsantrasyonu ile ilgili olabilir. Artan toplam katı madde konsantrasyonu, emlsiyonlaştırma sırasında emülsiyonların sulu fazının viskozitesinin artmasına ve daha küçük damlacık boyutlarına yol açarak daha yüksek enkapsülasyon etkinliği ile sonuçlanmış olabilir. Artan katı konsantrasyonları ile kurutma sırasında yüzeye yağ g azalmış ve dolayısıyla enkapsülasyon etkinliği artmıştır.

Bu araştırmanın birincil hedeflerinden biri, BM mikrokapsülasyonu yoluyla WGO'da bulunan fitokimyasalların depolama stabilitesini arttırmaktı. Mikroenkapsllenmemiş WGO ile mikroenkapsllenmiş WGO'da en yüksek  $\alpha$ -tokoferol değeri sırasıyla 2340.08 mg/kg ve 2322.14 mg/kg olarak bulunmuştur.  $\alpha$ -tokoferol, WGO yağında en bol bulunan izomerdi, bunu ( $\beta + \gamma$ ) tokoferol (1744.44 mg/kg) ve  $\delta$ -tokoferol (942.07 mg/kg) izlemiştir. Tüm tokoferol homologları ve toplam tokoferol içerikleri, 0. günde mikrokapsüllenmiş WGO'e kıyasla mikrokapsllenmemiş WGO'da daha yüksekti, ancak farklılıklar anlamlı değildi ( $P > 0.05$ ). Mikroenkapsllenmemiş WGO'daki tokoferol içeriğinin, depolamanın ilk günlerinde önemli ölçüde azalırken, uzun süreli depolama günlerinde bile mikrokapsüle WGO'da etkili bir şekilde korunması dikkat çekicidir ve müteakiben mikrokapsllenmemiş WGO içindeki  $\alpha$ -tokoferol ve ( $\beta + \gamma$ ) - tokoferol, sırasıyla 8. gün ve 4. günden sonra tamamen bozulduğu belirlenmiştir. Genel olarak, WGO'nun BM içinde mikrokapsülasyonu, 24 gün boyunca 60°'de hızlandırılmış depolama sırasında daha az tokoferol bozulması sağlamıştır. WGO'daki ana fitosterol,  $\beta$ -sitosterol (11.89 mg/g), ardından kampesterol + stigmasterol (5.71 mg/g) idi. Tüm numunelerde, uzun süreli

depolama günleri ile fitosterollerin bozunması artmıştır. WGO'nun  $\beta$ -sitosterol içeriği ile mikroenkapsüllü WGO arasındaki ilk fark, muhtemelen, kaba emülsiyon oluşumu ve yüksek basınçlı homojenizasyon dahil olmak üzere mikroenkapsül üretim adımları sırasında oksidatif hasarla ilgiliydi. Hızlandırılmış depolama boyunca mikroenkapsülenmemiş ve mikroenkapsüle WGO'nun fitosterol içeriğindeki farklılıklar, 8. günden sonraki depolama günlerinde istatistiksel olarak anlamlıdır ( $P < 0.05$ ). Bu sonuç, toplu WGO'daki fitosterol içeriğinin BM kapsülleme koruması olmadan daha hızlı bozulduğunu ortaya koymuş ve kabuk malzemesi olarak BM'nin oksidasyonu önlemedeki etkinliğini göstermektedir. Mikroenkapsülenmemiş WGO içindeki  $\beta$ -karoten ve luteinin başlangıç konsantrasyonları sırasıyla 11.70 mg/100 g ve 2.73 mg/100 g olarak bulunmuştur. Bu iki karotenoidin WGO'nun turuncu renginden sorumlu olduğu düşünülmektedir. Literatürde WGO'nun karotenoid içeriği hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Sonuç olarak, mikrokapsülasyon uygulamasında merkez materyali çevreleyen bir bariyer varlığının WGO'yu dış etkenlerden koruduğu görülmektedir. Bu durum, tez çalışmasının ana hipotezi olarak kabul edilen öngörüye dayalı olarak mikrokapsülasyon ile sağlanan faydanın sonucudur. Toz formundaki mikroenkapsülenmiş WGO, fonksiyonel bir bileşen olarak çeşitli gıda formülasyonları için büyük potansiyele sahiptir. WGO'nun besleyici değerleri göz önüne alındığında bu değerlerin en az zararı görmesi için dondurarak kurutma yöntemi sayesinde ısı stabilitesi düşük ve insan vücudu için oldukça yararlı bileşenler olan tokoferol ve fitosteroller korunmuştur. Ayrıca kabuk materyal olarak BM kullanımı etkili emülsiyon stabilizasyonu sağlamada iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda yüksek besin değerine sahip olan BM'nin emülsifiye etme özelliğinden yararlanılabilir. WGO ve BM faydalı besin bileşenlerine sahip olduğu için enkapsülasyonu üzerine farklı çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- FDA (US Food and Drug Administration). (2000). www.cfsan.fda.gov
- Abbas, S., Wei, C., Hayat, K., Xiaoming, Z. (2012). Ascorbic acid: microencapsulation techniques and trends, *Food Reviews International*, 28, 343-374.
- AbuMweis, S. B. (2008). Plant sterols/stanols as cholesterol lowering agents: a meta-analysis of randomized controlled trials, *Food and Nutrition Research*. 52-56.
- 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, *Food Research International*, 49(1), 379-388.
- Ahn, J. (2008). Antioxidant effect of natural plant extracts on the microencapsulated high oleic sunflower oil, *Journal of Food Engineering*, 84, 327-334.
- Akşit, Z. (2013). Nane (*Mentha piperita* L.) ve Kekik (*Thymus vulgaris*) Bitkilerinden üretilen suda çözünebilir çayın özelliklerinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi), *Gaziosmanpaşa Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat.
- Al-Obaidi, L., Dunford, N.T., Goad, C. (2013). Mechanical extraction of wheat germ oil, *Transactions of the ASABE*, 56, 1871-1876.
- Aloğlu, H.Ş., Öner, Z. (2010). Peyniraltı suyu proteinlerinin mikroenkapsülasyon teknolojisinde kaplama materyali olarak kullanım olanakları, *Akademik Gıda*, 8, 38-42.
- Anandaraman, S., Reineccius, G.A. (1986). Stability of encapsulated orange peel oil, *Food Technology*, 40, 88-93.
- 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, 367-378.
- AOCS. (1989). *Official and Recommended Methods of the American Oil Chemists' Society*, American Oil Chemists' Society, Method Cd 8-53, Cd 18-90 and Ce 2-66 Champaign.
- Arshad, M.U., Zakir, S., Anjum, F.M., Zahoor, T., Nawaz, H. (2008). Nutritive value of cookies containing wheat germ oil, *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 6(2), 127-134.
- Arslan, D., Demir M., Acar A., Arslan F. (2020). Investigation of wheat germ and oil characteristics with regard to different stabilization techniques, *Food Technology and Biotechnology*, Vol:58, No:3, 1330-9862.
- Atalay, C. (2013). Ayva çekirdeği müsilağı ve buğday ruşeym yağının sıçanlarda yara iyileşmesi üzerine etkisinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), *Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmakoloji Anabilim Dalı*, İstanbul.

- Atwell, W. (2001). Quantitation of the main constituents of some authentic grape-seed oils of different origin, M. Eagan Pres: St. Paul, *Wheat Flour*, 108, 1122-1132).
- Augustin, M., Bhai, S., Cheng, L.J., Shen, Z., Øiseth, S., Sanguansri, L. (2014). Use of whole buttermilk for microencapsulation of omega-3 oils, *Journal of functional foods*, 19, 859-867.
- Augustin, M.A., Hemar, Y. (2009). Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients, *Chemical Society Reviews*, 38, 902-912.
- Augustin, M., Sanguansri, L., Margetts, C., Young, B. (2001). Microencapsulation of food ingredients, *Food Australia*, 53, 220-223.
- Avcıoğlu, G. (2014). Buğday ruşeyimli kurabiyelerin bazı kalitatif özelliklerinin ve raf ömrünün belirlenmesi üzerine bir araştırma (yüksek lisans tezi), *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Bağış, Ü. (2020). Enkapsüle karvokrol içeren hamurun kızartılmasında kullanılan ayçiçeği yağının oksidatif stabilitesindeki değişimin belirlenmesi, *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya.
- Baoshan, L., Jiying W., Yu H., Tiantian H., Shixin W., BingShan H., Yongzhi S. (2019). Effects of replacing fish oil with wheat germ oil on growth, fat deposition, serum biochemical indices and lipid metabolic enzyme of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus* (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂)), *Aquaculture*, 505, 54-62.
- Becher, P. (2001). Emulsions: Theory and practice, Oxford University Press, Oxford.
- Brandolini, A., Hidalgo, A. (2012). Wheat germ: not only a byproduct, *International Journal of Food Science and Nutrition*, 63, 71-74.
- Bruscatto, M.H., Zambiasi, R.C., Sganzerla, M., Pestana, V.R., Otero, D., Lima, R., Paiva, F. (2009). Degradation of tocopherols in rice bran oil submitted to heating at different temperatures, *Journal of Chromatographic Science*, 47(October), 762-765.
- Calvo, P., Castano, L.A., Hernandez, M.T., Gonzalez-Gomez, D. (2011). Effects of microcapsule constitution on the quality of microencapsulated walnut oil, *Eur J Lipid Science Techology*, 113, 1273-1280.
- Calvo, P., Castaño, A. L., Lozano, M., González-Gómez, D. (2012). Microencapsulation of refined olive oil: influence of capsule wall components and the addition of antioxidant additives on the shelf life and chemical alteration, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(13), 2689-2695.
- Calvo, P., Hernández, T., Lozano, M., González-Gómez, D. (2010). Microencapsulation of extra-virgin olive oil by spray-drying: Influence of wall material and olive quality, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(8), 852-858.
- Cankurtaran, M. (2008). Kızarmış buğday cipsi üretimi ve elde edilen buğday cipslerinin kalite özelliklerinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Chen, Y, Dunford, N.T., Edwards, J., Carver, B., Goad, C. (2009). Genotype and environment affect phytosterol content and composition of wheat, *Cereal Chemistry*, 96-99.
- Choe, E., Min, D.B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 169-186.

- Clifton, P.M., Noakes, M., Sullivan, D., Erichsen, N., Ross, D., Annison, G., Fassoulakis, A., Cehun, M. (2004). Cholesterol-lowering effects of plant sterol esters differ in milk, yoghurt, bread and cereal, *European Journal of Clinical Nutrition*, 58, 503.
- Corredig, M., and D. G. Dagleish. (1997). Isolates from industrial buttermilk: emulsifying properties of materials derived from the milk fat globule membrane, *Food Chemistry*, 45, 4595-4600.
- Coultate, T. (1989). Food, the chemistry of its components, *The Royal Society of Chemistry* (s. Chapter 4). London, UK.
- Çağlar, F., Arslan F. (2013). Soğuk pres ruşeym yağına rafine bitkisel yağlarla yapılan tağşışın belirlenmesi için kromatografik ve moleküler spektroskopik çok değişkenli kemometrik modellerin geliştirilmesi (Yüksek lisans tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çaylak, E. (2011). Hayvan ve bitkilerde oksidatif stress ile antioksidanlar, *Tıp Araştırmaları Dergisi*, 9, 73-83.
- Dat, N. M., Manh D., Hamanaka D., Hung D. (2014). Surface conditioning of stainless steel coupons with skim milk, buttermilk, and butter serum solutions and its effect on bacterial adherence, *Food Control*, 42, 94-100.
- Demir, M., Elgün A, Argun Ş., (2008). Sütçülük yan ürünlerinden peyniraltı, yayıkaltı ve süzme yoğurt suları katkılarının bazı ekmek özelliklerine etkileri üzerine bir araştırma, 99-106. *Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi*, Konya.
- Desai, K.D., Park, H.J. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients, *Drying Technology*, 23, 1361-1394.
- Desrumaux, A., Marcand, J. (2002). Formation of sunflower oil emulsions stabilized by whey proteins with high-pressure homogenization (up to 350 MPa): effect of pressure on emulsion characteristics, *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 263-269.
- Desobry, S.A., Netto, F.M., Labuza, T.P. (1997). Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for b-carotene encapsulation and preservation, *Journal of Food Science*, 6, 1158-1162.
- Dexter, JE., Wood PJ. (1996). Recent application of debranning of wheat before milling, *Trends Food Science Technology*, 7, 35-40.
- Dickinson, E. (2001). Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 20(3), 197-210.
- Doornbos, A.M., Meynen, E.M., Duchateau, G.S., van der Knaap, H.C., Trautwein, E.A. (2006). Intake occasion affects the serum cholesterol lowering of a plant sterol-enriched single-dose yoghurt drink in mildly hypercholesterolaemic subjects, *European Journal of Clinical Nutrition*, 60, 325-333.
- Drummond, J.C., Singer, E., McWalter, R.J. (1935). A study of the unsaponifiable fraction of wheat germ oil with special reference to vitamin E, *Biochemical Journal*, 29, 456-471.
- Dubois, J. (195). Determination of peroxide value and anisidine value using Fourier Transform Infrared Spectroscopy, McGill University, Ottawa.
- Dunford, N. (2005). Germ Oils from Various Sources, *Edible Oil and Fat Products: Specialty Oils and Oil Products*, 195-231.

- Dunford, N. (2009). Wheat germ oil. *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils* (s. (Vol. 1, pp.359-376), Oklahoma State University, Department of Biosystems and Agricultural Engineering Bioprocessing.
- Dunford, N., Zhang M. (2003). Pressurized solvent extraction of wheat germ oil, *Food Research International*, 36, 905-909.
- Dunford, N.T., Irmak, S., Jonnala, R. (2009). Effect of the solvent type and temperature on phytosterol contents and compositions of wheat straw, bran, and germ extracts, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(22), 10608–10611.
- Eisenmenger, M., Dunford, N.T. (2008). Bioactive components of commercial and supercritical carbon dioxide processed wheat germ oil, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(1), 55-61.
- Elling, J. L., Duncan S. E., Keenan T. W., Eigel W. N. and Boling J. (1996). Composition and microscopy of reformulated creams from reduced-cholesterol butteroil, *Journal of Food Science and Technology*, 61, 48-53.
- Ergün, K. (2012). Dondurularak kurutulmuş kivi püresi tozu kullanılarak hazırlanan keklerde pişirme yöntemi ve formülasyonun kalite kriterlerine etkisinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi), *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Esteller, M. S., Pitombo, R. N. M., Lannes, S. C. S. (2005). Effect of freeze-dried gluten addition on texture of hamburger buns, *Journal of Cereal Science*, 41(1), 19-21.
- Feltre, G., Sartori T., Silva K. (2020). Encapsulation of wheat germ oil in alginate-gelatinized corn starch beads: Physicochemical properties and tocopherols' stability, *Journal of Food Science*, 85(17), 2124-2133.
- Feng, S.M., Belwal, T., Li, L., Limwachiranon, J., Liu, X.Q., Luo, Z.S. (2020). Phytosterols and their derivatives: Potential health-promoting uses against lipid metabolism and associated diseases, mechanism, and safety issues, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19, 1243–1267.
- Firestone, D. (1999). Physical and chemical characteristics of oils, fats and waxes, *American Oil Chemists' Society Pres: Champaign*. 152.
- Folch, J., Lees, M., Stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.
- Frascareli, E., Silva, V., Tonon, R. V., Hubingera, M. (2012). Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray, *Food and Bioproducts Processing*, 90, 413-424.
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M.E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M.N., Dumoulin, E. (2006), Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration, *Journal of Food Engineering*, 75, 27-35.
- Garti, N., McClements, D. J. (2012). *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals*, Woodhead Publishing Limited, UK.
- Ghafoor, K., Özcan, M., Al-Juhaimi, F., Babiker, E.E., Sarker, Z.I., Ahmed, I.A.M., Ahmed, M.A. (2017). Nutritional composition, extraction, and utilization of wheat germ oil, *European Journal of Lipid Science and Technology*, article number: 1600160, 119–128.

- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R. (2007). Application of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview, *Food Research International*, 40, 1107-1121.
- Gisvold, O. (1940). Crystalline xanthophyll from wheat germ, *American Pharmacists Association*, 29, 312-313.
- Güler, S., Gürsoy, N. (2020). Buğday ruşeym yağı – Jelatin Nanoliflerinin Elektro-Eğirme Yöntemiyle Elde Edilmesi (Yüksek lisans tezi), *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas.
- Güler, Z., Sezgin, E., Atamer, M. (1996). Yayıkcaltı tozunun yoğurt üretiminde kullanım olanaklarının araştırılması, *Gıda Dergisi*, 21(5), 317-322.
- Gürsul, S., Karabulut, İ., Durmaz G. (2018). Antioxidant efficacy of thymol and carvacrol in microencapsulated walnut oil triacylglycerols, *İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya.
- Güven, M. (2012). Farklı buğday çeşitlerinden elde edilen ruşeym yağlarının yağ asidi dağılımları ve antioksidan aktiviteleri üzerine bir araştırma, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar.
- Hallikainen, M.A., Sarkkinen, E.S., Uusitupa, M.I.J. (2000). Plant stanol eaters affect serum cholesterol concentrations of hypercholesterolemic men and women in a dose dependent manner, *Journal of Nutrition*, 130, 767-776.
- Han, L., Li, L., Li, B., Zhao, L., Liu, G., Liu, X., Wang, X. (2014). Effect of high pressure microfluidization on the crystallization behavior of palm stearin - palm olein blends, *Molecules*, 19(4), 5348-5350.
- Hassanein, MM., Abdel-Razek AG. (2009). Chromatographic quantitation of some bioactive minor components in oils of wheat germ and grape seeds produced as by-products, *Journal of Oleo Science*, 58(5), 227-233.
- Hassanein, M.M.M., Abdel- Razek, A.G., Rudzinska, M., Siger, A., Ratusz, K., Przybylski, R. (2014). Phytochemical contents and oxidative stability of oils from non- traditional sources, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116, 1563–1571.
- Heinzelmann, K., Franke K. (1999). Using freezing and drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stability, *Colloids and Surfaces Biointerfaces*, 12, 223-229.
- Hogan, S. A, McNamee, B. F., O’Riordan, E. D., O’Sullivan, M. (2001). Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. *International Dairy Journal*, 11(3), 137-144.
- Horrobin, D., Manku M. (1993). How do polyunsaturated fatty acids lower plasma cholesterol levels, *Lipids*, 18, 558-562.
- Izadi, Z., Nasirpour, A., Garousi, G. (2012). Optimization of phytosterols dispersion in an oil/water emulsion using mixture design approach, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 33, 1715-1722.
- Jafari, M., He, Y., Bhandari, B. (2007). Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization techniques, *Journal of Food Engineering*, 82(4), 478-488.
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., Bhandari, B., He, Y. (2008). Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying, *Food Research International*, 41(2), 172-183.

- Jamdar, F., Mortazavi S., Asl M., Sharifi A. (2021). Physicochemical properties and enzymatic activity of wheat germ extract microencapsulated with spray and freeze drying, *Food Science and Nutrition*, 9, 1192–1201.
- Jiang, S., Niu, L. (2011). Optimization and evaluation of wheat germ oil extracted by süpercritical CO<sub>2</sub>, *Grasas Y Aceites*, 62(2), 181-189.
- Kahlon, T. S. (1989). Nutritional implications and uses of wheat and oat kernel oil, *Cereal Foods World*, 34, 872-875.
- Karabacak, M., Kanbur M, Eraslan G, Soyer Sarıca Z. (2011). The antioxidant effect of wheat germ oil on subchronic coumaphos exposure in mice, *Ecotoxicol Enviro Saf*, 74(7), 2119-2125.
- Karadeniz, M., Şahin S., Şumnu G. (2015). Buğday ruşeym yağının depolama stabilitesinin enkapsülasyon ile artırılması (Yüksek lisans tezi), *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Kassis, A.N., Vanstone, C.A., AbuMweis, S.S., Jones, P.J.H. (2008). Efficacy of plant sterol is not influenced by dietary cholesterol intake in hypercholesterolemic individuals, *Metabolism*, 57, 339-346.
- Kaur H, Bajwa U. (1999). Effect of incorporation of sweet cream buttermilk on rheological and bread making properties of medium protein wheat flou, *Advances in Food Sciences*, vol. 21, num. 1-2, 39-43.
- Kaur, K., Singh, K., Singh, V. (2020). Effect of encapsulated vitamin E on physical, storage, *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3509-3517.
- Kayahan, M. (2014). Lipitler. İ. Saldamlı içinde, *Gıda Kimyası* (s. 203-204), Hacettepe Üniversitesi Yayınları. Ankara.
- Kayahan, Muammer (2014). Lipitler. İ. Saldamlı içinde, *Gıda Kimyası* (s. 203-213), Hacettepe Üniversitesi Yayınları. Ankara.
- Kayahan, Muammer (2014). Lipitler. İ. Saldamlı içinde, *Gıda Kimyası* (s. 205-215), Hacettepe Üniversitesi Yayınları. Ankara.
- Kırdar, S. S., Genç D.G. (2019). Determination of mineral content of buttermilk, *Journal of Food Health and Technology Innovations*, September Vol 2, No:5, ISSN 2667-5803.
- Kırmacı, V. (2008). Dondurarak kurutma sisteminin tasarımı, imalatı ve performans deneylerinin yapılması (Doktora tezi), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Klinkesorn, U., Sophanodora P., Chinachoti P., McClements DJ. (2004). Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin, *Food Research International*, 37, 851 –859
- Ko, S. N., Kim, C. J., Kim, C. T., Kim, H., Chung, S. H., Lee, S. M., Yoon, H.H., Kim, I. H. (2003). Changes of vitamin E content in rice bran with different heat treatment, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 105(5), 225-228.
- Koc, M., Yılmaz, M. S., Ertekin, F.K. (2010). Use of gelatin, pullulan, lactose and sucrose as coating material for microencapsulation of fish oil by freeze drying, *Akademik Gıda*, 8(4), 13-16.

- Koç M., Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F. (2010). Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 77-86.
- Koç, M., Güngör, Ö., Zungur, A., Yalçın, B., Selek, İ., Ertekin, F.K. and Ötles, S. (2015). Microencapsulation of extra virgin olive oil by spray drying: effect of wall materials composition, process conditions, and emulsification method, *Food and Bioprocess Technology*, 8(2), 301-308.
- Koç, M, Met, A., Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F. (2008). Balık yağının dondurarak kurutma yöntemiyle mikroenkapsüle edilmesi, 10, 21-23.
- Konuşkan, D. (2008). Hatay’da yetiştirilen halhalı, sarı haşebi ve gemlik zeytin çeşitlerinden çözücü ekstraksiyonuyla elde edilen yağların bazı niteliklerinin belirlenmesi ve mekanik yöntemle elde edilen zeytinyağları ile karşılaştırılması (Doktora Tezi), *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana.
- Köse, Y., Cavidoğlu İ. (2018). Stabilizasyon yöntemlerinin ruşeym ve ruşeym yağının özellikleri üzerine etkisi (Doktora tezi), *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Kumar, G.S., Krishna, A.G.G. (2015). Studies on the nutraceuticals composition of wheat derived oils wheat bran oil and wheat germ oil, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 1145-1151.
- Kumar, P., Yadava, R. K., Gollen, B., Kumar, S., Verma, R. K., Yadav, S. (2011). Nutritional contents and medicinal properties of wheat: a review, *Life Science and Medicine Research*, 22, 1-10.
- Kuna, A., Poshadri, A. (2012). Phytosterol- A functional ingredient for indian food industry, *Indian Food Industry*, 30, 21-28.
- Lab Academy. Nisan 2, 2021 tarihinde <https://labakademi.com/gida-endustrisinde-enkapsulasyon-uygulamalari/> adresinden alındı.
- Lampi, A.-M., Piironen, V., Hopia, A., Koivistoinen, P. (1997). Characterization of the oxidation of rapeseed and butter oil triacylglycerols by four analytical methods, *Food Science and Technology*, 30, 807-813.
- Larion, D., Lacombe, C., Boul, P., Corraze, G., Nibbelink, M., Chautan, M., Chanussot, F., Lafont, H. (1987). Benefical effect of wheat germ on circulating lipoproteins and tissue lipids in rats fed a high fat cholesterol containing diet, *Journal of Nutrition*, 117, 838-845.
- Leenhardt F, Fardet A, Lyan B, Gueux E, Rock E, Mazur A, Chanliaud E, Demigné C, Rémésy, C. (2008). Wheat germ supplementation of a low vitamin E diet in rats affords effective antioxidant protection in tissues, *Journal of the American College of Nutrition*, 27(2), 222-228.
- Libudzisz, Z., Stepaniak, L. (2003). Buttermilk. Roginski H içinde, *Encyclopedia of Dairy Sciences* (s. Vol. 2, 1028-1034), Academic Press, Oxford, UK.
- Longmore, A.P. (1971). Advances in vacuum and freeze drying, *Food Process Industry in Indian*, 40, 46-49.
- Lopez, C., Blota, M., Briard-Biona, V., Cirié, C. (2017). Butter serums and buttermilks as sources of bioactive lipids from the milk fat globule membrane: Differences in their

- lipid composition and potentialities of cow diet to increase n-3 PUFA, *Food Research International*, 100, 864-872.
- Mahmoud, A.A., Mohdaly, A.A., Elneairy, N.A. (2015). Wheat germ: an overview on nutritional value, antioxidant potential and antibacterial characteristics, *Food and Nutrition Sciences*, 6(02), 265-277.
- Maki, K.C., Davidson, M.H., Umporowicz, D.M. (2001). Lipid responses to plant-sterolenriched reduced-fat spreads incorporated into a National Cholesterol Education Program Step I diet, *American Journal of Clinical Nutrition*, 74, 33-43.
- McClements, D. J. (2004). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. NW: Second Edition.
- Moreau, R.A., Whitaker, B.D., Hicks, K.B. (2002). Phytosterols, phytostanols, and their conjugates in foods: structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses, *Progress in Lipid Research*, 41, 457-500.
- Ostlund, R.E. Jr., McGill, J.B., Zeng, C.M., Covey, D.F., Stearns, J., Stenson, W.F., Spilburg, C.A. (2002). Gastrointestinal absorption and plasma kinetics of soy  $\Delta 5$ -phytosterols and phytostanols in humans, *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 282, 911-916.
- Özcan, M.M., Rosa, A., Dessi, M.A., Marongiu, B., Piras, A., AL-Juhai, F.Y.I. (2013). Quality of wheat germ oil obtained by cold pressing and supercritical carbon dioxide extraction, *Czech Journal of Food Sciences*, 31, 236-240.
- Ören, D., Özcan, M. (2013). Soğuk pres ve süper akışkan karbondioksit ekstraksiyon metodu ile elde edilen buğday ruşrym yağlarının fizikokimyasal özelliklerinin karşılaştırılması (Yüksek lisans tezi), *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Panfili, G., Cinquanta, L., Fratianni, A., Cubadda, R. (2003). Extraction of wheat germ oil by supercritical CO<sub>2</sub>: oil and defatted cake characterization, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80, 157-161.
- Phillips, K.M., Ruggio, D.M., Ashraf-Khorassani, M. (2005). Phytosterol Composition of Nuts and Seeds Commonly Consumed in the United States, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 9436-9445.
- Plat, J., Mensink, R.P. (2005). Plant stanol and sterol esters in the control of blood cholesterol levels: mechanism and safety aspects, *American Journal of Cardiology*, 96, 15-22.
- Player, M.E., Kim, H.J., Lee, H.O., Min, D.B. (2006). Stability of  $\alpha$ -,  $\gamma$  -, or  $\delta$ -tocopherol during soybean oil oxidation, *Journal of Food Science*, 71(8), 456-460.
- Posner, E.S., Li, Y.Z. (1991). A technique for separation of wheat germ by impacting and subsequent grinding, *Journal of Cereal Science*, 13, 49-70.
- Repetto, M., Semprine J., Boveris, A.S.-9.-5.-0.-3. (2012). Lipid peroxidation: Chemical mechanism, biological implications and analytical determination, *Lipid peroxidation* ( ISBN: 978-953-51-0716-3). InTech, DOI: 10.5772/45943: Dr. Angel Catala.
- Risch, S. J., Reineccius, G. A. (1995). Encapsulation and controlled release of food ingredients, Vol:590, DC: American Chemical Society, Washington.

- Rozner, S., Garti, N. (2006). The activity and absorption relationship of cholesterol and phytosterol, *Colloids and surfaces, A, physicochemical and engineering aspects*, 282-435.
- Rudzinska, M., Przybylski, R., Wasowicz, E. (2009). Products formed during thermo-oxidative degradation of phytosterols, *Journal of American Oil Chemists' Society*, 651-662.
- Sadıkoğlu, H., Özdemir M. (2003). Dondurarak kurutma teknolojisi ve evreleri, *Tübitak-MAM-Gıda Bilimi ve Teknolojisi Araştırma Enstitüsü*, İzmir.
- Salas-Bringas, C., Rukke, E.O., Saga, L., Lekang, O.I., Schuller, R.B. (2010). Rheological properties of buttermilk pellets manufactured by a new die pelleting rig of a texture analyze, *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, Vol. 18.
- Saldamlı, İ., Sağlam, F. (1998). Vitaminler ve mineraller. İ. Saldamlı içinde, *Gıda Kimyası* (s. 337-398). Ankara.
- Salinas, R. (1993). Alimentos Grasos y Nutricion, *Bromatologia Aplicada a la Salud* (s. Chapter 7), Buenos Aires, Argentina.
- Salo, P., Wester, I., Hopia, A. (2002). Lipids for Functional Foods and Nutraceuticals. I. F. (ed.), *The Oily Press*. 183-224. Bridgewater.
- Schuler, P. (1990). Natural antioxidants exploited commercially. B. E. Hudson içinde, *In: Food Antioxidants* (s. Chapte 4). Elsevier Applied Science. London, UK.
- Shahidi, F., Han, X.Q. (1993). Encapsulation of food ingredients, *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 33, 501-547.
- Shao, P., Sun P., Ying Y. (2008). Response surface optimization of wheat germ oil yield by siipercritical carbon dioxide extraction, *Food Bioprod. Process*, 86, 227-231.
- Simopoulos, A. P. (1999). Essential fatty acids in health and chronic disease, *American Journal of Clinical Nutrition*, 70, 5605-5695.
- Singh, H. (2011). Aspects of milk-protein-stabilised emulsions. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1938-1944.
- Smith, K. (2008). *Dried Dairy Ingredients*. Wisconsin Center for Dairy Research. USA.
- Sodini, I., Morin, P., Olabi, A., Jiménez-Flores, R. (2006). Compositional and functional properties of buttermilk: a comparison between sweet, sour, and whey buttermilk, *Journal of Dairy Science*, 89, 525-536.
- Soliman, T., Farrag A., Zahran H., El-Salam M. (2019). Preparation and properties nano-encapsulated wheat germ oil and its use in the manufacture of functional labneh cheese, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 22(7), 318-326.
- Surh, J., Decker, E., McClements, D. (2006). Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by fish gelatin, *Food Hydrocolloids*, 20, 596-606.
- SYNLAB. Kasım 28, 2020 tarihinde [.http://www.SYNLAB\\_VITAMIN\\_E\\_TOKOFEROL.pdf.com](http://www.SYNLAB_VITAMIN_E_TOKOFEROL.pdf.com) adresinden alındı.
- Talih, M., Dirim S. (2018). Dondurarak kurutma yöntemi ile taflan (karayemiş) (*Prunus laurocerasus* L.) meyvesinin kurutulması ve örnek gıda sisteminde denenmesi (Yüksek lisans tezi), *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

- Tan, L.H., Chan, L.W., Heng, P.W.S. (2005). Effect of oil loading on microspheres produced by spray drying, *Journal of Microencapsulation*, 22(3), 253-259.
- Thompson, G.R., Grundy, S.M. (2005). History and development of plant sterol and stanol esters for cholesterol-lowering purposes, *American Journal of Cardiology*, 96, 3-9.
- Tolve, R., Condelli, N., Can, A., Tchuenbou-Magaia, F.L. (2018). Development and characterization of phytosterol-enriched oil microcapsules for foodstuff application, *Food and Bioprocess Technology*, 11, 152-163.
- Ünal, G., Akalın, A.S. (2014). Süttozu ve diğer süt bazlı toz ürünlerin kullanım alanları, *4.Geleneksel Gıdalar Sempozyumu*. Adana.
- Ünaldı, Z., Ünver A. (2012). Farklı stalizasyon ve depolama sıcaklıklarının buğday ruşeymyağı oksidasyonuna etkisi (Yüksek lisans tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Konya.
- Vanderghem, C., Bodson, P., Danthine, S., Paquot, M., Deroanne, C., Blecker, C. (2010). Milk fat globule membrane and buttermilks: From composition to valorization, *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 14(3), 485-500.
- Velasco, J., Holgado, F., Dobarganes, C. Márquez-Ruiz, G. (2009). Antioxidant activity of added phenolic compounds in freeze-dried microencapsulated sunflower oil, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86, 445-452.
- Walstra, P., Wouters, J.T.M., Geurts, T.J. (2006). Dairy Science and Technology Handbook (Second Ed). USA: Taylor and Francis Group.
- Wang, T., Johnson LA. (2001). Refining high-free fatty acid wheat germ oil, *Journal of American Oil Chemical Society*, 78, 71-76.
- Wong, A. (2008). Phytosterols in selected grain processing residues. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 7, 2948-2958.
- Wong, P. Y. Y., D. D. Kitts. (2003). A comparison of the butter milk solids functional properties to non fat dried milk, soy protein isolate, dried egg white, and egg yolk powders, *Journal Dairy of Science*, 86, 756-754.
- Wsowicz, E., Gramza, A., Hêœ, M., Jeleñ, H. H., Korczak, J., Malecka, M., Szkudlarz, S. M., Rudzińska, M., Samotyja, U., Wojtasiak, R. Z. (2004). Oxidation of lipids in food, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 54, 87-100.
- Wu, T.H., Yen, F.L., Lin, L.T., Tsai, T.R., Lin, C.C., Cham, T.M. (2008). Preparation, physicochemical characterization, and antioxidant effects of quercetin nanoparticles, *International Journal of Pharmacology*, 346, 160-168.
- Yang, M.H., Lin, H.J., Choong, Y.M. (2002). A rapid gas chromatographic method for direct determination of BHA, BHT and TBHQ in edible oils and fats, *Food Research International*, 35, 627-633.
- Yazıcıoğlu, B., Şahin S., Sumnu G. (2013). Encapsulation of wheat germ oil (The Degree of Master of Science), *Middle East Technical University*, Ankara.
- Yazıcıoğlu, B. (2015). Microencapsulation of wheat germ oil, *Food Science Technology*, 52, 3590-3597.
- Yetişmeyen. (2000). Süt sanayiinde çok etkili evaporatörler ve maliyet hesapları, *Gıda Dergisi*, 25.

- Yetişmeyen, A., Arıöz N. (1995). Farklı koyulaştırma oranı ve kurutma sıcaklığında elde edilen yayıkaltı tozunun kalite kriterlerinin belirlenmesi, *Ankara Üniversitesi, Ziraat Faültesi, Gıda Dergisi*, 20, 117-122.
- Yılmaz, M., 17 Nisan 2021 tarihinde <https://151620051016.tr.gg/Dondurarak-Kurutma.htm> adresinden alındı.
- Yuan, C..X., Xie, Y.Y., Jin, R.S., Ren, L.L., Zhou, L., Zhu, M. (2017). Simultaneous analysis of tocopherols, phytosterols, and squalene in vegetable oils by high-performance liquid chromatography, *Food Analytical Methods*, 10(11), 3716-3722.
- Zacchi, P, Daghero J, Jaeger P, Eggers R. (2006). Extraction/fractionation and deacidification of wheat germ oil using supercritical carbon dioxide, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 23, 105-110.
- Zhang, Y., Pang, X., Zhang, S., Liu, L., Ma, C., Lu, J., Lyu, J. (2020). Buttermilk as a wall material for microencapsulation of omega-3 oils by spray drying, *Food Science and Technology*, 127, 109320.
- Zou, Y., Gao, Y., He, H., Yang, T. (2018). Effect of roasting on physico-chemical properties, antioxidant capacity, and oxidative stability of wheat germ oil, *LWT - Food Science and Technology*, 90, 246-253.

## EKLER

### EK 1.

ANALİZ SERTİFİKASI				enka			
<b>Rapor Tarihi</b>	07.01.2020	<b>Parti/Seri No</b>	900101				
<b>Müşteri Adı</b>		<b>Üretim Tarihi</b>	01.01.2020				
<b>Ürün Adı</b>	YAYIKALTISUYU TOZU	<b>Son Tük. Tarihi</b>	01.01.2021				
<b>Ürün Kodu</b>	DTZ - 90	<b>Raf Ömrü</b>	1 YIL				

Ambalajlama ve İşaretleme			
<b>Ambalaj Tipi</b>	: UYGUN		
<b>Ambalajlama</b>	: UYGUN		
<b>İşaretleme</b>	: UYGUN		

Duyusal Özellikler			
<input checked="" type="checkbox"/> Tat	<input checked="" type="checkbox"/> Renk		
<input checked="" type="checkbox"/> Koku	<input checked="" type="checkbox"/> Yapı		

Kimyasal Özellikler			
Parametre	Öçülen Değer	Spesifika. Limiti	Metot
Nem, m/m	3,32	< 4	103 °C
Yağ, m/m	7,80	< 11	GERBER
Kül, m/m	8,48	< 9	850 °C
Protein, Yağsız Kuru madde m/m	33,50	> 30	KJHELDAL
Laktoz, m/m	46,90	> 45	HESAPLAMA
Asitlik (Laktik asit cinsinden)	0,115	< 0.18	0,1 N NaOH
pH	6,60	> 5,9	%10'luk
Aflatoksin M1, µg/kg	0,40	max 0.5	ELİSA
Antibiyotik	YOK	Bulunmamalı	DELVOTES

Fiziksel Özellikler			
Parametre	Öçülen Değer	Spesifika. Limiti	Metot
Yoğunluk, g/cm3	0,674	> 0.60	NDRG 1978
Çözünmezlik İndeksi, ml	0,3	< 1	ADPI
Yabancı Yanık Madde	8	Disk A/B	ADPI

Mikrobiyolojik Özellikler			
Parametre	Öçülen Değer	Spesifika. Limiti	Metot
Koagülaz poz. Stafilokok, cfu/gr	YOK	< 10	37 °C, BPA
Aerobik mezofilik bakteri, kob/g	8200	< 10.000	30 °C, PCSA
Enterobakter, kob/g	YOK	< 10	37 °C, GVRBA
E.coli, kob/g	YOK	< 3	37 °C, Flet, VRBA
S.aureus, kob/g	YOK	< 10	37 °C, BPA
Küf ve Maya, kob/g	YOK	< 10	25 °C, YGCA
Saimonella spp., kob/25g	YOK	Bulunmamalı	VIDAS

Alerjen İçeriği	
Süt ve Süt Ürünü mamulü olduğundan dolayı <b>Laktoz</b> içermektedir.	
Alerjen bir üründür.	

GDO Politikası	
Enka ürünlerinin üretiminde sağlığa zararlı hormon veya genetik yapısı değiştirilmiş organizma içeren hiçbir katkı maddesi kullanılmamaktadır.	

Açıklama:

ONAYLAYAN

ENKA SÜT ve GIDA MAM. SAN. ve TİC. A.Ş.  
HACI YUSUF MESCİT MH. PAZARCIK SK. (ADANA ÇEVRE YOLU SEDİRLER ÇIKIŞI) NO:1 42030 KARATAY/KONYA  
TEL: 0 332 355 23 00 / FAX: 0 332 355 23 05 / www.enkasut.com / Selçuk V.D. 335 004 90 95

FRM-119 / 03.08.2019 / 07

## ÖZGEÇMİŞ

**AD SOYAD:** Kübra ŞENGÜL ASLAN

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans:** 2018, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği

**Yüksek Lisans:** 2021, İnönü Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans

